

Академия инженерных наук России им. А.М. Прохорова  
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет  
Оптическое общество России им. Д.С. Рождественского  
Балтийский государственный технический университет «Военмех»  
Новороссийский политехнический институт (филиал  
Кубанского государственного технологического университета)  
Научно-исследовательский центр «Репер»  
Фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере

## **Л А З Е Р Ы.**

## **ИЗМЕРЕНИЯ.      ИНФОРМАЦИЯ**

Труды конференции  
9-11 июня 2014 года

Санкт-Петербург

Под редакцией профессора В.Е.Привалова

Санкт-Петербург  
Издательство Политехнического университета  
2014

Академия инженерных наук России им. АМ Прохорова  
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет  
Оптическое общество России им. ДС Рождественского  
Балтийский государственный технический университет «Военмех»  
Новороссийский политехнический институт (филиал  
Кубанского государственного технологического университета)  
Научно-исследовательский центр «Репер»  
Фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере

## **Л А З Е Р Ы**

## **ИЗМЕРЕНИЯ      ИНФОРМАЦИЯ**

Труды конференции  
9- 11 июня 2014 года

Санкт-Петербург

Под редакцией профессора В.Е.Привалова

Организация и проведение конференции поддержаны РФФИ (грант 14-02-06008 г)

Информационная поддержка журнала «Фотоника»

Санкт-Петербург  
2014

Председатель Программного комитета - **С.Н.Багаев** акад. РАН  
Сопредседатели - **В.Н.Очкин** акад. АИН, зам. директора ФИАН  
- **А.И.Рудской** чл.-кор РАН, ректор СПбГПУ

### **Оркомитет**

Э.И.Акопов канд. техн. наук  
В.А.Алексеев проф.  
В.М.Арпишкин канд. физ-мат. наук  
А.В.Бабкин проф.  
В.И. Балобан проф.  
Г.А.Баранов акад. АИН  
А.С.Борейшо проф.  
А.Н.Власов проф.  
Г.И.Долгих чл.-кор РАН  
В.С.Иванов проф.  
И.Г.Иванов проф.  
И.Б.Ковш проф.  
Н.М.Кожевников проф.  
В.Н.Курятов проф.  
Е.Л.Латуш проф.  
В.А.Лопота чл.-кор РАН, акад. АИН  
В.Я.Панченко акад. РАН, акад. АИН  
В.Е.Привалов (председатель) акад. АИН  
И.В.Пучков (зам. председателя) канд.техн.наук  
А.Л.Соколов проф.  
А.Н.Солдатов акад. АИН  
В.А.Степанов проф.  
В.А.Тарлыков проф.  
Ю.А.Толмачёв, проф.  
В.В.Тучин, проф.  
А.Б.Федорцов проф.  
А.Э. Фотиади акад. АИН  
Ю.В. Чугуй акад. АИН  
В.Г.Шеманин, проф.  
И.А.Щербаков чл.-кор. РАН, акад. АИН

От редактора

С 1991 года мы регулярно проводили школу-семинар-выставку «Лазеры и современное приборостроение». Тематика разрасталась, поэтому было принято решение с 2000 года проводить конференцию «Лазеры.Измерения.Информация».

Перечень тем: физика лазеров, в первую очередь, нестабильности и возмущения в них; стабилизация частоты и мощности излучения лазеров; измерения параметров излучения лазеров; измерения с помощью лазеров; лазерные системы; формирование и передача оптической информации; различные оптические технологии. Есть доклады по медико-биологической тематике.

Сборник содержит тезисы 147 докладов. Авторы докладов работают в различных учреждениях Санкт-Петербурга, Москвы, Екатеринбурга, Нижнего Новгорода, Минска, Новосибирска, Томска, Самары, Волгограда, Ростова на Дону, Новороссийска, Рязани, Казани, Ижевска, Благовещенска, Комсомольска на Амуре, Ярославля, Нальчика, Фрязино, Соснового Бора, Дайляня (Китай), Оулу (Финляндия), Софии (Болгария), Мюнхена (Германия), Энсенады (Мексика). Доклады предыдущих конференций опубликованы в Вестниках СПбО АИН (2004-2010), Научно-технических Ведомостях СПбГПУ (2008 – 2014), Оптическом журнале, в трудах Международного общества по оптической технике ( Proc. SPIE ) № 4316 , 4680, 5066, 5381, 5447, 6251, 6594, 7006 и журнале Optical Memory & Neural Networks (Information Optics) (2008-2014).

В этом году конференция поддержана грантом РФФИ 14-02-06008-г. Информационная поддержка конференции осуществляется журналом «Фотоника» ([www.photonics.su](http://www.photonics.su) и [www.technosphere.ru](http://www.technosphere.ru)) .

Подробнее о конференции и правилах публикации тезисов и статей на русском и английском см. сайты: [http://www.laser-portal.ru/content\\_940](http://www.laser-portal.ru/content_940) и <http://www.photonics.su/news/show/id/269>

Мы рассчитываем проводить данную конференцию и далее. С предложениями и за справками обращаться в Санкт-Петербургский государственный политехнический университет, институт ФНиТ (195251 , Санкт-Петербург, Политехническая 29), профессору В.Е.Привалову, электронная почта: [vaevpriv @yandex.Ru](mailto:vaevpriv@yandex.Ru) или И.В.Пучкову [penep@peterlink.Ru](mailto:penep@peterlink.Ru), тел-факс: (812) 222-20-65

## Влияние скорости релаксационных переходов между подуровнями мультиплета $^4F_{3/2}$ на генерацию двух длин волн YAG:Nd-лазером.

О.Л. Головков, Г.А. Купцова, В.А. Степанов  
(Рязань)

В статье [1] при рассмотрении решения системы уравнений Танга, Статца и Демарса для случая генерации YAG:Nd-лазера введены параметры: скорости релаксационных переходов между рабочими подуровнями А ( $11507\text{ см}^{-1}$ ) и В ( $11423\text{ см}^{-1}$ ) мультиплета  $^4F_{3/2}$  при 300К –  $w_{AB}=0,3$  и  $w_{BA}=0,2$ . В противоположность данному утверждению в статье [2] выдвинуто предположение, что распределение населенностей подуровней всегда соответствует распределению Больцмана и нет смысла вводить величины  $w_{AB}$  и  $w_{BA}$ .

В данной работе приведены два решения системы уравнения Танга, Статца и Демарса. Первое, для случая постоянного распределения Больцмана по подуровням мультиплета  $^4F_{3/2}$  независимо от спектра лазерной генерации. Второе, при наличии определенной скорости релаксационных переходов  $w_{AB}$  и  $w_{BA}$  между подуровням мультиплета  $^4F_{3/2}$ , когда происходит обеднение какого либо подуровня в случае генерации с него, по сравнению с распределением Больцмана.

В результате проведенных расчетов обнаружено, что:

- при распределении населенности между подуровнями мультиплета  $^4F_{3/2}$  по Больцману верхняя граница температуры режима генерации двух длин волн 1064,2 и 1061,5 нм изменяется при увеличении длины резонатора со  $180^{\circ}\text{C}$  до  $230^{\circ}\text{C}$  (длина с 30 до 120 мм);
- при учете скорости релаксации населенности между подуровнями мультиплета  $^4F_{3/2}$  верхняя граница температуры режима генерации двух длин волн 1064,2 и 1061,5 нм изменяется при увеличении длины резонатора со  $170^{\circ}\text{C}$  до  $320^{\circ}\text{C}$  (длина с 30 до 120 мм), что противоречит общеизвестным данным [3].

### Список литературы.

1. Иевлев И.В., Корюкин И.В., Лебедева Ю.С. Хандохин П.А. *Непрерывная двухволновая генерация в микроchip-Nd:YAG-лазерах.* / Квантовая электроника. – 2011 – №8 – С.715.
2. Головков О.Л., Купцова Г.А., Степанов В.А., *Особенности спектра генерации YAG:Nd-лазера в режиме генерации двух длин волн* // Научно технический вестник СПбГУ. Физико-математические науки. – 2013 – №2 – С. 110-114.
3. Каминский А.А. *Лазерные кристаллы.* // Москва: Наука. – 1975 – 256 с.

## Влияние степени однородности линии усиления на спектр генерации YAG:Nd- лазера

*О.Л. Головков , Г.А. Купцова , В.А. Степанов  
(Рязань)*

Известно, что при комнатной температуре в YAG:Nd – лазере однородное уширение превосходит неоднородное, поэтому в нормальных условиях обычно происходит генерация 5 – 7 аксиальных мод при длине резонатора более 100 мм [1].

В настоящее время не существует теории, учитывающей влияние степени однородности на спектр генерации лазерного излучения. Известно выражение [2] для полного числа аксиальных мод  $2j+1$ , стационарно возбуждаемых при накачке  $A$ , полученное из решения системы уравнений лазерной генерации. Согласно расчету, при длине резонатора 120 мм генерируется 26 аксиальных мод, что не соответствует общеизвестным данным.

В данной работе в стационарное решение системы уравнений Танга, Статца, Демарса [3] введен фактор однородного уширения линии усиления, когда не все аксиальные моды, попадающие в контур линии усиления активной среды, могут участвовать в генерации лазерного излучения.

В результате проведенных расчетов установлено, что с ростом однородности линии уширения:

- уменьшается количество генерируемых аксиальных мод;
- увеличивается ширина спектра лазерной генерации;
- уменьшается минимальное значение разности внутрирезонаторных потерь, при которых осуществляется генерация двух длин волн 1064,2 и 1061,5 нм в нормальных условиях.

Также установлено, что при увеличении длины резонатора спектр генерации и число аксиальных мод практически не изменяются.

### Список литературы.

4. Г.М. Зверев, Ю.Д. Голяев, Е.А. Шалаев, А.А. Шокин. Лазеры на алюмоиттриевом гранате с неодимом.// Москва: Радио и связь. – 1985 – 144 с.
5. Ханин Я.И. Основы динамики лазеров. // Москва: Наука. Физматлит. – 1999. – 360 с.
6. Головков О.Л., Купцова Г.А., Степанов В.А. Особенности спектра генерации YAG:Nd-лазера в режиме генерации двух длин волн.// Научно технический вестник СПбГУ. Физико-математические науки. – 2013. – №2 – С.110-114.

**Имитатор аварийной ситуации на основе волоконно – оптической линии связи для проверки работы систем контроля корабельных атомных энергетических установок.**

*В.В. Давыдов, Карсеев А.Ю.  
(Санкт – Петербург)*

В последнее десятилетие почти все строящиеся надводные средние и крупные военные корабли, а также все подводные, за исключением специализированных, укомплектованы атомной энергетической установкой.

Для охлаждения атомных энергетических установок используется «тяжелая» вода, расход которой и её параметры контролируется ядерно – магнитными измерителями проточного типа. К параметрам «тяжелой» воды в данном случае относят времена продольной  $T_1$  и поперечной  $T_2$  релаксации, для измерения которых необходим сигнал ЯМР в форме «виглей» без искажений [1].

Сигнал ЯМР в форме «виглей» регистрируется на частоте модуляции 50 Гц. Период следования между регистрируемыми сигналами ЯМР составляет 0.01 мс. В случае существенного быстрого изменения состояния «тяжелой» воды по различным причинам экспериментально установлено, что между двумя сигналами ЯМР (один из которых соответствует состоянию среды до изменения, а другой состоянию среды сразу после изменения) изменится (в основном увеличится) временной интервал между сигналами. Причем это изменение будет носить однократный характер.

Измерив, насколько изменится временной интервал между сигналами, можно используя ранее полученные данные о таких событиях, а также другие результаты измерений осуществлять более достоверный прогноз развития ситуации и определять возможные причины случившегося изменения.

Для проверки работы устройств измеряющий этот временной интервал разработан имитатор аварийных ситуации на основе ВОЛС, так как в таких системах для передачи регистрируемого сигнала ЯМР применяются ВОЛС. Была разработана волоконно – оптическая линия задержки с оптическими переключателями для задержки сигнала ЯМР на несколько временных значений (например, 0.0015 мс).

Литература.

1. Davydov V.V., Dudkin V.I., Karseev A.U. Nuclear Magnetic Flowmeter – Spectrometer with Fiber – Optical Communication Line in Cooling Systems of Atomic Energy Plants. Optical Memory & Neural Networks (Information Optics). 2013. v. 22. N 2. p. 112 – 117.

## **Лазерный интерферометр для определения функции поверхности наконечников нанотвердомеров**

*Казиева Т.В., Кузнецов А.П., Губский К.Л., Решетов В.Н., Гоголинский К.В.  
(Москва)*

Лазерную интерферометрию применяют в технике линейно-угловых измерений более тридцати лет. Высокая потенциальная точность, помехоустойчивость и метрологичность гетеродинной интерферометрии обусловила выбор её в качестве основы для создания установки, способной служить эталоном длины в нанометровом диапазоне.

С использованием трехкоординатного гетеродинного интерферометра на базе специально разработанного СЗМ «НаноСкан-3Di» создан Государственный первичный специальный эталон единицы длины в области измерений геометрических параметров шероховатости в диапазоне от 1 нм до 1000 нм (ФГУП «ВНИИМС» г. Москва). Метрологические параметры прибора получили признание при сличении с другими средствами измерений как у нас в стране, так и за рубежом [1].

Дальнейшим развитием прибора стала система, предназначенная для внедрения в коммерчески доступные, серийно выпускаемые СЗМ.

В результате взаимодействия зондов нанотвердомеров с разными материалами происходит изменение его формы, поэтому, необходимо осуществлять периодическую поверку прибора. Для этой цели и разрабатывается трехкоординатный гетеродинный интерферометр для измерения перемещений с субнанометровой точностью (SNDI-100). Создание новой оптической схемы было осложнено необходимостью учитывать особенности геометрии нанотвердомеров.

Разработанная схема обладает рядом особенностей. Во-первых, эффективная минимизация размеров прибора за счет осуществления волоконного ввода, погружении пьезо-столика в несущую платформу и разведение лучей с помощью поляризационного светоделителя. Во-вторых, устранение неопределенностей связанных с такими явлениями, как нагревание платформы лазером (термодрейф), ошибка Аббе.

### **Литература**

1. Гоголинский К.В., Губский К.Л., Кузнецов А.П., Решетов В.Н. и др. Метрологическое обеспечение измерений линейных размеров в нанометровом диапазоне // Наноиндустрия. 2012. Т. 31. С. 48–52



## **Обоснование способа и устройства дистанционного оптического контроля профиля поверхности диска ГТД в процессе раскатки при высоких температурах**

*В.В. Качалов, В.Я. Менделеев.*

*(Москва)*

В настоящее время ФГУП «НПЦ газотурбостроения Салют» внедряет новый метод сверхпластической деформации [1] для изготовления дисков газотурбинных двигателей. Он заключается в повышении однородности жаропрочных сплавов путем интенсивной деформационно-термической раскатки деталей при температурах 1000-1150°C. Серьёзной проблемой этого метода является появление избыточных напряжений в зоне контакта роликов и заготовки, что приводит к отклонениям профиля раскатываемой части диска от заданной геометрии. Для повышения эффективности раскатки начаты исследования возможности контроля напряжений по отклонению профиля диска от заданной формы. Это потребовало разработки способа и устройства дистанционного контроля профиля диска в процессе раскатки. На начальном этапе разработки были проведены экспериментальные исследования отражательных характеристик жаропрочного сплава ВТ6 в диапазоне температур от 600 до 1150°C. Исследования показали возможность регистрации лазерных сигналов, отраженных исследованным сплавом вплоть до температур 1150°C. По результатам этого исследования разработано устройство дистанционного оптического контроля профиля поверхности диска ГТД в процессе раскатки при высоких температурах. В состав устройства входят: оптический датчик, осуществляющий подсветку поверхности образца жаропрочного материала, обработку оптического сигнала, отраженного образцом и аналого-цифровое преобразование сигнала; канал цифровой обработки сигнала датчика и определитель формы поверхности образца; линейные трансляторы для перемещения лазерного датчика вдоль радиуса раскатного диска и перпендикулярно линии лазерного зондирования; фотоэлектронная система контроля мощности излучения датчика; компьютер; программное обеспечение для управления трансляторами и процессами обработки сигналов, а также для визуализации результатов измерений.

### **Литература**

1. Utyashev F.Z. "Scientific fundamentals of high-efficiency roll forming technology for axially symmetrical parts of a gas turbine engine rotor of high temperature alloy" Journal of Machinery Manufacture and Reliability, DOI: 10.3103/S105261883050154

## **Методы генерации и модуляции излучения ТГц диапазона**

*Г.Х.Кутаева, А.В.Шепелев*

*(Москва)*

Когерентное и некогерентное преобразование лазерного излучения в терагерцовое (ТГц) излучение широко используется для создания источников излучения в этой области. Различные способы такого преобразования имеют свои преимущества и недостатки.

Когерентные методы основаны на нелинейно-оптических процессах генерации разностной частоты и позволяют получать ТГц излучение относительно высокой мощности за счет фазового согласования волн в среде и возможности использования высоких импульсных мощностей накачки, обычно в схемах оптического выпрямления фемтосекундных импульсов. Однако лазерные источники наносекундных импульсов привлекательны благодаря компактности и возможности внелабораторного использования. Анализируются результаты и перспективы применения нового метода генерации, основанного на оптическом выпрямлении широкополосных Фурье-неограниченных лазерных импульсов наносекундной длительности.

Некогерентная генерация ТГц излучения осуществляется вследствие быстрой диффузии фотовозбужденных носителей под действием фемтосекундной лазерной накачки, попадающей в область фундаментального поглощения полупроводника. На эффективность преобразования существенное влияние оказывают внутрикристаллические поля, обусловленные неоднородностями. Серия экспериментов с контролируемыми внутрикристаллическими полями, возникающими под действием высокоэнергетичных (100 МэВ) ионов позволила прояснить механизмы преобразования и увеличить его эффективность более чем на порядок.

Проблемы освоения ТГц диапазона ставят также задачу разработки методов быстрой модуляции данного излучения. Анализ процесса релаксации «теплых» носителей в полупроводниках показывает возможность осуществления этого путем приложения внешнего электрического поля. С учетом всех важнейших процессов рассеяния и релаксации носителей заряда рассчитаны коэффициенты отражения и пропускания в зависимости от поля, температуры и концентрации носителей; частота модуляции при этом может достигать величины не менее десятков гигагерц. В случае взаимодействия с поверхностью полупроводника достаточно мощного излучения к изменению диэлектрической проницаемости приводит поле волны. Проведенные расчеты позволили получить спектральные, температурные и концентрационные зависимости нелинейной восприимчивости ряда полупроводников АПБВ в ТГц и миллиметровом диапазонах.

## **Эмиссионные эффекты при воздействии лазерного излучения на сегнетоэлектрики**

*Ю.В. Коробкин, В.А. Давыдов, И.В. Романов  
(Москва)*

Наличие спонтанной поляризации, возможность эффективного управления ею и другими электродинамическими параметрами сегнетоэлектриков являются причиной их широкого использования в научных исследованиях и в ряде технических устройств.

Так, спонтанной поляризацией можно управлять при помощи изменения температуры [1], приложения внешних электрических полей [2], а также воздействия лазерного излучения [3].

В настоящей работе мы остановимся на двух эффектах, возникающих при импульсном нагреве сегнетоэлектрика мощным лазерным излучением.

Во-первых, мы рассмотрим электромагнитное излучение сегнетоэлектрического образца, возникающее благодаря изменению его спонтанной поляризации вследствие лазерного нагрева. Спектр этого излучения лежит в основном в радиодиапазоне, а сам эффект оказывается весьма значительным и вполне доступным экспериментальному наблюдению. Теоретические расчеты этого излучения в дипольном приближении были проверены в экспериментах при нагреве сегнетоэлектрических кристаллов импульсами неодимового лазера. В результате было показано, что соответствующие радиационные эффекты действительно имеют место. Мы проведем сравнение экспериментальных результатов с предсказаниями теории.

Во-вторых, мы рассмотрим эффекты возникновения мощных токовых импульсов при быстром изменении спонтанной поляризации благодаря лазерному нагреву. Хотя основной целью данных экспериментов является разработка эмиттеров мощных электронных пучков, необходимых в ускорительной или рентгеновской технике, определение зависимости тока от времени (и даже его интегральных характеристик – протекших зарядов) может дать важную информацию о нестационарной динамике спонтанной поляризации, возникающей под влиянием внешних воздействий.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проекты №12-02-01156 и № 12-02-00708).

### **Литература.**

1. Gundel H., Riege H., Wilson E.J.N. // Nukl. Instruments and Methods in Phys. Res. 1989, A280, N1, p.1
2. Riege H., Boscolo I., Handerek J. et al. // J. Appl. Phys. 1998, v.84, N3, p.1602
3. Ю.В. Коробкин, В.Б. Студенов, О.А. Пельтихин, А.В. Чернышов // Письма в ЖТФ, 1990, т.16, №13, с.19.

## **Анализ информативности поляризационных и нефелометрических измерений в диагностике микрофизических параметров эритроцитов**

*М. М. Кугейко, Д. А. Смунов*

*(Минск)*

В работе рассматриваются возможности применения принципов корреляционной нефелометрии для определения микрофизических параметров эритроцитов крови человека с использованием угловых поляризационных характеристик  $P(\Theta)$  и коэффициентов направленного рассеяния  $\beta(\Theta)$ . Эритроциты представлены в сферическо-симметричном виде, характеризующиеся индикатрисой рассеяния, рассчитываемой по формулам Ми. Для каждого микрофизического параметра получены регрессионные соотношения между ними и измеряемыми оптическими характеристиками:

$$\ln(x_i) = a_0 + \sum_{j=1}^n a_j \ln(y_j),$$

где  $x_i$  – микрофизическая характеристика,  $y_j$  – коэффициент направленного рассеяния или коэффициент линейной поляризации,  $j=2\div 3$ .

Получение коэффициентов регрессионных уравнений осуществлялось с наложением на рассчитанные значения оптических характеристик погрешностей (для  $\beta(\Theta)$  – 15% на углы 1-10°, 5%- на все остальные углы; для поляризации – 5%). При использовании полученных регрессионных уравнений средние по выборке погрешности не превышают единиц процентов. Использование 3 углов даёт возможность снижения погрешности на 1–3% по сравнению с использованием 2-ух углов. Для счетной концентрации  $N$  поляризационные измерения использовать нецелесообразно, т.к. коэффициент линейной поляризации равен отношению интенсивностей параллельно и перпендикулярно поляризованных световых потоков, где величина каждого зависит от  $N$ .

Наилучшая точность при определении  $r_0$ ,  $\Delta r$  получена при использовании 3-ёх измерений поляризации соответственно на углах 8, 11, 139 и 148, 162, 176 градусов. Для  $r_0$  погрешность: средняя по выборке 1,4%, для  $\Delta r$  погрешность: средняя по выборке 2%. Для  $n$ ,  $r_{эф}$ ,  $V_{ср}$  наименьшие погрешности получаются при 6 измерениях (3 коэффициента рассеяния, поляризация  $P(\Theta)$  при 3 углах). Соответственно для  $n$  – при  $\beta(\Theta)$ , равным 23, 94, 150 и  $P(\Theta)$  для углов 5, 26, 30 градусов, погрешность: средняя по выборке 0,8%; для  $r_{эф}$  – при 7, 12, 15 градусах для  $\beta(\Theta)$  и 8, 11, 137 градусах для  $P(\Theta)$  погрешность: средняя по выборке 1,4%; для  $V_{ср}$  – при 4, 12, 15 градусах для  $\beta(\Theta)$  и 148, 162, 176 градусах для  $P(\Theta)$  средняя по выборке погрешность 2,3 %.

## Оперативный метод определения параметра асферичности эритроцитов по коэффициенту направленного рассеяния

*М. М. Кугейко, Д. А. Смунов*

*(Минск)*

Рассматривается применение принципов корреляционной спектронефелометрии для определения МФП, параметров функции распределения эритроцитов по объему и параметра формы – асферичности эритроцитов, а также возможность упрощения процесса измерений (за счет использования двух коэффициентов направленного рассеяния). Используемая нами модель эритроцитов предполагает, что все они имеют форму сплюснутых сфероидов. Их оптические характеристики рассчитывались с помощью метода дискретных диполей. Распределение эритроцитов по объёму моделируется обобщенным гамма-распределением.

Для каждого микрофизического параметра были получены регрессионные соотношения между угловыми коэффициентами рассеяния и конкретным микрофизическими параметрами. Коэффициенты для уравнений множественной регрессии рассчитывались при использовании двух углов по методу наименьших квадратов. Производилось сравнение рассчитанных и задаваемых значений коэффициентов асферичности. Уравнения множественной регрессии для каждого МФП имеют вид:

$$\lg(p) = a_0 + a_1 \lg(\beta(\Theta_1)) + a_2 \lg(\beta(\Theta_2)), \text{ где } a_i \text{ и } \vartheta_i \text{ представлены в таблицах.}$$

| МФП        | $\Theta_1$ | $\Theta_2$ |
|------------|------------|------------|
| $D$        | 5          | 12         |
| $e$        | 5          | 12         |
| $V_0$      | 3          | 9          |
| $\Delta V$ | 3          | 9          |
| $n$        | 7          | 14         |

| МФП        | $a_0$   | $a_1$   | $a_2$   |
|------------|---------|---------|---------|
| $D$        | 2.1892  | -0.3208 | 0.2216  |
| $e$        | 4.0179  | -0.7815 | 0.4941  |
| $V_0$      | 0.5708  | 0.2190  | -0.1093 |
| $\Delta V$ | 1.0552  | 0.4365  | -0.2140 |
| $n$        | -4.3541 | 0.3054  | 0.0283  |

где  $V_0$  – модальный объём,  $\Delta V$  полуширина распределения эритроцитов по объему,  $n$  – показатель преломления,  $e$  – параметр асферичности,  $D$  – где  $D$  большая и ось эллипса.

Таким образом, предложенный авторами метод может использоваться для оперативного определения важного дополнительного диагностического параметра формы эритроцита – асферичность, не используемого ранее на практике.

## Использование азимутально-неоднородного температурного поля для вытяжки оптических волокон с эллиптической световедущей сердцевинной

А.А. Маковецкий, А.А. Замятин, Г.А. Иванов, В.А. Аксенов

(г. Фрязино, Московской обл.)

Одномодовые оптические волокна (ОВ) с эллиптической световедущей сердцевинной являются разновидностью волокон с двулучепреломлением, сохраняющих поляризацию введенного в них излучения. В них различие в постоянных распространения ортогональных поляризованных мод возникает в силу геометрической формы световедущей сердцевинной – ее эллиптичности (некруглой формы поперечного сечения). Хотя такие ОВ несколько уступают по параметрам волокнам с фотоупругим механизмом двулучепреломления (ОВ типа “панда”, “галстук-бабочка”, с эллиптической напрягающей оболочкой), они обладают большей термостабильностью свойств и более простой структурой. Целью данной работы является экспериментальное исследование возможности формирования ОВ с эллиптической сердцевинной оригинальным способом – путем непосредственной перетяжки на вытяжной установке трубы-заготовки ОВ при использовании высокотемпературной печи с азимутально-неоднородным температурным полем и разрежения внутри трубы-заготовки.

Эксперименты были проведены на вытяжной установке, описанной в работе [1]. Использовались трубы-заготовки со слоями составов  $Si_2*F$  (отражающая оболочка) и  $Si_2$  (сердцевина); разрежение –  $50 \div 350$  Па. Получены образцы ОВ с эллиптической сердцевинной и отношением длины большой оси эллипса к длине малой его оси  $1,0 \div 6,0$  (Рис.1), измерены их оптические параметры. Таким образом, предложенный метод позволяет формировать ОВ с широким диапазоном эллиптичности световедущей сердцевинной непосредственно во время вытяжки ОВ.

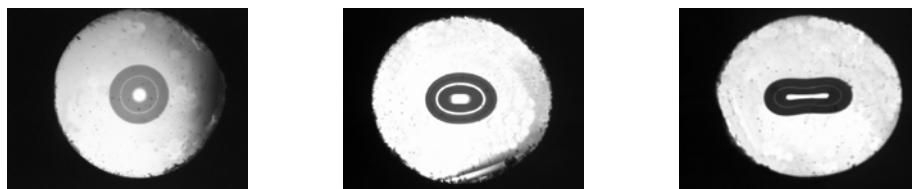


Рис.1. Поперечные сечения волокон, полученных при различных режимах вытяжки.

### Литература

1. А.А. Маковецкий, А.А. Замятин, Г.А. Иванов, И.П. Шилов. Вытяжка капилляров и оптических волокон при использовании высокотемпературной печи с азимутально-неоднородным температурным профилем температурного поля. // Научно-технические ведомости СПб ГПУ. Серия Физико-математические науки. 2013, № 4-1 (182), стр. 172 - 182.

## **Распознавание объектов по лазерным изображениям**

*Г.Н. Мальцев, Г.И. Афонин*

*(Санкт-Петербург)*

Современные направления развития средств оптических измерений и дистанционного зондирования предполагают использование как традиционных методов формирования некогерентных изображений в естественной подсветке, так и методов формирования изображений с лазерной подсветкой объектов наблюдения. Регистрируемые при лазерной подсветке наблюдаемых объектов лазерные изображения обладают спекл-структурой, ухудшающей их визуальное качество и затрудняющей распознавание объектов. В то же время при отсутствии естественной подсветки или при большом уровне фонового шума использование лазерной подсветки является единственно возможным. Для обоснования характеристик информационных и измерительных систем, формирующих лазерные изображения, необходимо исследование характеристик распознавания объектов по изображениям со спекл-структурой. Для оценки разрешающей способности оптических систем и характеристик распознавания объектов по изображениям общепринятым является использование метода порогового контраста, основанного на решении частотно-контрастного уравнения. В предположении, что при распознавании объектов по лазерным изображениям действуют те же закономерности зрительного восприятия, что и в случае распознавания по некогерентным изображениям, было выполнено обобщение метода порогового контраста на оптические системы, формирующие изображения со спекл-структурой. Учет свойств лазерных изображений осуществляется за счет использования эквивалентной частотно-контрастной характеристики оптической системы и введения в пороговую характеристику системы регистрации составляющей, характеризующей спекл-шум, связанный со спекл-структурой лазерных изображений. Основными свойствами лазерных изображений, существенными с точки зрения распознавания по ним наблюдаемых объектов, является соответствие огибающей спекл-структуры формируемому при тех же условиях некогерентному изображению, и ограничение пространственных частот, передаваемых оптической системой, вследствие дискретности представления огибающей при регистрации изображения. На основании анализа статистических свойств спекл-структуры лазерных изображений получены аналитические выражения для эквивалентной частотно-контрастной характеристики оптической системы, формирующей изображения со спекл-структурой, и пороговой характеристики спекл-шума. Представлены результаты расчетов разрешающей способности оптических систем и вероятности распознавания в различных

условиях формирования лазерных изображений и их сравнения с характеристиками некогерентных оптических систем в тех же условиях функционирования.

### **Определение характеристик динамических гониометров для калибровки преобразователей угла с использованием кольцевого лазера**

*Е. М. Иващенко, П. А. Павлов  
(Санкт-Петербург)*

В связи со стремительным ростом производства преобразователей угла и увеличением требований к их точности и быстродействию все больший интерес представляют средства их метрологического обеспечения – динамические гониометры.

К динамическим гониометрам предъявляется комплекс требований – это высокая разрешающая способность и точностные характеристики, возможность контроля преобразователей во всем динамическом диапазоне их работы.

Кольцевые лазеры имеют сверхвысокое разрешение и точность, но работают в ограниченном динамическом диапазоне, что не позволяет их использовать в задачах калибровки преобразователей угла в качестве образцовой круговой шкалы. Поэтому, широкое распространение получили динамические гониометры с оптическим датчиком угла, недостатком которых является относительно большая величина систематической погрешности. Комплексование кольцевого лазера и оптического датчика угла позволяют успешно определять систематические погрешности обоих преобразователей.

В докладе представлены методы и результаты определения систематической погрешности оптического датчика угла с использованием кольцевого лазера.

### **Экспериментальная установка для исследования теплофизических свойств анизотропно шероховатых поверхностей при высоких температурах**

*В.Я. Менделеев, В.В. Качалов, А.В. Курилович, И.В. Животовский, Г.А. Сычев, А.Ю.Каплин  
(Москва)*

Оптимальность технологических процессов при лазерном воздействии существенно зависят от теплофизических свойств поверхности, на которую воздействует лазерное



излучение. Экспериментальные данные о начале плавления и полном плавлении поверхностного слоя позволяют оптимизировать процесс лазерного воздействия. В настоящее время плавление материалов контролируют по динамике отражательной способности поверхности во время лазерного воздействия [1]. Однако на отражательную способность поверхности влияют по-разному зависящие от температуры оптические постоянные и топография шероховатости поверхности, что не позволяет однозначно судить о процессе плавления поверхностного слоя. В связи с этим предложено контролировать процесс поверхностного плавления по динамике пространственного распределения зондирующего излучения, рассеянного анизотропно шероховатой поверхностью. В настоящей работе описывается установка, позволяющая экспериментально исследовать процесс плавления анизотропно шероховатых металлических поверхностей при импульсно-периодическом лазерном нагреве и нагреве непрерывным тепловым излучением. Для лазерного нагрева используется лазерная система на парах меди, позволяющая генерировать импульсное когерентное излучение наносекундной длительности с пиковой мощностью 100-200 кВт и средней мощностью до 20 Вт на длинах волн 510 нм и 578 нм. Для нагрева тепловым излучением используется трубчатая печь, позволяющая нагревать исследуемые образцы до 1200°C. В состав установки входят лазерный рефлектометр на длине волны 660 нм, регистратор пространственного распределения излучения, рассеянного шероховатой поверхностью, датчик интенсивности теплового излучения исследуемой поверхности, измерители температуры исследуемой поверхности на базе платина-платина/родий термопары и оптического пирометра. Регистрация величин, измеряемых в эксперименте, осуществляется автоматически с помощью компьютера.

### Литература

1. H. Kwon, W.-K. Baek, M.-S. Kim, W.-S. Shinb, J.J. Yoh "Temperature-dependent absorptance of painted aluminum, stainless steel 304, and titanium for 1.07 mm and 10.6 mm laser beams" Optics and Lasers in Engineering vol. 50 p. 114–121 (2012).

# Теоретическое и экспериментальное исследование рассеяния лазерного излучения одномерно шероховатыми поверхностями в конической геометрии

*В.Я. Менделеев*

*(Москва)*

Оптические измерения интенсивности излучения, рассеянного одномерно шероховатыми поверхностями, очень часто осуществляется в конической геометрии [1]. Тем не менее, результаты исследований такого рассеяния опубликованы лишь в нескольких работах и при углах падения, не превышающих  $15^\circ$  [1-6]. Основной причиной этого является сложность проверки согласия экспериментальных данных, полученных в конической геометрии, с теоретическими оценками, полученными по математическим выражениям, приведенным для рассеивающей поверхности, описанной в декартовой системе координат. В настоящей работе представлена методика, позволяющая проверить согласие теории и эксперимента, и эта методика использована для сравнения теоретических и экспериментальных данных, полученных при углах падения  $30^\circ$  и  $60^\circ$  и отношениях  $\sigma/\lambda < 1$  и  $\sigma/\lambda > 1$ , где  $\sigma$  - среднеквадратическое отклонение шероховатости поверхности и  $\lambda = 633$  нм - длина волны лазерного излучения.

## Литература

1. R.A. Depine, Antispecular enhancement in s- and p-polarized electromagnetic waves scattered from random gratings. Opt. Lett. Vol. 16 (1991) 1457-1459.
2. R.A. Depine Scattering of light from one-dimensional random rough surfaces: a new antispecular effect in oblique incidences J. Opt. Soc. Am. A Vol.10, 920-927 (1993)
3. R.E. Luna Scattering by one-dimensional random rough metallic surfaces in a conical configuration: several polarizations Optics Letters Vol. 21, 1418-1420 (1996)
- 4.. R.E. Luna, E.R. Mendez Scattering by one-dimensional random rough metallic surfaces in a conical configuration Optics Letters Vol. 20, No. 7, 657-659 (1995)
5. R.E. Luna Scattering by rough surfaces in a conical configuration: experimental Mueller matrix Opt. Lett. Vol. 27, No. 17, 1510-1512 (2002).
6. S. Hinojosa, R. E. Luna, Characteristic properties of the conical Mueller matrix Opt. Commun. Vol. 250 213-217 (2005).

**Условия, при которых ориентация канавок одномерно шероховатой поверхности не влияет на интенсивность излучения, отраженного в зеркальном направлении**

*В.Я. Менделеев*

*(Москва)*

В современных высокотемпературных энергетических установках широко используются конструкционные материалы, полученные путем фрезерования, точения и шлифования. Такие материалы имеют ярко выраженную однонаправленно шероховатую поверхность, отражательные и поглощательные свойства которой существенно влияют на технические и эксплуатационные характеристики энергетических установок. В теоретических и экспериментальных исследованиях [1] в основном уделяется внимание оптическим свойствам поверхностей с канавками, ориентированными перпендикулярно плоскости падения. В представляемой работе теоретически и экспериментально исследуется влияние ориентации канавок одномерно шероховатой поверхности на интенсивность лазерного излучения, отраженного в зеркальном направлении и определяются условия, при которых ориентация канавок шероховатости не влияет на интенсивность отраженного излучения. В экспериментах использовалось лазерное излучение на длине волны  $\lambda=633$  нм и однонаправленно шероховатые стальные поверхности со среднеквадратическим отклонением шероховатости в диапазоне 96-501 нм. Канавки шероховатости ориентировались параллельно и перпендикулярно плоскости падения. Углы падения варьировались в диапазоне 6-82°. В результате проведенных исследований было установлено, что ориентация канавок шероховатости не влияет на интенсивность отраженного излучения (1) при углах падения, близких к нормальному, для всех исследованных шероховатостей и (2) при углах падения до 82°, если среднеквадратическое отклонение шероховатости поверхности не превышает  $\sim 0.25\lambda$ .

**Литература**

1. V. Ya. Mendeleyev, S. N. Skovorodko Experimental study of influence of smooth surface reflectance and diffuse reflectance on estimation of root mean square roughness. Optics Express. V.19. P.6822-6828 (2011).

## **Лазерный контроль плавления анизотропно шероховатой металлической поверхности**

*В.Я. Менделеев, В.В. Качалов*

*(Москва)*

В научных исследованиях экстремального состояния веществ и технологических процессах обработки материалов широко применяется интенсивное лазерное излучение. Принципиальным положением, определяющим поведение веществ и материалов при интенсивном лазерном воздействии, является установление закономерностей поведения теплофизических свойств в начале плавления и при полном плавлении исследуемой среды [1]. Цель нашего исследования заключалась в установлении зависимости пространственного распределения интенсивности лазерного излучения, коэффициента отражения и микроструктуры поверхности металлического образца от температуры. В эксперименте исследовались стальные образцы, поверхность которых до эксперимента имела анизотропную шероховатость в виде канавок, ориентированных преимущественно в одном направлении. При этом в качестве индикатора изменения поверхностной структуры металла использовалась трансформация исходно анизотропной шероховатости поверхности в изотропную шероховатость. Исследуемый образец нагревался в высокотемпературной печи от комнатной температуры до температуры 1000°C. Пространственное распределение интенсивности лазерного излучения на длине волны 660 нм, рассеянного исследуемым образцом, регистрировалось датчиком изображения. Синхронно с пространственным распределением интенсивности излучения регистрировались температура и коэффициент зеркального отражения образца. Постепенная трансформация анизотропной шероховатости и анизотропного рассеяния в изотропную шероховатость и изотропное рассеяние наблюдалась в диапазоне температур 800-934°C. При этом область постоянства отражательной способности образца при температуре 805-870°C соответствовала начальному этапу плавления поверхности. Полное диффузное рассеяние наблюдалось при температуре 934°C.

### **Литература**

1. N. Rotenberg, A.D. Bristow, M. Pfeiffer, M. Betz, H.M. van Driel "Nonlinear absorption in Au films: Role of thermal effects" Physical Review B vol. 75, 155426 (2007).

## **Лазерное излучение твердых растворов $\text{CdS}_x\text{Se}_{1-x}$ , возбуждаемых электронным пучком и разрядом**

*А.С. Насибов, К.В. Бережной, М.Б. Бочкарев, А.Г. Садыкова,*

*П.В. Шапкин, С.А. Шунайлов*

*(Москва, Екатеринбург)*

Исследовано лазерное излучение полупроводниковых мишеней (ПМ) газового диода из твердых растворов  $\text{CdS}_x\text{Se}_{1-x}$ , возбуждаемых электронным пучком (ЭП) и разрядом, при разных значениях  $x$ . В первом случае генерация возбуждалась ЭП с энергией 170 кэВ и длительностью 100пс, при давлении газа (воздух)  $p=0.1\text{Тор}$ . Максимальная мощность 125 и 96 кВт достигалась, соответственно, при  $x\approx 0.2$  ( $\lambda=677\text{ нм}$ ) и  $x=1$  ( $\lambda=522\text{ нм}$ ). Наименьшая мощность (26кВт) наблюдалась в желто-зеленой области спектра. Максимальная дифференциальная эффективность в этих экспериментах достигала 9%. Обсуждаются причины снижения мощности в желто-зеленой области. Экспериментальные данные хорошо согласуются с результатами расчетов. Во втором случае, исследовалось излучение ПМ, возбуждаемое импульсами напряжения 100кВ, при атмосферном давлении. На ПМ толщиной  $\sim 1\text{-}10\text{мм}$  наблюдалась генерация лазерного излучения в желто-зеленой области спектра с максимальной мощностью 10кВт. Для улучшения расходимости излучения применено оптическое волокно с увеличивающимся диаметром. На пороге генерации, при возбуждении ЭП или разрядом, наблюдалась точечная структура ближней зоны генерации. Обсуждаются возможные причины ее образования. Работа выполнена при поддержке РФФИ грант №12-08-00263-а.

## **Расчётное моделирование оптической системы многопроходной лазерной установки УФЛ-2М.**

*С.А. Бельков\*, И.Н. Воронич\*, А.Л. Воронов\*, Н.В. Воронина\*, И.Н. Деркач\*, И.В. Епатко\*\*,*

*Р.В. Серов\*\*, Н.А. Филатова\*, И.Е. Чернов\**

*(\*Саров, \*\* Москва)*

В докладе представлены результаты работ по созданию расчётных 3D-моделей оптической системы силового канала мощной неодимовой лазерной установки УФЛ-2М[1]. С использованием представленных моделей проводятся расчёты трассировки лучей и распространения излучения с целью оптимизации конструкций силового канала установки, формирования требований к изготовлению оптических элементов.

## **Формирование и детектирование оптических сигналов. Квантовый подход и классическое приближение**

*О.Д. Москалец  
(Санкт-Петербург)*

Формирование оптических сигналов рассматривается как результат действия операторов рождения  $a^+$  фотонов в момент  $t_j$ , что обуславливает характерное для квантовых представлений скачкообразное изменение энергии оптического сигнала во времени. Этот процесс рассматривается на время - частотной плоскости [1] и описывается двухмерной функцией скачков, которая представляет совместное изменение энергии оптического сигнала во времени и по частоте. Изменение энергии оптического сигнала во времени  $E(t)$  описывается лестницей Кантора, а мгновенная мощность  $p_q(t) = E'(t)$  выражается последовательностью  $\delta$  – функций с коэффициентами, равными величине скачка лестницы Кантора, т.е. модулированной по амплитуде и частоте следования функцией  $\hbar\omega_i \text{comb}(t-t_j)$ , где  $\hbar\omega_i$  – энергия родившегося фотона. Моменты скачков лестницы Кантора образуют счетное множество  $\{t_j\}$ .

В процессе фотодетектирования участвуют фотоны с энергиями  $E > \hbar\omega_0$ , где  $\omega_0$  – красная граница фотоэффекта. Каждый из этих фотонов с вероятностью  $\eta$  обеспечивает рождение одного электрона, внося тем самым свой вклад в фототок в форме наведенного тока. Рождение электрона можно рассматривать как результат действия в момент  $t_k$  оператора рождения  $a_e^+$  электрона.

Действие оператора рождения  $a_e^+$  электрона вызывает скачкообразное изменение заряда во времени  $q(t)$ . Соответствующее изменение во времени электрического тока  $i(t) = q'(t)$  описывается последовательностью  $\delta$  – функций, т.е функцией  $e \cdot \text{comb}(t-t_0-t_k)$ , где  $e$  – заряд электрона,  $t_0$  – промежуток времени от момента действия оператора рождения  $a^+$  фотонов до момента действия оператора  $a^-$  уничтожения фотона, т.е. до момента действия оператора рождения  $a_e^+$  электрона.

Величина фототока пропорциональна мощности падающего на фотоприемник оптического сигнала, при этом квантовое описание фототока, как и квантовая мощность оптического сигнала описываются соответствующими последовательностями  $\delta$  – функций.

Счетное множество  $\{t_k\} \subset \{t_j - t_0\}$ , и степень его соответствия определяется величинами  $\omega_0$  и  $\eta$ .

Применение операций усреднения [2] обуславливает переход к классическим функциям, описывающим мгновенную мощность оптического сигнала и фототока.

### *Литература*

1. Москалец О.Д. Энергетический подход в теории сигналов и передаче информации// Вестник СПбО АИН. 2008, Вып.№5. С. 263-281.
2. Москалец О.Д. Электромагнитные сигналы в квантовой электронике: квантовое описание и классическое приближение// Известия вузов. Физика.2001, т. 44, №10. С. 5-12.

## Оптический метод исследования накопления и релаксации заряда в диэлектрике

*В.Л.Борисов, М.Э.Борисова*

*(Санкт-Петербург)*

Накопление электрического заряда в диэлектрике и его последующая релаксация представляет интерес с различных точек зрения. Во-первых, изучение этих процессов позволяет выяснить их механизмы и разработать способы влияния на них. Во-вторых, накопление и релаксация заряда определяют характеристики таких устройств как оптические приборы преобразования информации, поступающей в виде электрических сигналов, в изображение: быстродействие, пространственное разрешение. Время формирования изображения и время его сохранения, а также время его последующего удаления (стирания) определяются именно этими процессами.

Оптический метод имеет преимущество перед электронно-лучевым, так как является невозмущающим и неразрушающим методом. Кроме того, он позволяет изучать зарядовое состояние не только поверхности диэлектрика, но и его объема.

В данной работе проведено исследование процессов накопления и релаксации заряда в облученных электронами диэлектрических слоях  $MgO+Al_2O_3$ , использующихся в качестве эффективных эмиттеров вторичных электронов. Количественные данные, характеризующие эти процессы, были получены с помощью электрически управляемого модулятора ТИТУС.

Как известно, в этом приборе электрический сигнал преобразуется в изображение с использованием линейного электрооптического эффекта Поккельса, состоящего в наведении электрическим полем в кристалле ДКДР двойного лучепреломления  $\Delta n = 0,5n_0^3 R_{ij}E$ , где  $n_0=1,5$  –показатель преломления,  $R_{ij}$ - электрооптический коэффициент,  $E$  – напряженность электрического поля, определяемая зарядом на слое диэлектрика. Изменение этого заряда в процессе его накопления или релаксации отражается на величине  $E$  и  $\Delta n$ , что может быть зарегистрировано при измерении интенсивности считываемого светового пучка, генерируемого лазером ЛГ-79 и зондирующего кристалл в области зарядного пятна.

Величина и знак потенциала поверхности диэлектрика, а следовательно, и электрическое поле в кристалле определяются энергией электронов и потенциалом коллектора вторичных электронов, которым служила сетка, расположенная вблизи диэлектрика.

Эксперименты показали, что накопление положительного заряда в диэлектрике идет с меньшей скоростью по сравнению с накоплением отрицательного заряда, а процесс релаксации положительного заряда, наоборот, идет быстрее, чем отрицательного. Это различие, вероятно, обусловлено большей подвижностью в диэлектрике электронов по сравнению с дырками.

## Автокоррелятор одиночных световых импульсов на основе бипризмы Френеля

В.А.Глухов, И.Р.Куликов, Ю.А.Толмачев

(Санкт-Петербург)

Источники света, которые исследует оптическая спектроскопия, обычно излучают случайный во времени световой поток. Характеристикой их спектра, имеющей физический смысл, является, спектр мощности. Спектральные приборы строятся по двум дополнительным схемам. Первая – это узкополосный фильтр и фотоприемник, регистрирующий мощность излучения. Вторая – измерение функции автокорреляции светового потока и ее фурье-преобразование. Применение второго метода возможно, если источник света стационарен в течение минимального времени изменения разности хода фурье-спектрометра (более  $10^{-3}$  с). Достоинством метода является получение информации обо всем спектре одновременно. Ограничение в требовании стационарности снимается в фурье-спектрометрах, где механическое изменение времени задержки одного сигнала по отношению к другому заменяется на изменение задержки в пространстве.

Такая возможность реализуется в корреляторе со сходящимися под углом  $2\alpha$  плоскими волнами с одинаковой зависимостью амплитуды от времени  $f(t)$ , снабженном пространственно-чувствительным плоским фотоприемником, регистрирующим распределение экспозиции  $H(t)$ . Как показано в [1],

$$H(x) = \int_{-\infty}^{\infty} [f(t)]^2 dt + \int_{-\infty}^{\infty} [f(t + x \sin \alpha / c)]^2 dt + 2 \int_{-\infty}^{\infty} f(t) f(t + x \sin \alpha / c) dt \quad (1)$$

Для измерения функции  $H(x)$ , характеризующей время когерентности ультракоротких импульсов, нами создана установка, состоящая из коллиматора, бипризмы и CCD-матрицы. Испытания производились с помощью источников монохроматического излучения (светодиодов) и галогенной лампы накаливания. В качестве примера на рис. 1 приводится интерференционная картина для белого света ( $T \approx 3000\text{K}$ ). Фурье-преобразование интерферограммы позволяет найти спектр мощности излучения.

Как видно из (1), освещение половин бипризмы двумя различными источниками позволяет измерить функцию взаимной когерентности и определить взаимный спектр сигналов, что предполагается применить при исследовании фемтосекундных импульсов.



Рис. 1

1. Ю.А.Толмачев, Цзюэ Ван. Особенности интерференции ультракоротких импульсов.// Вестник СПбГУ. Сер. 4, 2006, вып. 1. С. 39-46.



**Исследование фазовых искажений активного элемента  
импульсно-периодического лазера**

*М.С.Глушков, А.А.Верецагин, А.В.Виноградов*

*(Саров)*

Значительные прогресс, достигнутый в последние годы в физике твердотельных лазеров, связан с разработкой и исследованием нового поколения лазеров - твердотельных лазеров с оптической накачкой лазерными диодами [1-8]. Продвижения в технологии позволяют рассматривать возможность создания мощных импульсно-периодических твердотельных лазеров с частотой повторения импульсов порядка десятков герц и энергией 100 Дж [2,4,5].

В нашей экспериментальной схеме реализовано зигзагообразное распространение излучения по активной среде. Ключевым моментом при создании лазерных систем является качество активных элементов. В работе показаны результаты тестирования активных элементов при помощи интерференционной методики. Проведены исследования оптических искажений, вносимых активным элементом силового усилителя, при работе лазера в импульсно-периодическом режиме, а также представлены результаты компенсации оптических неоднородностей, возникающих в активной среде в плоскости перпендикулярной направлению распространения излучения.

*Литература*

1. Fan T.Y., The LINCOLN LABORATORY JOURNAL, VOL. 3, NO. 3, 1990
2. Kanabe T., Kawashima T., et. al., Annual Progress Report, ILE Osaka University, (2000)
3. Кравцов Н.В., Квантовая электроника, Т. 31, №8, стр. 661-677, (2001)
4. Ikegawa T., Kawashima T., et. al., Int. conf. IFSA-2005, France, 4-9 September, (2005)
5. Kawashima T., Ikegawa T., et. al., Int. conf. IFSA-2005, France, 4-9 September, (2005)
6. Горбунков М.В., Коняшкин А.В., Кострюков П.В., и др., Квантовая электроника, Т. 35, стр. 3-8, (2005)
7. Богатов А.П., Дракин А.Е., Г.Т. Микаелян Г.Т. и др., Квантовая электроника, Т.36, №4 стр. 302-308 (2006)
8. Dergachev A., Flint G.H., et.al. IEEE JOURNAL OF SELECTED TOPIC IN QUANTUM ELECTRONICS, VOL. 13, NO. 3, May/June (2007)

## **Аберрационный расчет оптической системы для формирования интерференционной структуры в поперечном сечении коллимированного лазерного пучка.**

*\*В.И. Зайков, С.А. Скоморовский*

*(\* Комсомольск-на-Амуре, Санкт-Петербург)*

Результаты исследования, представленные в [1], показывают, что одним из основных условий формирования осесимметричной интерференционной структуры в поперечном сечении протяженного лазерного пучка является наличие сферической аберрации оптической системы, преобразующей исходное лазерное излучение. Таким образом, при расчете параметров такой оптической системы необходимо установить взаимосвязь между функцией сферической аберрации и пространственными параметрами преобразованного лазерного пучка. В рамках геометрической теории аберраций третьего порядка [2] такая зависимость получена для волновой аберрации  $l_o$ , которая определяет характер и величину искажения поверхности волнового фронта преобразованного лазерного пучка относительно заданной сферы сравнения.

$$l_o = \frac{P_i}{8} f'^4 \sigma_i^4, \quad (1)$$

где  $f'$  - фокусное расстояние выходного оптического элемента;  $\sigma_i = \frac{h'_i}{f'}$  - апертурный угол выходного оптического элемента;  $P_i$  - основной параметр, характеризующий сферическую аберрацию выходного оптического элемента.

Сферу сравнения обычно определяют в виде поверхности волнового фронта, рассчитанной в параксиальном приближении, т.е. не искаженной, в результате действия аберраций оптической системы.

### **Литература**

1. Зайков В.И., Башков О.В. Распределение интенсивности в поперечном сечении коллимированного лазерного пучка при действии волновой аберрации и ограничения на выходном зрачке оптической системы. - Заводская лаборатория. Диагностика материалов. №6, 2011. Том 77, с.37
2. Апенко М.И., Дубовик А.С. Прикладная оптика.-2-е изд., перераб.- М.: Наука, 1982. - 352с.

## Оценка угловых флуктуаций оси диаграммы направленности лазерного пучка

*\*В.И. Зайков, С.А. Скоморовский*

*(\* Комсомольск-на-Амуре, Санкт-Петербург)*

Временная стабильность пространственного положения оси лазерного пучка, формируемого оптической системой в устройствах метрологического назначения является одной из важнейших характеристик, определяющих точностные возможности прибора в целом. Для гелий-неоновых лазерных излучателей типа ГН-1, ГН-3, ГН5 и подобных им конструкций величина угловых флуктуаций оси диаграммы направленности достигает  $10^{-3}$  рад [1]. За счет увеличения оптической системы можно уменьшить это значение до величины не превышающей единиц угловых секунд, что, однако требует использования длиннофокусных объективов в телескопических системах с достаточно большим линейным увеличением для формирования контрастной интерференционной структуры в поперечном сечении протяженного лазерного пучка.

В настоящее время достаточно широкое применение в конструкции лазерно-оптических устройств геодезического назначения находят полупроводниковые лазерные излучатели на основе арсенида галлия. Эффективность их использования обуславливается высокой когерентностью и монохроматичностью излучения, небольшими габаритами по сравнению с гелий-неоновыми излучателями и достаточно высокой мощностью излучения.

Основной целью настоящей работы являлось разработка оптической системы, предназначенной для формирования коллимированного лазерного пучка с осесимметричной интерференционной структурой в поперечном сечении и исследование стабильности его пространственного положения в реальном масштабе времени.

В заключении приведены результаты экспериментальных исследований по оценке величины угловых флуктуаций оси диаграммы направленности коллимированного лазерного пучка интерференционной структуры.

### Литература

1. Зайков В.И. Метод контроля пространственной размерной увязки с применением протяженных лазерных пучков интерференционной структуры. - Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук, 1990 - 180с.

## **Исследование спекл-структур, сформированных оптическими вихрями волоконных световодов**

*Д.В. Кизеветтер, Н.В. Ильин, В.И. Малюгин, Чангсен Сан  
(Санкт-Петербург)*

В работе рассмотрено возбуждение оптических вихрей в волоконных световодах (ВС) и характеристики спекл-структур (СС), сформированных излучением оптических вихрей. Известно, что характеристики СС, образованных оптическими вихрями отличаются от характеристик СС, возникающих при рассеянии волны с плоским волновым фронтом. В частности в случае ВС наблюдается отличие спекл-структур, образованных «обычными» волноводными модами и образованных излучением ВС при наличии оптических вихрей.

В данной работе проведено исследование распределения интенсивности при интерференции излучения оптических вихрей и обычных волноводных мод около поверхности выходного торца многомодового ВС – в пространственной области трансформации ближней зоны в дальнюю зону дифракции. Для проведения исследований была создана экспериментальная установка, позволяющая контролировать условия ввода излучения и создавать в ВС оптические вихри различного порядка. Разработана методика расчета функций взаимной корреляции видеоизображений с учетом расходимости излучения, выходящего из ВС, позволяющая выявлять закономерности перемещения пятен спеклов в плоскостях, находящихся на различном расстоянии от выходного торца ВС.

Показано, что различные виды воздействия на световод приводят к различному характеру изменения спекл-структур оптических вихрей. Изотропное воздействие на световод приводит к хаотическому перемещению спекл-пятен, а воздействия, создающие винтообразную анизотропию материала, могут привести к эффекту вращения спеклов. В частности проведено исследование влияния изменения избыточного давления воздуха, окружающего световод (в пределах от 1 до 5 атм.) на распределение интенсивности выходящего излучения. Изменение давления не приводило к направленному движению спекл-структур, образованных оптическими вихрями, с одинаковым направлением вращения волнового фронта. Тогда как изгибы световодов, а также некоторые другие виды механического воздействия приводят к вращению спекл-структуры. Таким образом, на основании численной обработки видеоизображений СС, теоретически возможно, идентифицировать различные виды воздействия на ВС.

Проводимые исследования направлены на улучшение технических характеристик и создание новых типов волоконно-оптических спекл-датчиков на основе многомодовых волоконных световодов.

## Электро-отражение света как способ измерения электрооптики материалов

А.В. Князьков  
(Санкт-Петербург)

Поляризационно-оптический метод измерения электрооптики (ЭО) материалов хорошо известен и характеризуется высокой эффективностью. В этом методе определение индуцированного полем двулучепреломления осуществляется по измерению разности фаз ортогонально поляризованных световых пучков, прошедших среду. Для сильно поглощающих сред и тонких пленок (сред с малой индуцированной фазовой задержкой) измеряемая интенсивность и фаза прошедшей волны может оказаться недостаточной для проведения достоверных измерений. С другой стороны, оптическая волна, падающая на границу раздела сред, всегда испытывает отражение от границы раздела. Предлагаемый метод основывается на измерении модуляции отражения света, вызванной индуцированным полем изменением показателя преломления среды.

Изменение электро-отражения  $\delta R(E)$  под действием поля  $E$  в материалах с линейным ЭО эффектом для нормального падения света можно записать:

$$\delta R = \frac{\delta I_R}{I_0} = \frac{\partial R}{\partial n} \delta n = 2 \frac{(n-1)n^3}{(n+1)^3} r_{ef} E,$$

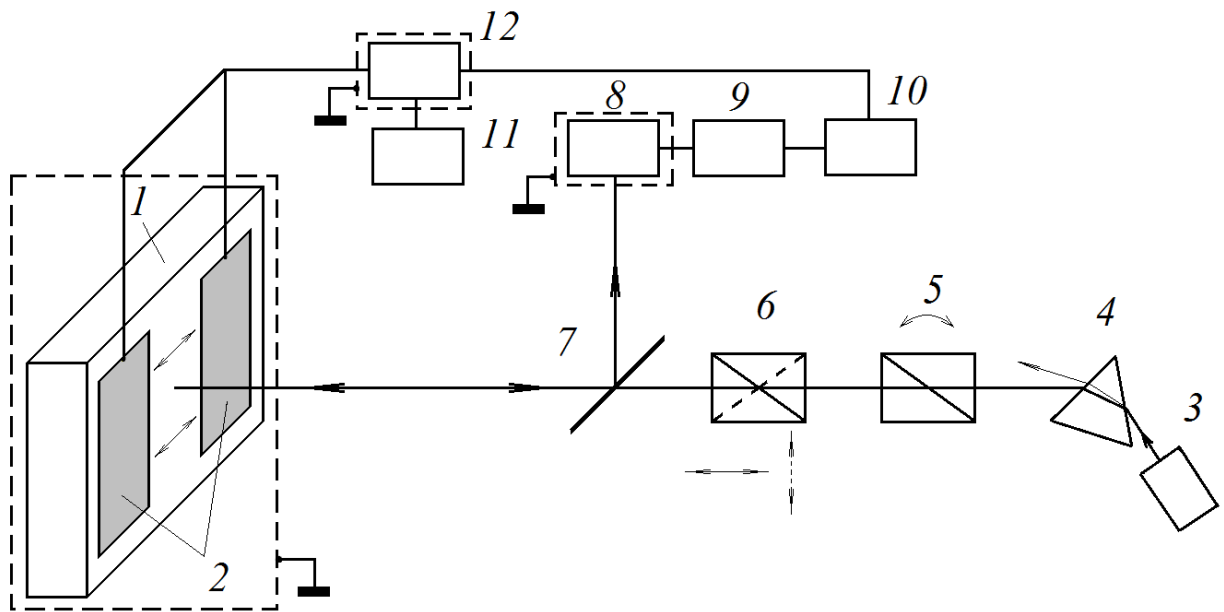


Рис. 1. Схема экспериментальной установки для исследования ЭО коэффициентов индуцированного двулучепреломления по нормальному отражению поляризованного света: 1 – образец с планарными электродами 2; 3 – лазерный источник света; 4 – дисперсионная призма; 5 – поляризатор регулировки мощности; 6 – ориентационный поляризатор; 7 – полупрозрачное зеркало; 8 – фотодатчик с предварительным усилителем; 9 – селективный усилитель; 10 – регистрирующий двухканальный осциллограф; 11 – задающий низкочастотный генератор; 12 – высоковольтный трансформатор

## Оценка электрооптики сегнето-керамики по модуляции электро-отражения света

*А.В. Князьков, В.А. Кукуричкин  
(Санкт-Петербург)*

Электрооптика (ЭО) материалов обычно исследуется поляризационно-оптическим методом в пропускающей геометрии [1, 2]. В этом методе индуцированное полем двулучепреломление определяется по измерению разности фаз ортогонально поляризованных световых пучков, прошедших среду. Нами представлены результаты измерений электрооптики сегнетоэлектрической ЦТС и ЦТСЛ керамики с квадратичным ЭО эффектом новым методом в отражающей геометрии по измерению периодической модуляции отраженного света, вызванной переменным полем из-за изменения показателя преломления среды [3].

Электрооптические коэффициенты определялись по изменению электро-отражения  $\delta\rho(E)$  под действием поля  $E$ , которое в средах с квадратичным ЭО эффектом для нормального падения света определялось выражением:

$$\delta\rho = \frac{\delta I_p}{I_0} = \frac{\partial\rho}{\partial n} \delta n = 2 \frac{(n-1)n^3}{(n+1)^3} R_{ef} E^2,$$

где  $R_{ef}$  – эффективный ЭО коэффициент.

Сравнение результатов исследований электрооптики измеренной обычным поляризационно-оптическим методом в пропускающей геометрии и новым отражающим методом показывает хорошее соответствие.

### Литература

1. Мустель Е.П., Парыгин В.Н. Методы модуляции и сканирования света М.: Наука, 1970. 296 с.
2. Сонин А.С., Василевская А.С. Электрооптические кристаллы М.: Атомиздат, 1971. 328 с.
3. Князьков А.В. Измерение наведенного двулучепреломления электро-оптических материалов по модуляции коэффициента отражения света // Научно-технические ВЕДОМОСТИ СПбГПУ. 2013. №4-1(182). С.100-104.

## Программно-аппаратный комплекс анализа пространственно-энергетических характеристик лазерных систем

*М.Р. Крупский, В.И. Зайков  
(Комсомольск-на-Амуре)*

В контрольно-монтажных работах, выполняемых при изготовлении самолета, важное место занимают технологические процессы монтажа блоков оборудования систем навигации и вооружения самолета. Важность указанных выше технологических процессов объясняется

функциональным назначением этого оборудования. Основные блоки систем навигации и вооружения должны иметь точную угловую ориентацию относительно осей самолета. Это достигается с наименьшей погрешностью при помощи лазерных измерительных систем, как на стадии агрегатной сборки, так и при стыковке планера. Для осуществления процессов монтажа блоков оборудования систем навигации и вооружения самолета используются методики высокоточного монтажа и контроля сборочных ступеней, стендов, эстакад с применением лазерно-оптических центрирующих и измерительных систем (лазерных нивелиров и створофиксаторов). В настоящее время разрабатывается новое поколение измерительных систем на основе полупроводниковых лазеров инжекционного типа. В докладе представлена информация об оснащении прибора средствами электронного сбора и обработки информации по позиционированию луча лазерного створофиксатора. Приведён алгоритм анализа пространственно-энергетических характеристик лазерной оптической системы.

**Исследование пропускания импульсного электромагнитного излучения  
миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов длин волн однородными  
изотропными средами**

*Г.С.Рогожников, Р.Ю.Костюнин, И.В.Мишина*

*(Саров)*

Представлены результаты работ по расчетному и экспериментальному исследованию пропускания плоскопараллельными пластинами различных конструкционных материалов электромагнитного излучения терагерцового и СВЧ диапазонов частот. Импульсное терагерцовое излучение ( $\nu \approx 1$  ТГц,  $\tau \approx 1$  пс) генерировалось в кристалле ниобата лития при накачке его ультракороткими высокоэнергетичными лазерными импульсами с наклонным волновым фронтом [1]. В качестве источника СВЧ излучения использовался лавинно-пролетный диод, работающий на частоте 140 ГГц ( $\lambda = 2,14$  мм). В экспериментах измерялась зависимость пропускания от угла между направлением нормали к образцу и волновым вектором падающего излучения. Расчетная зависимость пропускания образцов вычислялась с помощью модели, описанной в [2]. Полученные данные могут быть использованы при получении и обработке изображений предметов, находящихся в плотных изотропных средах.

#### *Литература*

1. Г.С.Рогожников, Н.Н.Рукавишников, Р.Ю.Костюнин, И.В.Мишина Система формирования высокоэнергетичных фемтосекундных лазерных импульсов с наклонным волновым фронтом // Лазеры.Измерения.Информация, сб.трудов, 2012г.
2. D. Grischkowsky, S. Keidling, M. van Exter and Ch. Fattinger Far-infrared time-domain spectroscopy with terahertz beams of dielectrics and semiconductors // J. Opt. Soc. Am. B, Vol. 7, №10, pp. 2006-2015 (1990)

### **Оптический метод контроля качества продуктов питания**

*Таскина Л.А., Тимченко Е.В., Трезуб Н.В., Родина А.В.*

*(Самара)*

Качество, безопасность, быстрая и точная проверка подлинности сырья имеют большое значение в технологии изготовления пищевых продуктов. При использовании классических длительных методов анализа, контроль сырья превращается в труднореализуемую задачу. Однако метод комбинационного рассеяния позволяет проводить большое количество анализов при минимуме пробоподготовки, что говорит о высоком потенциале метода применительно в пищевой промышленности. Молочные продукты являются важным компонентом ежедневного рациона, потребляемого здоровым человеком. Основной особенностью молочно и кисломолочных продуктов является сложная композиция микроорганизмов, которая включает в себя как молочнокислые бактерии, дрожжи и т.д. В свою очередь возникающие микробиологические изменения в продуктах питания влияют на безопасность их потребления.

В работе представлены результаты исследований спектральных характеристик с изменением количества жизнеспособных бактерий в молочных и кисломолочных продуктах с помощью метода комбинационного рассеяния. В качестве объектов исследования были использованы образцы молока, сметаны, кефира и йогурта (без и с наполнителями) с различной долей жирности. Анализ проводился с помощью экспериментального стенда, включающего в себя высокоразрешающий цифровой спектрометр Shamrock sr-303i с встроенной камерой DV420A-OE фирмы ANDOR и пробник RPB785 вместе с лазерным модулем LuxxMaster Raman Boxx (PD-LD). В результаты исследований:

- получены и проанализированы спектры КР образцов молочных и кисломолочных продуктов. Так основными информативными пиками являются 634 см<sup>-1</sup> ( $\nu(\text{C-S})$  мода в аминокислотах), 840-864 см<sup>-1</sup> (фосфолипиды), 1005 см<sup>-1</sup> (“дыхательная” мода кольца в каратиноидах), 1060 см<sup>-1</sup> ( $\nu(\text{C} - \text{C})$  симметричное растяжение в жирных кислотах);



- представлены результаты спектральных особенностей образцов молочнокислых продуктов в зависимости от типа пищевых наполнителей;

- в процессе “скисания” образцов молочнокислых продуктов наблюдался рост амплитуды интенсивности на пиках 1060 и 1443 см<sup>-1</sup>, что соответствует симметричному растяжению  $\nu(\text{C} - \text{C})$  в жирных кислотах и колебанию групп  $\text{CH}_2$  соответственно. Также наблюдался значительный спад интенсивностей на пиках 634, 1005 см<sup>-1</sup>;

В целом, результаты показали, что метод комбинационного рассеяния позволяет проводить контроль качества молочной продукции.

#### *Литература*

1. Sophie Gallier, Keith C. Gordon, Rafael Jiménez-Flores, David W. Everett. Composition of bovine milk fat globules by confocal Raman microscopy // International Dairy Journal 21, 2011. P. 402–412.

### **Спектропирометрия на основе Брэгговской дифракции света на ультразвуке**

*Д.Я.Свет*

*(Москва)*

Известно, что проблема измерения истинной температуры нечёрных тел только по их собственному излучению решена почти полвека тому назад [1] на основе избыточности информации о температуре для чего, практически используются не отдельные компоненты, а весь спектр, охватываемый спектропирометром. Более того, в США спектропирометры уже давно выпускаются серийно [2]. В тоже время спектропирометрия до сих пор достаточно широко применяется лишь в исследовательской практике и практически не используется в промышленности и в метрологии. Причиной этого, на наш взгляд, является необходимость наличия в спектропирометре сотен стабильных фотоэлектрических приёмников излучения (в видимой области спектра - это линейки ПЗС) или механического сканирующего устройства. Рассматриваемый в докладе спектропирометр, основанный на применении акусто-оптического фильтра имеет лишь один фотоэлектрический приёмник излучения, в нём полностью отсутствуют механические элементы. В рассматриваемом спектропирометре в качестве диспергирующего устройства применяется кристалл парателлурита с пьезоэлектрическим элементом, генерирующим ультразвук. В качестве приёмника теплового излучения используется германиевый фотодиод, термостатированный с помощью элемента Пелтье.

Образец прибора в области длин волн 0,8-1,5 мкм был градуирован в диапазоне 1000-2500°С. При измерении температуры вольфрамовой ленты в диапазоне 1200-2300°С и стали

чистой и при наличии пятидесятипроцентного дыма в диапазоне 1200-1600°C - истинная температура измерялась с погрешностью менее 1%.

1. Д.Я.Свет: патент США № 3537314; патент Великобритании № 1207984; патент Франции № 1527036 и др.
2. R.Felice, Temperature its Measurement and Control in Science and Industry, 2003, v.7, p,711.

### **Оценка динамики развития жизнеспособных клеток на бионосителе с помощью метода конфокальной флуоресцентной микроскопии**

*Волова Л.Т., Тимченко П.Е., Тимченко Е.В., Болтовская В.В., Таскина Л.А.,  
Прокофьева О.Н., Бурнаев А.А.*

*(Самара)*

Внедрение синтезированных материалов в пораженную область организма при трансплантации часто приводит к нарушению гомеостаза и, как следствие, неспособности длительного функционирования внедряемой синтетической матрицы. Данные явления сложно прогнозировать на этапе изготовления имплантата, следовательно, необходим неинвазивный метод контроля процесса интеграции клеток в имплантат, позволяющий проводить оценку его качества.

Для выявления жизнеспособных клеток в имплантате и визуализации их распространения в настоящей работе использован метод конфокальной флуоресцентной микроскопии, реализованный на базе инвертированного микроскопа Olympus IX71, конфокального сканера Yokogawa CSU-1 с EMCCD камерой iXon Andor. Данная система обеспечивала разрешение до 400 нм на пиксель. Флуоресценция возбуждалась с использованием лазерного блока, обеспечивающего генерацию мощностью до 100 мВт на длинах волн 488 нм и 561 нм.

В качестве исследуемого имплантата была взята деминерализованная спонгиоза и фибробластоподобные клетки, выращенные из гиалинового реберного хряща, используемые при лечении деградировавших суставов протезированием. Использование производных фосфорамида  $\text{Cu}_3$ , возбуждаемых лазерным излучением на длине волны 561 нм, позволило поднять контраст изображения клеток до 0,8-0,9 и зарегистрировать развитие клеточных структур в реальном режиме времени. Среднеквадратичная скорость движения остеобластов составила 7-8 мкм/час. Послойное сканирование трансплантата, обработанного GFP, показывает наличие в его составе жизнеспособных клеток в течение всего времени

эксперимента. Анализ полученных микроснимков позволяет сделать вывод, что клетки проникают в имплантат, расселяясь преимущественно по его внутренней поверхности и формируя «колонии» вблизи выхода пор имплантата на его внешнюю поверхность. Уже на восьмой день плотность активных остеобластов составляет 500-700 клеток/мм<sup>2</sup>.

### **Мониторинг оптических свойств трансформаторных масел**

*А.Ю. Савина, Д.В. Кизеветтер, Н.М. Журавлева, А.С. Резник*

*(Санкт-Петербург)*

Одним из важнейших элементов системы энергобезопасности страны являются силовые трансформаторы (СТ), парк которых в России весьма изношен. В условиях постоянного роста потребления электроэнергии и повышения требований к надежности указанного энергетического оборудования (выход из строя которого чреват серьезными авариями) остро стоит вопрос непрерывного мониторинга работоспособности бумажно-масляной изоляции (БМИ), отказ которой является основной причиной остановки СТ. На сегодняшний день, несмотря на интенсивное развитие синтетических материалов, БМИ не имеет конкурентоспособных аналогов в высоковольтном трансформаторостроении. Ее «слабый» компонент (трансформаторное масло – ТМ) в процессе эксплуатации подвержен электротепловому старению, основными негативными результатами которого являются: рост  $\operatorname{tg} \delta$  (тангенса угла диэлектрических потерь) пропитывающей жидкости (и, как следствие, изоляции в целом), а также - постепенное осаждение шлама на твердом диэлектрике (что приводит к опасному снижению его электроизоляционных свойств). Периодический контроль ряда параметров масла (с целью его своевременной замены) показал, что для получения достоверной оценки работоспособности жидкого диэлектрика, помимо анализа электрофизических свойств, весьма полезно привлечение оптических характеристик. Однако в промышленных условиях используются недостаточно информативные показатели, не говоря уже об отсутствии непрерывного мониторинга жидкости, причем без отключения СТ.

Наши исследования оптических параметров трансформаторного масла марки ГК (в том числе - коэффициента относительного светопропускания и спектров флуоресценции), а также –  $\operatorname{tg} \delta$  (как модельных образцов, искусственно состаренных в различных условиях, так и проб жидкости, изъятых из действующих СТ) показали, что связь указанных характеристик ТМ не столь однозначна (вследствие постепенного шламообразования с последующим выпадением шлама в осадок), как это представляется рядом авторов. Для предотвращения аварий, обусловленных критическим состоянием масла, целесообразным, на наш взгляд,

является непрерывный мониторинг пропитываемой жидкости при помощи разработанного волоконно-оптического осветителя, снабженного специальным программным обеспечением, позволяющим не только контролировать и количественно оценивать концентрацию загрязняющих частиц в масле, но и в ряде случаев выявлять их природу. Последний факт представляется перспективным в плане дальнейших исследований закономерностей разрушения БМИ, включая целлюлозный компонент.

### **Спектр как носитель информации о следах вещества.**

*Пермякова Е.С., Толмачев Ю.А.*

*(Санкт-Петербург)*

Поиск следов известного вещества в сложной системе является одной из актуальных задач спектроскопии и имеет огромное прикладное значение не только в научных исследованиях, но и в технике, биологии, экологии, медицине, химии и криминалистике. Спектральный анализ, используемый для решения этой проблемы, обеспечивает один из самых эффективных бесконтактных методов и иногда является единственно возможным среди многих других способов обнаружения незначительных следов элемента.

В спектральном анализе элементов существует понятие «последних» линий, так называют линии, которые последними исчезают из спектра при уменьшении концентрации исследуемого вещества. Отсутствие этих линий, как правило, считается доказательством того, что примесь отсутствует или ее концентрация пренебрежимо мала.

Существенным недостатком этого метода является то, что в погоне за «последними» линиями экспериментатор игнорирует остальную часть спектра элемента. В связи с этим, мы предлагаем возможный путь оптимизации обнаружения следов вещества спектральными методами. В его основе лежит совместный учет всех или большинства компонентов спектра вещества методами, основанными на общих следствиях теории информации и обнаружения сигнала. Сущность метода состоит в выделении световых потоков всех составляющих спектра искомого вещества из сложного спектра и суммировании этих световых потоков на общем фотоприемнике, что позволяет увеличить величину полезного сигнала на порядок величины и более при сохранении уровня шумов, соответствующего одному каналу обычных методов регистрации.

2. C. E. Shannon. A Mathematical Theory of Communication // Bell System Technical Journal, 1948. Vol. 27, P. 379–423, 623–656.
3. А. П. Кушнаренко. Исследование спектральных свойств объемных голограмм с помощью полупроводниковых источников излучения // Проблемы когерентной и нелинейной оптики: Сборник статей. СПбГУ ИТМО, 2004. С. 229-236.
4. Yu. A. Tolmachev. Operation over an optical signal using generalized diffraction grating // Vestnik St. Petersburg University. 2013. Ser. 4. Issue. 1. P. 246–252.

## **Экспериментальные исследования влияния водорода на оптические характеристики растений**

*Е.А. Селезнева, Е.В. Тимченко, Н.В. Трезуб, Л.А. Таскина, П.Е. Тимченко  
( Самара )*

В работе представлены результаты экспериментальных исследований изменения спектральных характеристик растений в условиях действия различной концентрации водорода. Данная задача является весьма актуальной, т.к. высокое содержание водорода в почве приводит к проблеме дегазации земли, что в свою очередь отражается на живых организмах.

В качестве объектов исследований были использованы различные типы растений. Все растения были разделены на 2 группы. Одна группа растений выращивалась в условиях повышенного содержания водорода с концентрацией 2%. Вторая группа растений была контрольной. Обеспечивались единые климатические условия для всех групп растений, а также регулярность и постоянство светового потока, воздействующего на среду.

Все исследования проводились с помощью комплекса оптических методов:

- метода комбинационного рассеяния, реализуемого с помощью экспериментального стенда, включающего спектрофотометр SR-303i с интегрированной цифровой камерой ANDOR DV-420A-OE (1024\*256);

- метода флуоресцентной конфокальной микроскопии, который позволил проводить детальный анализ структурных изменений в клетках растения при действии водорода.

В результате проведенных исследований:

- Получены особенности изменения спектра комбинационного рассеяния растений при воздействии водорода. Показано, что при увеличении концентрации водорода и времени воздействия повышается амплитуда интенсивности комбинационного рассеяния на волновых числах  $1130\text{ см}^{-1}$ ,  $1160\text{ см}^{-1}$ ,  $1495\text{ см}^{-1}$ , что связано с изменением концентрационного состава глюкозы, крахмала и каротиноидов;

- Микроскопически доказано увеличение хлоропластов под действием водорода.

## **Контроль костных трансплантатов с помощью Рамановской спектроскопии**

*Захаров В.П., Волова Л.Т., Тимченко Е.В., Тимченко П.Е., Таскина Л.А., Периуткина С.В.*

*(Самара)*

При замещении дефектов у больных с костной патологией для оптимизации регенераторных процессов, необходимо применение аллогенных трансплантатов с различной степенью деминерализации. Контроль степени их деминерализации в условиях производства является важной составляющей и проводится при помощи биохимических методов, занимающих длительное время и в связи с этим не получивших широкого распространения.

Представлены результаты анализа степени минерализации трансплантатов, изготовленных из аллогенной нативной костной ткани губчатой формации при помощи системы рамановской спектроскопии на базе высокоразрешающего цифрового спектрометра Shamrock sr-303i с встроенной охлаждаемой камерой ANDOR DV420A-OE и рамановским пробником InPhotonics RPB785 включающим лазерный модуль LuxxMaster Raman Boxx фирмы PD-LD. Данная система обеспечивала пространственное разрешение до 1мкм. Погрешность регистрации составляла +0.2 нм. Обработка рамановских спектров проводилась с помощью программы «Wolfram Mathematica» 8.

Оценивалось распределение органических веществ по валентным колебаниям  $\nu_s$  (PO),  $\nu_s$  (CO) и амида I. В результате проведённых исследований, были рассчитаны характеристики рамановских спектров для аллогенных недеминерализованных трансплантатов и трансплантатов с различной степенью деминерализации (положение линий, величины отношений карбонат/фосфат, минерал/органическая матрица). На основании рассчитанных положений линии  $\nu_1$  фосфат-иона установлено, что минеральная фаза всех исследованных образцов представляет собой замещенный по В-типу карбонат-гидроксиапатит, причем его относительное содержание зависит от степени деминерализации костной ткани. Наибольшее соотношение минерал/органическая матрица характерно для недеминерализованных образцов. При увеличении степени деминерализации наблюдалось уменьшение содержания фосфат-ионов.

### *Литература*

1. Catherine P. Tarnowski, Michael A. Ignelzi, Michael D. Morris. Mineralization of Developing Mouse Calvaria as Revealed by Raman Microspectroscopy // Journal of Bone and Mineral Research. 2002. V.17. № 6. P. 1118-1126.

## **Дифференциальный лазерный поляриметр для измерения концентрации глюкозы в биотканях и их фантомах**

*Г.А. Череватенко, Е.Т. Аксенов, К.Г. Домнин*

*(Санкт-Петербург)*

В настоящее время разработка методов и средств неинвазивного и непрерывного (или многократного) мониторинга концентрации глюкозы в крови человека является одной из первостепенных задач современной биомедицинской диагностики. В связи с актуальностью проблемы, развивается множество методик неинвазивного измерения концентрации глюкозы в крови, в том числе оптическая поляриметрия.

Большинство биотканей является мутными средами. При распространении в таких средах свет многократно рассеивается и поглощается. Объемное рассеяние является причиной распространения значительной доли излучения в обратном направлении. Рядом исследователей было показано, что свет, обратно рассеянный биотканью, может обладать достаточной степенью поляризации для проведения соответствующих измерений [1, 2]. Характеристики рассеянного в обратном направлении светового поля зависят от угла регистрации, а также от оптических параметров среды, а именно показателя преломления, коэффициента рассеяния и фактора анизотропии. Изменение концентрации глюкозы в таких средах вызывает изменение рассеивающих характеристик среды, в результате изменяется состояние поляризации и интенсивность рассеянного света.

В работе обосновывается возможность неинвазивного измерения концентрации глюкозы в биологических тканях (кожа и кровь человека) и их фантомах методом поляриметрии обратно рассеянного поляризованного лазерного излучения. Предложена оригинальная конструкция дифференциального оптического поляриметра, позволяющего проводить такие измерения. Кроме того, проведены теоретические и экспериментальные исследования, направленные на выявление оптимальных параметров зондирующего излучения, расположения фотодетекторов в пространстве и размера их приемной апертуры.

### *Литература*

1. Guo X., Wood M.F.G., Vitkin A. Stokes polarimetry in multiply scattering chiral media: effects of experimental geometry//J. Applied optics. 2007. v. 46. №20 p.4491-4500.
2. Wood M.F.G., Guo X., Vitkin A. Polarized light propagation in multiply scattering media exhibiting both linear birefringence and optical activity: Monte Carlo model and experimental methodology// J. Journal of Biomedical Optics. 2007. v. 12. №1 p.1-10.

## Двухпараметрический метод моментов обработки результатов периодической модуляции отраженного света для оценки ЭО коэффициентов

*Т.В. Яковлева, А.В. Князьков*

*(Москва, Санкт-Петербург)*

В работе приводятся результаты применения метода моментов для обработки периодической электро-модуляции отраженного света с целью оценки ЭО коэффициентов [1] как задачи анализа Райсовского сигнала: измеряемой величиной является модуль  $r$  вектора  $\vec{r} = \vec{A} + \vec{n}$ , отображающего сумму детерминированного гармонического сигнала  $\vec{A}$  и нормально распределенного шума  $\vec{n}$ . Модуль комплексной величины  $r = \sqrt{r_{\text{Re}}^2 + r_{\text{Im}}^2}$  подчиняется распределению Райса, так как действительная  $r_{\text{Re}}$  и мнимая  $r_{\text{Im}}$  части сигнала являются независимыми случайными величинами с одинаковыми математическими ожиданиями  $\nu$  и искажаются нормально распределенным шумом с дисперсией  $\sigma^2$ . Задача восстановления исходного сигнала на фоне шума состоит в вычислении амплитуды, определяемой параметром математического ожидания  $\nu$  на основе данных выборок измерений. Эта задача математически решается посредством двухпараметрического метода моментов ММ24 [2, 3]. Формулы для  $\nu$  и  $\sigma^2$  на основе измерений второго  $\overline{r^2}$  и четвертого  $\overline{r^4}$  моментов величины  $r$  имеют вид [3]:

$$\begin{aligned}\nu &= \sqrt[4]{2 \cdot (\overline{r^2})^2 - \overline{r^4}} \\ \sigma^2 &= \frac{1}{2} \left[ \overline{r^2} - \sqrt{2 \cdot (\overline{r^2})^2 - \overline{r^4}} \right]\end{aligned}\tag{1}$$

Таким образом, средняя величина исходного сигнала  $\nu$  и дисперсия шума  $\sigma^2$  вычисляются с помощью простых формул (1) по результатам выборочных измерений «зашумленного» сигнала. Этот оригинальный и несложный в реализации метод позволяет эффективно восстановить исходный сигнал на фоне шума.

1. Князьков А.В. Измерение наведенного двулучепреломления электро-оптических материалов по модуляции коэффициента отражения света // Научно-технические ВЕДОМОСТИ СПбГПУ. 2013. №4-1(182). С.100-104
2. Яковлева Т.В. Теоретический расчет сигнала и шума при анализе огибающей в условиях распределения Райса. Сборник научных трудов III Всероссийской конференции по фотонике и информационной оптике, Москва, НИЯУ МИФИ, 29-31 января 2014. С. 147-148.
3. Яковлева Т.В. Двухпараметрический метод моментов для расчета сигнала и шума в условиях Райсовского распределения: теория. Труды 21-ой Международной конференции «Математика. Компьютер. Образование», г. Дубна, 3-8 февраля 2014.



## **Активированный гексаалюминат бериллия - новый перспективный кристалл для гибридных лазеров, применяемых в установках термоядерного синтеза.**

*В.Н. Матросов, Т.А. Матрсова, Е.В. Пестряков*

*(Минск)*

В связи с тем, что современные источники энергии в скором времени могут иссякнуть, ученые всего мира заняты поиском новых источников. Самым перспективным, но сложным в реализации и практически неиссякаемым источником энергии является термоядерный синтез. К настоящему времени сформировались два независимых подхода к решению проблемы управляемого термоядерного синтеза. Первый из них основан на возможности удержания высокотемпературной плазмы магнитным полем специальной конфигурации. Другой путь - импульсный, он основан на получении реакции термоядерного синтеза за счет мощного лазерного излучения. Впервые эта идея была высказана Н.Г. Басовым и О.Н. Крохиным [1]. В конце 80-х годов были созданы первые лазеры, способные генерировать излучение с длительностью менее 100 фемтосекунд, сейчас уже освоен диапазон длительностей 5 фемтосекунд. Это было сделано благодаря мощному технологическому прогрессу в создании новых лазерных кристаллов, основным из которых является  $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{Ti}^{3+}$ . Но при создании мощного фемтосекундного лазера на этом кристалле наблюдалось сужение полосы усиления и его насыщение, что требовало введения спектрального контроля в конструкции петаваттных лазеров на  $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{Ti}^{3+}$ . Одним из способов устранения этих нежелательных явлений было применение фильтров Фабри - Перо, но они вырезали часть спектра и снижали выходные характеристики лазера. Для устранения этих недостатков был предложен вариант гибридного лазера на  $\text{BeAl}_2\text{O}_4:\text{Ti}^{3+}$  и  $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{Ti}^{3+}$  [2]. В работе [2] авторы рассчитывали такого рода усилитель, принимая двухпиковую форму спектра люминесценции  $\text{BeAl}_2\text{O}_4:\text{Ti}^{3+}$ . На самом же деле этот спектр имеет только один максимум, что снижает эффективность устранения перечисленных выше недостатков. Нами предлагается в петаваттном гибридном лазере использовать вместо  $\text{BeAl}_2\text{O}_4:\text{Ti}^{3+}$  более эффективный кристалл  $\text{BeAl}_6\text{O}_{10}:\text{Cr}^{3+}$  [3]. У него более широкая полоса усиления и дальше разнесены максимумы спектров люминесценции с  $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{Ti}^{3+}$ , а для накачки такого гибридного лазера очень хорошо подходит длина волны- 532нм.

1.Н.Г. Басов, О.Н. Крохин ЖЭТФ,1964,Т.46,№1.

2.Н.САО,Х.Lu, D.Fan, Applied Optics,2012, vol.51,№12/20.

3.Е.В.Пестряков, А.И.Алимпиев, В.Н. Матросов, Квантовая электроника, 2001,31,№8.

**Спектроскопические свойства ионов Cr(III)  
в кристалле эвтектического состава  $\text{BeAl}_2\text{O}_4/\text{BeAl}_6\text{O}_{10}$**

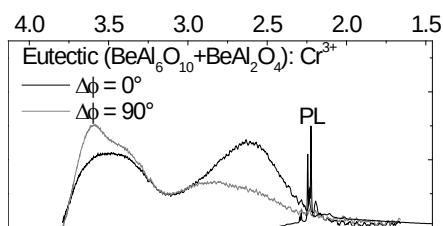
*Е.В. Пестряков, В.Н. Матросов, Т.А. Матророва, Н.В. Ржеуцкий, Е.В. Луценко*

*(Минск)*

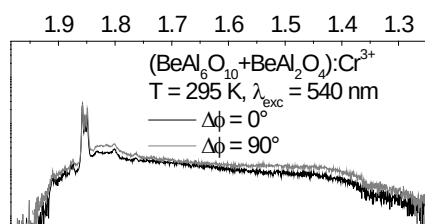
В последнее время активно исследуются спектроскопические свойства ионов с d- и f-конфигурациями электронных оболочек в структурно разупорядоченных и смешанных кристаллах. Это связано с тем, что в структуре таких кристаллов примесные d- и f-ионы занимают позиции с различной симметрией и величиной кристаллического поля. В результате формируются спектрально широкие неоднородно уширенные полосы поглощения и излучения этих ионов, которые широко используются для генерации вынужденного излучения в перестраиваемых и фемтосекундных лазерах [1].

Аналогичные полосы поглощения и излучения могут быть получены в кристаллах эвтектического состава - эвтектиках [2]. Как правило, оксидные двухкомпонентные кристаллы-эвтектики имеют стержнеобразную или ламеллярную структуры. Причем при ламеллярном строении эвтектики имеет место регулярное чередование ламелей разного состава. Эвтектики с ламеллярной структурой, как правило, характеризуются высокой микроструктурной стабильностью, стойкостью к температурным ударам и высоким сопротивлением к разрыву и разрушению. Именно к этому типу относится впервые синтезированный нами кристалл-эвтектика -  $\text{BeAl}_2\text{O}_4/\text{BeAl}_6\text{O}_{10}$ , ламели которого состоят из кристаллических соединений - хризоберилла,  $\text{BeAl}_2\text{O}_4$  и гексаалюмината бериллия,  $\text{BeAl}_6\text{O}_{10}$ , активированных трехвалентными ионами хрома - Cr(III) [3]. Исследованию спектроскопических свойств этой новой кристаллической структуры посвящено данное сообщение.

Кристалл-эвтектика Cr: $\text{BeAl}_2\text{O}_4/\text{BeAl}_6\text{O}_{10}$ , выращенный методом Чохральского при компьютерном управлении параметрами процесса роста, имел ламели, вытянутые вдоль оси роста, которые четко наблюдались в поляризационном микроскопе. Толщина их составляла 2-3 мкм, при толщине пограничного слоя до 0.8 мкм. Типичные спектры поглощения и люминесценции ионов Cr(III) в эвтектике  $\text{BeAl}_2\text{O}_4/\text{BeAl}_6\text{O}_{10}$  представлены на Рис.1) и 2), соответственно.



1)



2)

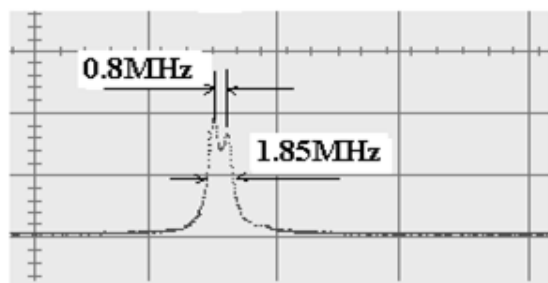
Анализ спектров поглощения и люминесценции в различных поляризациях показал, что зарегистрированные спектры являются суммой спектров  $\text{Cr:BeAl}_2\text{O}_4$  и  $\text{Cr:BeAl}_6\text{O}_{10}$  с преобладанием по величине компонентов  $\text{Cr:BeAl}_6\text{O}_{10}$ . Полученные данные сечений излучения на электронно-колебательном переходе  ${}^4\text{T}_2\text{-}{}^4\text{A}_2$  иона  $\text{Cr}^{3+}$  в эвтектике указывают на перспективность получения лазерной генерации в области 725-950 нм на этой активной среде нового типа.

1. A. A. Kaminskii, Laser crystals and ceramics: recent advances, Laser Photon.Rev. v.1,p. 93, 2007.
2. J. Lorca, V. Orera, Prog. Mater. Sci., v.51, p.711, 2006.
3. В. Матросов, Т. Матросова, Е. Пестряков, Тезисы докладов конференции "Лазеры, измерения, информация-2013", Ст.Петербург, СПбГПУ,

### Исследование влияния анизотропии зеркал на параметры неплоского кольцевого лазерного резонатора

*В.В.Азарова, А.П.Макеев  
(Москва)*

Проведено математическое моделирование на основе матричного метода Джонса анизотропных кольцевых лазерных гироскопических резонаторов с неплоским контуром<sup>1</sup> с учетом фазовой анизотропии зеркал косого падения. Проведено сравнение результатов численного моделирования и экспериментально полученных характеристик многослойных интерференционных диэлектрических покрытий лазерных зеркал. Путем численного



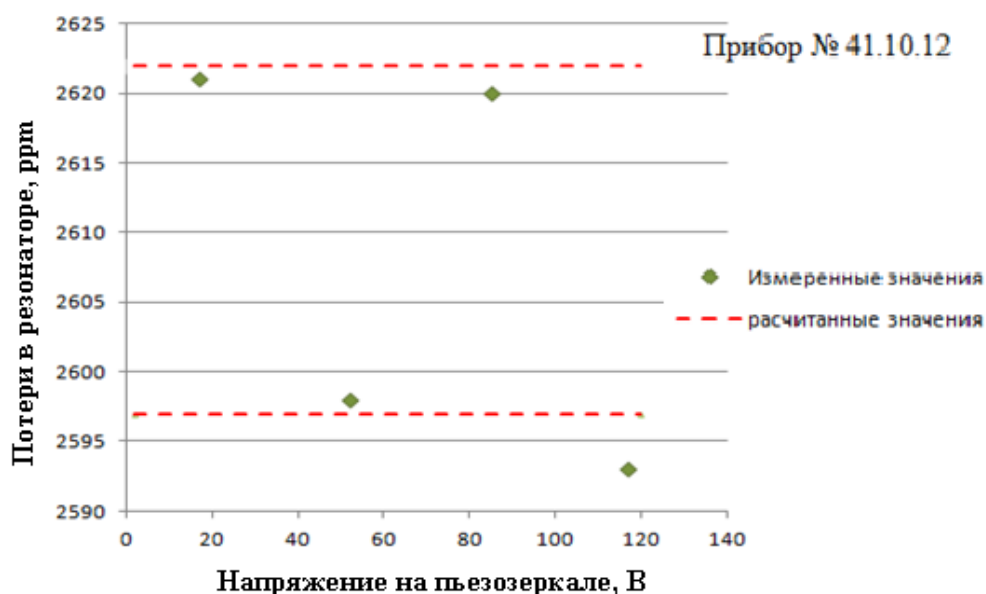
**Рис.1** Осциллограмма спектра пропускания мод  $\text{TEM}_{01}$  и  $\text{TEM}_{10}$

моделирования<sup>2</sup> и экспериментально показано, что в резонаторах с неплоским контуром снимается вырождение по поляризации, а спектр собственных колебаний с правой и левой круговой поляризацией кольцевых анизотропных резонаторов зависит от угла излома. Показано, что

в симметричных резонаторах с неплоским контуром поперечные моды  $\text{TEM}_{01}$  и  $\text{TEM}_{10}$  вырождены по частоте для соседних аксиальных мод и это вырождение снимается при

наличии фазовой анизотропии зеркал. В качестве примера на Рис.1 показано экспериментально измеренное снятие вырождения первых поперечных мод в спектре 4-х зеркального кольцевого лазера с неплоским симметричным контуром, в котором угол поворота плоскости поляризации при отражении от поворотных зеркал равен 22,5 град., а длина периметра резонатора - 160мм. Расчет показал, что при наличии фазовой анизотропии на двух зеркалах резонатора:  $\Delta=0,08$  рад - на 1-м зеркале и  $\Delta= - 0,08$  рад – на 2-м зеркале наблюдается снятие вырождения по спектру на 0,8 МГц, как это показано на Рис.1. Результаты расчета подтверждают экспериментальные данные с точностью до ошибки измерений, которая не превышает 10%. Такое расщепление может привести к неправильному определению добротностей мод при оценке селективности резонатора и ошибкам при юстировке и сборке резонаторов.

Также в работе исследовано влияние фазовой анизотропии реальных зеркал на возникновение эллиптичности поляризаций собственных мод резонаторов и, как следствие, изменение их добротности и спектров. В качестве примера на рис.2 приведено сравнение расчетных и экспериментальных значений добротностей нескольких соседних аксиальных мод. Резонаторные моды последовательно возбуждались при перестройке периметра резонатора. Добротности мод с правой и левой круговыми поляризациями отличаются на 70 ppm. и, практически, не зависят от настройки резонатора. Этот результат хорошо согласуется с расчетной величиной разности добротностей при фазовой анизотропии первого, второго, третьего и четвертого зеркал соответственно: -0,1 рад; 0,08 рад; 0,03 рад и - 0,02 рад, что соответствует характеристикам реальных зеркал данного резонатора.



**Рис.2. Расчетные и экспериментальные значения добротностей продольных мод с правой и левой круговыми поляризациями**

Проведенный анализ показал, что наличие фазовой анизотропии на 2-х и более зеркалах в резонаторе приводит к изменению добротности и спектров мод, причем величины изменений зависят не только от величины ошибки напыления слоев зеркал, но и от номера зеркала в симметричных кольцевых резонаторах. Комплектование зеркал для сборки лазерных резонаторов следует оптимизировать, с учетом отклонения зеркал от идеальных по фазовой анизотропии. Более того, для уменьшения ошибки измерений зеemanовским лазерным гироскопом, связанной с магнитной чувствительностью и уменьшением ее путем использования четырехчастотного или квази- четырехчастотного режимов работы<sup>3</sup> следует выравнивать добротности мод с разной круговой поляризацией путем подбора зеркал с учетом их фазовой анизотропии.

1. Азарова В.В., Голяев Ю.Д., Дмитриев В.Г. Кольцевые газовые лазеры с магнитооптической подставкой для лазерной гироскопии. // Квантовая электроника, 30(2), 96-104, 2000.
2. Королев К.Ю., Савельев И.И., Стахмич Ю.В. Распределение интенсивности и фазы поля поперечных мод для стигматичного плоского и неплюского резонатора. // Труды XI межвузовской научной школы молодых специалистов, 2010
3. Vinokurov Yu.A., Golyaev Yu.D., Dmitriev V.G. and others, 3-oxises Zeeman laser gyros high accuracy. //Proc. of XV St-Petersburg International Conf. 116-121, 2008.

### **Оптический лабораторный комплекс для угловых и спектральных измерений**

*Л.Б. Кочин, В.Ф. Лебедев, А.П. Погода*  
*(Санкт-Петербург)*

Измерения угловых и спектральных величин – одни из наиболее распространенных в оптике [1]. На их основе определяют многие другие оптические характеристики и величины: показатели преломления прозрачных сред, параметры призм и дифракционных решеток, диаграммы пространственного распределения излучения светодиодов и спектральный состав излучения различных источников.

Для практического изучения методов оптических измерений спектральных и угловых величин предложен комплекс технических средств [2], включающий лабораторный визуальный коллимационный оптико-механический оптический измерительный прибор, работающий в видимой области спектра, – гониометр Г5, эталонные источники излучения (гелий-неоновый лазер и ртутную лампу), набор эталонов показателей преломления оптического стекла, а также необходимые дополнительные элементы (призмы, дифракционные решетки, крепеж, источники питания и др.).

Комплекс предназначен для проведения лабораторных работ по оптическим измерениям и соответствует одноименной учебной дисциплине. Цикл работ предусматривает изучение устройства и принципа действия гониометра, юстировку прибора, измерение углов призм, определение показателя преломления оптического стекла, измерение параметров дифракционных решеток, исследование диаграммы пространственного распределения излучения светодиодов, а также исследование спектров излучения различных источников.

Предложены разные варианты и методики исследований, а также обширный справочный материал по тематике работ. В процессе проведения исследований и при оформлении отчетов учащиеся закрепляют теоретические знания и приобретают навык работы с оптическими приборами и оборудованием.

1. *Кирилловский, В.К.* Оптические измерения. Ч. 1–5 / В.К. Кирилловский. СПбГУИТМО. СПб., 2003–2006.
2. *Кочин, Л.Б.* Угловые и спектральные измерения с помощью гониометра: лабораторный практикум / Л.Б. Кочин, В.Ф. Лебедев, А.П. Погода; Балт. гос. техн. ун-т. СПб., 2012.

### **Обработка цифровых изображений – программное обеспечение вариации яркости/контраста для экспертных приложений**

*О. В. Дрокова*

*(Волгоград)*

В работах [1,2] экспериментально показано, что глобальная вариация яркости цифрового изображения программными средствами современной компьютерной графики сопровождается изменением цветности пикселей. Соответствующая погрешность, очевидно, в программном инструменте <Contrast> не только проявилась, но и существенно возросла. Однако, для целей экспертного исследования, где <Contrast> применяется, безусловно, чаще, чем <Brightness>, такого рода погрешности недопустимы, так как с ними нельзя исключить возможность снижения информативности изображения в целом, а то и локального искажения изобразительной информации (артефакта). Следовательно, для экспертизы необходим принципиально иной программный инструментальный яркостного контрастирования, и алгоритм его работы ранее был подробно изложен в работе [3]. В настоящем докладе:

- рассматриваются особенности программной реализации предложенного алгоритма,
- анализируются результаты использования программ в практике визуального анализа цифровых изображений.

Вывод. Разработанное программное средство вариации яркостного контраста изображений обеспечивает глобальное повышение их информативности в отсутствие артефактов, что делает его применение правомерным в экспертных приложениях.

1. Боровкова А.О., Чмутин А.М. Управление яркостью изображений в фотографии, в телевидении, в компьютерной графике. Часть 1. // Интернет-вестник ВолгГАСУ. 2013. Вып. 3(28). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.vestnik.vgasu.ru>.

2. Боровкова А.О., Чмутин А.М. Управление яркостью изображений в фотографии, в телевидении, в компьютерной графике. Часть 2. // Интернет-вестник ВолгГАСУ. 2013. Вып. 3(28). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.vestnik.vgasu.ru>.

2. Боровкова А.О., Рвачева О.В., Чмутин А.М. Управление яркостным контрастом: от телевидения к компьютерной графике. // Журнал радиоэлектроники. 2012. №2. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://jre.cplire.ru>.

### **Оптимизация эрбиевых импульсных лазеров с ламповой накачкой.**

*К.М. Мужчинкина, Е.С. Сергеев, И.В. Чавкин*

*(Санкт-Петербург)*

В настоящее время лазеры на эрбиевом стекле находят широкое применение в дальнометрии. Спектральная область вблизи 1,5 мкм относительно безопасна для глаз и удобна для работы в атмосфере. Для увеличения КПД эрбиевого лазера с ламповой накачкой, работающего в импульсно-периодическом режиме в стекло вводят сенсibilизаторы  $\text{Yb}^{3+}$  и  $\text{Cr}^{3+}$ . Улучшение тактико-технических характеристик дальномеров требует повышения частоты следования лазерных импульсов. Повышение частоты приводит к росту температуры активной среды, при этом увеличивается скорость обратного переноса в паре Cr-Yb и снижается КПД [1-3].

Нами были проведены эксперименты по исследованию влияния тока в ксеноновой лампе и энергии накачки на сигнал люминесценции трех активных элементов с разным содержанием соактиваторов. Это позволило оценить влияние параметров накачки и состава стекла на энергетические характеристики малогабаритных лазеров на эрбиевом стекле с ламповой накачкой, работающих в импульсно-периодическом режиме без принудительного охлаждения. Установлено, что лазеры данного типа при соответствующей оптимизации параметров накачки и концентрации соактиватора  $\text{Cr}^{3+}$  могут устойчиво работать на частоте в несколько Гц.

1. Л.О. Бышевская-Конопко, И.Л. Воробьев, А.А. Изынеев, П.И. Садовский, С.Н. Сергеев. Оптимизация параметров накачки импульсно-периодического эрбиевого лазера. / Квантовая электроника, 31, №10, 2001.
2. А.А. Изынеев, П.И. Садовский. Новое высокоэффективное лазерное эрбиевое стекло ЛГС-ХМ для неохлаждаемых миниатюрных лазерных излучателей с высокой частотой повторения импульсов. / Квантовая электроника, 24, №9, 1997.

3. A.A. Izyneev, P.I. Sadovski. Family of highly efficient erbium-doped phosphate glasses/Proc. of SPIE, vol.4350, 2001

### **Самоиндуцированные поляритонные резонансные нанорезонаторы**

*С.Н.Багаев, В.С.Егоров, В.Г.Николаев, И.А.Чехонин, М.А.Чехонин*

*(Новосибирск, Санкт-Петербург)*

В работе рассмотрена задача создания высокодобротных светоиндуцированных микро- и нанорезонаторов поляритонных нанолазеров и оптических ячеек памяти.

В одномодовых оптических резонаторах могут быть созданы связанные долгоживущие состояния системы “поле + вещество” [1]. Большое время жизни таких “метастабильных” состояний объясняется тем, что пространственный спектр резонансной поляризации среды  $P(t,x)$  содержит только компоненты с волновыми векторами  $q = \pm 3K, \pm 5K \dots$  и поэтому *излучение в дальней зоне запрещено*.

В настоящей работе исследованы процессы образования аналогичных связанных долгоживущих состояний системы “поле + вещество” при столкновении двух когерентных импульсов [2], распространяющихся антиколлинеарно в плотной резонансной среде.

Задача исследована с помощью численного решения уравнений Максвелла-Блоха *без применения приближения медленных огибающих* (RWA) для поля  $E(t,x)$ , поляризации  $P(t,x)$  и разности заселенностей  $N(t,x)$ . Учитывалась конечность времен релаксации  $T_1$  и  $T_2$  среды.

При столкновении двух резонансных  $2\pi$ -импульсов образуется очень компактное неподвижное связанное состояние системы “поле + вещество”. Исследованы пространственные спектры  $P(t,x)$  и  $N(t,x)$  в области связанного состояния. Показано наличие большого количества пространственных гармоник поляризации  $P(t,x)$  ( $q = \pm 3K, \pm 5K, \pm 7K \dots$ ) и разности заселенностей  $N(t,x)$  ( $2K, 4K, 6K \dots$ ), где  $K$  – волновой вектор волны.

Изучена динамика поля излучения самоиндуцированных поляритонных нанорезонаторов в ближней и дальней зонах. Показано, что в дальней зоне кратковременное переходное излучение нанорезонатора является суперпозицией экситон-поляритонов резонансной среды, находящихся на нижней и верхней ветвях дисперсионной кривой резонансной среды.

Предельная оценка добротности самоиндуцированных нанорезонаторов соответствует добротности элементарного осциллятора среды:  $Q = \omega_0 T_2$ . При значениях  $\omega_0 = 3 \cdot 10^{15} \text{ с}^{-1}$  и  $T_2 = 10^{-9} \text{ с}$ , величина добротности может, в принципе, достигать значений  $Q = 3 \cdot 10^6$ .



1. Егоров В.С., Чехонин И.А. Метастабильные состояния в системе поле-вещество при кооперативной самодифракции внутри резонатора // ЖТФ, 1986. т56. №3. с.572-574.
2. Egorov V.S., Nikolaev V.G., Chekhonin I.A., Chekhonin M.A., Bagaev S.N. Self-induced polariton resonant nanocavities // Proceedings of the ICONO/LAT:2013. ICONO-04 Quantum Physics, Information, and Technologies, p. 56-57, (June 18-22, 2013, Moscow, Russia).

### **Магнитная жидкость для оптоакустических измерений**

*А.Р. Баев, А.А. Карабутов, В.Г. Гуделев, А.И. Митьковец, А.Л. Майоров, М.В. Асадчая*

*(Минск, Москва)*

Магнитные жидкости (МЖ) относятся к классу высокостабильных коллоидных растворов, обладающих агрегативной и седиментационной устойчивостью, легко управляемых внешним электромагнитным полем. На основе анализа оптических [1] и акустических свойств МЖ [2] на органической и неорганической основе нами предложено использовать их объемы в качестве оптоакустического (ОА) преобразователя импульсного лазерного излучения (ЛИ) в упругие волны (УВ) с целью измерения интенсивности ЛИ, создания оптоакустического контакта для ввода продольных, сдвиговых и других типов мод в исследуемых объектах, а также управления направленностью УВ. Проведен анализ ОА тракта и экспериментально исследовано влияние концентрации магнетика  $q$  и дисперсионной основы (минеральное масло, вода, керосин) на амплитудно-частотные характеристики возбуждаемых волн  $A(f)$  и коэффициент поглощения  $\alpha_l$  лазерного излучения ( $\lambda=1,06$  мкм) в приповерхностной зоне. Установлено, что зависимость передаточной функции ОА преобразования  $K_t^*(q)$  имеет максимум, при характерном  $q^*$ , определяемом преимущественно теплофизическими и упругими свойствами входящих в коллоид компонент. Показано, что «коротковолновый» режим возбуждения УВ в коллоиде МЖ на органической основе ( $\alpha_l C \tau \ll 1$ ) реализуется при  $q < 0,5\%$ , что сопровождается существенным расширением спектра сигнала. При реализации «длинноволнового» режима ( $\alpha_l C^{-1} \gg 1$ ,  $q > 2-3\%$ ), спектры интенсивности падающего излучения  $J(f)$  и возбуждаемых волн  $A(f)$  практически одинаковы. Наличие диспергирующей среды, передающей энергию УВ в объект, сопровождается расширением спектра акустического сигнала. Проведенные эксперименты показали возможность измерения интенсивности ЛИ при его падении как на границу стекло-МЖ, так и воздух-МЖ. В последнем случае каждый участок такой поверхности, формируемый магнитным полем, является источником УВ, акустическая ось которого направлена оппозитно внешней нормали, проведенной к поверхности МЖ. Прием УВ производится пьезопреобразователем с рабочей частотой 3-5 МГц. Наличие пондеромоторных сил позволяет проводить измерения при произвольной ориентации объема

МЖ в пространстве. Формируя квазисферическую или квазицилиндрическую поверхность МЖ и воздействуя на нее ЛИ, можно осуществлять фокусировку возбуждаемых волн как в жидких, так и в твердых телах. Подобным же образом может быть реализовано качание или вращение акустического луча, вводимого через МЖ в исследуемый объект.

1 Блум Э.Я. Майоров М.М., Цеберс А.О.// Магнитные жидкости. Рига. «Знатье». 1989. 386 с.

2 Баев А.Р., Прохоренко П.П., Алексеюк В.Д. // Влияние концентрации дисперсной фазы в магнитном поле на затухание ультразвуковых волн в магнитных жидкостях. Инж.-физ. журнал. 2007. т80.№5.с133-140.

### **Теоретическое и экспериментальное исследование**

#### **триангуляционного метода измерения формы поверхности**

*Н.В.Барышников, Д.Г.Денисов, И.В. Животовский, В.Я. Менделеев*

*(Москва)*

В высокотехнологичных отраслях промышленности для повышения эксплуатационных характеристик изделий активно внедряются сложно профильные изделия со свободной формой. Современные задачи, решаемые в машиностроении, энергетике и авиастроении требуют изготовления изделий (например, пресс-формы и турбинные лопатки) с погрешностью формы не более  $\pm 0,03$  мм. Для решения этой задачи одним из наиболее перспективных бесконтактных методов контроля формы поверхности является триангуляционный метод. Погрешность измерения формы поверхности промышленно выпускаемыми триангуляционными датчиками составляет 0,01 от измеряемого диапазона, что при диапазоне в 10 мм составляет 0,1 мм. Экспериментальные разработки триангуляционных датчиков показывают возможность достижения погрешности порядка 0,01 мм, но сильно зависящую от таких внешних условий как 1) базовое расстояние и смещение контролируемой поверхности от базового расстояния, 2) наклон нормали поверхности в точке измерения относительно плоскости триангуляции, 3) угол разворота преимущественной ориентации микропрофиля шероховатой поверхности, 4) величина шероховатости поверхности.

В работе приведен анализ погрешностей триангуляционного метода при контроле профиля поверхности сложной формы. Теоретически исследована погрешность метода в зависимости от базового расстояния, смещения поверхности от базового расстояния, угла триангуляции и погрешностей начальной калибровки датчика. Приведены экспериментальные оценки погрешностей измерения при различных базовых расстояниях, смещениях от базового расстояния, углах наклона нормали, величинах шероховатости и

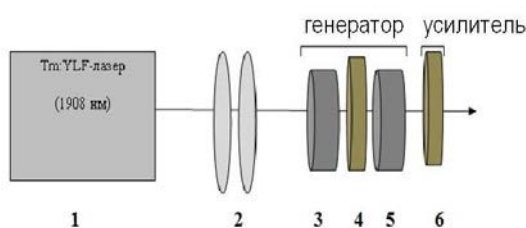
углах разворота микропрофиля шероховатой поверхности. Анализируется согласие теоретических и экспериментальных оценок.

## Однопроходный лазерный усилитель на поликристалле Cr:ZnSe

*О.Ю.Биткина, А.С.Егоров, А.П.Савикин, О.Н.Еремейкин*

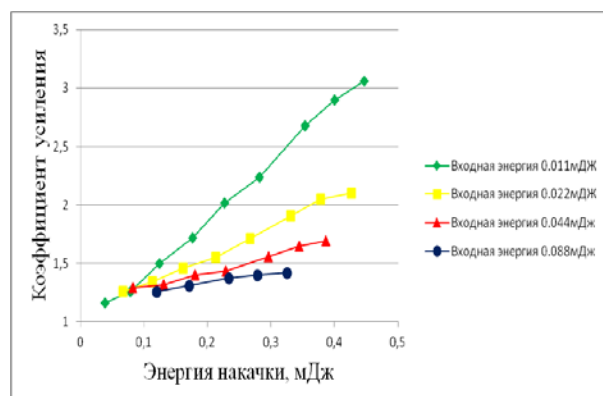
*(Нижний Новгород)*

Лазеры с длиной волны генерации перестраиваемой в среднем ИК диапазоне находят свое применение в медицине, спектроскопии, промышленности и др. [1]. К активным средам, имеющих полосу усиления в области длин волн 2-3 мкм относятся кристаллы халькогенидов, легированные двухвалентными ионами  $\text{Cr}^{2+}$ . Работа посвящена экспериментальному исследованию однопроходного лазерного усилителя на поликристалле Cr:ZnSe.



Линейно-поляризованное излучение Tm:YLF-лазера (1), работающего в импульсно-периодическом режиме (длина волны генерации 1.9 мкм, длительность импульса 100 нс, частота следования 4.5 кГц), одновременно использовалось для накачки

Cr:ZnSe-лазера (3,4,5) и усилителя (6) (рис.1). Образцы имели просветленные торцы и были закреплены в медную оправу через индиевую фольгу. Согласно результатам проведенных измерений, были построены зависимости коэффициента усиления от энергии накачки



(рис.2). Максимальное значение коэффициента усиления за один проход на длине волны 2.7 мкм достигалось при входной энергии 0.01 мДж и энергии накачки 0.4 мДж и составило величину  $K_{\text{усил}} \approx 3$ . Численные оценки значения коэффициента усиления с учетом эффекта насыщения соответствуют

результатам эксперимента.

Проведенные исследования предполагается использовать для разработки мощных лазерных систем, работающих в диапазоне длин волн от 2 до 3 мкм.

[1] S. Mirov, V. Fedorov, D. Martyshkin, C. Kim // «Laser&Photon», Rev.4. № 1(2010).

## **Формирование поверхностного рельефа галоидосеребряного фотослоя с помощью мультиплексной голограммы**

*Н.М. Ганжерли, С.Н. Гуляев, И.А. Маурер, Д.Ф. Черных*

*(Санкт-Петербург)*

В работе проведен экспериментальный анализ процесса формирования поверхностного рельефа на галоидосеребряных фотоэмульсиях. На первом этапе фотопластинки ПФГ-01 экспонировались когерентным излучением He-Ne лазера, прошедшим через мультиплексную голограмму [1]. С помощью оптической системы фильтрации на поверхности регистрирующего материала создавалась сложная структура волнового поля, обусловленная интерференцией множества волн, восстановленных мультиплексной голограммой. Зарегистрированная структура с помощью специальных методов фотохимической обработки трансформировалась в поверхностный рельеф. Были использованы два метода преобразования первичной амплитудной голограммы в рельефно-фазовую. Первый метод связан с деструкцией желатина фотослоя под воздействием коротковолнового УФ излучения [2]. Второй метод основан на структурировании желатина фотослоя при использовании дубящего отбеливателя типа R-10 [3].

Показано, что, используя вышеописанные методы, можно получить случайные рельефные структуры с глубиной рельефа, достаточной для создания оптических элементов, эффективно рассеивающих свет в заданном телесном угле.

### *Литература*

1. Ганжерли Н.М., Гуляев С. Н., Маурер И.А., Черных Д.Ф. Мультиплексная голограмма как объект для создания голографических диффузоров на галоидосеребряных фотоэмульсиях // Мир голографии. 2013. Т. 1. №1. С. 35-42.
2. Гуляев С. Н., Ратушный В. П. Свойства рельефно-фазовых голограмм, полученных при обработке фотопластинок коротковолновым ультрафиолетовым излучением и двухступенчатом отбеливании // Оптический журнал. 2003. Т. 70. № 2. С. 45-49.
3. Smith Н.М. Photographic Relief Images // J. Opt. Soc. Am. 1968. Vol. 58. №. 4. P. 533–539.

## **Термооптические эффекты в лазере на Yb-Er стекле с диодной накачкой**

*Чавкин И.В., Сергеев Е.С., Мужчинкина К.М.*

*(Санкт-Петербург)*

На сегодняшний день в лазерных дальномерах используются лазеры на Yb-Er стекле с диодной накачкой с выходной энергией 8-12 мДж и частотой повторения импульсов до 10 Гц.[1,2] Актуальной задачей является повышение выходной энергии и частоты повторения импульсов, однако ряд факторов препятствует этому. Один из них это термическая

прочность активных элементов, а второй – термооптические искажения в активной среде.[3] Поскольку термооптические искажения наблюдаются при градиенте температур гораздо меньшем порога термического разрушения активного элемента и оказывают существенное влияние на выходные характеристики лазера [4], то необходимо их подробное изучение.

Нами был проведен ряд экспериментов по исследованию поведения тепловой линзы при изменении энергии накачки в импульсно-периодическом режиме. Измерения проводились на макете лазера на Yb-Er стекле с поперечной диодной накачкой в условиях генерации и без нее. Также была проведена оценка влияния деполяризации в термонапряженном активном элементе на параметры генерации лазера. В результате работы были предложены возможные варианты компенсации эффектов, которые позволят получить стабильную работу лазера на частотах более 10 Гц и выходной энергии более 15 мДж.

#### *Литература*

1. Абазадзе А.Ю., Быков В.Н., Зверев Г.М., Плешков А.А., Симаков В.А. Высокоэффективный мини-лазер с импульсной поперечной полупроводниковой накачкой для безопасной лазерной дальнометрии // Квантовая Электроника, 2002, т. 32, № 3, с. 210 – 212.
2. Gapontsev V.P., Matitsin S.M., Isineev A.A., Kravchenko V.B. Erbium glass lasers and their applications // Optics and laser technology, 1982, № 8, p.189-196.
3. Shujing Liu, Feng Song, Hong Cai, Teng Li, Bin Tian, ZhaohuiWu and Jianguo Tian. Effect of thermal lens on beam quality and mode matching in LD pumped Er–Yb-codoped phosphate glass microchip laser./ J. Phys. D: Appl. Phys. 41 (2008) 035104 (6pp)
4. Мезенов А.В., Сомс Л.Н., А.И. Степанов. Термооптика твердотельных лазеров. – Л.: Машиностроение, 1986. С. 197

### **Многоканальная лазерная система для возбуждения спектров вынужденного комбинационного рассеяния.**

*С.А.Куценко, Д.А.Русских  
(Волгоград)*

Для реализации различных методов нелинейной лазерной спектроскопии комбинационного рассеяния требуются источники мощного монохроматического излучения с перестраиваемой частотой. Среди последних особое место занимают лазеры на растворах молекул органических красителей, накачкой которых служит излучение другого лазера. В данном случае это вторая гармоника излучения YAG:Nd<sup>3+</sup> лазера.

Представлено автоматизированное устройство для одновременного управления работой двух квантовых излучателей, один из которых служит для генерации излучения, а второй для его последующего усиления. Разработан и реализован блок накачки лазера, который имеет как ручное включение поджига в режиме свободной генерации, так и канал управления для синхронизации блока с другими устройствами, в частности для осуществления дополнительных режимов генерации.

В отличие от стандартных систем накачки разработанное устройство имеет два независимых блока заряда конденсаторов и поджига ламп, изолированную от внешних шумов систему включения с дистанционным каналом управления.

С использованием данного блока осуществляется стабильная работа лазерной системы. Энергия свободной генерации лазера с усилителем составляет  $\sim 500$  мДж, а в режиме модуляции добротности  $\sim 220$  мДж. Достигнутая энергия излучения позволяет одновременно осуществлять накачку лазеров на красителях и возбуждать спектры вынужденного комбинационного рассеяния конденсированных сред.

### **Проблемы повышения выходной энергии Ho:YLF лазера**

*А.Ф. Корнев, А.С. Наривончик, А.Л. Павлова, А. А. Порозов, В.А. Серебряков  
(Санкт-Петербург)*

Лазеры на кристаллах Ho:YLF позволяют получить генерацию на длине волны  $\sim 2$  мкм, что обуславливает множество применений в современных промышленных технологиях, медицине, дальнометрии, дистанционном зондировании атмосферы, а также для накачки систем параметрического преобразования частоты на нелинейно-оптических кристаллах ZnGeP<sub>2</sub> для получения среднего ИК-диапазона длин волн (3-8 мкм).

Увеличение эффективности и выходной энергии (средней мощности) 2 мкм лазеров при сохранении высокого качества пучка является задачей многих разработчиков, что позволяет сделать вывод об актуальности данной проблемы. Ее решение осуществлялось следующими путями.

Реализована компактная многопроходовая схема усилителя, позволившая повысить эффективность поглощения излучения накачки в активном элементе и эффективность съема энергии.

Произведено согласование пучка накачки и сигнального пучка в многопроходовом усилителе Ho:YLF лазера.

Проведена дополнительная оптимизация пропускания выходного зеркала задающего генератора, что привело к повышению выходной энергии задающего генератора и, соответственно, плотности мощности входного сигнала усилителя и увеличению выходной энергии Ho:YLF лазера. Достигнутая выходная энергия (при трех проходах) превышала 40 мДж при частоте следования импульсов 1000 Гц, эффективность съема энергии составляла

55%. В дальнейшем планируется модернизация многопроходовой схемы с целью снижения поглощения излучения в воздухе и снижению эффектов теплового самовоздействия пучков.

Исследована возможность повышения выходной энергии за счет лучшего согласования сигнального пучка и пучка накачки в однопроходовом усилителе при использовании более коротких кристаллов  $\text{Ho:YLF}$  с концентрацией ионов  $\text{Ho}^{3+}$  1-2 %. В экспериментах с такими кристаллами наблюдалось аномальное тепловыделение, а также гораздо более низкие по сравнению с расчетными пропускание и усиление, что, вероятно, объясняется наличием вредных примесей в кристалле. Отметим, что результаты измерения времени жизни в высококонцентрированных кристаллах не выявили падение времени жизни верхнего лазерного уровня, что свидетельствует об отсутствии ап-конверсионных потерь.

### **Выражение корреляции через временные и спектральные функции**

*Д.О. Москалец, О.Д. Москалец*

*(Санкт-Петербург)*

Корреляционный анализ является одной из основных операций при обработке сложных сигналов, где благодаря свойствам этих сигналов удается значительно повысить эффективность работы соответствующих систем, в частности оценка длительности сверхкоротких импульсов, также часто производится на основе корреляционной функции. Однако, описание корреляционного алгоритма требует математических уточнений, поскольку отсутствует единая точка зрения на вычисление корреляционной функции как математической операции. Операция умножения, необходимая при вычислении корреляционного интеграла, позволяет рассматривать коррелятор в двух аспектах: как линейную нестационарную систему при фиксированном одном сомножителе, и как нелинейную систему в случае произвольных сомножителей.

Предполагается, что операция умножения в реальном корреляторе выполняется строго в математическом смысле, а результат корреляционной обработки описывается в форме билинейного преобразования как над временными (классический вариант), так и над спектральными функциями. Последнее возможно в результате обобщения теоремы Бохнера на случай взаимной корреляционной функции. Это позволяет воспользоваться алгоритмом вычисления на основе спектральных представлений коррелируемых сигналов. Следует отметить, что корреляционная обработка оптических сигналов во временной области требует формирования временных задержек с точностью до долей периода оптического излучения,

что вызывает серьезные трудности в реализации.

Динамические сигналы не всегда существуют в виде колебательных процессов. В оптике, в акустооптических устройствах исследуются волновые процессы, аппаратные спектры которых обычно мгновенные [1]. Показано, что свертка и корреляция могут быть выражены через мгновенные спектры волновых процессов. Предлагаемый математический аппарат позволяет осуществить построение корреляторов сигналов оптического диапазона на основе дифракционных спектральных приборов, которые формируют мгновенные спектры оптических сигналов.

#### *Литература*

1 Moskaletz .O.D. Classical and quantum approach to power spectrum measurement by diffractive methods. Proceedings of SPIE. 1999, Vol. 3900, P. 297-308.

### **Дисперсионные характеристики композитных материалов на основе металлических наноструктур**

*Н.С. Панамарев, И.В. Самохвалов, В.А. Донченко, Ал.А. Землянов  
(Томск)*

Исследование свойств нанокompозитных сред представляет собой важную задачу. Свойства таких сред могут значительно отличаться от свойств как объемных материалов, так и отдельных наночастиц, формирующих композит. Таким образом, нанокompозитные среды являются той базой, на которой создаются новые материалы с заданными структурными, электронными и оптическими свойствами, которые определяются размером, формой и упорядоченностью составляющих их наночастиц, а также факторами заполнения наночастицами. Среди разнообразных наноструктурированных сред значительный интерес представляют гетерогенные среды, образованные путем внедрения металлических наноразмерных частиц и их агрегатов в диэлектрическую среду (матрицу) [1].

В данной работе приводятся результаты оценки рассеивающих свойств агрегатов наночастиц Ag, Cu, Zn, Ni, Al, Sn, Pb. Для численных расчетов была выбрана модель сферически-агрегированных наночастиц, что обосновано их широким использованием в задачах как прикладного, так и фундаментального характера. Приводятся результаты расчета оптических характеристик гетерогенных сред на основе наночастиц перечисленных выше металлов, внедренных в диэлектрическую среду. Для расчета оптических характеристик указанных сред применена модель эффективной среды и использовалось приближение Клаузиуса-Моссотти.

Известны физические и технические проблемы, возникающие при конструировании широкополосных оптических покрытий, особенно для поверхностей поглощающих сред [2]. Во второй части данной статьи анализируются возможности металлокомпозитных пленок в широкополосном оптическом просветлении поверхностей поглощающих и непоглощающих сред. Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках «Программы повышения конкурентно способности ТГУ»

#### *Литература*

1. Ораевский А.Н., Проценко И.Е. Высокий показатель преломления и другие оптические свойства гетерогенных сред // Письма в ЖЭТФ, 2000, Т. 72, С. 641-646.
2. Гадомский О.Я., Алтуни К.К., Ушаков Н.М. Идеальное оптическое просветление композитных пленок, активированных сферическими наночастицами // Письма в ЖЭТФ, 2009, Т. 90, № 4, С. 273-278.

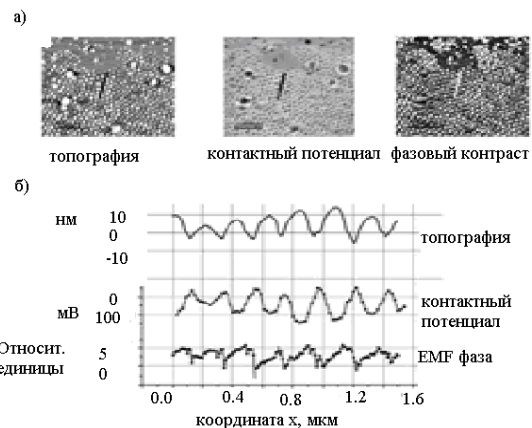


## Фемтосекундное излучение круговой поляризации и формирование упорядоченного 2D нанорельефа поверхности конденсированной среды

Макин В.С., Макин Р.С.  
(Сосновый Бор, Ульяновск)

Одной из физических моделей, широко используемых для объяснения результатов взаимодействия УКИ лазерного излучения с конденсированными средами, является универсальная поляритонная модель [1]. Касаясь вида упорядоченных структур, образование которых описывает модель, отметим линейные резонансные решетки, квазипериодический рельеф, формируемые линейно поляризованным излучением; круговые решетки и радиальные структуры, образующиеся под действием излучения с аксиально симметричной поляризацией (радиальной, азимутальной).

Вместе с тем, известно, что под действием поляризованного по кругу излучения фемтосекундной длительности образуется двумерный рельеф, в виде упорядоченной системы наносфер диаметром  $\leq \lambda$  и малой величиной дисперсии диаметров. Здесь  $\lambda$  - длина волны лазерного излучения. Эффект был



реализован на поверхностях таких сред как  $\text{TiO}_2$  [2], 4H-SiC, монокристаллический кремний, тантал (см. рис.) [3]. Эти интересные результаты до сих пор не имеют физического объяснения. В докладе в рамках универсальной поляритонной модели лазерно-индуцированного разрушения конденсированной среды анализируются опубликованные экспериментальные результаты и показывается, что образование упорядоченных двумерных наноструктур связано с изотропным по азимутальному углу  $\phi$  (в плоскости облучаемой поверхности) возбуждением поверхностных плазмон поляритонов (ППП) излучением круговой поляризации и их интерференцией с падающей волной, что и дает основной период наноструктур  $d = \lambda / \eta$ ,  $\eta \geq 1$ , где  $\eta$  - действительная часть показателя преломления границы раздела вакуум – возбужденная среда для PPP. Рассмотренное явление может быть использовано для создания упорядоченного массива субмикросфер с существенно различными физическими свойствами (полупроводник, диэлектрик, металл), в рамках единого физического и технологического подхода, для различных приложений, включая создание упорядоченно наноструктурированных поверхностей с известными и новыми функциональными свойствами, такими как повышенная поглощательная и излучательная

способность, изменение смачиваемости, уменьшение трения, антибактериальные свойства, создание упорядоченной топографии поверхностного заряда и др.

1. Макин В.С., Макин Р.С. Основы взаимодействия ультракороткого лазерного излучения с конденсированными средами. (Часть I). Димитровград. 2013. 236 с.
2. K.Das, K. Dasarti et al. Extended nanostructuring of TiO<sub>2</sub> with femtosecond laser pulses at 400 nm using a line focus. // Nanotechnology. 2010. V. 21. P. 155302.
3. J. Reif. Basic physics of femtosecond laser ablation. P. 19-41. In Laser-surface interactions for new materials production: tailoring structure and properties. Miotello, A., Ossi P.M. (eds). 2010. XVI. 358 p.

### **Оценка предельной информационной ёмкости 2-D и 3-D оптических сред**

*Ю.И. Кузьмин, В.М. Петров,*

*(Санкт-Петербург)*

Оптические (светочувствительные) среды широко известны для записи в них информации. Для этого, например, могут быть использованы точечное, т.е. «пиксельное», голографическое, и другие способы кодирования записываемой информации. Возникает вопрос: какой из возможных способов кодирования является наиболее эффективным с точки зрения оптимального использования физических свойств среды и механизмов записи информации?

В представленном докладе мы применим теорию Шеннона для определения максимального количества пикселей, которое может быть записано в оптической среде при наличии лишь дифракционных ограничений в рамках формализма обратных решёток. Нами будет показано, что для корректной оценки предельной информационной ёмкости необходимо учитывать динамический диапазон и собственные шумы оптической среды.

Одним из важных практических следствий представленной теории следует вывод: при выполнении некоторых практических условий, информационная ёмкость трёхмерной голограммы, в которой записано  $N$  страниц, может оказаться меньше, чем информационная ёмкость набора из  $N$  голограмм, в каждой из которой записана только одна страница. Эта разница, приходящаяся на один пиксел может достигать величины  $2N \log_2 N$  бит.

#### *Литература*

1. Van Heerden P.J. // Appl. Opt. 1963, V.2, N4, p. 393 – 400/
2. Shannon C. // Proc. IRE, 1949, V. 37, N1, p. 10 – 21.
3. Miridonov S.V., Khomenko A.V., Tentori D., Kamshilin A.A. // Opt. Lett. 1994, V. 19 N 7, p. 502 – 504.
4. Tiemann M., Schmidt M., Petrov V.M., Petter J., Tschudi T. // Appl. Opt. V. 46 N14, 2007, p. 2683 – 2687.

**Разработка метода лазерной очистки поверхности первого зеркала  
диагностики плазмы “Активная спектроскопия” в ИТЭР**

*А.В. Савченков<sup>1</sup>, А.О. Андреев<sup>1</sup>, О.И. Бужинский<sup>2</sup>, К.Л. Губский<sup>1</sup>,*

*А.П. Кузнецов<sup>1</sup>, А.В. Михайлюк<sup>1</sup>, С.Н. Тугаринов<sup>2</sup>*

*(<sup>1</sup> Москва, <sup>2</sup>Московская обл, г. Троицк)*

На современных термоядерных установках типа Токамак используется целый комплекс оптических диагностик, измеряющих характеристики плазмы. Диагностики, расположенные внутри разрядных камер подвергаются интенсивному радиационному воздействию, распылению атомами перезарядки и загрязнению за счет переосаждения распыленных материалов различных элементов камеры токамака. Удаление напыленных на зеркала пленок с помощью импульсного лазерного излучения является эффективным способом очистки позволяющим восстанавливать оптические свойства зеркал.

В работе проводилось экспериментальное исследование эффективности удаления углеродных и металлоксидных пленок импульсным излучением волоконного лазера. Оптимизация параметров лазерной очистки поверхности зеркал проводилась на образцах, представляющих собой полированные с оптическим качеством металлические подложки с нанесенными пленочными покрытиями, аналогичными по химическому составу и механическим характеристикам ожидаемым при эксплуатации ИТЭР напылениям. Толщина пленок варьировалась в пределах от 80 до 700 нм.

Показано, что подбором режимов воздействия излучения на загрязненную поверхность можно восстановить исходные высокие отражательные характеристики оптических элементов. При оптимальном подборе режимов эффективная очистка проводится излучением с плотностью мощности менее  $10^7$  Вт/см<sup>2</sup>. При такой мощности удаление загрязнений происходит в твердой фазе, вследствие чего термическое воздействие на зеркало оказывается незначительным.

Кроме того, при работе в оптимальном режиме или близком к нему, возможно уменьшение шероховатости, что позволяет не только очищать зеркала от загрязнений, но и полировать поверхность.

## **Анализ конструкций ЖК – затвора для 3D - модуляторов**

*Г.В. Симоненко  
(Саратов)*

В последнее время в системах обработки информации в формате 3D большое место занимают различные оптические жидкокристаллические (ЖК) затворы [1], использующие преимущественно  $\pi$  - ячейки. Работа посвящена поиску оптимальной конструкции оптического ЖК – затвора, который использует различные ориентационные структуры ЖК и различные типы конструкции ЖК – ячеек.

Методом компьютерного моделирования выполнен анализ оптических характеристик ЖК – затвора, работающего на основе различных ориентационных структур в различных режимах. На основе этого анализа можно сделать следующие выводы:

- классическая твист – ячейка, работающая в волноводном режиме, имеет наилучшие оптические характеристики по сравнению с другими типами ЖК – затворов;
- если к ЖК – затвору предъявляются высокие требования по оптическим характеристикам, но слабые или средние требования к быстродействию, то ЖК – затвор следует выбирать на основе классической твист – структуры, работающей в волноводном режиме. Если же требуются одновременно высокое быстродействие и хорошие оптические характеристики, то стоит выбрать ЖК – затвор на основе  $\pi$  - ячейки с углом закрутки структуры  $180^\circ$ .

### *Литература*

1. Ежов В.А. Автостереоскопический дисплей с полноэкранным 3d разрешением (варианты) и способ управления активным параллаксным барьером дисплея // Патент РФ № RU 2490818. 2012.

## **Анализ возмущений в неадиабатически взаимодействующих состояниях димеров Rb<sub>2</sub>, Cs<sub>2</sub>.**

*А. С. Скублов, В. Б. Совков, В. С. Иванов  
(Санкт–Петербург)*

Показано, что для анализа неадиабатических возмущений в структуре термов двухатомной молекулы можно использовать разложение, полученное в рамках теории дальнего действия Ле Роя–Бернштейна [1], для зависимости энергии терма от колебательного и

вращательного квантовых чисел. Теории придана изотоп-инвариантная форма, удобная при совместном анализе спектров различных изотопомеров. Получено общее выражение для произвольного члена вращательного разложения. Показано, что использование разложения совместно с требованием самосогласованности приближения парного взаимодействия близко расположенных уровней позволяет найти надежное нулевое приближение для потенциалов и матричного элемента взаимодействия состояний. Нулевое приближение уточняется путем оптимизации модели взаимодействия в точном многоканальном квантовомеханическом расчете. В докладе приведены результаты использования такого подхода при анализе неадиабатических возмущений в возбужденных состояниях различной мультиплетности димеров  $Rb_2$  и  $Cs_2$ .

#### *Литература*

- 1 R. J. Le Roy and R. B. Bernstein. Dissociation Energy and Long-Range Potential of Diatomic Molecules from Vibrational Spacings of Higher Levels // The Journal of Chemical Physics. – 1970. – Vol. 52. – No. 8. – P. 3869–3879.

### **Чувствительность частоты импульсов квазитрехуровневого твердотельного лазера с пассивным модулятором в резонаторе к изменениям мощности диодной накачки**

*А.Ф.Шаталов, Ф.А.Шаталов*

*(Москва)*

В работе исследована чувствительность  $K_F = \Delta F / \Delta P$  частоты  $F$  импульсов квазитрехуровневого твердотельного лазера с пассивным модулятором в резонаторе к изменениям  $\Delta P$  мощности  $P$  диодной накачки лазера, где изменение  $\Delta F$  частоты  $F$  обусловлено изменением  $\Delta P$ .

Показано, что чувствительность  $K_F$  зависит от числа  $m$  подуровней основного энергетического уровня и температуры  $T_k$  активного элемента (АЭ) лазера. При работе лазера в автоколебательном режиме [1,2], когда частота  $F$  и период  $T = 1/F$  импульсов определяются мощностью  $P$ , чувствительность

$$K_F = (x_a - 1) / [T_1 P_i (1 - x_0)(x_a - x_m)], \quad (1)$$

где  $P_i$  – пороговая мощность накачки, создающая в АЭ в момент начала генерации импульса пороговую инверсную плотность  $n_i$ ;  $x_a = n_a / n_i$ ;  $x_0 = n_{0f} / n_i$ ;  $n_{0f}$  – начальная инверсная плотность (в автоколебательном режиме  $n_{0f}$  устанавливается после окончания импульса лазера за время термализации нижнего лазерного мультиплета) [1];  $x_m = n_m / n_i$ ;  $n_a$  – концентрация ионов активаторов в АЭ;  $n_m = (1 + e_{13}) n_a w_p T_1 - e_{13} n_a$ ; коэффициент  $w_p$  пропорционален  $P$ , а  $e_{13}$

зависит от  $n$  и  $T_k$  [3];  $T_1 = \left( \frac{1}{\tau} + w_p \right)^{-1}$ ,  $\tau$  – радиационное время жизни верхнего лазерного уровня. При  $x_a \gg x_m$  и  $1/\tau \gg w_p$  чувствительность  $K_F = [\tau P_i (1 - x_0)]^{-1}$  совпадает с [2].

При работе лазера в ждущем режиме, когда частота  $F$  определяется частотой коротких запускающих лазер импульсов накачки, изменение  $\Delta T$  периода импульсов определяется коэффициентом  $K_T = \Delta T_0 / \Delta P = [T_1 (x_0 - 1)(x_a - 1)] / [P_i (x_m - 1)^2 (x_a - x_m)]$ , (2) где  $\Delta P$  – изменение амплитуды импульса накачки, обуславливающее изменение  $\Delta T_0$  задержки  $T_0$  начала импульса лазера относительно начала импульса накачки [1,2]; а  $n_{0f} = -e_{13}n_a$  при накачке лазера одиночным импульсом и  $n_{0f} = (1 + e_{13})n_a w_{p0} T_{10} - e_{13}n_a$ , если накачка  $P$  комбинируется из постоянной  $P_0$  и импульсной  $P_p$  составляющих.

Полученные выражения (1) и (2) позволяют проводить практические оценки коэффициентов  $K_F$  и  $K_T$  в условиях, когда характерное время изменений мощности  $P$  сравнимо или превышает период  $T$  импульсов лазера.

#### *Литература*

1. Шаталов А.Ф., Шаталов Ф.А. // Известия вузов. Радиофизика. 2009. Т.52. №4. С.337.
2. Шаталов А.Ф., Шаталов Ф.А. // Прикладная физика. 2010. №5. С.98.
3. Шаталов А.Ф., Шаталов Ф.А. // Нелинейный мир. 2014. Т.12. №3. С.35.

### **Исследование параметров биомолекулярных растворов методами лазерного светорассеяния и импедансной спектроскопии**

*А.В. Черемискина, Э.К. Непомнящая, К.К. Корилов, Е.Н. Величко, О.Ю. Цыбин, Е.Т. Аксенов  
(Санкт-Петербург)*

Исследование свойств новых функциональных материалов является одним из актуальных научных направлений, в том числе, в области биомолекулярной электроники. Вследствие сложного химического состава и микроструктуры биологических материалов проблема оптимизации их параметров для прикладных целей связана с определением их электрофизических свойств. Одними из перспективных материалов в области биомолекулярной электроники являются биомолекулярные пленки, обладающие свойством самоорганизации [1]. Большая часть методов получения таких пленок связана с формированием их из жидкой среды, поэтому исследование электрофизических свойств биомолекулярных растворов является важной и актуальной задачей.

Метод импедансной спектроскопии позволяет получить информацию о реакции системы

на приложенное электрическое поле и является эффективным методом исследования структурных и динамических свойств сложных, в частности, биологических, систем [2,3].

В работе представлены результаты исследований различных биомолекулярных растворов методом импедансной спектроскопии в диапазоне частот 0,5 -110 МГц. Были выявлены нелинейные особенности фазочастотных характеристик растворов глицина и альбумина и исследована их динамика в зависимости от различных факторов. Для получения дополнительной информации о структурных изменениях в изучаемых растворах использован метод лазерного светорассеяния, позволяющий оценить динамику конформационных изменений в растворах под действием различных факторов.

#### *Литература*

1. Величко Е.Н., Цыбин О.Ю. Биомолекулярная электроника. Введение: учеб. пособие. СПб, Изд-во Политехнического ун-та. – 2011. – 256 с.
2. Гусев Ю.А. Основы Диэлектрической спектроскопии. Учебное пособие. Казань. – 2008. – 112 с.
3. Macdonald J. R. Impedance Spectroscopy Theory, Experiment, and Applications. – 2005. – 606 p.

### **Модель поглощения оптического излучения и тепловой нагрузки поверхности кожи в присутствии наночастиц диоксида титана (TiO<sub>2</sub>) и оксида цинка (ZnO)**

*И. В. Красников\*, А. Ю. Сетейкин\*, А. П. Попов\*\**

*(\*Благовещенск, Россия; \*\*Оулу, Финляндия)*

Различные аспекты распространения оптического излучения в сильно рассеивающих случайно-неоднородных средах были широко освещены в многочисленных теоретических исследованиях [1]. Метод Монте-Карло позволяет получить решения, когда аналитические подходы оказываются бессильны в поиске удовлетворительного решения задачи. Здесь рассматриваются траектории отдельных фотонов движущихся через среду, взаимодействуя со средой на основе случайных процессов рассеяния и поглощения. Метод Монте-Карло не имеет внутренних ограничений, что позволяет решать задачу распространения излучения в среде, учитывая сложные параметры биологических тканей. Учитывая эти свойства, метод МК выбран в качестве основного инструмента для моделирования распространения оптического излучения в биологических тканях во многих исследованиях [1-2].

Целью этой работы стало изучение возникающей тепловой реакции многослойной биологической ткани на примере кожи на воздействие солнечного излучения широкого спектра при использовании наночастиц диоксида титана (TiO<sub>2</sub>) и оксида цинка (ZnO) усредненных и оптимальных размеров частиц для соответствующей длины волны, с целью достижения максимальной защиты (ослабления) от этого излучения [2]. Разработан программный комплекс, реализующий метод Монте-Карло, для моделирования

распространения фотонов внутри среды, частично заполненной наночастицами и моделирования процессов теплопереноса. Получены и проанализированы зависимости динамики температуры в роговом слое кожи при облучении его светом с длинами волн от 310 до 800 нм. Установлено, что возрастающее за счет внесенных в верхний роговой слой кожи наночастиц оптимальных размеров, рассеяние и поглощение света приводит к увеличению тепловой нагрузки, однако, и к резкому снижению глубины проникновения значительной части падающего излучения.

#### *Литература*

1. Meglinski I., Doronin A.V., "Monte Carlo modeling for the needs of biophotonics and biomedical optics", in: Advanced Biophotonics: tissue optical sectioning, Edited by V.V. Tuchin, R.K. Wang, Taylor & Francis, Chapter (2012).
2. Popov A.P., Priezzhev A.V., Lademann J., Myllylä R., "Alteration of skin light-scattering and absorption properties by application of sunscreen nanoparticles: A Monte Carlo study", Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer, 112 (11), 1891-1897 (2011)

### **Макет фурье-процессора для оптической обработки изображений и сигналов**

*М.С. Кузьмин, С.А. Rogov, С.В. Розов, К.Я. Смирнов  
(Санкт-Петербург)*

Применение оптических аналоговых процессоров перспективно при решении задач обработки информации, где требуется высокая скорость вычислений при малых габаритах и энергопотреблении процессора. Одним из наиболее простых устройств такого типа является фурье-процессор, использующий способность линзы при когерентном освещении осуществлять преобразование Фурье. На основе этого устройства могут быть реализованы такие операции, как анализ пространственных спектров изображений, спектральный и корреляционный анализ сигналов, распознавание образов.

Быстродействие, разрешающая способность, динамический диапазон, удобство в управлении и другие параметры процессора в значительной мере определяются его элементной базой и, в частности, используемым устройством ввода сигналов в оптическую систему. Нами был разработан действующий макет фурье-процессора с использованием жидкокристаллического устройства ввода сигналов и изображений [1]. Был изготовлен также переносной макет, используемый в лабораторной работе для изучения студентами методов оптической обработки информации. С помощью этих макетов была продемонстрирована работа таких систем, как анализаторы спектра и корреляторы сигналов, многоканальная система обработки сигналов антенной решетки, коррелятор совместного преобразования для распознавания изображений, системы обработки сигналов со свернутым спектром. В докладе



приводятся результаты экспериментов, подтверждающих высокую точность реализуемых алгоритмов и широкие возможности разработанного макета оптического процессора.

*Литература*

1. Kuzmin M. S., Rogov S.A. Spatial light modulator based on liquid-crystal video projector matrix for information processing systems // Optical Memory & Neural Networks. 2013. v22. N4. p261-266.

**Бесконтактный метод определения длины диффузии носителей заряда в  
полупроводниковых пластинках.**

*Манухов В.В., Федорцов А.Б., Иванов А.С.  
(Санкт-Петербург)*

Диффузионная длина и время жизни неосновных носителей заряда определяются фундаментальными процессами излучательной и безызлучательной рекомбинации неравновесных носителей заряда и в сильной степени зависят от условий получения и термообработки полупроводника. Измерение данных параметров необходимо для контроля свойств полупроводниковых материалов на производстве при изготовлении различных электронных устройств, а также при решении ряда научно-технических задач.

Наиболее известными методами прямого измерения диффузионной длины носителей заряда являются метод подвижного зонда и его разновидности, а также метод движущегося электронного зонда. Для использования этих методов необходим электрический контакт зонда с поверхностью полупроводника, что накладывает определенные ограничения на их использование. Например, в случае, когда полупроводниковая пластинка покрыта слоем диэлектрика.

Нами предложено использовать для измерения диффузионной длины лазерно-интерференционный метод, который ранее успешно применялся для контроля параметров полупроводников, как время жизни носителей заряда, причем отдельно электронов и дырок, скорости поверхностной рекомбинации [1]. Измерения проводятся бесконтактным способом, что исключает риск повреждения исследуемых образцов и позволяет исследовать образцы полупроводниковых материалов, покрытых слоем окисла или другого прозрачного диэлектрика. При реализации данного метода используется эффект оптической интерференционно-абсорбционной модуляции зондирующего лазерного луча. Предлагаемый метод оказался простым в использовании, дает надежные устойчивые результаты, которые хорошо согласуются с предсказанными теорией. Он может быть использован для измерения

диффузионной длины в полупроводниковых материалах, как в научно-исследовательских лабораториях, так и в электронной промышленности.

#### Литература

1. Арешкин А.Г., Воробьев Л.Е., Иванов А.С., Комаровских К.Ф., Летенко Д.Г., Федорцов А.Б., Чуркин Ю.В. Бесконтактный лазерный интерференционный метод неразрушающего исследования рекомбинационных характеристик электронов и дырок в полупроводниках. Известия РАН, серия физическая, 1992, т. 56, № 12, с. 121-129.

### **Альтернативный метод определения режима генерации лазерного диода на основной моде**

*В.В.Близнюк, М.А.Брит, Е.С.Ефремов, А.А.Моисеев, В.А.Паршин*  
(Москва)

Определение модового состава излучения лазерного диода сводится, как правило, к решению задачи, является или не является излучение одномодовым. От решения этой задачи во многом зависит конструкция узла согласования излучения лазера с коллиматором или оптическим волокном, по которому оно транспортируется.

В настоящее время режим генерации лазерного диода определяют путем измерений угловых зависимостей его интенсивности в плоскости  $p$ - $n$ -перехода (далее – вертикальной плоскости) и в плоскости, перпендикулярной переходу (далее – горизонтальной плоскости). Для удобства обработки результатов измерений их нормируют на интенсивность излучения вдоль оси лазерного пучка. Измерения проводят на различных расстояниях от лазера. При неизменности угловых зависимостей интенсивности излучения в вертикальной и в горизонтальной плоскости, а также при хорошей аппроксимации этих зависимостей гауссовой функцией, считают, что имеет место генерация на основной моде. Использование такого алгоритма определения режима генерации лазерного диода позволяет дать лишь качественную оценку модового состава..

Строгое определение режима генерации на основной моде возможно только путем измерений коэффициента распространения пучка. В полупроводниковой квантовой электронике разработан метод определения этого параметра с учетом сильной расходимости пучка. Однако реализация метода связана с использованием дорогостоящего оборудования и крайне сложной обработкой результатов измерений.

Для определения модового состава излучения лазерного диода предлагается использовать другой параметр – отношение мощности излучения лазера, распространяющегося вдоль оси пучка излучения в известном телесном угле, ко всей мощности. Показано, что при сохранении режима генерации на основной моде этот параметр не зависит от мощности излучения, а при возникновении генерации на первой моде начинает резко уменьшаться. Установлено, что при тех же значениях мощности генерации лазерного диода начинает резко увеличиваться коэффициент распространения пучка, что сигнализирует о нарушении его дифракционной расходимости.

### **Средство измерений степени поляризации излучения одномодового лазерного диода в свободное пространство**

*В.В.Близнюк, М.А.Брит, Е.С.Ефремов, А.А.Моисеев, В.А.Паршин*

*(Москва)*

Важнейшим параметром, позволяющим судить о состоянии гетероструктуры лазерного диода с квантовыми ямами, является степень поляризации его излучения в плоскости, перпендикулярной  $p$ - $n$ -переходу (далее – вертикальной плоскости). Имеется ряд задач, при решении которых необходим непрерывный контроль состояния гетероструктуры. Одной из таких задач является диагностика лазерного диода, используемого в оптико-электронной системе, которая работает в автономном режиме по замкнутому циклу.

Целью настоящей работы является разработка средства измерений, позволяющего непрерывно измерять степень поляризации излучения лазерного диода в свободное пространство.

Средство измерений базируется на методике измерения степени поляризации периферийной области пучка излучения лазерного диода. При этом сама методика основана на различии угловых зависимостей отражательной способности приемной площадки планарного фотодиода, расположенной в косом сечении пучка, при падении на нее излучения, поляризованного в плоскости падения и в плоскости, перпендикулярной плоскости падения.

Для обеспечения поляризационной чувствительности кремниевый фотодиод выполнен без входного окна и просветляющего покрытия. При этом на приемной поверхности находится слой естественного окисла кремния толщиной 1,5 нм. Экспериментально установлено, что его наличие практически не искажает поляризационную чувствительность

фотодиода, и угловые зависимости фототоков короткого замыкания описываются соотношениями Френеля.

При конструировании средства измерений учтено, что углы расходимости излучения лазерного диода в свободное пространство могут изменяться от нескольких градусов до нескольких десятков градусов. Показано, что каждому определенному диапазону значений угла расходимости соответствует оптимальный угол между осью диагностируемого пучка излучения и плоскостью его косого сечения.

### **Модельный ряд многофункциональных средств измерений параметров сильно расходящегося лазерного излучения**

*В.В.Близнюк, М.А.Брит, Е.С.Ефремов, А.А.Моисеев, В.А.Паршин*  
(Москва)

Состояние гетероструктуры лазерных диодов чаще всего определяют путем измерений мощности и пространственного распределения плотности мощности их излучения. Методы измерений и требования, предъявляемые к средствам измерений этих параметров регламентированы рядом стандартов – ГОСТ 8.275 – 2007, ГОСТ Р ИСО 11554 - 2008, ГОСТ Р ИСО/ТР 11146-3 – 2008 и ГОСТ Р ИСО 13694 – 2011 (Е). Эти требования достаточно просто выполняются в случае диагностики узкого лазерного пучка. Однако при измерениях параметров сильно расходящегося излучения лазерного диода их выполнение становится проблематичным. Единственным аттестованным в качестве рабочего средства измерений средней мощности излучения лазерных диодов является интегрирующая сфера.

Крайне важную информацию о состоянии гетероструктуры лазерных диодов с квантовыми ямами можно получить, измеряя не только мощность их излучения, но и состояние его поляризации в плоскости, перпендикулярной плоскости  $p$ - $n$ -перехода (далее – вертикальной плоскости).

Ранее нами было разработано многофункциональное средство измерений основных параметров излучения лазерных диодов в свободное пространство. Оно обеспечивает измерения мощности излучения и степени поляризации излучения лазерных диодов с погрешностью не более 5%, если диапазон изменения их углов расходимости в вертикальной плоскости не превышает 10 градусов.

Однако углы расходимости излучения широко используемых лазерных диодов изменяются в значительно более широком диапазоне – от 18 до 64 градусов. Поэтому в ходе

выполнения данной работы разработан модельный ряд многофункциональных средств измерений основных параметров излучения лазерных диодов в свободное пространство. При формировании модельного ряда в качестве определяющего параметра использовался диапазон значений угла расходимости диагностируемого излучения. Определены границы пяти диапазонов значений угла расходимости – от 18 до 24 градусов, от 24 до 34 градусов, от 34 до 44 градусов, от 44 до 54 градусов, от 54 до 64 градусов. Работа в каждом из указанных диапазонов обеспечивалась путем расположения плоскости косого сечения пучка излучения под определенным углом к оси пучка.

### **Математическая модель оценки качества речевой информации, полученной с помощью лазерного микрофона**

*Л.А. Глуценко, Е.П. Лескина*

*(Санкт-Петербург, Сосновый Бор)*

Одной из перспективных технологий создания высокочувствительных акустических датчиков является создание оптических микрофонов [1]. Принцип действия таких устройств показан на рисунке. При проектировании таких чувствительных элементов важно уметь учитывать влияние всех факторов на качество зарегистрированной речевой информации.



Рисунок. Принцип работы оптического микрофона

В докладе рассмотрена математическая модель оценки качества речевой информации, полученной с помощью лазерного микрофона, подключенного по оптоволоконному каналу. Проведен теоретический анализ всех эффектов модулирования зондирующего оптического сигнала колебаниями мембраны микрофона. В отраженных от мембраны пучках лазерного излучения присутствует три вида модуляции оптического излучения. Во-первых, частотная модуляция, вызванная эффектом Доплера, вследствие колебательных движений мембраны под воздействием акустических сигналов. Во-вторых, фазовая модуляция, вызванная

наличием в отраженном сигнале как зеркально-отраженной, так и дифракционных компонентов. В-третьих, амплитудная модуляция, вызванная колебаниями подсвечивающего пучка относительно направления зеркального (максимального) отражения. Оптические (лазерные) микрофоны могут создаваться на основе любого из трех способов модуляции.

Получены теоретические соотношения для отношения сигнал/шум с учетом внешних акустических шумов и оптических шумов оптического тракта. Показана возможность использования полученного соотношения для величины сигнал/шум в выражении для словесной разборчивости речи. Последняя величина чаще всего используется как мера качества речевой информации

1. И.А. Алдошин. Эволюция микрофонов: от угольного к оптическому. <http://www/install-pro.ru>

## **Информативность изображений – оттеночный сдвиг versus оттеночный контраст**

*П. Е. Гребенюк, А. М. Чмутин*

*(Волгоград )*

Если отрешиться от вопросов синтеза изображения, целью его компьютерной обработки всегда является повышение объема получаемой изобразительной информации, даже когда условиями проведения исследования предопределен исключительно визуальный анализ. Очевиднее всего эта цель достигается повышением контраста изображения. Уточним, что, в отличие от [1], в настоящем докладе внимание акцентируется на контрасте оттенков. Сначала определим оттенок семантически, как цвет предельно большой яркости/насыщенности, и опишем математически следующим выражением:

$$H = \lim_{Y \rightarrow 1} [\lim_{S \rightarrow 1} (RGB)],$$

где  $S = [Max(RGB) - Min(RGB)] / Max(RGB)$  – насыщенность;  $Y = K \cdot R + Z \cdot G + C \cdot B$  – яркость, а  $K$ ,  $Z$  и  $C$  – яркостные коэффициенты. Тогда разность  $\Delta H$  оттенков соседствующих фрагментов даст нам значение искомого оттеночного контраста.

Затем с этих позиций рассмотрим весь «оттеночный» инструментарий современного программного обеспечения компьютерной графики. Так, исследование выборки из 9 сборок, 5 редакторов, 3 просмотрщиков, 2 конвертеров и 2 программ, не классифицированных выше, позволило генерализовать следующие выводы. Сегодня программно реализована только процедура оттеночного сдвига, которая, не влияя на  $\Delta H$ , отягощает изображение паразитным яркостным сдвигом. Процедуры оттеночного контрастирования попросту нет, а она нужна

хотя бы для информативной обработки равноярких изображений, для которых яркостное контрастирование [1] неприемлемо. Алгоритм этой процедуры и обсуждается в докладе.

В заключение отметим особую ценность оттеночного контрастирования в экспертизе, где для **АН** преобладает трактовка различия в окраске, что часто несет криминалистики значимую информацию.

#### Литература

1. Рвачева О.В., Стрюкова А.О., Чмутин А.М. Яркостное преобразование и цветовой сдвиг: проблемы Microsoft, Corel, Adobe, etc. // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2010. №10. С. 32-38.

### **Возможность мониторинга взаимопревращений различных форм витамина С методами электронной спектроскопии**

*Ю. С. Даняева С. А. Куценко  
(Волгоград)*

Витамин С играет важную роль в биохимических процессах, его молекулы способны изменять свою структуру под влиянием внешних условий. В частности, аскорбиновая кислота обладает способностью к дегидрированию, превращаясь в дегидроаскорбиновую кислоту. Возможен и обратный процесс. Но если среда не благоприятна для восстановления, то распад не обратим [1,2].

В работе представлены результаты численного исследования электронных спектров аскорбиновой и дегидроаскорбиновой кислот. Путём численных расчётов с помощью квантовохимических пакетов программ показано, что электронные спектры водных растворов аскорбиновой и дегидроаскорбиновой кислот существенно отличаются. При образовании дегидроаскорбиновой кислоты из аскорбиновой изменяется электронный спектр витамина С.

Обнаружены полосы, по которым можно отслеживать превращение аскорбиновой кислоты в дегидроаскорбиновую. По сравнению со спектром раствора аскорбиновой кислоты выросла интенсивность полос, соответствующих  $\pi \rightarrow \pi^*$  переходам в атомах связанных двойной C=O связью, так как образовались новые C=O связи в молекуле дегидроаскорбиновой кислоты. Полоса на длине волны 260 нм, которую можно было

наблюдать в спектре раствора аскорбиновой кислоты, испытывает батохромный сдвиг и существенно уменьшается по интенсивности.

Возрастает интенсивность полос, обусловленных переходами в атомах двойной связи в кольце дегидроаскорбиновой кислоты, что обусловлено увеличением числа таких связей. А значит, по увеличению суммарной интенсивности именно этих полос можно отслеживать превращение молекул аскорбиновой кислоты в дегидроаскорбиновую.

Полученные данные могут быть использованы для контроля качества препаратов, в состав которых входит аскорбиновая кислота.

#### *Литература*

1. Девис М., Остин Дж., Патридж Д. Витамин С. Химия и биохимия. М: Мир, 1999. 90 с.
2. S. Gupta, R. K. Sharma, and H. Chandra Electronic absorption spectra of L- ascorbic acid in non- aqueous media // Журнал прикладной спектроскопии. 2006.- Т. 73, № 2.- С. 263-266

### **Ускорение вычисления корреляции для смежных областей в фотодальнометре**

*В. Л. Козлов, А. С. Васильчук*

*(Минск)*

Вычисления корреляции является необходимым этапом широкого спектра задач обработки информации. В большинстве из них корреляция вычисляется не в одной точке, а как функция от параметра (смещение двух сигналов один относительно другого по времени или по пространственным координатам).

Классическая формула расчета коэффициента корреляции Пирсона [1] записывается следующим образом:

$$R(\Delta u) = \frac{\sum (I_1(t) - \bar{I}_1)(I_2(t + \Delta u) - \bar{I}_2)}{\sqrt{\sum (I_1(t) - \bar{I}_1)^2 \sum (I_2(t + \Delta u) - \bar{I}_2)^2}}, \quad (1)$$

$$\bar{I}_1 = \frac{\sum I_1(t)}{\Delta t}, \quad (2) \quad \bar{I}_2 = \frac{\sum I_2(t + \Delta u)}{\Delta t}, \quad (3)$$

где  $I_1$  – значения интенсивности первого сигнала в окне сканирования;  $I_2$  – значения интенсивности второго сигнала в окне сканирования;  $\Delta t$  – размер окна сканирования;  $\Delta u$  – смещение первого сигнала относительно второго.

Однако коэффициент корреляции Пирсона можно так же рассчитать по формуле:



$$R(\Delta u) = \frac{\sum I_1(t)I_2(t + \Delta u) - \frac{\sum I_1(t)\sum I_2(t + \Delta u)}{\Delta t}}{\sqrt{\left[ \sum I_1^2(t) - \frac{(\sum I_1(t))^2}{\Delta t} \right] \left[ \sum I_2^2(t + \Delta u) - \frac{(\sum I_2(t + \Delta u))^2}{\Delta t} \right]}} \quad (4)$$

Эта формула получена из формул (1-3) путем тождественных математических преобразований. Такой вид позволяет отказаться от предварительного усреднения сигналов при вычислениях. Использование рекуррентных соотношений для пересчета некоторых сумм, входящих в выражение (4) позволяет достичь значительного прироста производительности.

Сравнение производительности вышеприведенных методов расчета коэффициента корреляции Пирсона производилось в контексте поиска соответствующих фрагментов изображений на стереопаре для вычисления дальности. Для окна размером 11x11 пикселей, использование модификации формулы (4) для 2-х мерного случая и соответствующих рекуррентных формул пересчета вместо аналогичных формул (1-3) позволяет сократить временные затраты на обработку в 2,5 раза. При использовании окон большего размера выигрыш по времени значительно возрастает.

1. Губанов А.В и др. Методы и алгоритмы обработки изображений// Автометрия, №3, 1988. С. 57-63.

### **Когерентные оптические системы со свернутым спектром на основе жидкокристаллического устройства ввода**

*М.С. Кузьмин, С.А. Рогов.*

*(Санкт-Петербург)*

Когерентные оптические системы со свернутым спектром перспективны для обработки сигналов с большим произведением длительности на ширину полосы частот (базой сигнала) [1]. В ряде работ были исследованы устройства со свернутым спектром для спектрального анализа сигналов [2,3]. Нами предложено использовать свернутые спектры в оптических корреляторах [4]. Было проведено экспериментальное исследование устройств со свернутым спектром, в которых ввод сигналов осуществлялся с помощью жидкокристаллической матрицы с электронным управлением [4,5]. Такие матрицы, выпускаемые в настоящее время промышленностью, имеют малые габариты, большое число каналов, низковольтное управление и характеристики, позволяющие применять их как пространственные модуляторы в когерентных оптических системах [6]. В докладе приводятся результаты

экспериментов по обработке сигналов с большой базой в анализаторе спектра и корреляторе совместного преобразования, в которых применяются свернутые спектры и растровый ввод сигналов с помощью жидкокристаллического пространственного модулятора. Высокое качество полученных экспериментальных результатов, их соответствие теоретическим расчетам, а также проведенная оценка параметров устройств указывают на перспективность применения рассмотренных методов для решения практических задач.

#### *Литература*

1. Оптическая обработка информации. Применения. Под ред. Д. Кейсесента - М., Мир, 1980г.
2. Carlton E. Thomas // Applied optics, Vol. 5, No. 11, November 1966, p. 1782-1790.
3. Markevitch B. // Third Ann. Wideband Recording Symposium, RADC, April 1969.
4. М.С. Кузьмин, С.А.Рогов. Обработка одномерных сигналов с растровым вводом в двумерных оптических корреляторах // В печати.
5. М.С. Кузьмин, С.А. Рогов. Анализатор свернутого спектра с жидкокристаллическим устройством ввода сигналов // Письма в ЖТФ, Том.40, Вып.15, С.1-5.
6. Kuzmin M. S., Rogov S.A. Spatial light modulator based on liquid-crystal video projector matrix for information processing systems // Optical Memory & Neural Networks (Information Optics). 2013. v22. N4. p 261-266.

### **Исследование He-Sr лазера с генерацией на видимых и ИК линиях**

*Е.Л. Латуш, Г.Д. Чеботарев*

*(Ростов-на-Дону)*

Лазер на парах стронция является источником когерентного излучения в видимом диапазоне на рекомбинационных переходах иона стронция ( $\lambda=430,5$  и  $416,2$  нм SrII), а также в ИК диапазоне на самоограниченных переходах атома и иона стронция ( $\lambda=6,456$  мкм SrI,  $\lambda\sim 3$  мкм SrI и  $\lambda\sim 1$  мкм SrII), и может использоваться как источник многоволнового излучения для научных и прикладных целей [1]. В настоящей работе представлены результаты исследований, направленных на поиск условий возбуждения, обеспечивающих эффективную совместную генерацию на видимых и ИК переходах стронция.

В экспериментах использовался активный элемент из BeO-керамики (с активной длиной  $l=50$  см и внутренним диаметром  $d=1,1$  см) с выходными окнами из LiF. В отличие от [1], предпочтение отдавалось достижению максимальной мощности генерации на фиолетовой линии при одновременной генерации на ИК переходах. В оптимизированном режиме при давлении гелия  $p_{\text{He}}=450$  Тор и частоте следования импульсов  $f=6$  кГц суммарная мощность генерации на всех линиях составила  $P=0,52$  Вт ( $\sim 70\%$  на  $430,5$  нм,  $16\%$  на  $6,45$  мкм,  $8\%$  на  $3,05$  мкм и  $3\%$  на  $1,03$  и  $1,09$  мкм). Распределение мощности между линиями можно было

варьировать изменением  $p_{\text{He}}$  и вводимой электрической мощности.

С использованием самосогласованной математической модели была осуществлена численная оптимизация параметров He-Sr лазера, излучающего на видимых и ИК переходах SrII, и определены достижимые частотно-энергетические характеристики генерации. В частности, установлено, что для саморазогреваемых активных элементов достижимый максимум погонной средней мощности на  $\lambda=430,5$  нм SrII составляет  $\sim 6,2$  Вт/м и может быть реализован в лазерных трубках большого диаметра ( $d\sim 4$  см), а удельная средняя мощность и частота следования импульсов могут достигать, соответственно,  $\sim 950$  мВт/см<sup>3</sup> и  $\sim 300$  кГц в трубках малого диаметра ( $d\sim 0,1$  см). Также установлено, что частота следования лазерных импульсов на  $\lambda\sim 1$  мкм SrII может достигать  $\sim 1$  МГц.

Полученные результаты позволяют осуществлять целенаправленный выбор оптимальных условий возбуждения He-Sr лазеров с генерацией на видимых и ИК линиях.

#### *Литература*

1. Солдатов А.Н., Латуш Е.Л., Чеботарев Г.Д., Юдин Н.А., Васильева А.В., Полунин Ю.П., Пруцаков О.О. Импульсно-периодические лазеры на парах стронция и кальция / Под ред. А.Н. Солдатов, Е.Л. Латуша. – Томск:ТМЛ-Пресс, 2012. – 526 с.

### **Стимулированное фотонное эхо и столкновительная релаксация**

*Е.Н.Попов, В.А.Решетов  
(Тольятти)*

При взаимодействии излучения с газом (парами металла) помимо радиационного распада отдельных молекул или атомов необходимо учитывать их столкновения. Детальное исследование процессов релаксации в активной среде может позволить с высокой степенью точности предсказывать результаты экспериментов, а так же оценивать влияние столкновений на длительность хранения квантовой информации в многоатомной среде.

Целью работы является исследование столкновительной релаксации в парах иттербия с помощью поляризационных свойств стимулированного фотонного эха (СФЭ). Подобный способ был выбран ввиду простоты интерпретации результатов. Экспериментальное исследование поляризационных свойств СФЭ было проведёно в работе [1].

СФЭ формировалось на переходе с изменением углового момента  $0 - 1$ . Верхний уровень вырожден по проекциям момента, ввиду чего лазерные импульсы заданной поляризации взаимодействуют с разными переходами между подуровнями. Наиболее интересным является случай, когда второй и третий импульсы имеют одинаковую поляризацию и ортогональны первому:

$$\vec{l}_1 = \vec{e}_1; \quad \vec{l}_2 = \vec{l}_3 = \vec{e}_2 \quad (1)$$

где  $\vec{e}_n$  – это поляризационный базис, а  $\vec{l}_n$  – вектор поляризации  $n$ -го импульса.

При условии (1) первый импульс создаёт когерентность на переходе, который не взаимодействует с последующими импульсами, фотонного эха возникать не должно. Но *деполяризующие столкновения* создают перенос населённости между подуровнями, и появляется сигнал *столкновительного* СФЭ. Его аналитический вид имеет максимум при определённом значении временного интервала  $\tau_{2-3}$  между вторым и третьим импульсами:

$$\tau_{2-3} = \frac{\ln(1 + \Gamma_b^2 / \gamma) - \ln(1 + \Gamma_b^1 / \gamma)}{\Gamma_b^2 - \Gamma_b^1} \quad (2)$$

где  $\gamma$  – обратное время жизни возбуждённого уровня,  $\Gamma_b^1$  и  $\Gamma_b^2$  – константы столкновительной релаксации магнитного и квадрупольного моментов верхнего уровня. На основе теоретического расчёта был предложен метод экспериментального определения констант релаксации по положению максимума (2).

*Литература:*

[1] E.B.Khvorostov, V.G.Gol'dort, V.N.Ishchenko, S.A.Kochubei, N.N.Rubtsova and V.A.Reshetov *The stimulated photon echo generated by linearly polarized exciting pulses at the 0–1 transition in ytterbium vapour*// Las.Phys.Lett. – 2013 – V.10, No.3.

## **Экспериментальное моделирование теплового удара в конструкционных материалах**

*А. Б. Прокофьев, О. А. Журавлев, Р. Н. Сергеев, Е. В. Найденова*

*(Самара)*

В работе [1] была показана перспективность применения созданного в СГАУ помехоустойчивого цифрового спекл-интерферометра (ЦИ) с непрерывным лазером и соответствующим программным обеспечением для определения механических констант широко используемых в аэрокосмической технике конструкционных материалов в виде сотовых панелей. Особенностью предложенных методик определения модуля Юнга, коэффициентов Пуассона и линейного теплового расширения является отсутствие необходимости повреждения (например, замятия) исследуемых образцов. Показана возможность проведения измерений непосредственно на полноразмерной панели, т.е. без изготовления образцов.

Актуальным является исследование характеристик сотовых конструкций в условиях, приближенных к эксплуатационным по уровню термического, вибрационного и механического нагружения. В представленной работе даны результаты применения ЦСИ для исследования динамической термоупругой реакции конструкционных материалов при

конечной скорости изменения температуры поверхности. Подобные условия резкого изменения температуры поверхности конструкционных материалов - теплового удара характерны, например, для высокотемпературных трактов двигателей летательных аппаратов, а также процессов лазерно-плазменной, электронно-лучевой и механической обработки материалов. Скачкообразное изменение температуры поверхности твердого тела приводит к появлению мощной волны термомеханических напряжений, которая может оказаться достаточной для образования дефектов в виде трещин или потери устойчивости обшивки сотового материала. В работе исследовались динамические процессы упругой реакции образцов конструкционных материалов, отличающиеся скоростью изменения температуры поверхности, задаваемой радиационным излучением переносного электронагревателя. В условиях резкого перехода от нагревания к охлаждению образцов выделены процессы потери устойчивости спекл-интерферограмм термоупругих деформаций профиля поверхности как изотропных, так и ортотропных материалов. Предложен проект стенда термовакуумных испытаний конструкционных материалов космических аппаратов с моделированием нестационарных термомеханических напряжений, возбуждаемых тепловым ударом. В проекте данного стенда планируется использование разработанного и созданного в СГАУ мобильного ЦСИ деформационных перемещений с непрерывным лазером.

1. Адарчук Н.А., Корсаков С.В., Клипиков Н.Ю. и др.// Тезисы докладов междуна. молодежной научной конференции «XII Королевские чтения».- Самара: Изд-во СГАУ, 2013.-С.247.

### **Сложный характер задержанных оптических нутаций в полярном газе**

*А.В.Скиданенко, Е.Н.Попов*

*(Тольятти)*

Предпосылкой работы является эксперимент, результаты которого опубликованы в статье [1], в ней непрерывное излучение CO<sub>2</sub>-лазера взаимодействовало с колебательно-вращательным переходом R(4,3) молекул CH<sub>3</sub>F ( $J_a=4$ ,  $J_b=5$ ). Вывод из резонанса осуществлялся электростатическим полем.

Подобные экспериментальные исследования проводились ранее при более низком давлении. Однако, в работе [1] была обнаружена немонотонная зависимость ЗОН от длительности Штарковского смещения, что говорит о сложной динамике релаксаций матрицы плотности при включенном Штарковском поле. В настоящей работе удалось

теоретически объяснить этот результат. Для этого было модифицировано уравнение динамики, приведенное в работе [2], для матрицы плотности:

$$\dot{\hat{\rho}} = i[\hat{V}, \hat{\rho}] - \gamma(\hat{\rho} - \hat{\rho}_0) - \Gamma \hat{P}_a \hat{\rho} \hat{P}_b - \Gamma \hat{P}_b \hat{\rho} \hat{P}_a \quad (1)$$

где  $\hat{V}$  – оператор взаимодействия,  $\gamma$  – константа релаксации населённости,  $\Gamma$  – константа релаксации недиагональных элементов матрицы плотности,  $\hat{\rho}_0 = \hat{P}_a / (2J_a + 1)$  – матрица плотности при тепловом равновесии,  $\hat{P}_\alpha$  – оператор проектирования на уровень  $\alpha$ .

Поскольку эффективное сечение молекулы для диполь-дипольного взаимодействия значительно превышает сечение упругого взаимодействия, в формулу (1) были введены два последних слагаемых, которые обусловлены релаксацией матрицы оптической когерентности. После оценки этого сечения, было выдвинуто предположение:

$$\Gamma \gg \gamma \quad (2)$$

Важно отметить, что столкновительная релаксация населённости происходит значительно медленнее по сравнению с релаксацией матрицы оптической когерентности. Отсюда следует, что причиной возникновения немонотонного характера ЗОН является вырождение энергетических уровней, при котором два перехода между подуровнями ( $m_a = \pm 3, m_b = \pm 3$ ) остаются в резонансе даже в Штарковском поле.

#### *Литература:*

1. Д.В. Ледовских, Н.Н. Рубцова Задержанные оптические нутации и упругие столкновения в молекулярном газе//Материалы X международного симпозиума по фотонному эхо и когерентной спектроскопии, 2013, стр. 70 – 73
2. D.V. Ledovskih, N.N. Rubtsova, V.A. Reshetov//Collision relaxation in  $^{13}\text{CH}_3\text{F}$  with buffers, Laser Phys. Lett., 2010, No.10, P. 734 – 738

### **Трассовые измерения концентраций малых газовых составляющих атмосферы методом ДОАС**

*С.С. Смирнов, П.П. Гейко, И.В. Самохвалов  
(Томск)*

Метод дифференциальной оптической абсорбционной спектроскопии является перспективным для одновременного измерения малых концентраций загрязняющих газов в атмосфере в режиме реального времени. Идея метода состоит в представлении спектра поглощения в виде суммы плавно меняющейся и быстро осциллирующей части и

последующем анализе в целом именно дифференциального спектра поглощения для широкого диапазона длин волн.

Поскольку эффективность рассеяния Рэлея и Ми изменяются плавно с длиной волны, их спектральные зависимости можно представить в виде полинома малого порядка. Поперечное сечение поглощения газами, может быть разделено на высокочастотную (дифференциальную) и низкочастотную части  $\sigma_j(\lambda) = \sigma_{j0}(\lambda) + \sigma'_j(\lambda)$ , где  $\sigma_{j0}(\lambda), \sigma'_j(\lambda)$  - низкочастотная и высокочастотная части, соответственно.

В качестве прототипа для последующей модернизации использован трассовый газоанализатор ДОАС-М 1. Используется диапазон длин волн 200 – 460 нм. В зависимости от концентрации газов и выбранного спектрального интервала длина трассы может варьироваться от нескольких метров до примерно километра. В качестве источников излучения рассматриваются ксеноновые лампы высокого давления и УФ светодиоды.

Проведены суточные и дневные измерения концентраций основных загрязняющих веществ атмосферы г. Томске в зимний и весенний период 2014 г. Измерялись  $O_3$ ,  $SO_2$ ,  $NO_x$ ,  $CH_2O$  и другие. Отметим, что в 60% измерений значение концентрации диоксида серы превышает ПДК в 1,2 раза. Детальный механизм трансформации соединений серы в тропосфере до настоящего времени не установлен. Наблюдалась антикорреляция концентраций диоксида азота и озона. Сопоставляя направление ветра и результаты измерений выявлены некоторые закономерности: Так, для озона характерно увеличение концентрации в направлении запад, северо-запад, в связи с фотохимическими реакциями и высоким фоновым загрязнением. Для формальдегида, ситуация не столь однозначна, так как наблюдается очень близкие по значениям концентрации в направлениях северо-восток, юг, юго-запад и запад. Возможен также процесс трансформации формальдегида в муравьиную кислоту под воздействием синглетного кислорода.

### **Источник импульсного лазерного излучения с интерференцией когерентных импульсов**

*В.А. Алексеев, С.И. Юран, А.С. Перминов  
(Ижевск)*

В работе рассмотрен источник импульсного лазерного излучения, в котором по сравнению с известным лазерным источником излучения [1] увеличение выходной

импульсной интенсивности оптического лазерного излучения обеспечивается за счет интерференции когерентных импульсов.

Перед началом работы в счетчике импульсов устанавливается коэффициент пересчета, равный числу импульсов  $N$ , «укладывающихся» на длительности когерентности выбранного лазера с непрерывным излучением.

Когерентные импульсы оптического излучения, сформированные от лазера с непрерывным излучением, поступают на вход оптического коммутатора, с помощью которого эти импульсы распределяются по  $N-1$  каналам блока оптической задержки. Далее задержанные импульсы лазерного излучения поступают на входы оптического сумматора одновременно с  $N$ -ым импульсом. Поскольку на вход оптического сумматора поступают когерентные импульсы, то на его выходе формируется импульс  $J_S$  лазерного излучения, имеющий интенсивность примерно в  $N^2$  раз большую, чем интенсивность  $J_K$  одиночного импульса лазерного излучения на входе коммутатора, то есть  $J_S = N^2 \cdot J_K$ . Далее полученный импульс лазерного излучения преобразуется фокусирующей системой.

В результате на выходе источника лазерного излучения образуется импульсное лазерное излучение, значительно превосходящее по интенсивности исходное лазерное излучение питающего (непрерывного) лазера. При этом частота следования импульсов на выходе устройства будет в  $N$  раз ниже частоты следования импульсов, генерируемых управляемым задающим генератором импульсов.

После прохождения  $N$  импульсов от генератора начинается новый цикл коммутации когерентных импульсов.

Достоинством предлагаемого источника лазерного излучения является то, что для получения импульсов большой интенсивности оптического излучения требуется маломощный лазер непрерывного излучения и источник питания.

#### *Литература*

1. Патент на изобретение № 2477553. МПК H01S3/10. Источник импульсного лазерного излучения / Алексеев В.А., Юран С.И., Перминов А.С., Стерхова М.А. Опубл.10.03.2013.



**Рассеивающие свойства композитных пленок  $(\text{Al}_{11}\text{-Cu}_2\text{-Fe})_x\text{C}_{60}$  и хитозан- $\text{C}_{60}$ ,  
освещаемых многомодовым или бесселевым пучками  
поляризованного лазерного излучения**

*И.В. Вошула, В.А. Длугунович, А.Ю. Жумарь, Э.М. Шпилевский  
(Минск)*

В настоящее время уделяется большое внимание проблеме создания фуллеренсодержащих композитных материалов, свойства которых сочетали бы в себе уникальные характеристики фуллерена  $\text{C}_{60}$  с полезными свойствами полимеров, полупроводников или металлов. Такие материалы перспективны для создания элементов микро- и наносистемной техники, в том числе мембран, проводящих покрытий и электрических контактов, а также в качестве новых оптических сред с улучшенными свойствами, элементов солнечных батарей и болометров.

Также проявляется значительный интерес к использованию квазибездифракционных пучков, например бесселевых световых пучков, при исследовании структурно неоднородных материалов, в частности, в оптической когерентной томографии. Этот интерес обусловлен спецификой распространения бесселевых световых пучков, т. к. в некоторых случаях полуширина осевого максимума бесселевого пучка, размытого вследствие рассеяния, практически не возрастает вплоть до оптических глубин, где вклад многократного рассеяния уже весьма значителен. Целью работы являлось исследование рассеивающих свойств композитных пленок комплекса  $(\text{Al}_{11}\text{-Cu}_2\text{-Fe})_x\text{C}_{60}$ , нанесенной на стекло, а также пленок хитозана, модифицированного фуллеренами  $\text{C}_{60}$ , при освещении образцов многомодовым или бесселевым пучками линейно поляризованного излучения He-Ne лазера при длине волны 0,63 мкм.

Обнаружено, что увеличение доли металлического комплекса в композитных пленках  $(\text{Al}_{11}\text{-Cu}_2\text{-Fe})_x\text{C}_{60}$  вызывает уменьшение их показателя преломления и увеличение главного показателя поглощения при длине волны 0,63 мкм. Установлено, что значения коэффициента зеркального отражения образцов с долевым соотношением металлического комплекса от 2 до 8 практически не зависят от типа пучка освещающего излучения. В то же время увеличение долевого соотношения металлического комплекса от 10 до 35 приводит к увеличению отношения  $R_{\text{гаус}}/R_{\text{бесс}}$  от 1,3 до 1,6.

Установлено, что двунаправленные коэффициенты пропускания исследуемых пленок хитозана зависят от следующих факторов:

1. азимута поляризации зондирующего линейно поляризованного излучения (излучение поляризовано в плоскости падения или в ортогональной ей плоскости);
2. вида зондирующего пучка (многомодовый или бесселев пучок);
- 3 типа пленки (хитозан или хитозан, модифицированный  $\text{C}_{60}$ ).

## **Основные характеристики аналоговых широкополосных волоконно-оптических линий связи для приемных ФАР**

*В.Н. Звезгинцев, С.И. Иванов, А.П. Лавров, И.И. Саенко  
(Санкт-Петербург)*

Аналоговая (радиочастотная) фотоника становится эффективной и перспективной базой для создания радиотехнических систем различного назначения [1], в том числе диаграммообразующих систем (ДОС) для приемных фазированных антенных решеток (ФАР) нового поколения [1, 2]. Основой модульной реализации ДОС приемных ФАР методами и аппаратными средствами аналоговой фотоники являются узлы и элементы широкополосных волоконно-оптических линий связи (ВОЛС), включая оптический передатчик с полупроводниковым лазером и оптическим модулятором, волоконно-оптический кабель и оптический приемник с фотодиодом и усилителем радиосигнала. В работе представлены результаты теоретического анализа и экспериментальных исследований основных характеристик аналоговой ВОЛС, определяющих рабочие характеристики и параметры ДОС для приемных ФАР: коэффициента передачи по радиочастоте, коэффициента шума и динамического диапазона. При исследовании динамического диапазона, определяемого по точке компрессии 1дБ, рассчитывались пороговая чувствительность и нелинейность передаточной характеристики канала широкополосной аналоговой ВОЛС. При анализе динамического диапазона, свободного от интермодуляционных искажений (SFDR), были оценены параметры интермодуляционных искажений при подаче на вход ВОЛС бигармонического СВЧ сигнала. Экспериментальные исследования проводились на базе ВОЛС с внешней модуляцией, осуществляемой внешним оптическим модулятором Маха-Цендера, с рабочим частотным диапазоном по радиосигналу 0,1-18 ГГц. В работе оценивались также отношение сигнал-шум и фазовая нестабильность радиосигнала на выходе канала аналоговой ВОЛС. Результаты измерений согласуются с расчетными оценками.

### *Литература*

1. Зайцев Д.Ф. Нанопотоника и ее применение. – М.: Фирма «АКТЕОН», 2012. – 445с.
2. Иванов С.И., Лавров А.П., Саенко И.И. Динамический диапазон и отношение сигнал/шум диаграммообразующих систем на базе элементов аналоговой фотоники. // III Всероссийская конференция по фотонике и информационной оптике: Сборник научных трудов.- М.: Изд-во НИЯУ МИФИ, 2014.- С.195-196.

## **Особенности синхронного захвата движущихся оптических изображений цифровой ВЗН-камерой**

*Иванов С.И., Лавров А.П., Молодяков С.А., Зотов Д.А.  
(Санкт-Петербург)*

Одним из способов регистрации движущихся изображений является использование специального режима работы ПЗС-фотоприемника, режима временной задержки и накопления (ВЗН-режим, иначе - TDI-mode). ВЗН-режим позволяет регистрировать изображения, движущиеся с более высокой скоростью, чем при регистрации в кадровом режиме. ВЗН-режим для линейного ПЗС-фотоприемника нами применяется в оптоэлектронном (ОЭ) процессоре, который используется на радиотелескопе для обработки и регистрации радиоизлучения космических источников – пульсаров [1]. Особенности функционирования ОЭ-процессора – необходимость длительного накопления выходного сигнала ПЗС-фотоприемника. Как следствие требование к ВЗН-камере, во многом определяются требованиями со стороны системы, в которой формируется изображение. В оптоэлектронном пульсарном процессоре ВЗН-камера установлена на выходе акустооптического анализатора спектра. Оптический сигнал, соответствующий спектральному преобразованию скользящей выборки обрабатываемого радиосигнала, движется по фотоприемнику. Скорость движения определяется параметрами пульсара и может лежать в диапазоне  $10^5 - 10^6$  элем./сек, с такой же скоростью в фотоприемнике движутся зарядовые пакеты. Непрерывный поток отсчетов, соответствующих зарядовым пакетам с выхода фотоприемника, регистрируется в цифровом сигнальном процессоре (ЦСП). Разделение на кадры потока отсчетов осуществляется по внешним синхроимпульсам, которые следуют с периодом повторения радиоизлучения пульсаров.

В докладе рассматривается вопрос синхронного с периодом радиоизлучения пульсаров захвата кадров движущихся оптических сигналов, с последующим их суммированием в ЦСП. Необходимо обеспечить точность захвата изображения на уровне 1 мкс, что на порядок меньше периода следования отсчетов с фотоприемника. Трудность решения задачи связана с тем, что от кадра к кадру меняется задержка между внешним импульсом периода излучения пульсаров и моментом появления отсчета с выхода фотоприемника. Предлагается метод и алгоритм измерения и учета указанной задержки. Основные этапы алгоритма: измерение задержки с использованием таймеров ЦСП, сдвиг оцифрованного кадра сигнала с целью компенсации задержки, при сдвиге используется прием передискретизации отсчетов, суммирование кадров.

#### *Литература*

1. Есепкина Н.А., Лавров А.П., Молодяков С.А. Акустооптический компенсатор дисперсии для наблюдения радиоизлучения пульсаров // Антенны.- 2006.- №7.- С.69-76.

### **Динамика создания инверсии в многоволновом газоразрядном лазере на парах селена**

*И.Г. Иванов, Ю.А. Моисеева, А.В. Рязанов*

*(Ростов-на-Дону)*

Продолжая исследования процессов создания инверсии населенности и энергетических характеристик импульсных газоразрядных лазеров на парах химических элементов [1,2], в данной работе с помощью метода математического моделирования найдены оптимальные параметры накачки, коэффициент усиления и удельная мощность излучения для 12 ионных лазерных квантовых переходов селена в диапазоне длин волн 480...649 нм. Моделирование осуществлялось для смеси паров селена с гелием, возбуждаемой как в плазме положительного столба импульсного продольного разряда, так и в плазме отрицательного свечения импульсного разряда “поперечного типа” с полым катодом. Энергия возбуждения верхних уровней ионных лазерных переходов селена близка к энергии ионизации гелия, вследствие чего их накачка в газоразрядной плазме происходит путем несимметричной перезарядки при столкновениях ионов гелия с атомами селена при тепловых скоростях частиц. Расчеты выполнялись для значений параметров плазмы, типичных для обоих типов разряда, при возбуждении их импульсами тока микросекундной длительности. В модели для расчета удельной мощности излучения использовались экспериментальные данные по удельной мощности, вводимой в разряд [2]. Оказалось, что импульсная накачка приводит к повышению энергетических параметров генерации. Так, суммарная удельная мощность на наиболее интенсивных лазерных линиях SeII с  $\lambda$  497,5нм, 499,2нм, 506,8нм, 517,5нм, 522,7нм, 530,5нм и 648,8нм превысила  $0,14 \text{ Вт}\cdot\text{см}^{-3}$  – в импульсном продольном разряде и  $0,3 \text{ Вт}\cdot\text{см}^{-3}$  – в импульсном разряде с полым катодом, что значительно превосходит параметры, достигнутые в известных режимах накачки. Такие энергетические характеристики говорят о перспективности ряда применений исследованного лазера.

*Литература:*

1. Рязанов А.В., Иванов И.Г., Привалов В.Е. О создании инверсии в смеси инертного газа и паров металла // В сб. докладов 23-й Международной конференции “ЛАЗЕРЫ. ИЗМЕРЕНИЯ. ИНФОРМАЦИЯ. 2013”. СПбГПУ. 2013. Т.1. С.301-316.
2. Зинченко С.П., Иванов И.Г. Импульсные ионные лазеры с полым катодом: параметры накачки и генерации // Квантовая электроника. 2012. Т.42. №6. С.518-523.

**Многочастотный оптический анализ загрязнения сточных вод**

*Е.М. Козаченко, В.П. Усольцев, С.И. Юран*

*(Ижевск)*

Существующие методы анализа неоднородных жидких сред, как правило, требуют применения сложной аппаратуры, что не всегда возможно в производственных условиях. В большинстве случаев применение точных методик требуется значительного времени для проведения анализа, что не позволяет в режиме реального времени устранять попадание аварийного выброса в систему фильтрации. Поэтому возникает задача оперативного анализа неоднородных водных сред с целью дальнейшего принятия решений о проведении тех или иных защитных мероприятий.

Одним из параметров, характеризующих, содержание примесей в сточных водах, является показатель оптической плотности. Анализ данных, полученных при апробации метода при различных видах загрязнений, свидетельствует о том, что показатель оптической плотности, также как и показатель уровня загрязнений, объективно характеризует качество очистки сточных вод [1]. С уменьшением или увеличением концентрации загрязнений изменяется величина оптической плотности.

Данный метод рассчитан, как правило, только на одно известное вещество, которое с наибольшей вероятностью может быть сброшено с контролируемого объекта. При этом характеристики вещества заранее проверяются на спектрометре, что позволяет подобрать оптимальные параметры оптоэлектронного датчика для данного участка. Если существует вероятность попадания двух и более веществ с различными характеристиками в систему сточных вод предприятия, это вызывает необходимость установки нескольких оптоэлектронных датчиков с соответствующими параметрами. На каждое отдельное вещество, которое может быть аварийно сброшено в участке или цехе предприятия, должен быть установлен отдельный оптоэлектронный датчик.

Для того чтобы правильно интерпретировать экспериментальные значения показателя оптической плотности, получаемые на каждой конкретной станции очистки, необходимо

построить корреляционные зависимости, позволяющие установить уровни величин показателя оптической плотности, соответствующие различным видам загрязнений сточных вод.

#### *Литература*

1. Алексеев В.А., Усольцев В.П., Юран С.И. Идентификация аварийных выбросов в системах фильтрации сточных вод в явно выраженных условиях многомерности и неопределенности // Интеллектуальные системы в производстве. – 2013. – № 2(22) – Ижевск : Изд-во ИжГТУ, 2013. – С.173-177.

### **Волновой конвертор с оптической модуляцией.**

*С.В.Кружалов, А.Ю Кушечев*

*(Санкт-Петербург)*

Одной из важных задач связанных систем является увеличение пропускной способности каналов. В рамках решения данной проблемы предлагаются различные варианты волновых конверторов, преобразующих входной оптический сигнал с длиной волны  $\lambda_1$  в выходной оптический сигнал с длиной волны  $\lambda_2$ . Данные приборы широко применяются для преобразования длин волн при оптической маршрутизации по длине волны внутри одной оптической сети и на стыке сетей, в мультиплексорах WDM и др. Конверторы используют разные методы и делятся по принципу модуляции на оптоэлектронные, на основе оптической кросс-модуляции, эффекта четырехволнового смешения и других нелинейных эффектов. [1]

В данной работе предлагается новый вид волнового конвертора, основанного на эффекте оптической модуляции. Излучение информационного сигнала на длине волны  $\lambda_1$  вводится в резонатор непрерывного лазера, работающего на длине волны  $\lambda_2$ . В результате при определенных условиях излучение этого лазера оказывается промодулированным исходным информационным сигналом.

В процессе работы была создана экспериментальная установка, включающая непрерывный DPSS лазер Nd:YVO<sub>4</sub>, работающий на длине волны  $\lambda_1=1064$  мкм, и непрерывный полупроводниковый лазер AlGaInP мощностью 25мВт, излучающий на длине волны  $\lambda_2=635$  мкм. Излучение Nd:YVO<sub>4</sub> лазера модулировалось с помощью механического прерывателя. При пространственном совмещении пучков наблюдался эффект оптической модуляции. Для исследования характера модуляции были сняты осциллограммы сигналов при различных значениях тока накачки модулирующего лазера. Установлено, что в пределах спектральной области  $\sim 1$  кГц, обеспечиваемой используемым прерывателем, характер

излучения AlGaInP лазера был идентичен модулирующему сигналу, коэффициент модуляции зависел от мощности Nd:YVO<sub>4</sub> лазера и достигал 100% при уровне входной мощности ~6мВт.

#### Литература

1. Слепов Н. Оптические волновые конверторы и модуляторы. // Электроника: Наука, Технология, Бизнес. 200. №6. С.6-10.

### О точности измерения динамических характеристик в оптических экспериментах

Н.А.Крюков, С.А.Пеганов

(Санкт-Петербург)

Класс задач, связанных с нахождением величин пространственных градиентов или временных характеристик описывается динамическими переменными, которые выражаются операторами  $d/dx$  или  $d/dt$ . Экспериментальное измерение подобных характеристик возможно в рамках решения обратных задач с учетом методов регуляризации[1], либо - прямых измерений частотных зависимостей наблюдений искомых величин и вычисления их средних значений по найденным функциям статистического распределения[2]. В данной работе на примере оптических измерений продолжено рассмотрение вопросов нахождения кинематических величин с учетом дискретного характера измерения скорости тела и

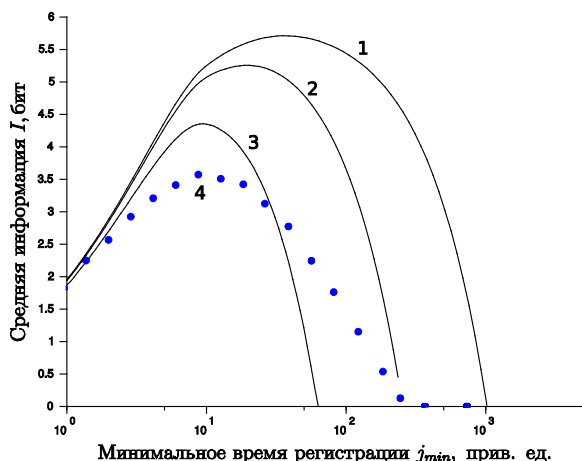


Рис. 1: Количество информации при  $\sigma = 0.01$  для различных объемов памяти: 1 – 10 бит, 2 – 8 бит, 3 – 6 бит, 4 – по экспериментальным данным при памяти 8 бит и  $\sigma = 0.007$

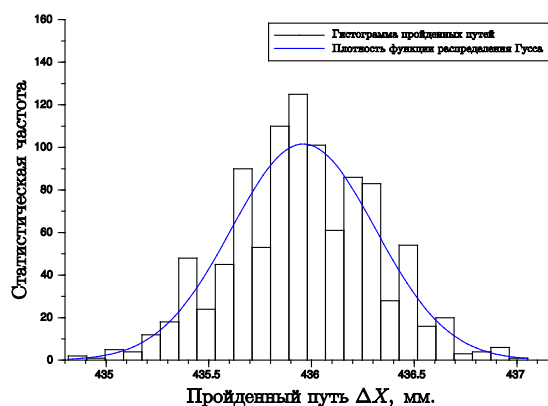


Рис. 2: Гистограмма частот длин пройденных путей (1000 имитаций измерения)

непрерывного/аналогового поведения перемещения. Возможные значения измеряемых величин (как непрерывных, так и дискретных) получаются как спектр собственных значений

соответствующих операторов. Изучено поведение пропускной способности в оптическом канале. На рис. 1 приведены расчёты информации для счётчиков с различным объёмом памяти и сравнение с результатами вычислений на основе частотного анализа значений регуляризирующего параметра. На рис. 2 представлен пример результатов измерений пути с учётом шума. Таким образом, теоретически описана и экспериментально подтверждена возможность достижения максимальной пропускной способности канала.

#### *Литература*

1. Тихонов АН., Арсенин В.Я. Методы решения некорректных задач. М.: Наука, 1986. –288 с.
2. Крюков Н.А., Пеганов С.А. О дискретизации в оптических измерениях. II Всерос. конф. по фотонике и информационной оптике. Сб. научных трудов. М.: НИЯУ МИФИ, 2013, с. 260.

### **Развитие методов лазерной корреляционной спектроскопии для исследования параметров технических и биологических суспензий**

*Э.К. Непомнящая, Е.Н. Величко, Т.А. Богомаз, Е.Т. Аксёнов*

*(Санкт-Петербург)*

Метод лазерной корреляционной спектроскопии (ЛКС) является стандартным лабораторным методом для измерения диаметров частиц в растворах при исследовании биологических жидкостей и определения таких статических характеристик, как размер, заряд и коэффициент диффузии низкоразмерных объектов ( $0,3 - 10^4$  нм). Метод показал свою информативность в биологии, токсикологии, медицине и экологических исследованиях [1-2]. Однако возможности ЛКС применительно к исследованию динамики биообъектов исследованы недостаточно. Количественная информация о динамике фракционного состава жидкостей и распределении частиц по размеру, полученная в экспресс-режиме, актуальна при исследованиях динамических процессов как в биологических жидкостях при диагностике и экологическом мониторинге, так и при производстве наноматериалов.

В настоящей работе рассматривается развитие метода лазерной корреляционной спектроскопии для оценки динамики структурных изменений биологических и технических суспензий под воздействием различных факторов. Для проведения исследований была собрана модифицированная схема лазерного корреляционного спектрометра, дополненная каналом визуального контроля динамики происходящих процессов. В качестве источника излучения использовался полупроводниковый лазер с длиной волны 650 нм. Излучение, рассеянное от кюветы с малым объемом анализируемого вещества (0,3 мл), регистрировалось фотоприёмником под углами от  $30^\circ$  до  $180^\circ$ , а также с помощью ПЗС камеры в ортогональной плоскости. На первом этапе работы исследовались суспензии



белков, биологических и технических жидкостей. Полученные данные показали, что предложенная методика позволяет исследовать динамику конформационных изменений молекулярных комплексов в жидкой среде.

1. Р.М. Дубовой, И.Б. Алчинова, И.П. Бобровницкий Взаимосвязь между метаболическими сдвигами и содержанием ряда элементов в биосубстратах человека // Вестник восстановительной медицины. 2009. № 2. С. 42–44.

2. О.И. Ковалева, А.А. Ушаков, М.А. Лебедева Новые подходы к ранней диагностике заболеваний системы крови // Кремлевская медицина. Клинический вестник. 2004. № 3. С. 11-13.

### **Влияние плазмы коронного разряда на плазмонный резонанс**

*А.Н.Палагушкин, С.А. Прокопенко, А.П. Сергеев.*

*(Москва)*

В работе рассмотрены особенности воздействия периодического облучения плазмой коронного разряда в воздухе чувствительной поверхности газового сенсора [1], работающего на принципе поверхностного плазмонного резонанса (SPR). Эти исследования ранее не проводились, известно только одно сообщение о применении финишной ионной очистки поверхности для регенерации SPR – биосенсоров [2].

SPR сенсоры были изготовлены на подложках из плавленого кварца электроннолучевым нанесением в высоком вакууме нано слоев Ag с защитным/сорбционным слоем  $Al_2O_3$  с толщинами соответственно 60 нм и 3 нм, а также слоев Ag (64 нм) и Au (54 нм) без защиты. Измерения коэффициентов угловой зависимости полного отражения по схеме Кречмана проводились на автоматизированной гониометрической установке ранее описанной в [3]. Расчет изменения эффективных оптических параметров нанослоев при облучении проводился по методике приведенной в [4]. Было обнаружено сильное и принципиально различающееся воздействие положительного и отрицательного коронного разряда на угловое смещение минимума отражения при SPR – резонансе. Положительная корона вызывает облучение поверхности сенсорного слоя комплексом положительных ионов азота, кислорода и воды. Это приводит к очень эффективной и воспроизводимой очистке поверхности сенсоров на основе Ag/ $Al_2O_3$  и Au (десорбции влаги и активации центров адсорбции). При этом резонанс смещается в сторону меньших углов, а величина минимума отражения становится глубже. Поверхность слоев Ag без защитного слоя  $Al_2O_3$  окисляется присутствующим в разряде озоном, слой металлического Ag становится тоньше, а на нем образуется более толстый слой окиси. Это приводит к уширению и смещению резонанса SPR в область больших углов и уменьшению минимума отражения. При действии отрицательной

короны, соответственно, поверхность облучается отрицательными ионами, и происходит ее быстрое окисление и осаждение продуктов пиролиза органики, присутствующей в воздухе.

Работа выполнена по программе фундаментальных исследований ОНИТ РАН №2.

1. A.L.Mikaelian, B.V.Kryzhanovsky, A.N.Palagushkin, S.A.Prokopenko, A.P.Sergeev, F.A.Yudkin, and A.N.Arlamenkov, "Sensors Using Plasmon Nanostructures", Optical Memory and Neural Networks (Information Optics), Vol.14, No.4, 2005, pp.229-244.
2. <http://nanospr.uservoice.com/knowledgebase/articles/175054-gold-spr-slide-surface-cleaning>.
3. Микаэлян А.Л., Крыжановский Б.В., Палагушкин А.Н., Прокопенко С.А., Сергеев А.П., Арламенков А.Н., «Автоматизированная установка для измерения оптических параметров нанослоев металлов методом поверхностного плазмонного резонанса», "НАУЧНАЯ СЕССИЯ МИФИ-2007", "ФОТОНИКА И ИНФОРМАЦИОННАЯ ОПТИКА", 22-26 января 2007.
4. A. N. Palagushkin, S. A. Prokopenko, A. P. Sergeev, and A. N. Arlamenkov, "Measurement of Metal Nanolayers Optical Parameters Using Surface Plasmon Resonance Method", Optical Memory and Neural Networks (Information Optics), 2007, Vol. 16, No. 4, pp. 288-294.

### **Влияние периода и коэффициента металлизации в многополосковом волноводе на возбуждение плазмонного резонанса**

*Палагушкин А.Н., Прокопенко С.А., Сергеев А.П.*

*(Москва)*

Научные и технические приложения плазмоники активно используются для исследования ближнего поля в планарных оптических наноструктурах, лежат в основе нанофотоники. Разработка новых современных систем связи направлена на увеличение скорости передачи больших объемов данных и преодоление существующих физических ограничений в используемых для этого электронных и оптических технологиях. Поверхностные электромагнитные волны (ПЭВ) оптического диапазона, связанные с электронной плазмой металла (поверхностные плазмоны поляритоны-ППП) и распространяющиеся вдоль границы металла с диэлектриком, позволяют преодолеть дифракционный предел и обеспечить расширение полосы пропускания оптических схем, согласовать компактность электронных чипов с огромной пропускной способностью оптических схем и объединить эти схемы в нанометровом масштабе размеров.

Для создания таких плазмонных компонентов интересно оценить границу перехода от 2D к 1D-структурам, для чего сплошная металлическая поверхность разделялась на полосы с постоянным периодом и определенным коэффициентом металлизации (долей периода, приходящейся на полосу металлизации). Программой RODIS выполнено моделирование зависимости углового спектра отражения такой структуры от периода и коэффициента металлизации. Структура освещалась лучом лазера (р-поляризация) вдоль полос металлизации со стороны подложки по схеме Кречмана. Расчеты показали значительное

влияние ширины металлизированных полосок и зазоров между ними на угловой спектр отражения и поверхностный плазмонный резонанс. Исходя из расчетов, были выбраны оптимальные геометрические размеры многополоскового волновода, которые обеспечивали максимальное возбуждение плазмонной волны при реальном технологическом изготовлении макетов методом фотолитографии. Для экспериментальной проверки результатов расчетов были изготовлены ряд полосковых структур с периодами от 5 до 50 мкм и коэффициентами металлизации 0.5, 0.9, 0.95, выполненных на металлических слоях серебра толщиной 50 нм, нанесенных на поверхности подложек из плавленого кварца и ниобата лития.

Были проведены экспериментальные измерения изготовленных макетов на автоматизированной гониометрической установке по схеме Кречмана, которые показали хорошее совпадение с теоретическими расчетами.

Работа выполнена по программе фундаментальных исследований ОНИТ РАН №1.8.

**Комплекс для измерений фотометрических, радиометрических,  
спектрорадиометрических и пространственных характеристик излучения  
лазерных диодов и светодиодов**

*С.В. Никоненко, А.В. Данильчик, В.А. Длугунович, В.А. Ждановский, А.В. Крейдич,  
А.А. Липлянин, Е.В. Луценко, Н.В. Ржеуцкий*

*(Минск)*

В последнее время широкое развитие получили источники излучения в ультрафиолетовой (УФ) области спектра на основе компактных долговечных светодиодов (СИД), которые используются для отверждения полимеров, экспресс идентификации химических веществ и биологических объектов, дезинфекции воды и продуктов питания и др. Нитридные технологии роста уже позволяет создавать экспериментальные образцы лазерных диодов (ЛД), которые скоро станут коммерчески доступны и заменят дорогостоящие газовые и твердотельные УФ лазеры. Качество и безопасность изделий, созданных на основе ЛД и СИД, излучающих в УФ области спектра, во многом определяются точностью измерений их характеристик. Поэтому в Институте физики НАН Беларуси создан комплекс для измерений фотометрических, радиометрических, спектрорадиометрических и пространственных характеристик излучения ЛД и СИД и изделий на их основе в спектральном диапазоне от 250 до 900 нм.

Установленные метрологические характеристики комплекса:

- диапазон измерений силы света и усредненной силы света – от 0,01 до 60 кд, относительная расширенная неопределённость измерений указанных величин не более 2,0 %;

- диапазон измерений мощности лазерного излучения (ЛИ) в спектральном диапазоне от 250 до 900 нм составляет от  $3 \cdot 10^{-7}$  Вт до  $10^{-1}$  Вт, относительная расширенная неопределённость измерений мощности ЛИ не более 2,0 %;
- относительная расширенная неопределённость измерений пространственного распределения силы света не более 1,0 %;
- относительная расширенная неопределённость измерений пространственного распределения плотности мощности ЛИ в диапазоне от 300 нВт до 300 мВт не более 9,2 %;
- относительная расширенная неопределённость измерений спектральной плотности энергетической освещенности, создаваемой СИД в диапазоне от  $10^2$  до  $10^{10}$  Вт·м<sup>-3</sup>, в спектральном диапазоне от 250 до 400 нм составляет не более 5,4 %, в диапазоне от 400 до 500 нм – не более 8,0 %, в диапазоне от 500 до 900 нм – не более 5,6 %;
- относительная расширенная неопределённость измерений спектральной плотности энергетической яркости излучения СИД в диапазоне от  $10^2$  до  $10^{12}$  Вт·м<sup>-3</sup>·ср<sup>-1</sup> в спектральном диапазоне от 250 до 500 нм не более 7,0 %.

Комплекс предназначен для испытаний лазерной и светодиодной техники, создаваемой и используемой в Республике Беларусь и государствах Таможенного Союза.

### **Динамическая прочность волоконных световодов для оптических систем измерения температуры**

*А.В. Поляков, М.А. Ксенофонов  
(Минск)*

Широкое применение автоматизированных систем контроля и управления, внедрение новых технологических процессов, переход к гибким автоматизированным производствам вызывает все возрастающий интерес к волоконно-оптическим датчикам различного назначения. Одно из лидирующих мест по спросу и предложению занимают волоконно-оптические датчики температуры (ВОДТ). Ввиду высокой метрологической надежности измерительные системы на основе ВОДТ перспективно использовать в условиях, когда по тем или иным причинам доступ к ним в течение длительного периода времени практически невозможен или нецелесообразен, например, при осуществлении длительного мониторинга состояния акваторий портов, туннелей, мостов, трубопроводов, нефтегазодобывающих скважин и т. п. Использование волоконного световода (ВС) в качестве сенсорного элемента основывается на изменении его свойств под воздействием температуры. При этом наибольшей чувствительностью обладают ВОДТ на основе ВС с металлическим покрытием (алюминиевым или никелевым), жестко связанным с оболочкой волокна.

Поскольку температурный коэффициент теплового расширения металлического покрытия значительно больше такого коэффициента для ВС, то при нагревании в волокне возникают внутренние механические напряжения. При приложении к ВС достаточно длительное время динамической нагрузки, значительно меньшей предельной, происходит разрушение волокна. Это явление, называемое статической усталостью стекла, объясняется ростом имеющихся в нем дефектов. Поэтому важно исследовать, как влияют изменяющиеся во времени высокие измеряемые температуры на прочности волокна и, соответственно, на срок службы ВОДТ.

Предложен способ теоретической оценки долговечности волоконных световодов, используемых в волоконно-оптических датчиках в качестве чувствительного элемента, в зависимости от напряжений, возникающих при динамических изменениях температуры, давления и других механических воздействий. Разработанная аналитическая модель учитывает конструктивные особенности волокна (диаметры сердцевины и оболочки, металлическое или полимерное покрытие), типы легирования, относительную влажность окружающей среды и т. п. Проведено численное моделирование срока службы световодов при динамических воздействиях измеряемой температуры и сравнение с экспериментальными данными.

### **Особенности возбуждения газовых лазеров на парах металлов импульсами тока микросекундной длительности.**

*А.В. Рязанов, Р.К. Бабичев, И.Г. Иванов, А.М. Бессмертный  
(Ростов-на-Дону)*

Использование импульсного разряда для создания плазмы в лазерах на парах металлов (ЛПМ), по сравнению со стационарным разрядом, имеет ряд преимуществ [1]. Короткие импульсы тока длительностью в несколько микросекунд позволяют сообщить активной среде оптимальный уровень накачки, избегая развития неоднородностей плазмы разряда. Однако, при работе в импульсном режиме с разрядом в полой катодной трубке (РПК) начинает проявляться инерционность и нелинейность процессов в плазме разряда. В связи с этим, зависимость тока от напряжения на лазерной трубке определяется уже не статической, а динамической вольт-амперной характеристикой (ВАХ) [2].

В проведенном нами эксперименте были получены такие ВАХ для двух типов разрядных трубок с конфигурацией электродов «продольно-поперечного» и «строго

поперечного» типа. Все полученные ВАХ имеют «падающий» характер, т.е. имеют участок с отрицательным дифференциальным сопротивлением. Таким образом, данные газоразрядные трубки ведут себя как активные нелинейные нагрузки. Для определения мощности лазерного излучения и оптимальных временных зависимостей электрических параметров, связанных с динамикой создания инверсии населённости, нами была составлена структурно-логическая схема модели, позволяющая получить нагрузочные режимы при использовании активного и различных типов реактивных балластных элементов с учетом такой нелинейности.

При помощи блок-схемы математической модели разрядной трубки, реализованной в одной из современных программ для математического моделирования, были получены осциллограммы сигналов тока и напряжения на разрядной трубке при последовательном «подключении» к ней различных типов электрических балластов. В ходе работы было установлено, что главное преимущество использования емкостного балласта при питании ЛПМ в том, что он позволяет получить острые импульсы тока микросекундной длительности в активной среде лазера без использования дополнительных коммутаторов.

#### *Литература*

1. Рязанов А.В., Иванов И.Г. Энергетические характеристики новых ИК-лазерных переходов в ионных спектрах металлов // Электромагнитные волны и электронные системы. 2013. Т. 18. № 9. С. 62-68
2. Рохлин Г.Н. Разрядные источники света -М.: Энергоатомиздат. 1991. С. 173-177

### **Временные характеристики суперфлуоресценции в активных средах с наночастицами металлов при отсутствии плазмонных резонансов**

*В.А. Харенков, А.Ю. Искандаров, Н.С. Панамарев, И.В. Самохвалов, В.А. Донченко,  
Ал.А. Землянов  
(Томск)*

В последнее время исследованию дисперсных лазерно-активных сред, таких как: нанопорошки, жидкие активные среды и пленки, допированные наночастицами, посвящено довольно много работ [1]. В основном авторами исследуются особенности формирования излучения вблизи собственных резонансов наночастиц, однако не менее важным с прикладной точки зрения является исследование эффектов, возникающих в дисперсной среде в отсутствие резонансных эффектов. Очевидно, что необходимое для реализации значительного усиления локального оптического поля условие плазмонного резонанса создает определенные трудности в широком использовании методов поверхностного усиления на основе эффектов плазмонных резонансов. В то же время, из теоретических

работ [2] следовало, что вблизи поверхности таких наноструктур существуют пространственные области (“горячие точки”), в которых напряженность падающего электрического поля увеличивается приблизительно в  $10^2$  раз и в случае нерезонансного возбуждения. Это обстоятельство открывает перспективы использования агломератов наночастиц для расширения спектральных возможностей реализации эффекта понижения порогов вынужденного излучения в таких системах.

В данной работе представлены результаты экспериментальных исследований спектрально-энергетических, временных и пространственных характеристик люминесценции тонких слоев раствора красителя родамин 6Ж с агломерированными наночастицами серебра, никеля и алюминия. Показано, что энергетические пороги возникающей суперлюминесценции при использовании агломератов алюминия и серебра приблизительно в 30 раз меньше порога сурелюминесценции в чистом красителе, при этом длительность импульсов суперлюминесценции сокращается на 20 %. Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках «Программы повышения конкурентно способности ТГУ»

#### *Литература*

1. Wiersma D.S. The physics and applications of random lasers // Nature physics, 2008, V. 4, p.359-367.
2. Олейников В.А., Первов Н.В., Мchedlishvili Б.В. Трековые мембраны в темплетном синтезе ГКР-активных наноструктур // Критические технологии. Мембраны, 2004, № 4 (24), p.17-28.

#### **Лазеры в аналитике**

*Немец В.М., Пастор А.А.  
(Санкт-Петербург)*

В докладе рассматриваются основные особенности лазерного излучения, обеспечивающие применение современных лазерных систем в аналитических целях: высокая интенсивность, временная и пространственная когерентность, монохроматичность, возможность плавной перестройки в широком спектральном диапазоне.

Интенсивность лазерного излучения существенно превышает интенсивность не лазерных источников света, что открывает качественно новые аспекты взаимодействия излучения с веществом. Уже в первые годы после открытия лазеров был продемонстрирован и применён в аналитических целях эффект лазерного пробоя на поверхности твёрдых тел и в газах. Механизм лазерного пробоя представляет собой лавинообразное размножение

электронов в поле интенсивной электромагнитной волны и в этом смысле он схож с механизмом ВЧ или СВЧ пробоя. Однако при высоких интенсивностях лазерного излучения следует принимать в расчёт механизмы многофотонной ионизации вещества лазерным излучением.

Высокая монохроматичность и возможность плавной перестройки частоты монохроматического лазерного излучения открывает широкие перспективы применения лазеров для разделения изотопов и лазерного изотопного анализа. Далее – изотопный анализ с помощью диодных лазеров. Рассмотрены как традиционные методы лазерного спектрального анализа, основанные на известных явлениях лазерной абляции и пробоя, сопровождающегося спонтанным излучением образующейся при этом плазмы, а также методы спонтанного и вынужденного комбинационного рассеяния лазерного излучения, так и более современные методы изотопного спектрального анализа с помощью диодных лазеров, методы усиленного вблизи поверхности комбинационного рассеяния и методики лазерно-индуцированной флуоресценции, обеспечивающие высокую чувствительность и сверхвысокое пространственное разрешение аналитических методов, вплоть до регистрации отдельных атомов и молекул, а также радикалов в больших биополимерных молекулах. Рассмотрены также аналитические применения спектроскопии четырёхволнового смешения в частности, активной спектроскопии комбинационного рассеяния света. Рассмотрены системы лазерной абляции, используемые в MALDI для ионизации и последующего масс-анализа образующихся ионов. Приведён сравнительный анализ характеристик различных лазерных систем используемых в устройствах MALDI. Рассмотрены аналитические применения сверхзвуковых потоков охлаждённых до криогенных температур, обеспечивающих получение спектров поглощения сложных молекул с высоким разрешением. В докладе рассматриваются также дистанционные (лидарные) методы анализа, основанные как на дифференциальном поглощении как на дифференциальном поглощении лазерного излучения на трассе в газовой среде, так и на исследовании сигналов флуоресценции и спонтанного излучения плазмы лазерного пробоя на поверхности удалённых мишеней. Рассмотрены диагностические и аналитические применения лазерных систем фемтосекундного и аттосекундного диапазона.

Особое внимание в докладе уделяется методам анализа биологических молекул, объектов и живых организмов. В частности, приведены первые результаты сканирования активности различных долей мозга человека с помощью ИК диодных лазеров, открывающих совершенно новые перспективы в исследовании высшей нервной деятельности и новые возможности аналитической диагностики мозговой активности.



## Лазерная абляция стеклянных нанокомпозитов

*О.В. Мкртычев, В.Г. Шеманин*

*(Новороссийск)*

Ранее в работах [1-3] были исследованы закономерности лазерного абляционного разрушения полимеров и нанокомпозитов и разработаны вероятностные методы оценки и прогнозирования их оптической прочности в диапазоне плотности энергии лазерного импульса до  $100 \text{ Дж}\cdot\text{см}^{-2}$ .

Целью настоящей работы являются экспериментальные измерения пороговой плотности энергии лазерной абляции стеклянных нанокомпозитов различного состава под действием импульсного излучения YAG-Nd лазера и исследованы зависимости их оптической прочности от оптических свойств нанокомпозитов. Исследования были выполнены на образцах нанокомпозитов, которые представляли собой листовое флоат-стекло с нанесенными на них оксидным покрытиями вида  $\text{SiO}_2 + \text{CuO}$ .

Как отмечают в [4], важным аспектом проблем, связанных с лазерной абляцией, является вероятностный характер процессов разрушения, что обусловлено следующими причинами: случайным пространственным распределением поглощающих дефектов, различными характеристиками этих дефектов, что приводит к различным значениям порога лазерного пробоя и тесной связью между порогом разрушения и размером области взаимодействия лазерного излучения (размерный эффект).

Получено, что значения пороговой плотности энергии лазерной абляции исследованных нанокомпозитов зависит от пропускания света и показателя преломления образца, а оптическая прочность резко возрастает с уменьшением его пороговой плотности энергии [3].

1 Воронина Э.И., и др. // Письма в ЖТФ. 2008. Т. 34. В. 23. С. 59-64

2 Воронина Э.И., и др. //ЖТФ. 2009. Т. 79. В.5. С.143-149

3 Аткарская А.Б., и др. // Известия ВУЗов. Физика, 2012. Т. 55. вып. 8/2, С.238-240

4 Маненков А.А., Прохоров А.М. // УФН. 1986. Т.148. В.1. С. 179 – 211

## **Программно- аппаратный комплекс персонального 3D-принтера**

*П.И. Сарычев, В. Г. Шеманин*

*(Новороссийск)*

Данная работа посвящена разработке программно-аппаратного комплекса персонального 3D-принтера, работающего по технологии FDM [1]. Такой процесс называется трехмерной печатью объектов и относится к классу технологий быстрого прототипирования.

Цель работы – создание персонального 3D-принтера, печатающего объекты, которые не требуют финишной механической обработки.

В основе разработки лежит как усовершенствование технологического процесса FDM, создание новой кинематической схемы персонального 3D-принтера, так и разработка оригинального алгоритма управляющей программы и системы позиционирования, ранее не применявшейся в устройствах данного класса.

Этот этап работы заключался в разработке программно-аппаратного комплекса, обеспечивающего работу 3D-принтера. Он состоит из двух модулей: программы-слайсера и программы, управляющей аппаратной частью системы.

Программа-слайсер предназначена для преобразования трехмерных компьютерных моделей объектов в формате STL, созданных в различных САПР, в общепринятый в машиностроении формат G-кодов. В качестве программы-слайсера была выбрана программа Slic3r, разработанная в рамках проекта с открытым исходным кодом. В ней были внесены изменения в исходный код, связанные с оптимизацией работы программы с разработанной кинематикой. Программа-слайсер работает на ПК под управлением операционной системой Linux.

Программный модуль, управляющий аппаратной частью трехмерного принтера, интерпретирует программу управления в формате G-кодов, полученной от слайсера в серию управляющих сигналов, подаваемых на исполнительные механизмы аппаратной части с учетом сигналов обратной связи, получаемых от датчиков. Основными исполнительными механизмами являются шаговые двигатели подсистем перемещения и подачи материала, нагревательные элементы экструдера. Датчиками обратной связи являются датчики температуры рабочей зоны экструдера. Программный модуль управления, созданный с применением языка программирования C<sup>+</sup>, исполняется на микропроцессорной системе RAMPS, являющейся основой электронного модуля устройства. В результате разработан программно-аппаратный комплекс 3D-принтера, способного воспроизводить объекты по их компьютерным трехмерным моделям, в основе которого использована оригинальная система перемещения.

### **Лазерный мониторинг аэрозольного переноса в атмосфере**

*В.В. Дьяченко, В.Г. Шеманин*

*(Новороссийск)*

В условиях нарастающего техногенного преобразования биосферы проблемы загрязнения окружающей среды становятся все более острыми. Одной из важнейших проблем является трансграничный перенос аэрозольного загрязнения в атмосфере.

Целью работы является создание системы лазерного зондирования аэрозольных потоков, которая позволит измерять распределение концентрации частиц по высоте в режиме реального времени с одновременным определением скорости переноса. В данной работе исследования проводились на модельных потоках, получаемыми путем импульсной инъекции цементного порошка в газопровод на базе специального пылевого стенда, построенного на основе замкнутого газопровода [1]. Были проведены измерения времени стабилизации потока с помощью метода интегрального рассеяния Ми, которые показали, что через промежуток времени менее 10 секунд после импульсной инъекции возможно производить измерения. На базе пылевого стенда разработана принципиальная схема и аппаратное оформление лабораторной системы, позволяющей моделировать и проводить измерения параметров аэрозольного потока. На модельных запыленных потоках измерялось рассеяние Ми лазерного излучения, которое показало потенциальную возможность регистрации концентрации аэрозольных частиц с относительной погрешностью менее 16% в режиме реального времени.

1. Половченко С.В., и др. // Труды XIX международной конференции «Лазерно-информационные технологии в медицине, биологии и геоэкологии-2011». Новороссийск, 2011. С. 157-158

### **Лазерная система мониторинга аэрозольных выбросов в атмосферу**

*Е.И. Веденин, П.В. Чартий, В.Г. Шеманин*

*(Новороссийск)*

В процессе производства цемента с некоторой вероятностью могут происходить отказы пылегазоочистного оборудования, при которых на выходе системы пылегазоочистки отходящих газов происходят сверхнормативные выбросы аэрозольных частиц в атмосферу. Отсюда следует вывод о необходимости постоянного контроля за содержанием аэрозольных

частиц в отходящих газах. При наличии контроля в реальном времени появляется возможность управлять технологическим процессом при угрозе возникновения аварийного выброса. С этой целью предлагается использовать лазерную систему измерения спектральной прозрачности аэрозольного потока в реальном времени [1]. Эта система состоит из трех лазеров, фотоприёмника, расположенного напротив него вдоль оси лазерного излучения, выход которого подключён через контроллер к ПК. Лазеры генерируют лазерное излучение интенсивности  $I_0$ . Оси трех лазерных пучков совмещены до потока, а затем разделяются по длинам волн на три фотоприемника. При прохождении сквозь запылённый поток лазерное излучение ослабляется в результате частичного рассеяния и поглощения его частицами пыли. Интенсивность излучения снижается до некоторого значения  $I$ , которое и регистрируется каждым фотоприемником. Это значение преобразуется в электрический сигнал, затем в цифровой код и поступает в ПК. В случае обнаружения превышения значения концентрации над уровнем ПДК можно утверждать о возникновении аварийного выброса. Однако, превышения концентрации недостаточно для однозначного утверждения об аварийном выбросе. В этом случае дополнительно регистрируется спектр размеров частиц, который в отличие от исходного становится бимодальным [2]. Поэтому определение спектров размеров частиц на выходе ПГО позволяет судить о его состоянии и наличии аварийного выброса. Предлагаемая система позволяет определять не только концентрацию частиц, но и спектр размеров частиц модифицированным методом спектральной прозрачности на трёх длинах волн лазерного излучения.

- 1 Половченко С.В., Роговский В.В., Чартий П.В., Шеманин В.Г. // Сб. докладов 20-й Межд. Конференции «Лазеры. Измерения. Информация». 2010. Том 1. С.-Пб. Изд. Политех. Ун-та. С. 145-169
- 2 Архипов В.А., Ахмадеев И.Р., Бондарчук С.С., Ворожцов Б.И., Павленко А.А., Потапов М.Г. // Оптика атмосферы и океана. 2007. Т. 20. № 1 С. 48-52

### **Метрологическое обеспечение ИК детектора для измерения концентрации углеводородов нефти в газовых выбросах**

*А.О. Васильев, П.В. Чартий, В.Г. Шеманин*

*(Новороссийск)*

Основным источником воздушных выбросов на нефтебазах и танкерах являются испарения нефти и нефтепродуктов во время хранения и сливно-наливных операций. В герметичном резервуаре процесс испарения происходит до тех пор, пока газовое пространство емкости хранения над жидкостью не будет заполнено насыщенным паром. Для

измерения суммарной концентрации предельных углеводородов в воздушных выбросах при хранении и транспортировке нефти и нефтепродуктов был разработан ИК детектор [1], работающий на длине волны 3,4 мкм в средней области инфракрасного спектра поглощения. Метод измерения поглощения средой в инфракрасном диапазоне для определения концентрации углеводородов реализован в двухлучевой схеме детектора с применением полупроводниковых свето- и фотодиодов.

Целью настоящей работы является метрологическая оценка погрешности детектора при градуировке по н-гексану и экспериментальные измерения суммарной концентрации предельных углеводородов различных сортов нефти при разных температурах. Экспериментальные измерения суммарной концентрации насыщенных паров предельных углеводородов были выполнены для трех различных сортов нефти при разных температурных условиях. В качестве образцового метода измерения был выбран метод газовой хроматографии. Метрологические исследования погрешности детектора при градуировке по н-гексану и экспериментальные измерения суммарной концентрации предельных углеводородов различной нефти при разной температуре позволяют сделать вывод о том, что предложенный метод измерения и градуировка по одному компоненту являются допустимыми для измерения суммарной концентрации легких фракций нефти в пределах установленной погрешности 25% и диапазоне концентрации 20 - 60 г/м<sup>3</sup>. Экспериментальная проверка допустимости такого подхода проверена по интегральному сечению поглощения молекулы н-гексана. Применение такого инфракрасного детектора позволит выполнять автоматический непрерывный мониторинг выбросов в реальном времени с целью сокращения экологического и экономического ущерба и обеспечение взрыво- и пожаробезопасности в области рабочей зоны.

1 Васильев А.О., Чартий П.В., Шеманин В.Г. Патент РФ на изобретение №2484450. 2013

## **Оптические свойства наноразмерных покрытий системы CuO- TiO<sub>2</sub>**

*А.Б. Аткарская, В.Г. Шеманин*

*(Новороссийск)*

Двухкомпонентные пленки системы CuO-TiO<sub>2</sub> наносили окунанием подложки из листового термически полированного стекла со скоростью 1 мм/с в пленкообразующие спиртовые растворы, содержащие суммарно 5% оксидов титана и меди. Содержание CuO в покрытиях сохранялось постоянным и равным 30 мол.%. Исходные материалы для

приготовления пленкообразующих растворов: тетрабутоксид (ТБТ) или тетраэтоксид (ТЭТ) титана, хлорид или нитрат меди, этанол в качестве растворителя, соляная или азотная кислота – катализатор гидролиза алкоксида титана. Закрепляли пленки обжигом композита при 450°C. В экспериментах были измерены коэффициенты пропускания света  $T$  и зеркального отражения  $R$  композитов в видимой области спектра, показатель преломления наноразмерных покрытий, их микроструктуру и фазовый состав порошков. Потери света в композите  $A$  рассчитывали по выражению:  $A = 100 - T - R$ .

Поскольку форма включений в покрытиях изменяется от псевдосферической до палочкообразной – дендритной, уменьшение вязкости объясняется одновременным уменьшением объемной доли и трансформацией формы частиц дисперсной фазы. Следует отметить, что появление дендритных включений в покрытиях определяется использованием хлорида меди для приготовления пленкообразующих зольей. Показатель преломления наноразмерных покрытий и коэффициент отражения композитов с учетом зеркальной составляющей  $R$  связаны пропорционально:

|         |      |      |      |
|---------|------|------|------|
| $n$     | 1,78 | 1,96 | 2,06 |
| $R, \%$ | 20   | 26   | 33   |

Очевидно, нитрат меди оказывает неблагоприятное влияние, максимально (среди изученных образцов) понижая значения  $n$  покрытий и  $R$  композитов. Микроструктура покрытий, полученных с использованием нитрата меди, напротив, наиболее однородна, что находится в соответствии с максимальным пропусканием света одноименного композита (65%). Потери света  $A$  складываются из потерь в подложке, которые одинаковы для всех образцов, и потерь в наноразмерном покрытии – рассеяние света на неоднородностях микроструктуры – включениях (крупные и потому более тугоплавкие частицы золя) и порах, формирующихся в результате более или менее плотной упаковки дисперсных частиц в наноразмерный слой. Значение  $A$  достигает максимального значения 14% при использовании пленки на основе нитрата меди, ТБТ в совокупности с  $\text{CuCl}_2$  наиболее перспективны, и потери света снижаются до 8%. Таким образом, оптические свойства композитов с наноразмерными покрытиями системы  $\text{CuO-TiO}_2$  определяются природой исходных материалов, использованных для приготовления пленкообразующих растворов и наиболее перспективно использование ТБТ и хлорида меди, так как применение нитрата меди значительно ухудшает оптические характеристики наноразмерных покрытий и композитов.

1 Черемской П.Г., Слезов В.В., Бетехтин В.И. Поры в твердом теле. М.: Энергоатомиздат, 1990. 375 с.

## Лазерная система мониторинга воздуха рабочей зоны

Э.К. Аблязов, В.Г. Шеманин, О.В. Явная

(Новороссийск)

Качество воздуха рабочей зоны на предприятиях нефтегазовой отрасли перешло в разряд таких же проблем, как проблема качества окружающего атмосферного воздуха [1]. Уровень загрязнения воздуха в рабочих помещениях в 3 - 5, а иногда и в сотни раз выше, чем на территории предприятия. Каждый технологический процесс в современном производстве в той или иной степени выделяет физические или химические компоненты, которые и качества воздуха в рабочей зоне. Поэтому целью настоящей работы является разработка лазерной системы для дистанционного измерению концентрации молекул загрязняющих веществ в воздухе рабочей зоны методом комбинационного рассеяния света этими молекулами. Такая лазерная система предназначена для приема рассеянного газовыми молекулами из заданной области атмосферы зондирующего лазерного излучения и его спектральной селекции в нескольких спектральных интервалах с последующей обработкой сигналов с фотоприемных устройств в ПК. Лазерная система для измерения концентрации молекул загрязняющих веществ методом комбинационного рассеяния света на расстояниях до 100 м включает оптический модуль, электронный модуль и специальное программное обеспечение. Оптический модуль состоит из импульсного твердотельного лазерного излучателя с преобразователем гармоник, приемного телескопа и многоканального (до 10 участков спектра) фотоприемного устройства. Электронный модуль включает контроллер для управления режимами работы лазерной системы и для первичной обработки принимаемых сигналов фотоприемников и передачи в ПК. Для оценки потенциальных возможностей такой системы и выбора параметров лазерного излучения был выполнен вычислительный эксперимент для зондирования сигнала комбинационного рассеяния света молекулами формальдегида с концентрацией на уровне предельно- допустимых. Лидарное уравнение для комбинационного рассеяния света типа [2] в предположении однократного рассеяния в направлении назад и отсутствии ослабления лазерного излучения на воздушной трассе длиной до 100 м численно решалось для следующих параметров лидара: площадь приемного телескопа равна  $A_0 = 0,037 \text{ м}^2$ ; шаг по расстоянию  $\Delta R = 7,5 \text{ м}$  для времени измерения 50 нс и концентрация молекул формальдегида  $N = 10^{16} \text{ см}^{-3}$ . Значения дифференциального сечения комбинационного рассеяния света молекул формальдегида для валентного колебания CO -  $(d\sigma/d\Omega) = 0,92 \cdot 10^{-30} \text{ см}^2/\text{ср}$ , а CH -  $(d\sigma/d\Omega) = 4,0 \cdot 10^{-30} \text{ см}^2/\text{ср}$  было взято из [3, 4]. В результате получено, что для обеих полос комбинационного рассеяния

света молекулами формальдегида оптимальной длиной волны лазерного излучения для всей трассы зондирования является 355 нм – излучение на третьей гармонике YAG-Nd лазера.

1. СанПиН 2.1.2.1002-00. Минздрав России. М. 2001
2. Привалов В.Е., Фотиади А.Э., Шеманин В. Г. Лазеры и экологический мониторинг атмосферы. СПб. : Лань. 2013. 288 с.

### **Бесконтактное измерение сердечного ритма(пульса) используя видео поток и метод анализа независимых компонент (ICA - Independent Component Analysis) .**

*В.И.Дудкин, В.А.Полянский, П.С.Попов  
(Санкт-Петербург)*

Данный доклад посвящен одному из методов измерения сердечного ритма человека с использованием видео потока. Представленный метод бесконтактный. В качестве источника видео сигнала может быть использована видео камера, например WEB камера, подключенная к бытовому компьютеру.

Обычно для измерения сердечного ритма (СР) используется устройство контактирующее с человеком, например классический метод получения электрокардиограмм. Измерение занимает много времени и неудобно для пациентов и медицинского персонала. В последнее время, бесконтактные методы исследований приобретают всё большую популярность. Значительным преимуществом бесконтактного метода измерения СР является возможность проведения удаленного измерения без присутствия врача. Для проведения измерения достаточно только персонального компьютера с WEB камерой.

Представленный метод измерения СР с использованием цветного видеопотока лица человека разделенного на красный, синий и зеленый сигналы. На лице выбраны наиболее подходящие для измерений области - лоб и щёки.

1. Non-contact, automated cardiac pulse measurements using video imaging and blind source separation / Ming-Zher Poh, Daniel J. McDuff, and Rosalind W. // Optics Express.-2010.–V.18, №10 P.2–14, 10762. ©2011 Optical Society of America.
2. А.В. Мартыненко, А.С. Антонова, А.М. Егоренков "Новая техника независимого факторного анализа вариабельности сердечного ритма" удк: [577.4+577.1]:519.24 Висн. Харк. нац. ун-та. 2002 №546



## **Обработка лазерно-интерферометрической информации в прецизионных измерительных устройствах**

*Д.В. Александров, М.Н. Дубров, В.В. Кравцов  
(Фрязино)*

Наиболее эффективными инструментами при измерении длин и пространственно-угловых перемещений объектов являются высокоточные лазерно-интерферометрические приборы. Они до сих пор остаются непревзойденными при воспроизведении одной из главных физических величин – метра. Современные методы лазерной интерферометрии, позволяющие при измерениях оперировать не только целыми, но и дробными долями длины волны света, являются наиболее подходящим инструментом для точного перенесения стандарта длины в нанометровую и субнанометровую область [1].

Рассматриваются методы повышения абсолютной разрешающей способности и относительной точности лазерно-интерферометрических устройств. Эти задачи нами решаются путем модернизации существующих и разработки новых электронных систем детектирования и записи сигналов, а также методов анализа и обработки регистрируемых данных. Совершенствование способов и численных алгоритмов [2], используемых для линеаризации получаемых в ходе эксперимента интерферометрических данных, позволяет в несколько раз повысить точность проводимых измерений.

Применение разработанных методов на практике позволяет продвинуться в пикометровую область при измерении сверхмалых длин и перемещений – уровень шумов регистрирующей аппаратуры достигает  $10^{-12}$  м. Нелинейность характеристики разработанных устройств составляет доли процента при динамическом диапазоне измеряемых перемещений до 120-130 дБ.

### *Литература*

1. Dubrov M.N., Medvedev P.V. Accurate laser interferometer system for displacement measurements with 1 pm resolution, CAOL 2008, 4th International Conference on Advanced Optoelectronics and Lasers, September 29-October 4, 2008, Alushta, Crimea, Ukraine, p.165-167.
2. Александров Д. В., Ремонтов М. С. Линеаризация и спектрально-временной анализ данных лазерного деформографа, Пятый Всероссийский симпозиум «Физика геосфер», Материалы докладов, Владивосток, 3 – 7 сентября 2007 г., Владивосток, Дальнаука, 2007, с.231-234.

## **Оптимизация систем измерения пространственно-энергетических параметров лазерного излучения методами моделирования**

*Е.В. Бурнаевская, А.Р. Гильдина, В.Н. Гришанов  
(Самара)*

С 2008 г. нормативной базой при измерениях пространственно-энергетических параметров лазерного излучения (ПЭПЛИ) служит ГОСТ Р ИСО 11146-1-2008 [1]. Современные измерительные системы ПЭПЛИ предусматривают параллельную фиксацию пространственного распределения плотности мощности матричным фотоприёмником и последующую обработку последовательности не менее 10 записанных файлов с распределениями в соответствии с алгоритмами, предписанными [1]. В результате вначале получают диаметр, расходимость и положение перетяжки в лабораторной системе координат преобразованного линзой пучка, а затем, зная продольную координату линзы и её фокусное расстояние, пересчитывают полученные на первом этапе параметры в параметры исходного пучка.

При экспериментах необходимо по априорным данным о ПЭПЛИ пучка, приёмной матрицы и доступным перемещениям её вдоль оси пучка подобрать линзу и её расстояние от лазера, чтобы в требуемом диапазоне перемещений фотоприёмника преобразованный линзой пучок в положении с минимальной площадью сечения, умещался на фоточувствительной площадке фотоприёмника размером не менее чем  $10 \times 10$  её элементов, а в положении, с максимальной требуемой при измерениях площадью, не выходил за границы фотоматрицы.

Для решения этой многопараметрической задачи и был разработан в MATHCADe программный пакет, позволяющий проиграть по заданным ПЭПЛИ, расстояниям, диапазонах перемещений, фокусном расстоянии линзы, размерах фоточувствительной матрицы и её элементов всю процедуру измерения. По окончании прогона пакета путём сравнения полученных значений ПЭПЛИ с первоначально заданными в результате 3 – 4-х итераций удаётся либо оптимизировать параметры формирователя перетяжки, либо сделать заключение о необходимости внесения кардинальных для исследуемого лазера изменений в элементную базу измерительной системы.

Кроме того, пакет позволяет проверить функционирование фрагмента программы измерительной системы, ответственного за обработку двумерных распределений, и оценить влияние неопределённостей параметров элементов и расстояний между ними на результаты.

1. ГОСТ Р ИСО 11146-2008 Лазеры и лазерные установки (системы). Методы измерений ширин, углов расходимости и коэффициентов распространения лазерных пучков. – М.: Издательство стандартов, 2008. – 66 с.

## Модификация метода Бесселя для измерения фокусных расстояний

*Е.В. Бурнаевская, В.Н. Гришанов, Д.Ю. Евсеенок  
(Самара)*

Метод Бесселя является простым и удобным инструментом измерения фокусного расстояния линз, зеркал и синтезированных из них объективов. В классической постановке измерений обычно пренебрегается расстоянием между главными плоскостями исследуемого элемента. В работе [1] предложены усовершенствования метода, которые а) учитывают расстояние между главными плоскостями, б) предлагают вместо измерения расстояния между предметом и его действительным изображением измерять отношение размеров увеличенного изображения к уменьшенному. Последнее особенно привлекательно, т.к. при применении цифровой техники для фиксации изображений не требуется геометрической калибровки цифровой камеры. Однако, в работе [1] отсутствовали оценки методической погрешности, которые позволяли бы выявить преимущества усовершенствований, кроме того, корректность ряда математических выражений, приведённых в работе вызывает большие сомнения.

Нами получено оригинальное выражение для расчёта фокусного расстояния  $f_m$ , учитывающим расстояние между главными плоскостями оптической системы  $HH'$ :

$$f_m = \frac{A}{V - (1/V)} = \frac{(L - HH')^2 - A^2}{4(L - HH')},$$

где  $A$  – перемещение объектива из положения, когда он создаёт увеличенное изображение, в положение, когда создаётся уменьшенное изображение;  $V = y'_1/y_1 = (y'_1/y'_2)^{0,5}$  – поперечное увеличение объектива;  $y'_1$  – размер увеличенного изображения;  $y_1$  – размер предмета;  $y'_2$  – размер уменьшенного изображения;  $L$  – расстояние между предметом и изображением.

Проведённые числовые оценки относительной методической погрешности  $\delta f_m$ , обусловленной конечностью  $HH'$ , например,  $HH' = 20$  мм при  $L = 1000$  мм и погрешностями в измерении линейных размеров и перемещений  $\Delta L = 1$  мм, даёт  $\delta f_m = 3,4\%$ , тогда как относительная методическая погрешность, обусловленная лишь погрешностями линейных измерений, имеет на порядок меньшее значение  $\delta f = 0,21\%$ . Таким образом, при измерения фокусного расстояния многокомпонентных систем методом Бесселя необходимо пользоваться выражениями, учитывающими расстояние между их главными плоскостями.

1. Черненко Н.А., Егоров А.Г. Усовершенствование метода Бесселя для измерения фокусных расстояний объективов // Изв. Вузов. Приборостроение, 2007. – Т. 4. – № 4. – С. 43 – 46.

## Современные подходы к созданию мощных твердотельных лазеров

*С. В. Ивакин, А. П. Погода  
(Санкт-Петербург)*

Современные лазерные технологии позволяют выполнять актуальные в космическом пространстве задачи, наиболее важная и сложная из которых - задача дистанционного энергопитания кластера малых спутников [1].

Наиболее подходящими для использования в космосе являются твердотельные, в т.ч. волоконные, лазеры из-за их относительной простоты и удобства в работе. Именно такие лазерные системы уже функционируют в околоземном космическом пространстве, а также планируются к запуску в ближайшее время (проекты Calipso [2], ADM-Aeolus [3]).

Для эффективного функционирования на космических дистанциях необходимо одновременное сочетание высокой мощности и высокого оптического качества, а значит минимальной расходимости, лазерного излучения. Это жёсткое требование выполнимо для современных твердотельных лазеров, обзору ключевых проблем создания которых, а также современных подходов к их решению посвящён данный доклад.

Всё многообразие проблем, решаемых разработчиками твердотельных лазеров (ТТЛ) высокой мощности, в первом приближении может быть сведено к пяти ключевым направлениям, представленным в Таблице 1.

Таблица 1. Ключевые проблемы создания твердотельных лазеров высокой мощности.

|             |                                                                                                                   |
|-------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Проблема №1 | Предел мощности ТТЛ, определяемый ограниченной лучевой стойкостью и габаритными размерами лазерных активных сред. |
| Проблема №2 | Охлаждение ТТЛ                                                                                                    |
| Проблема №3 | Эффективность накачки ТТЛ                                                                                         |
| Проблема №4 | Сочетание высокой мощности и высокого оптического качества излучения ТТЛ                                          |
| Проблема №5 | Когерентное сложение излучения нескольких ТТЛ                                                                     |

Научно-технический уровень решения приведённых выше проблем определяет современные предельные характеристики твердотельных лазеров высокой мощности.

### *Литература*

1. Перспективы использования беспроводной передачи электрической энергии в космических транспортных системах. Грибков А.С., Евдокимов Р.А., Синявский В.В., Соколов Б.А., Тугаенко В.Ю. Известия РАН. Энергетика. 2009. №2. С.118-123..
2. О проекте Calipso. [Электронный ресурс]. – <http://www-calipso.larc.nasa.gov/> – дата обращения 20.01.14 г.
3. О проекте Aeolus. [Электронный ресурс]. – [http://www.esa.int/Our\\_Activities/Operations/ADM-Aeolus](http://www.esa.int/Our_Activities/Operations/ADM-Aeolus) – дата обращения 20.01.14 г.

## **Методы снижения времени начального прогрева зеемановского лазера**

*Воробьев П.Г., Зоркин В.С., Кондрахин А.А., Мельничук Г.В., Тумаков Н.Ю.*

*(г. Рязань)*

Зеемановские лазеры применяются в интерферометрических измерительных системах. Такие лазеры выпускаются ф. Агилент США и ОАО «Плазма» Россия [1].

С каждым годом предъявляются все более жесткие требования ко времени готовности, точности и скорости измерения интерферометрических систем, что, в первую очередь, определяется характеристиками используемых в них лазеров.

Целью данной работы являлось исследование тепловых режимов 2-х частотного зеемановского лазера для снижения его времени готовности. Лазер содержит излучатель и систему автоподстройки частоты. Для стабилизации частоты излучения используется метод терморегулирования длины резонатора, путем регулируемого подогрева боковой поверхности активного элемента.

Для обеспечения равномерного прогрева конструкции излучателя лазера ЛГН-212-1М предложено использовать дополнительную подогревную спираль, внесенную в конструкцию излучателя. Суммарная тепловая мощность, при этом, в режиме прогрева лазера будет складываться из трех составляющих: мощности выделяемой активным элементом, мощности выделяемой управляющей спиралью при максимальном управляющем напряжении, и мощности дополнительной спирали, работающей только в режиме прогрева. Для определения необходимой мощности дополнительной спирали и времени прогрева конструкции излучателя лазера ЛГН-212-1М произведено компьютерное моделирование теплового режима излучателя. Решение необходимой системы дифференциальных уравнений с частными производными осуществлено с высокой точностью с применением метода конечных элементов при использовании специализированного программного обеспечения «Comsol Multiphysics».

Моделирование тепловых процессов в излучателе позволило оценить величину дополнительно подводимой тепловой мощности к конструкции и оптимальное расположение дополнительной подогревной спирали для обеспечения быстрого и равномерного прогрева всей конструкции. Режим работы дополнительной спирали подбирается таким образом, чтобы не вызвать недо- и перегрева системы, что влияет на работу прибора в режиме стабилизации.

Литература:

1. Обзор коммерческих стабилизированных гелий-неоновых лазеров. URL:  
<http://www.repairfaq.org/sam/laserhst.htm> (дата обращения 28.10.2013)

## Интерпретация электронных спектров амидов пиридинмонокарбоновой кислоты

*Р.Ш. Затрудина, М.А. Корнаухова*

*(Волгоград)*

Пиридинкарбоновые кислоты — замещенные пиридина, содержащие одну или несколько карбоксильных групп. Каждый из изомеров этих кислот может образовывать амиды. Пиридинкарбоновые кислоты и их амиды играют важную биологическую роль.

К настоящему времени различными авторами достаточно детально исследованы спектральные характеристики пиридина и пиридинкарбоновых кислот [1]. Однако, существует неоднозначность в интерпретации УФ-спектров изомеров пиридинмонокарбоновой кислоты.

Квантово-механическим методом ZINDO/S в рамках ограниченного метода Хартри-Фока с учетом конфигурационного взаимодействия, а также методом функционала плотности (DFT) с использованием гибридного функционала B3LYP и базисными наборами 3-21G, 6-31G с введением поляризационных р- и d- орбиталей рассчитаны длины волн и силы осцилляторов электронных переходов между синглетными состояниями амидов трех изомеров пиридинмонокарбоновой кислоты. Также рассчитаны следующие их характеристики: распределение электронной плотности в различных электронно-возбужденных состояниях, энергии электронных переходов, дипольные моменты переходов.

Определена симметрия атомных орбиталей, также определены электронные переходы  $\pi\pi^*$ -,  $\pi\sigma^*$ -типа, соответствующие полосам поглощения амидов трех изомеров пиридинмонокарбоновой кислоты в УФ-диапазоне.

Сравнение результатов расчета различными методами с известными экспериментальными данными [2] позволило выявить оптимальный метод расчета. Произведена интерпретация полученных электронных спектров. Исследованы закономерности изменения спектров амидов пиридинмонокарбоновой кислоты при присоединении пептидной группы в разных положениях пиридинового кольца.

1. Баранов В.И., Соловьев А.Н. *Расчет и интерпретация электронно-колебательных спектров пиридина и транс-1,2-ди(2'-пиридил)этилена во втором приближении параметрического метода.* // Оптика и спектроскопия. 2008. т.104. №3. С. 357-364.
2. Затрудина Р.Ш., Корнаухова М.А. Расчет электронных спектров амидов пиридинмонокарбоновых кислот и их конформационный анализ. // Лазеры. Измерения. Информация. Сборник докладов 20-й международной конференции. Том 2. С.-Петербург, 2012 г. С. 63-72.

## **Рассеяние лазерного излучения молекулярными ядрами конденсации.**

*Купцов В.Д., Кателевский В.Я., Валухов В.П., Рыбин Е.Н.*

*(Санкт-Петербург, Электросталь )*

Исследовано рассеяние лазерного излучения аэрозольными частицами и воздухом в фотометре детектора молекулярных ядер конденсации (МоЯК). По измерению интенсивности рассеянного лазерного излучения определяется концентрация вредных примесей в воздухе в газоанализаторах на МоЯК [1]. В основе метода молекулярных ядер конденсации лежит ряд физико-химических воздействий на непрерывный поток газаносителя с определяемыми примесями, в результате которых объем частиц полученного аэрозоля примерно в  $10^6$  раз превышает объем исходной молекулы. Рассеивающая способность частицы аэрозоля к падающему свету увеличивается в  $\sim 10^{14} \div 10^{16}$  раз и частица аэрозоля, в центре которой находится молекула детектируемого вещества, эффективно обнаруживается по светорассеянию в фотометре [1]. Аэрозольные частицы в газоанализаторах на молекулярных ядрах конденсации образуются в конденсационных устройствах за счет обрастания молекулы детектируемого вещества молекулами так называемого вещества проявителя [2,3]. Для расчетов рассеянного лазерного излучения применима теория Ми, рассматривающая рассеяние света на сферических частицах, размеры которых сравнимы с длиной световой волны  $\lambda$ . Установлен интерференционный характер светорассеяния аэрозольными частицами и сопоставимость его по порядку величины со светорассеянием воздухом фотометра. Достигнут предел обнаружения целевого компонента газоанализатора на уровне фона спонтанной конденсации, а не предельной чувствительности фотоприемного устройства детектора.

### **Литература**

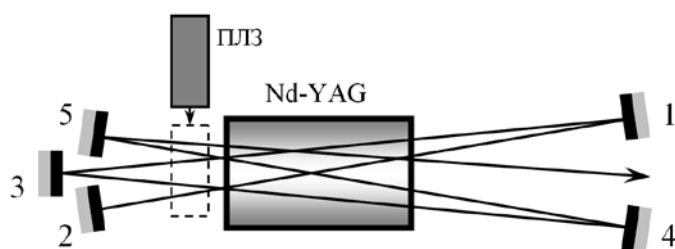
1. Kuptsov, V.D., Katelevskii, V.Y., Valyukhov, V.P., Rybin, E.N. Optoelectronic system of the aerosol photometer in the detector of molecular condensation nuclei.// Technical Physics. 2013. Vol. 58. No. 8. pp. 1211–1218.
2. E.N. Rybin, V.P. Valyukhov, V.D. Kuptsov. Thermodynamics of Nucleation of Supersaturated Vapor on Molecular Condensation Centers // Technical Physics. 2012. Vol. 57. No 8. pp. 1062–1067.
3. E.N. Rybin, V.P. Valyukhov, V.D. Kuptsov. Simulation of Supersaturated Vapor Nucleation on Molecular Condensation Centers // Technical Physics. 2012. Vol. 57. No. 8. pp. 1068–1074.

# Режимы генерации импульсного Nd-YAG-лазера с поперечной полупроводниковой накачкой с многопетлевым самонакачивающимся ОВФ-резонатором и оптически связанным «паразитным» линейным резонатором

*В.Ф.Лебедев, Г.В. Бурковский*

*(Санкт-Петербург)*

Рассмотрено влияние «паразитной» генерации вспомогательного линейного резонатора, возникавшего между торцом активного элемента и одним из зеркал оптической схемы на характеристики генерации ранее исследовавшегося импульсного Nd-YAG лазера с поперечной полупроводниковой накачкой и многопетлевым пятизеркальным самонакачивающимся ОВФ-резонатором [1] (Рис.1). На возможную роль дополнительного линейного резонатора в петлевом резонаторе и менее стабильный режим работы последнего уже указывалось[2]. В настоящей работе перевод петлевого резонатора в режим модуляции добротности осуществлялся дополнительно вводимыми в его оптическую схему пассивными лазерными затворами (ПЛЗ) на основе кристаллов  $\text{LiF:F}_2^-$  или  $\text{YAG:Cr}^{4+}$ . Сравнивались энергетические, временные и пространственные характеристики 5-ти зеркального и 3-х зеркального резонаторов (зеркала 1-3).



Обнаружено, что при введении ПЛЗ паразитная генерация переходит в режим модулированной добротности. Причем она фактически определяет энергетические характеристики лазера обеих схем резонатора. Максимальная

энергия паразитной генерации при длительности импульса накачки 475 мкс составила 0.62 Дж в цуге из 14-ти ~12нс импульсов в образованном зеркалом 3 и торцом кристалла резонаторе (в 3-х зеркальном резонаторе перекрывалось зеркало 2). В резонаторах с тремя и 5-тью зеркалами наблюдалось перераспределение интенсивности излучения на зеркалах, а энергия с аналогичным паразитной генерации количеством импульсов в цуге увеличивалась соответственно до 0.7 и 0.9 Дж. В 5-ти зеркальном резонаторе наблюдалось также увеличение стабильности длительности отдельных импульсов цуге и увеличение качества излучения ( $M^2$ ). Энергетические характеристики лазерной генерации с затвором  $\text{YAG:Cr}^{4+}$  оказались существенно выше (до 2-х раз) по сравнению с затвором  $\text{LiF:F}_2^-$ .

1. A.P. Pogoda, V.F. Lebedev, S.N. Smetanin, P.S. Makarchuk, A.S Boreysho, A.V. Fedin. All-solid-state Nd:YAG lasers with self-pumped multiwave-mixing phase conjugate cavities //Proc. Advanced Solid State Laser Congress (ASSL Congress), Paris, 2013, Paper ATu3A.44.



## **Стабилизация частоты полупроводниковых лазерных диодов по доплеровски уширенным линиям поглощения иода $^{127}\text{I}_2$**

*В.А.Парфенов, Д.В.Дворцов, А.С.Фомин*

*(Санкт-Петербург)*

Настоящая работа посвящена вопросу стабилизации частоты излучения полупроводниковых лазерных диодов, работающих в одночастотном режиме, по линиям поглощения иода  $^{127}\text{I}_2$ . В работе исследовались маломощные диоды "красной" области спектра с длинами волн 635 и 655 нм. Лазерные диоды были изготовлены такими фирмами, как Arima Lasers и Hitachi Laser Diodes.

Поскольку лазеры данного класса могут генерировать одночастотное излучение [1], представлялось интересным рассмотреть возможность построения на их основе стабилизированного по частоте источника когерентного излучения. Не с предельными, но достаточными для ряда практических задач значениями стабильности частоты. При сохранении основных достоинств этого типа лазеров (как известно, его отличают малые размеры, энергопотребление, стоимость), такой источник излучения со стабильным значением частоты может представлять интерес для практических применений.

Для стабилизации частоты было решено использовать доплеровски уширенные линии поглощения иода  $^{127}\text{I}_2$ . Йод обладает широким спектром линий поглощения в диапазоне 500-900 нм, к которым потенциально можно осуществить привязку частоты любого лазера, генерирующего излучение в этой области спектра. Для лазерного диода одним проблемных вопросов является сильная зависимость частоты генерации от температуры. Крутизна данной зависимости составляет  $\sim 29$  ГГц/град. Кроме того, сама ширина линии излучения лазера составляет  $\sim 100$  МГц. В этих условиях доплеровски уширенная линия поглощения может рассматриваться как единственно возможное решение.

Для привязки частоты была разработана система экстремальная система автоматической подстройки с введением пробного сигнала. В ходе предварительных экспериментов измерялось поглощение иода в этом диапазоне, а также уходы среднего значения частоты генерации.

Как показали эксперименты, удастся замкнуть цепь обратной связи и удерживать частоту излучения лазеров вблизи максимума поглощения выбранной линии иода. При этом отклонения частоты согласно оценочным измерениям не превышали  $\pm 20$  МГц

1. Дворцов Д.В. Одночастотный режим работы лазерных диодов [Текст] / Дворцов Д.В., Парфенов В.А. // НТВ СПб. Физ.-мат. науки. – 2013. – Вып. 2 (170). – С. 89 – 96.

## **Исследование зависимости мощности излучения лазерных диодов от режима работы**

*В.А.Парфенов, Д.В.Дворцов*

*(Санкт-Петербург)*

Как показали исследования, выполненные на основе серийно выпускаемых лазерных диодов красной области спектра, режим их генерации меняется в зависимости от температуры и тока накачки [1].

Например, в некотором интервале температур при постоянном токе накачки наблюдается устойчивый одночастотный режим генерации. Доминирует одна продольная мода с постоянной амплитудой. Уровень соседних продольных мод в центре интервала не превышает (3 – 5) %. При приближении к границе интервала одночастотный режим уступает место многомодовому режиму – соседние моды быстро увеличиваются по амплитуде. Данный режим менее стабилен, чем предыдущий. Он характеризуется колебаниями интенсивности каждой из мод и, более медленным, изменением соотношения их величин. Дальнейшее изменение температуры вновь приводит к появлению одночастотного режима. Одна из мод, соседняя или отстоящая от исходной на 2 – 3 межмодовых интервала, быстро возрастает и становится доминирующей.

Аналогичная ситуация наблюдается при изменении тока, но теперь уже при постоянной температуре.

В связи с этим интерес представляла постановка экспериментов по исследованию зависимости мощности выходного излучения лазерных диодов от тока и напряжения с одновременным контролем режима генерации.

Такие эксперименты были поставлены, но выполненные измерения не обнаружили корреляций уровня выходной мощности со сменой режима генерации.

Таким образом, устройство лазерного диода не дает энергетического преимущества тому или иному режиму генерации по выходному излучению. Однако смена режимов и их воспроизводство свидетельствует о конкуренции между режимами и доминировании одного из них в определенном диапазоне параметров.

Возможное объяснение наблюдаемых явлений может быть связано с установлением и поддержанием одночастотного режима за счет конкуренции продольных мод в однородно

уширенной активной среде вблизи зеркал резонатора и влиянием на генерацию межуровневой релаксации электронов в зоне проводимости.

#### *Литература*

1. Дворцов Д.В., Парфенов В.А. // НТВ СПб. Физ.- мат. науки. 2013. Вып.2 (170). С. 89 – 96.

### **Возможности применения количественного ЛИЭС анализа в процессе лазерной обработки материала**

*П.С. Макаrchук, В.Ф.Лебедев, А.П. Погода, В.А. Пономаренко  
(Санкт-Петербург)*

Проведены исследования по идентификации микропримеси лития в серии лазерных кристаллов форстерита  $Mg_2SiO_4:Cr,Li$  методом лазерно-искровой эмиссионной спектроскопии (ЛИЭС). Кристаллы подвергались воздействию моноимпульса или цуга импульсов твердотельного лазера с многопетлевым резонатором, работавшего в режиме пассивной модуляции добротности [1].

В настоящей работе рассматривался один из близких к реальным условиям лазерной обработки материала режим взаимодействия излучения с веществом. Мишень не перемещалась в процессе лазерного воздействия. В этом случае, при фиксированных значениях времен задержки и пространственного положения оптической системы регистрации спектров излучения плазмы, характеристики спектра плазмы существенно изменялись от импульса к импульсу.

Для образцов с различным содержанием лития сопоставлялись спектры излучения, схожие по динамике затухания плазмы, что, как предполагалось, соответствовало близким по значениям моментам распада плазмы. Обнаружено, что при таком подходе к анализу спектров существует перспектива и количественного определения микропримеси в образце.

Другой путь к количественному анализу – наблюдавшийся в условиях моноимпульсного воздействия, стабильный от импульса к импульсу спектр плазмы, в условиях, когда кристалл перемещался перпендикулярно направлению пучка излучения.

Также продемонстрирована возможность дистанционного анализа спектров на примере образцов стали. Использование в оптической схеме телескопической системы расширения апертуры пучка излучения и его последующей фокусировкой длиннофокусной линзой на образце, позволило реализовать измерение спектров на расстоянии 5.5 м. Максимальное расстояние от образца до коллимационной линзы системы детектирования излучения составило 0.8 м (применялся спектрометр Avantes с комплектом телескоп-волокно).

*Литература*

1. A.P. Pogoda, V.F. Lebedev, S.N. Smetanin, P.S. Makarchuk, A.S Boreysho, A.V. Fedin. All-solid-state Nd:YAG lasers with self-pumped multiwave-mixing phase conjugate cavities // Proc. Advanced Solid State Laser Congress (ASSL Congress), Paris, 2013, Paper ATu3A.44.

**Нелинейная эллипсометрия комбинационных частот для анизотропного  
одноосного кристалла с оптической осью, лежащей в плоскости падения.**

*Н.А. Матвеева, В.В. Яцышен*

*(Волгоград)*

К настоящему времени нелинейно-оптические методы неразрушающего контроля становятся все более распространенными для диагностики состояния вещества. Кристаллы, обладающие анизотропными свойствами, исследуются данными методами, так как анизотропия может играть существенную роль в кристаллооптике.

Различными авторами достаточно детально исследованы спектральные характеристики веществ методом линейной эллипсометрии [1]. Однако, метод нелинейной эллипсометрии до конца еще не разработан.

В этой связи целью данной работы является проведение эллипсометрических исследований анизотропных кристаллов новым методом – "Нелинейная эллипсометрия комбинационных частот".

В данной работе рассмотрен случай нелинейно-оптического взаимодействия поляризованного излучения с анизотропными одноосными кристаллами. В рамках этой задачи рассматривается случай, когда оптическая ось меняет свою ориентацию в плоскости падения. В качестве модели используется граница раздела двух сред воздух – нелинейный одноосный кристалл. На нее распространяется две плоские монохроматические электромагнитные волны с частотами  $\omega_1$  и  $\omega_2$ . Эти волны преломляются, и образует волну нелинейного источника поляризации на комбинационной частоте  $\omega_3 = \omega_1 \pm \omega_2$ , причем величина этого источника определяется анизотропными свойствами тензора квадратичной нелинейной восприимчивости. В работе был произведен расчет нелинейного источника на комбинационных частотах, рассмотрен случай суммарной и разностной частот.

В соответствии с используемой моделью в работе выведены эллипсометрические соотношения, подобные выведенным в [2] только для комбинационных частот. Рассчитаны и построены угловые спектры нелинейной эллипсометрии для одноосных кристаллов ( $\beta$  - борат бария, ниобат лития, прустит) при различной ориентации оптической оси.

Построенные в работе зависимости, носят затухающий характер. Показана высокая чувствительность метода в диагностике параметров кристалла.

1. Аззам Р. М., Башара Н. М. Эллипсометрия и поляризованный свет. М.: Мир, 1981. 583с.
2. Матвеева Н. А., Щелоков Р. В., Яцышен В. В. Нелинейная отражательная эллипсометрия для анизотропного одноосного кристалла в случае, когда оптическая ось лежит в плоскости падения. // «Физика волновых процессов и радиотехнические системы» Том 16, №1, С. 47-52, 2013 г.

### **Собственные волны киральных и анизотропных сред**

*Н. М. Мусеева*

*(Волгоград)*

Оптические волноводные устройства имеют высокий потенциал применения в классических и квантовых информационных процессах. Преимущества нанометровых оптических схем объясняются их размерами и быстродействием. Новые возможности для дизайна оптических устройств открываются за счет необычных свойств материалов, которые взаимодействуют с электромагнитными волнами и позволяют управлять их локализацией. Это могут быть природные материалы и искусственные среды. Планарные волноводные устройства применяют в оптических разветвителях мод, преобразователях фазы, и в биологических сенсорах. Например, в оптических переключателях для разделения и объединения мод применяют анизотропные волноводы [1]. В киральных средах также различаются условия распространения для волн двух поляризаций. Для нахождения независимо распространяющихся в среде волн важен выбор базиса. Если волны ТЕ и ТН, или s- и р- поляризации, выбрать в качестве базисных, то и в случае киральной, и в случае анизотропной среды с произвольной ориентацией оптической оси, между такими волнами в будет происходить обмен энергией при распространении в среде, а также при отражении [2]. Очень часто в качестве независимых волн в анизотропных и киральных средах рассматривают волны правой и левой круговых поляризаций. Такой подход стал традицией, начиная с работ Френеля [3]. Между волнами двух круговых поляризаций также будет происходить взаимодействие как в киральной среде [2], так и в анизотропной. Распространение электромагнитных волн в плоской среде описывает система из четырех ОДУ. Собственные векторы основной матрицы системы определяют волны, которые могут независимо распространяться в среде. В общем случае они имеют правую и левую эллиптическую поляризацию. В анизотропной среде это обыкновенная и необыкновенная волны. Эллипсометрические углы волн определяются в анизотропной среде направлением оптической оси компонентами тензора диэлектрической проницаемости, а в киральной среде параметром киральности и  $\epsilon$ .

В работе выполнен расчет собственных волн киральной среды в зависимости от параметра киральности, а также расчет собственных волн анизотропной среды когда оптическая ось принимает различные положения в плоскости, перпендикулярной плоскости падения.

1. Lou F., Dai D., Wosinski L., Ultracompact polarization beam splitter based on a dielectric–hybrid plasmonic–dielectric coupler // OPTICS LETTERS. -2012. -Vol. 37, No. 16, pp. 3372-3374.
2. Моисеева Н.М., Яцышен В.В. Эллипсометрия неоднородно-слоистой киральной среды // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. - 2010. – т. 13. N 4: - С. 38-45.
3. Fresnel A. Oeuvres Complètes / A. Fresnel // Imprimerie Impériale, Paris. -1866, Vol. 2.

### **Влияние параметров лазеров на информационную ёмкость канала связи.**

*С. А. Шойдин*

*(Новосибирск)*

Современные тенденции развития вычислительных систем и систем связи всё больше указывают на необходимость перехода от классических электронных вычислительных и информационных систем к оптическим и даже квантовым [1-3]. Насыщение потенциалов микроэлектроники можно видеть на простых и очевидных фактах – замедление темпов роста производительности классических «Тьюринговых» вычислительных систем и переход к многоядерным параллельным вычислениям в электронике, а также всё большее внимание оптическим каналам связи, системам памяти и передачи данных[4,5]. Это связано с высокой плотностью упаковки информации в оптическом диапазоне электромагнитного излучения [6]. Одновременно в последние десятилетия появилось много публикаций на тему квантовых вычислительных систем, квантового кодирования, обещающих снять серьёзные противоречия между классической «Шенноновской» моделью канала связи и квантовыми характеристиками устройств наноразмерных технологий. Однако в этой обширной литературе автором не были найдены прямые зависимости между характеристиками оптического канала связи и характеристиками задающего лазерного генератора.

В настоящей работе, исходя из классического Шенноновского понимания количества информации и конкретных характеристик оптического канала связи, сделана попытка провести параллель между классическим каналом связи и квантовым, что позволило в простых случаях рассмотреть примерную зависимость предельной скорости передачи информации от основных характеристик лазерного излучателя, включая среднюю мощность излучения, ширину спектра и поляризацию.

Далее в работе сравниваются различные информационные аспекты реальных каналов связи, на основе которых делается вывод о существенной избыточности реальных оптических и голографических каналов передачи и хранения информации. Показано, что, например, для создания реального динамического канала информации, воспринимаемого человеком как реальное 3D изображение, требуется канал на много порядков менее скоростной, чем канал, реализуемый в природных условиях, когда сигнал от объекта передаётся волной электромагнитных колебаний видимого диапазона спектра.

1. Hill B. Some Aspects of a Large Capacity Holographic Memory.-Appl.Opt., 1972,v.11, № 1, p.182-196.
2. Шойдин, С. А. Информационная ёмкость голограмм в практических применениях/-Сб. материалов междунар. науч. конгр. "ГЕО-СИБИРЬ 2006". – Новосибирск: ГОУ ВПО "СИБИРСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКАЯ АКАДЕМИЯ", 2006. - С. 52.
3. Physics of Quantum Information, Ed. by Bouwmeester D., Ekert A., and Zeilinger A., Springer, Berlin, Heidelberg, 2001.
4. А.с. №701350 СССР Шойдин, С. А. Голограммное запоминающее устройство.
5. Шойдин С. А. Вопросы информационной избыточности сформированных голограммой изображений/ С. А. Шойдин.- Сб. материалов междунар. науч. конгр. "ГЕО-СИБИРЬ 2006". – Новосибирск: ГОУ ВПО "СИБИРСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКАЯ АКАДЕМИЯ", 2007. - С. 27 .
6. Шойдин С. А. К вопросу сжатия голографической информации/ С. А. Шойдин .- Сб. материалов междунар. науч. конгр. "ГЕО-СИБИРЬ 2006". – Новосибирск: ГОУ ВПО "СИБИРСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКАЯ АКАДЕМИЯ", 2009. - С. 54

## **Применение оптических notch-фильтров для монохроматизации излучения полупроводниковых лазеров**

*М.С. Баранов, К.И. Немков, В.Н. Храмов*

*(Волгоград)*

Оптические узкополосные режекторные фильтры (notch-фильтры) в последнее время нашли широкое применение в технике лазерного эксперимента для подавления излучения на определенной длине волны.

Выпускаемые сейчас голографические notch-фильтры имеют особенности, позволяющие расширить области их применения. В ходе проведенных экспериментов было установлено, что с увеличением угла падения излучения на поверхность фильтра минимум пропускания излучения смещается в коротковолновую область спектра на величину до 50 нм, и происходит сужение области гашения (до 50 %) при исходной ширине около 20 нм. В работе использованы notch-фильтры для разных длин волн (532 нм, 633 нм, 670 нм), разработанные и любезно предоставленные нам Казанским национальным исследовательским техническим университетом им. А.Н. Туполева (КАИ).

Компактные полупроводниковые лазеры при всех их преимуществах обладают существенным недостатком, ограничивающим их применение в интерференционных и спектральных установках, – большей шириной спектра по сравнению с газовыми и некоторыми твердотельными лазерами. Кроме этого, как правило, такие лазеры имеют сложный по структуре спектр излучения, имеющий боковые спектральные «сателлиты» с суммарной шириной 10 – 40 нм. Применение интерференционных светофильтров для сужения спектра таких лазеров в большинстве случаев не дает положительных результатов.

Измеренные характеристики notch-фильтров позволили с их помощью реализовать метод монохроматизации излучения полупроводниковых лазеров за счет контролируемого

обрезания ненужной части спектра и выделения основной узкополосной компоненты. Основную роль в данном методе играют крутизна и смещение боковой компоненты спектральной характеристики пропускания notch-фильтра при изменении угла падения. Проведенные исследования позволили уменьшить ширину спектра полупроводникового лазера (530 нм) с 11 нм до 0,4 нм с контрастностью не хуже  $10^3$ .

### **Волны электростатики**

*Л.К. Ермаков*  
( Санкт-Петербург )

Вот уже около 50 лет ведутся попытки получить термоядерную реакцию путем инерциального нагрева небольшой таблетки с помощью нескольких мощных лазеров (предполагалось, что ядерная реакция произойдет раньше, чем таблетка разлетится на мелкие части - отсюда слово “инерциальный”). Начинали с десятка, а теперь говорят о нескольких сотнях лазеров. Длительность таких неуспешных попыток наводит на мысль о том, что логичнее было бы сначала получить наглядную модель кулоновского взаимодействия. История физики полна примеров, когда научно-технический прорыв происходил только при построении наглядной физической картины явления. Большое число физиков ядерщиков и ускорителей наверняка дало бы должный эффект, если бы такая задача была бы поставлена научным сообществом как главная. Однако они заняты в основном поисками самой элементарной частицы, из которой состоят все остальные. В результате мы имеем много математики и мало наглядной физики. Хотя для решения вышеуказанной задачи достаточно было бы спуститься на одну ступень в смысле организации материи, а дальнейшее углубление оставить потомкам. Даже такое раскрытие “физики Кулона” нам хватило бы на ближайшее столетие, так как это позволило бы разобраться как с “термоядом”, так и со сверхпроводимостью.

Известно, что главным препятствием термоядерной реакции является кулоновское отталкивание ядер. Для кулоновского взаимодействия характерна зависимость от расстояния  $1/r^2$ . Хорошо известно, что для сферических волн, которые характерны для точечных источников, зависимость амплитуды от расстояния  $1/r$ , а интенсивности  $1/r^2$  из-за размазывания одной и той же энергии по все большей поверхности сферы по мере увеличения расстояния даже при отсутствии поглощения. Это обстоятельство наводит на парадоксальную мысль о том, что в основе физики даже электростатического



взаимодействия лежит волновой процесс. Аналогично и для гравитации. И протон и электрон обладают собственным механическим моментом, что говорит о наличии у них внутреннего движения материи с вращательной компонентой. Это автоматически должно приводить к существованию вокруг них волн. Средой для их распространения может служить “физический вакуум” или то, что принято сейчас называть “темная материя”. Очевидно, что длина волны чрезвычайно коротка, а частота предельно высока. Оценим длину таких электростатических волн (ЭСВ). Хорошо известно, что в ядре отталкивание между протонами отсутствует. Обычно это объясняется наличием неких внутриядерных сил притяжения. Расстояние между нуклонами в ядре примерно  $2/10^{13}$  см. Примерно таков же и классический радиус электрона. Таким образом, длина волны ЭСВ имеет такой же порядок. Грубо говоря, протоны в ядре находятся между двумя соседними максимумами синусоиды ЭСВ и поэтому не испытывают кулоновского отталкивания.

### **Опросное устройство для волоконно-оптических датчиков на брегговских решетках**

*А.П. Бережной\*, Т. Бак\*\*, Л.Б. Лиокумович\*, А.В. Медведев\*, М. Мюллер\*\*, М. Райт\*\**

*(\*Санкт-Петербург, \*\*Мюнхен)*

В последние годы волоконно-оптические датчики (ВОД) находят все большее применение в различных сферах. Одним из перспективных направлений разработок являются датчики растяжений и вибраций. Один из распространенных видов ВОД растяжения и вибраций – датчики с чувствительными элементами на основе волоконно-оптических брегговских решеток (ВОБР).

Доклад посвящен разработке опросного устройства на основе широкополосного источника света и анализатора оптического спектра для датчиков на основе ВОБР.

При разработке датчиков и опросного устройства для них существенными являются проблемы мультиплексирования, приема и обработки сигналов. Для их решения был проведен обзор существующих на рынке предложений и их качественный анализ, измерены характеристики компонентов системы и проведен анализ полученных результатов, исследованы алгоритмы обработки сигналов, а также разработана экспериментальная установка и проведены эксперименты по оценке работоспособности системы.

Для решения проблемы мультиплексирования и достижения максимальной разрешающей способности системы было проведено моделирование работы различных

методов детектирования положения пика [1, 2]. Было определено, что при выборе метода обработки необходимо руководствоваться шириной спектральной линии света, отраженного от ВОБР, и уровнем шумов системы. Наилучший результат достигается при ширине спектральной линии 1,25 пикселя и соотношении сигнал/шум 50 дБ и равен 0,00757 пикселей, что соответствует спектральному разрешению порядка 1 пм.

Для подтверждения результатов моделирования была собрана экспериментальная модель опросного устройства и проведен ряд экспериментов по детектированию положения пика спектральной линии. Результаты экспериментов, которые подробно описаны в полном тексте доклада, демонстрируют корректную работу системы в целом и подтверждают выводы, сделанные в ходе моделирования.

*Литература*

1. Donald G. Bailey, "Sub-pixel Estimation of Local Extrema", Palmerston North, November 2003, pp. 414-419
2. Thomas Zeh, "Optical fiber bragg sensors", PhD Theses, TUM, 2011

**Исследование условий формирования и стабильности комплексов на основе квантовых точек ZnS, допированных ионами  $Mn^{2+}$ , с молекулами хлорина еб.**

*А.К. Вишератина, И.В. Мартыненко, А.О. Орлова*  
(Санкт-Петербург)

Уникальные свойства тетрапиррольных соединений и, в частности, хлорина еб, позволяют использовать их для диагностики и терапии онкологических заболеваний [1]. Несмотря на то, что на сегодняшний день данные соединения успешно используются в клинической практике в качестве сенсibilизатора, поиск новых систем с расширенными и улучшенными свойствами остаётся актуальной задачей. В последние десять лет активно изучаются комплексы на основе полупроводниковых квантовых точек (КТ) и тетрапиррольных молекул, в которых выполняются условия для эффективной передачи энергии фотовозбуждения от КТ к молекуле по механизму безызлучательного переноса энергии (FRET, Fluorescence Resonant Energy Transfer) [2]. В свою очередь, эффективный FRET от КТ к сенсibilизатору способен увеличивать генерацию синглетного кислорода последнего. В данном исследовании были сформированы новые биосовместимые комплексы на основе нетоксичных безкадмиевых полупроводниковых КТ и хлорина еб, демонстрирующие эффективный внутрикомплексный перенос энергии.

В работе были исследованы условия формирования и стабильности комплексов КТ ZnS, допированных ионами марганца, и молекул хлорина еб. Также было изучено влияние стехиометрии комплексов на их спектрально-люминесцентные и фотофизические свойства.

В дальнейшем планируется изучение свойств комплексов ZnS: Mn/хлорин еб *in-vitro* и *in-vivo*.

#### *Литература*

1. Triesscheijn M., Ruevekamp M., Aalders M. et al., Photodynamic Therapy in Oncology // Oncologist, 2006, V. 11. P. 1034.
2. Hul F., Ran Y., Zhou Z., Gao M. Preparation of bioconjugates of CdTe nanocrystals for cancer marker detection // Nanotechnology. 2006. V. 17. P. 2972.

### **Исследование сигналов межмодовой интерференции на выходе оптического волокна при помощи ПЗС-матрицы**

*Д.Р. Деветьяров, О.И. Котов, А.В. Медведев, И.Е. Чапало  
(Санкт-Петербург)*

Характеристики когерентного излучения, распространяющегося в многомодовых световодах, изучаются давно. Одним из эффектов, к которому проявляется большой интерес, является интерференция мод на выходе многомодового световода. Данное явление является паразитным при использовании световода в системе передачи информации, но оказывается полезным при построении волоконных датчиков.

В данной работе представлены результаты, полученные при регистрации спекл-картины с помощью ПЗС матрицы с применением цифровой обработки сигналов межмодовой интерференции.

Для исследования был собран макет, в котором система из двух отрезков многомодового волокна центрально возбуждалась когерентным лазерным излучением. Между отрезками волокна был установлен модовый контроллер. Таким образом были получены два отрезка оптического волокна с разным модовым составом, моделирующим начальный и конечный участки распределенного чувствительного элемента. Излучение на выходе системы регистрировалось с помощью ПЗС-матрицы.

В программном пакете LabVIEW была разработана программа обработки изображений, полученных от ПЗС-матрицы, работающая непосредственно с изображениями, без преобразования их в пиксельную матрицу. Такой подход позволил не только упростить алгоритм и увеличить быстродействие, но и наиболее подробно оценить поведение спекл-картины при различных видах воздействия на чувствительный элемент. Кроме того,

программа позволила моделировать различные типы многоканального приема, что позволит в дальнейшем найти оптимальную схему приема сигналов межмодовой интерференции.

С помощью данного макета была продемонстрирована возможность детального изучения поведения спекл-картины на выходе межмодового интерферометра при различных воздействиях на световод и моделирования различных условий детектирования сигналов.

#### *Литература*

1. Медведев А.В., Чапало И.Е. Применение цифровой обработки сигналов в системе охраны на основе межмодовой интерференции в волоконном световоде. Научно-технические ведомости СПбГПУ, том.3(101), 2010, стр. 157-162.

### **Контроль модового состава излучения вдоль многомодового волоконного тракта**

*О.И. Котов, И.Е. Чапало, А.В. Медведев  
(Санкт-Петербург)*

При распространении когерентного излучения в многомодовых световодах происходят сложные изменения модового состава и распределения мощности по модам. Многочисленные акты взаимодействия мод на неоднородностях сердцевины и оболочки приводят к изменению амплитуд мод, их фаз и состояния поляризации [1]. В длинных трактах это приводит к устойчивому распределению мощности по модам с полным заполнением модового состава. Однако, в ряде приложений, например, в распределенных волоконных датчиках, может быть предпочтителен режим с изменением модового состава вдоль световода, позволяющий улучшить измерительные параметры устройства [2].

Расширение спектра распространяющихся мод может быть обеспечено за счет естественных процессов рассеяния света на микронеоднородностях в световоде. Однако при использовании современных световодов для этого могут понадобиться длины порядка 10 км и более, что не всегда удобно на практике. Более быстрого расширения модового состава можно добиться при помощи специальных устройств, называемых в западной литературе модовыми контроллерами [3].

В докладе представлены результаты исследования эффективности применения различных конструкций модовых контроллеров для расширения модового состава излучения в МВИ. Были использованы разрывные модовые контроллеры на основе зазора между торцами двух волоконных световодов, а также неразрывные на основе макро- и микроизгибов. Было также исследовано преобразование модового состава модовым контроллером типа ModCon фирмы Arden Photonics.

Продемонстрированы эффективные методы расширения модового состава при длинах чувствительных световодов от единиц до десятков метров. Результаты работы представляются полезными при создании распределенных многомодовых волоконных датчиков с улучшенными характеристиками.

1. *А. Снайдер, Дж. Лав* Теория оптических волноводов. Пер. с англ. Под редакцией Е.М. Дианова и В.В. Шевченко. – М.: Радио и связь, 1987. – 656 с.
2. *О.И. Котов, И.Е. Чапало, А.В. Медведев* Зависимость сигналов межмодового волоконного интерферометра от распределения мощности по модам. // Письма в ЖТФ, 2014, т.40, №12, с.31-36.
3. *Hallam A.G.* Mode control in multimode optical fibre and its applications. PhD dissertation, Aston University, 2007, 203 p.

### **Межмодовые волоконные интерферометры с изменением модового состава вдоль световода**

*О.И. Котов, И.Е. Чапало, А.В. Медведев*  
(Санкт-Петербург)

Традиционный метод использования межмодового волоконного интерферометра (МВИ) заключается в анализе спекл-картины на выходе многомодового волоконного световода при внешнем воздействии на чувствительный участок волокна. При этом изменение модового состава при распространении света вдоль волокна никак не используется [1, 2].

Исследования работы МВИ с изменяющимся распределением мощности по модам вдоль волокна выявили зависимость характеристик сигналов МВИ от места воздействия на световод [3].

В докладе представлены результаты исследования характеристик сигналов МВИ с различными конструкциями модовых контроллеров, используемых для расширения модового состава излучения.

В ходе проведенных экспериментов были зарегистрированы зависимости сигналов МВИ от места воздействия на световод для каждого типа модового контроллера. Отмечены особенности сигналов МВИ, определяемые характером преобразования мод для конкретных типов контроллеров модового состава.

1. *Котов О.И., Косарева Л.И., Лиокумович Л.Б., Марков С.И., Медведев А.В., Николаев В.М.* Два механизма фазовой модуляции в многомодовых волоконных световодах. // Письма в ЖТФ, 2000, т.26, №2, с.52-63.
2. *Котов О.И., Косарева Л.И., Лиокумович Л.Б., Марков С.И., и др.* Многоканальный прием сигналов межмодового интерферометра в условиях помех. // Письма в ЖТФ, 2000, т.26, №22, с.26-35.
3. *Котов О.И., Медведев А.В., Чапало И.Е., Деветьяров Д.Р.* Влияние распределения мощности по модам на сигналы межмодового волоконного интерферометра // Сборник трудов Международной научной конференции «Лазеры. Измерения. Информация» 4-6 июня 2013, Санкт-Петербург, изд-во Политехнического университета

## **Анализ поляризационных рассогласований в схеме волоконно-оптического датчика электрического поля**

*Л.Б. Ликумович, А.В. Медведев, А.С. Мязин, В.М. Петров  
(Санкт-Петербург)*

В последние годы проявляется большой интерес к оптическим измерительным трансформаторам тока и напряжения, которые перспективны при измерении высоких напряжений и токов, характеризуются компактностью, надежностью и простотой монтажа. Большое значение придается точности разрабатываемых приборов, так как даже небольшие погрешности в показаниях приводят к значительным несоответствиям в учете потребляемой электроэнергии.

Доклад посвящен волоконно-оптическому измерителю напряженности электрического поля на основе поляризационно-интерферометрической схемы с чувствительным элементом из ниобата лития, в котором создан оптический волновод [1]. Внешнее электрическое поле за счет эффекта Поккельса изменяет состояние поляризации света, проходящего по волноводу. В результате формируются колебания выходной интенсивности, которые регистрируются и обрабатываются с использованием оригинальных алгоритмов, описанных в [2]. Проведенный анализ нацелен на рассмотрение режимов распространения и преобразования излучения в описанном приборе с целью определения источников ошибок, в первую очередь поляризационных рассогласований, вызванных неидеальной стыковкой элементов схемы, и внешних воздействий на эти элементы. В докладе приведены результаты практических измерений поляризационных характеристик оптического излучения в различных точках волоконного тракта.

Полученные результаты демонстрируют возможность увеличения точности измерений за счет оптимизации оптической схемы, что было использовано при усовершенствовании лабораторного макета измерителя.

1. Л.Б. Ликумович, А.В. Медведев, В.М. Петров. Волоконно-оптическая поляризационно-интерферометрическая схема с двумя электрооптическими модулями для регистрации электрического поля. // Сборник докладов 22-й международной конференции «Лазеры. Измерения. Информация», 3-й том, Санкт-Петербург: Изд-во Политехн. ун-та, 2012., стр. 240-254.

2. А.В. Кудряшов, Л.Б. Ликумович, А.В. Медведев, А.П. Бережной. Реализация цифрового метода демодуляции сигнала волоконного интерферометра. // Сборник докладов 22-й международной конференции «Лазеры. Измерения. Информация», 2-й том, Санкт-Петербург: Изд-во Политехн. ун-та, 2012., стр. 316-324.

## Оценка размеров частиц в дисперсных средах методом лазерной дифракции

*С.А. Куценко, Б.П. Аношин*

*(Волгоград)*

В современной промышленности для стандартизации и контроля качества гетерогенных препаратов применяются различные методы – микроскопия, седиментационный анализ, нефелометрия. Эти методы трудоемки, дают возможность проанализировать небольшую выборку препарата, требуют поддержания специальных условий и дополнительных средств регистрации, длительное время проведения анализа либо не способны дать полную характеристику исследуемой пробы.

Метод дифракции лазерного излучения позволяет быстро производить оценку для всей пробы. Возможен одновременный анализ двух видов распределений – численного и объемного, что позволяет выявлять фракции крупных частиц малой численности. В основе метода лежит исследование гистограмм численного и объемного распределений числа частиц по их размерам [1,2].

Для реализации метода лазерной дифракции создана экспериментальная установка, в которой в качестве источников используются полупроводниковые лазеры, генерирующие излучение с длинами волн 532 нм, 405 нм и 650 нм, угловой расходимостью 1,3°, 0,62° и 0,3°, мощностями излучения 30 мВт, 100 мВт и 1.3 мВт соответственно. В качестве регистрирующей системы выступают камера на основе КМОП матрицы и компьютер.

Проведены модельные эксперименты на неоднородностях различных форм и размеров. Обработка распределения интенсивностей в дифракционных картинах с учетом различных видов рассеяния позволяет оценить размеры неоднородностей.

1. Distributions by Laser Diffraction», TECHNICS – NEW MATERIALS 21, p. 11-20, 2012. Сыроешкин А. В., Попов П. И., Балышев А. В. и др. Основы применения лазерного малоуглового измерителя дисперсности для стандартизации и контроля качества лекарственных средств/А. В. Сыроешкин // Хим. фарм. журнал. 2004. – Т. 38. - № 11. – С. 49–54.
2. Stojanovic Z., Markovic S. «Determination of Particle Size

## **Модифицированный биометрический датчик с лазерным спектральным каналом.**

*Д.С.Перевозник, Е.Т.Аксенов*

*(Санкт-Петербург)*

В наше время пароли, персональные идентификационные номера и специальные идентификационные карточки стали жизненной необходимостью. Однако надежность этих средств защиты недостаточна, большую степень защиты могут обеспечить биометрические системы. Существует ряд биометрических методик позволяющих решить данную задачу. Однако необходимо отметить, что биометрическая идентификация – вероятностная технология. Эффективное решение представленных проблем возможно при одновременной регистрации нескольких биопараметров человека.

В настоящей работе в качестве биометрического объекта использовались отпечатки пальцев. Регистрация следов отпечатка пальца на грани призмы осуществлялась ПЗС камерой. В том месте, где гребень папиллярной линии касается поверхности призмы, происходит нарушение полного внутреннего отражения, и свет частично рассеивается. В камеру поступает меньший поток света, и она регистрирует это как темную область. При попадании света на "бороздку" рассеивания не происходит, поскольку полное внутреннее отражение сохраняется, и камера регистрирует светлую область. В итоге гребни на снимке выглядят как темные линии, а впадины - как светлые. Далее полученное изображение сравнивается с образцом отпечатка пальца хранящегося в базе данных. Данный метод обладает двумя недостатками. Первый, чувствительность к загрязнениям, что возможно решить цифровой обработкой, например, фильтрацией изображения с помощью вейвлет преобразование. Второй, это неэффективная защита от муляжей. Для решения второй проблемы предложено использовать модифицированную рамановскую спектроскопию как второй биометрический параметр. Известно, что рамановский спектр рогового слоя пальца не претерпевает значительных изменений при изменении глубины зондирования. Следовательно для решения задачи данной работы достаточно регистрировать сигнал с заданной глубины при изменении длины лазерного излучения в узком спектральном диапазоне.

В докладе приводятся ряд результатов цифровой обработки следовых отпечатков пальцев, а так же концептуальная схема регистрации рамановского спектра кожи пальца, как второго биометрического параметра.



## **Формирование голографических линз при фотополимеризации нестационарным излучением**

*С.Н. Менсов, М.А. Морозова, Ю.В. Полуштайцев  
(Нижний Новгород)*

Голографические линзы, сформированные из фотополимеризующихся композиций (ФПК), являются оптимальным решением для коррекции лазерных пучков, создания когерентных оптических систем. В таких средах можно светом сформировать требуемый профиль показателя преломления в достаточно широком диапазоне пространственных частот. Однако при голографической записи дифракционных структур спекл-шум приводит к существенному искажению профиля показателя преломления, а методы фотолитографии требуют использования высококачественной оптики, позволяющей формировать изображение с высоким разрешением по всей апертуре создаваемой линзы.

Создание дифракционных элементов осуществимо и по-другому – фотополимеризацией неоднородным нестационарным излучением. Предлагаемый способ основан на формировании градиента показателя преломления на границе освещённости за счёт диффузионного перераспределения компонент ФПК, а именно, вытеснения неполимеризующегося компонента из области с большей конверсией и накопление его в теневом участке. «Локальный» характер протекания процесса фотоинициирования среды позволяет провести полимеризацию в немодифицированной области и создать идентичный фронт градиентов концентраций компонентов ФПК, если сместить границу освещённости. При многократном повторении данной процедуры можно сформировать неоднородную полимерную структуру с пространственным периодом, задаваемым смещением границы освещённости. При этом эффективный пространственный период создания структуры будет определяться характерным диффузионным масштабом (за время модификации среды). Это позволяет синтезировать разнообразные фазовые структуры с неоднородным профилем показателя преломления (или рельефом), в том числе периодическим (дифракционные решётки) или квазипериодическим (линзы Френеля). Стоит также отметить, что современные ФПК обладают высокой светочувствительностью в широком спектральном диапазоне, что позволяет инициировать полимеризацию практически любым источником света. При этом использование в составе композиции инертного к фотополимеризации диффузанта с существенно отличающимся от полимера значением показателя преломления обеспечивает получение неоднородных полимерных структур, устойчивых к воздействию актиничного света.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (12-03-01092-а, 14-02-31042\_мол-а).

## Влияние контраста интерференционной картины на отношение сигнал/шум динамического голографического интерферометра

*Н.М.Кожевников*

*(Санкт-Петербург)*

Вопрос о соотношении интенсивностей  $I_1/I_{+1}$  фазомодулированных пучков при записи динамических голограмм в средах со слабым локальным реверсивным откликом имеет значение для реализации высокой пороговой чувствительности голографических интерферометров [1]. Анализ показывает, что максимальное отношение сигнал/шум в выходном сигнале получается при контрасте интерференционной картины (ИК), отличном от единичного.

Действительно, амплитуда первой гармоники  $I_\Omega(z)$  колебаний интенсивностей пучков пропорциональна  $mI^2/(1+m)^2$ , где  $m = I_1/I_{+1}$ ,  $I_0 = I_1 + I_{+1}$ . Максимальное значение амплитуды  $I_\Omega(z)$  достигается при  $m = 1$ , однако, интерес представляет глубина модуляции  $\Gamma_\pm = I_\Omega(z)/I_{\pm 1}$ , которая при  $m < 1$  может оказаться значительно больше для слабого пучка ( $I_1$ ), чем для сильного ( $I_{+1}$ ):  $\Gamma_{-1} \sim (1+m)^{-1}$ ,  $\Gamma_{+1} \sim m(1+m)^{-1}$ .

Если пренебречь тепловыми шумами фотоприемного устройства по сравнению с дробовыми, обусловленными постоянной составляющей интенсивности светового пучка, то отношение сигнал/шум пропорционально  $\Gamma_{\pm 1}^2 I_{\pm 1}$ , т. е.  $S/N_+ \sim m^3/(1+m)^3$ , а  $S/N_- \sim m/(1+m)^3$ . Таким образом, например при  $m = 0,5$  имеем  $(S/N_-)/(S/N_+) = 4$ . Кроме того,  $S/N_-$  слабо зависит от  $m$  в достаточно широком диапазоне значений, что позволяет использовать слабые сигнальные пучки и тем самым уменьшить влияние ряда вредных эффектов, связанных с насыщением и неравномерным нагревом среды.

В другой ситуации, когда интенсивность слабого пучка является заданной, очевидно, использование сильного опорного пучка позволяет увеличить глубину модуляции в сигнальном пучке, несмотря на относительно низкий контраст ИК. Действительно, легко показать, что в этом случае  $\Gamma_- \sim m^{-1}$ . В то же время следует помнить, что при  $m \ll 1$  опорный пучок должен иметь значительную интенсивность, что иногда является недопустимым.

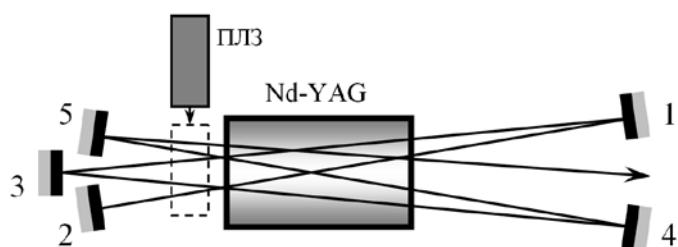
В средах с сильным локальным откликом анализ должен учитывать эффекты перекачки фазы [2].

1. Kozhevnikov N. M. Dynamic holographic microphasometry // Proc. SPIE, 1991, v. 1507, pp. 509 – 516.
2. Винецкий В.Л., Кухтарев Н.В., Соскин М.С. Преобразование интенсивностей и фаз световых пучков нестационарной «несмещенной» голографической решеткой // Квантовая электроника, 1977, т. 4, № 2, с. 420 – 425.

# Режимы генерации импульсного Nd-YAG-лазера с поперечной полупроводниковой накачкой с многопетлевым самонакачивающимся ОВФ-резонатором и оптически связанным «паразитным» линейным резонатором

В.Ф.Лебедев, Г.В. Бурковский  
(Санкт-Петербург)

Рассмотрено влияние «паразитной» генерации вспомогательного линейного резонатора, возникавшего между торцом активного элемента и одним из зеркал оптической схемы на характеристики генерации ранее исследовавшегося импульсного Nd-YAG лазера с поперечной полупроводниковой накачкой и многопетлевым пятизеркальным самонакачивающимся ОВФ-резонатором [1] (Рис.1). На возможную роль дополнительного линейного резонатора в петлевом резонаторе и менее стабильный режим работы последнего уже указывалось[2]. В настоящей работе перевод петлевого резонатора в режим модуляции добротности осуществлялся дополнительно вводимыми в его оптическую схему пассивными лазерными затворами (ПЛЗ) на основе кристаллов  $\text{LiF:F}_2^-$  или  $\text{YAG:Cr}^{4+}$ . Сравнивались энергетические, временные и пространственные характеристики 5-ти зеркального и 3-х зеркального резонаторов (зеркала 1-3).



Обнаружено, что при введении ПЛЗ паразитная генерация переходит в режим модулированной добротности. Причем она фактически определяет энергетические характеристики лазера обеих схем резонатора. Максимальная

энергия паразитной генерации при длительности импульса накачки 475 мкс составила 0.62 Дж в цуге из 14-ти  $\sim 12$  нс импульсов в образованном зеркалом 3 и торцом кристалла резонаторе (в 3-х зеркальном резонаторе перекрывалось зеркало 2). В резонаторах с тремя и 5-тью зеркалами наблюдалось перераспределение интенсивности излучения на зеркалах, а энергия с аналогичным паразитной генерации количеством импульсов в цуге увеличивалась соответственно до 0.7 и 0.9 Дж. В 5-ти зеркальном резонаторе наблюдалось также увеличение стабильности длительности отдельных импульсов цуге и увеличение качества излучения ( $M^2$ ). Энергетические характеристики лазерной генерации с затвором  $\text{YAG:Cr}^{4+}$  оказались существенно выше (до 2-х раз) по сравнению с затвором  $\text{LiF:F}_2^-$ .

## Литература

1. A.P. Pogoda, V.F. Lebedev, S.N. Smetanin, P.S. Makarchuk, A.S. Boreysho, A.V. Fedin. All-solid-state Nd:YAG lasers with self-pumped multiwave-mixing phase conjugate cavities //Proc. Advanced Solid State Laser Congress (ASSL Congress), Paris, 2013, Paper ATu3A.44.
2. Lam S.Y., Damzen M.J. Self-adaptive Nd:YLF holographic laser with selectable wavelength operation, Appl.Phys. B76 (3), 237-240 (2003)s

## **Исследование влияния на величину джиттера параметров процесса генерации в пикосекундном импульсно-периодическом лазере.**

*А.А. Карнаухов, В.Б. Морозов, А.Н. Оленин, Д.В. Яковлев*

*(Москва)*

В данной работе были проведены анализ, моделирование и экспериментальные исследования зависимости величины джиттера в пикосекундном Nd:YAG лазере с импульсной диодной накачкой, активной синхронизацией мод (АСМ) и электрооптической обратной связью (ООС).

Была построена базовая теоретическая модель джиттера такого лазера, рассматривающая те особенности процесса формирования импульса, которые оказывают наибольшее влияние на результирующий джиттер. В докладе будут рассмотрены три варианта модели, учитывающие действие: 1) только активной синхронизации мод, 2) влияние отрицательной обратной связи и 3) отстройку частоты сигнала АСМ.

В первом случае была получена аналитическая зависимость джиттера от количества обходов резонатора, глубины модуляции потерь и от максимального уровня пропускания в модуляторе.

Во втором случае было показано, что в зависимости от величины задержки в цепи ООС, ее влияние может приводить как к увеличению, так и к подавлению уровня джиттера, а также к смещению равновесного положения импульса относительно минимума потерь в модуляторе АСМ, что проявилось в эксперименте характерным чередованием амплитуды импульсов.

В третьем случае была дана оценка верхней границы допустимой величины отстройки частоты АСМ.

Для проверки сделанных предположений об особенностях процесса генерации была построена экспериментальная установка лазера с АСМ и ООС [1],[2]. При помощи высокоскоростного цифрового осциллографа были произведены измерения джиттера лазерных импульсов в зависимости от различных параметров генерации. Благодаря возможности вывода излучения на стрик-камеру контролировалось качество генерируемых импульсов и измерялись их характеристики. В результате оптимизации параметров генерации удалось получить величину джиттера ~50 пс, определяющуюся в основном уровнем собственных фазовых шумов сигнала АСМ, снижение которого ожидается после доработки электронной схемы управления.

Полученные экспериментальные данные находятся в хорошем соответствии с построенной аналитической моделью, что подтверждает корректность примененного нами

подхода. Также были проанализированы возможные причины отклонения полученных зависимостей от модельных.

Работа выполнена при поддержке Программы развития МГУ имени М.В.Ломоносова.

1. Karnaukhov A.A., Morozov V.B., Olenin A.N. and Yakovlev D.V. // J. Phys.: Conf. Series 414 (2013) 012027.
2. Карнаухов А.А., Морозов В.Б., Оленин А.Н., Яковлев Д.В. // Труды XXI межд. науч. конф. "Лаз.- инф. технологии", г. Новороссийск, 2013, 5-6.

## **Регистрация абсолютной величины быстрых колебаний базы интерферометра Фабри-Перо методами частотно-сканирующей интерферометрии**

*Н.А. Ушаков, Л.Б. Лиокумович, С.А. Михайлов*

*(Санкт-Петербург)*

За последние 20-30 лет волоконно-оптические датчики, основанные на внешнем волоконном интерферометре Фабри-Перо (ВИФП) привлекают внимание как со стороны исследователей, так и коммерческих компаний. Разработаны и реализованы конструкции датчиков давления, температуры, натяжения, влажности и других физических величин. Одним из преимуществ датчиков на основе ВИФП, отличающим его от других интерферометрических схем, является возможность регистрации абсолютного значения базы интерферометра. Для этого либо применяют сканирующий опорный интерферометр, либо регистрируют спектральную передаточную функцию (СПФ) интерферометра. Применяя специальные методы обработки сигналов, по СПФ интерферометра можно однозначно найти его базу. Недостаток этих методов состоит в том, что частота отсчётов измеряемого сигнала не превышает частоту измерения спектров, как правило, составляющую единицы – десятки Гц.

С другой стороны, при использовании для регистрации спектра устройств со сканированием длины волны, каждой точке измеренного спектра соответствует конкретный момент времени, в который был излучен свет на данной длине волны. Таким образом, если при измерении СПФ интерферометра имеют место изменения базы интерферометра  $L(t)$ , они вызовут модуляцию зарегистрированной функции. Представляя значение базы интерферометра как  $L(t) = L_0 + \delta L(t)$  и записывая СПФ интерферометра как  $S(\lambda, t) = S_M \cdot \cos(4\pi n L(t)/\lambda) = S_M \cdot \cos[4\pi n (L_0 + \delta L(t))/\lambda]$ , можно заметить, что СПФ приобретает вид сигнала с угловой модуляцией. Следовательно, значение базы интерферометра может быть найдено при помощи модифицированных методов частотного детектирования. При этом задача разбивается на два этапа – нахождение постоянной составляющей  $L_0$  (эквивалента несущей частоты) и демодуляция быстрых колебаний базы  $\delta L(t)$ . Первый этап решается стандартными методами нахождения базы по измеренной СПФ (например, при

помощи аппроксимации СПФ аналитической функцией). Второй – находя аргумент измеренной СПФ, при помощи преобразования Гильберта и вычитая из него постоянный набег, связанный с постоянной составляющей  $L_0$ .

Предложенный метод был реализован экспериментально, продемонстрировано его функционирование для колебаний базы с частотами 50 – 1000 Гц, амплитудой 5 – 500 нм, гармонической, треугольной и ЛЧМ формы.

## **Мультиплексирование датчиков на основе внешних волоконных интерферометров**

### **Фабри-Перо**

*Н.А. Ушаков, Л.Б. Лиокумович, С.А. Михайлов*

*(Санкт-Петербург)*

На протяжении последних 20-30 лет волоконно-оптические датчики, основанные на внешнем волоконном интерферометре Фабри-Перо (ВИФП) являются активно развивающимся направлением как фундаментальных, так и прикладных исследований. Разработаны и реализованы конструкции датчиков давления, температуры, натяжения, влажности и других физических величин. Одним из преимуществ датчиков на основе ВИФП, отличающим его от других интерферометрических схем, является возможность регистрации абсолютного значения базы интерферометра. Для этого либо применяют сканирующий опорный интерферометр, либо регистрируют спектральную передаточную функцию (СПФ) интерферометра. Применяя специальные методы обработки сигналов, например, аппроксимацию измеренной СПФ аналитическим выражением с параметром  $L$  (база интерферометра), можно однозначно найти его базу. Подход, использующий измерение СПФ представляется более перспективным ввиду активного развития интеррогаторов для волоконно-оптических брэгговских решёток, использующих лазер со сканируемой длиной волны для измерения оптического спектра.

В практических устройствах обычно используются низкодобротные интерферометры, обладающие высокой механической стабильностью. В этом случае СПФ интерферометра описывается выражением

$$S(\lambda, L) = S_M \cdot \cos[4\pi nL/\lambda + \varphi(\lambda, L)]. \quad (1)$$

В случае если несколько интерферометров будут включены в одну волоконно-оптическую линию, спектр такой составной системы будет представлять собой суперпозицию функций (1). Таким образом, измеряя СПФ составной системы, разделяя спектральные функции отдельных интерферометров набором полосовых фильтров и применяя к каждому

отфильтрованному спектру метод нахождения базы, можно найти базу каждого интерферометра, то есть, осуществить съём показаний системы мультиплексированных датчиков.

В докладе будет рассмотрено аналитическое выражение для системы мультиплексированных интерферометров, обсуждены ограничения метода, в том числе на число мультиплексируемых элементов, возможная паразитная связь между показаниями датчиков. Также будут представлены результаты экспериментальной реализации последовательной и параллельной схем мультиплексирования 3-4 элементов.

### **Оптические свойства металлических наночастиц пленённых молекулами арабиногалактана**

*Ушаков Н.А., Радчук Н.Б., Ушаков А.Ю.*

*(Санкт-Петербург)*

Металлические частицы размером в десятки нанометров – единицы микрометров привлекают активное внимание исследователей последние 10-15 лет. В видимом и инфракрасном диапазонах оптического спектра размеры таких частиц становятся меньше длины световой волны, благодаря чему принципиально изменяется характер взаимодействия света с такими частицами. Одним из ключевых эффектов, определяющих свойства такого взаимодействия, является возникновение совместных колебаний электронов проводимости металла – плазмонов.

Предложены применения различных свойств металлических наночастиц в таких областях, как оптическая обработка информации, био-фотонике, высокочувствительные оптические датчики. Также пристальное внимание уделяется применениям наночастиц металлов в медицинских целях и в косметологии.

Одной из проблем, возникающих при изучении и применении наночастиц, является их захват и удержание в исследуемом анализе с соблюдением необходимой концентрации. Одним из решений является создание композитного материала – объединения наночастицы с молекулой, служащей в качестве носителя частицы. Одним из веществ, применимых в данных целях, является арабиногалактан – сложное органическое соединение, способное образовывать устойчивые соединения (нанокомпозиты) с металлическими наночастицами.

Нами было изучено изменение оптических свойств арабиногалактана при захвате его молекулой наноразмерных частиц нескольких металлов: марганца, кобальта и серебра в спектральном диапазоне 1.51-1.59 мкм. Данный диапазон актуален для волоконно-

оптических систем связи, а также для применений в области био-фотоники. Для полученных нанокомпозитов были исследованы зависимости показателя преломления и оптических потерь от длины волны.

Измерения проводились с применением частотно-сканирующей интерферометрии. Аналит помещался в резонатор низкодобротного интерферометра Фабри-Перо, после чего при помощи оптического источника со сканируемой длиной измерялась спектральная функция интерферометра. Спектральные зависимости исследуемых величин (показателя преломления и коэффициента затухания) находились путём сравнения спектров интерферометра с резонатором, заполненным исследуемым веществом и этого же интерферометра с воздушным зазором между зеркалами.

### **Медицинская установка для экспресс-анализа химического состава лекарственных средств спектроскопическими методами**

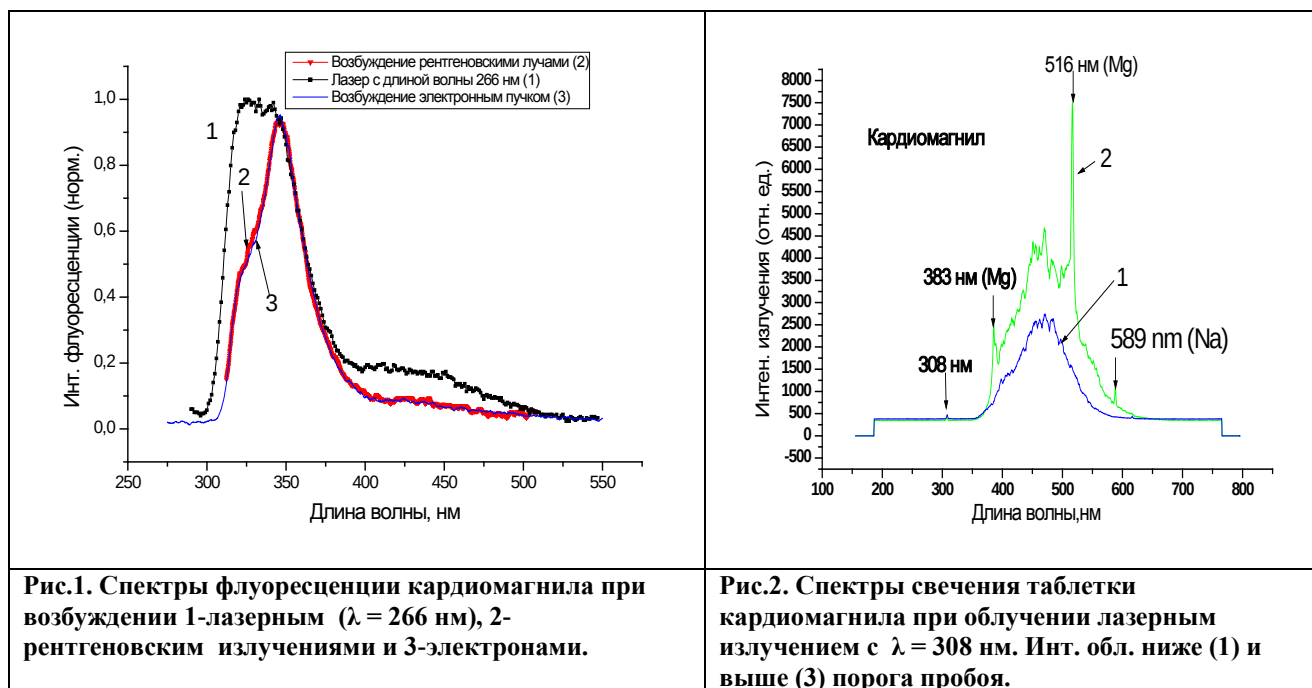
*<sup>1</sup>В.Е. Прокопьев, В.В. Удут, А.В. Удут А.Н. Солдатов, В.К. Стефлекова*

*(Томск, София)*

В настоящей работе исследуются молекулярный и элементный состав таблетированной формы кардиомагнила на основе спектрального анализа излучения возникающего в образце при различных видах возбуждения.

Принцип работы прибора основан на регистрации спектральных характеристик электромагнитного излучения исследуемых объектов при их облучении импульсными и непрерывными источниками лазерного и нелазерного излучения, рентгеновских и электронных пучков. При этом для анализа молекулярного и элементного состава вещества используются спектры поглощения (отражения), флуоресценции и комбинационного рассеяния, регистрируемые с помощью спектроанализатора на основе ПЗС-линейки. Для оценки подлинности ЛС применяют программы распознавания спектральных образов, основанные на сравнении измеренных спектральных характеристик готовых ЛС со спектрами их эталонных образцов. Прибор можно использовать также для неразрушающего анализа химического состава, физического строения и состояния вещества в научных исследованиях и прикладных задачах [1,2]. На рис.1 и 2 показаны характерные спектры флуоресценции и излучения кардиомагнила при возбуждении лазерным, рентгеновским излучением и электронным пучком.





1. Лосев В.Ф., Осипов В.В., Прокопьев В.Е., Соломонов В., Способ спектрального анализа элементного состава вещества / Патент РФ на изобретение № 2003119793/14.

2. Гольдберг Е.Д., Дыгай А.М., Коровин С. Д., Удуд В.В., Прокопьев В.Е., Способ спектрального анализа химического состава вещества/ Патент РФ № 2006116328/28 (017731 от 16.04.2007). Приоритет от 15.05.2006г.

## Лазерная абляция костных тканей в ИК диапазоне

*А.Н. Солдатов, А.В. Васильева, Я.А. Лоева*

*(Томск)*

На сегодняшний день сохраняется большой интерес к исследованиям процессов лазерного воздействия на биологические ткани, включая лазерную абляцию. Это обусловлено широким применением лазеров в различных областях медицины (стоматологии, ортопедии, офтальмологии, дерматологии и т.д.). Механизмы абляции определяют основные характеристики лазерной обработки, а именно: эффективность удаления и скорость формирования полостей, разрезов, отверстий и т.д.

В данной работе представлены результаты исследования лазерной резонансной абляции костных образцов, выполненные с использованием уникальной лазерной установки на базе лазера на парах стронция. Были получены разрезы в костных образцах длиной 1 - 3 мм. Ширина резов составила 100 – 350 мкм.

Анализ аблированных участков показал, что глубина разреза увеличивается при увеличении содержания воды. Корреляции между соотношением глубины разреза и оптическим поглощением коллагенов не было обнаружено. В первом приближении это

означает, что степень поглощения воды и гидроксиапатитов в начальной структуре ткани кости является определяющей для глубины разреза.

Почти во всех случаях сопутствующие термические повреждения не выходили из зоны 10 – 25 мкм. Однако следует отметить, что при проведении экспериментов не было обеспечено дополнительной виброизоляции экспериментальной установки, вследствие чего зона термического повреждения могла увеличиваться от импульса к импульсу за счет вибраций, создаваемых работающими источниками питания самой установки.

Работа проведена с использованием УСУ при финансовой поддержке Минобрнауки России (ГК 14.518.11.7038) и НШ-1305.2014.2.

### **Высочастотный лазер на парах стронция**

*А.Н. Солдатов, Ю.П. Полунин, А.В. Васильева*

*(Томск)*

Лазеры на парах металлов относят к газовым лазерам, отличительными чертами которых, является импульсно-периодический режим работы, наносекундная длительность импульсов генерации, высокое качество выходного излучения. Поскольку лазер на парах стронция (ЛПС) является типичным представителем класса импульсно-периодических лазеров на парах металлов, то перспективы повышения его выходных характеристик, в первую очередь, связаны с повышением частоты следования импульсов генерации (ЧСИ).

В данной работе представлены результаты исследования возможностей повышения частотных характеристик лазера на самоограниченных переходах атома и иона стронция на длинах волн 6,45, 1,09 и 1,03 мкм. Проведенные экспериментальные исследования показали, что ЧСИ генерации в импульсно-периодическом лазере на указанных переходах стронция может составлять  $\sim 1$  МГц. При этом энергосъём в лазере на парах стронция пропорционален энерговыделению в активную среду в широком диапазоне ЧСИ возбуждения. Низкие пороговые условия по накачке активной среды  $(E/p)_{th} \sim 0,2$  В/Тор·см (определяющие возможность квазинепрерывной и непрерывной [1] генерации лазеров на парах щелочноземельных металлов) обусловили достижение в наших экспериментах при высоких ЧСИ достаточно высокой удельной средней мощности генерации  $\sim 30\text{--}40$  мВт/см<sup>3</sup>, соответствующей ранее полученной в ЛПС с рабочим объемом активной среды до 650 см<sup>3</sup> при ЧСИ генерации  $\sim 10\text{--}20$  кГц [2].

Работа выполнена при поддержке гранта Президента РФ НШ-1305.2014.2 и гранта РФФИ № 13-05-98074-сибирь\_а.

*Литература*

1 Климкин В.М., Монастырев С.С., Прокопьев В.Е. *Письма в ЖЭТФ*, **20**, 251 (1974)

2 Солдатов А.Н. *Известия вузов. Физика*, №5/2, 91, (2010)

**Лазерная резка хрупких материалов**

*А.Н. Солдатов, Ю.П. Полунин, И.В. Реймер, С.Ю. Мирза, А.В. Васильева*

*(Томск)*

Проведены исследования управляемого термораскалывания оптического стекла излучением лазера на парах стронция. Показано, что высокое качество сквозного разделения дисплейного стекла определяется многоволновым спектром падающего излучения. Излучение лазера ( $\lambda = 6,456$  мкм), поглощаемое в «верхнем» слое толщиной  $\sim 200$  мкм, формирует поверхностную микротрещину, также как в случае использования излучения СО<sub>2</sub>-лазера (10,6 мкм). При этом излучение в области  $\sim 1$  мкм и  $\sim 3$  мкм формируют «объемную» микротрещину, подобно создаваемой излучением, например, Nd:YAG и Er:YAG лазерами (1,06 и 2,94 мкм). Суммарно это дает дополнительный эффект, позволяющий увеличить скорость сквозного разделения оптического стекла при сравнительно малой средней мощности генерации лазера, а также повысить качество разделяемых поверхностей.

На основе полученных результатов возможна разработка отпаянных лазеров на парах стронция для управляемого термораскалывания стекла и хрупких материалов с требуемыми параметрами для конкретного потребителя.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 13-08-98140 р\_Сибирь\_а.

**Области применения и преимущества бесконтактной лазерной  
вибродиагностики**

*Ушаков А.П., Петров А.И.*

*(Санкт-Петербург)*

Диагностический комплекс бесконтактной лазерной вибродиагностики создан для повышения безопасности, надежности и экономической эффективности эксплуатации авиационных двигателей, но также может применяться и в других областях.

Преимущества бесконтактной лазерной вибродиагностики по сравнению с традиционной контактной заключается в следующем;

- возможность бесконтактного дистанционного измерения вибрации практически в любой точке на корпусе газотурбинного двигателя в зоне прямой видимости, в том числе и на горячих поверхностях;
- линейная частотная характеристика лазерного виброметра в широком диапазоне частот (до 50 кГц). При этом отсутствуют установочные и волновые резонансы, характерные для контактных пьезоакселерометров;
- низкий уровень помех позволяет в высокочастотном диапазоне выявлять дефекты на ранней стадии развития.

Данный комплекс позволяет использовать мощный потенциал узкополосного спектрального анализа прямого и преобразованного сигналов для нахождения модуляционных признаков дефектов узлов и механизмов на ранней стадии развития.

Портативность, мобильность и наличие автономного питания позволяют в отрыве от центров технического обслуживания и в полевых условиях производить вибродиагностику при наземном запуске в составе воздушного судна.

С помощью данной системы можно диагностировать техническое состояние подшипников, зубчатых передач и механизмов роторного типа, а также возможен контроль и диагностика двигателей внутреннего сгорания, в том числе в следующих областях:

- Железнодорожный транспорт;
- Нефте- и газодобыча, и транспортировка (течеискание, погружные насосы, нефтеперекачивающие станции и т.д.);
- Сельскохозяйственная техника;
- Дорожно-строительная техника;
- Системы вентиляции и охлаждения

## О влиянии вида функции распределения частиц по размерам на характеристики однократного рассеяния

*С.В. Половченко*

*(Новороссийск)*

Решение обратной задачи по данным рассеяния света ставит перед исследователями проблему: подобрать функцию распределения так, чтобы она была описана минимальным количеством параметров. Целью данной работы является выбор функции распределения частиц по размерам, определение оптимальных параметров её характеризующих, определение влияния вида функции распределения на характеристики рассеяния.

Аппроксимация экспериментальных данных различными функциями распределения показала, что с большой долей соответствия можно использовать нормальное распределение ( $R^2 \approx 0,85$ ), логарифмически-нормальное распределение ( $R^2 \approx 0,96$ ), гамма-распределение ( $R^2 \approx 0,95$ ) и обобщенное гамма-распределение ( $R^2 \approx 0,96$ ). Последнее распределение нецелесообразно использовать, так как оно характеризуется тремя параметрами. Наиболее перспективно использовать гамма-распределение и логарифмически-нормальную функцию распределения, которые можно охарактеризовать эффективным радиусом  $r_{ef}$  и эффективной шириной распределения  $V_{ef}$ .

Сравнение полной фазовой матрицы для гамма и логарифмически-нормального распределения при одной и той же эффективной ширине, но различных значений эффективного радиуса показало, что вид использованной функции распределения практически не влияет на индикатрису рассеяния неполяризованного излучения  $P_{11}/4\pi$ , и очень незначительно на три остальных элемента матрицы.

Была рассмотрена ещё одна угловая характеристика светорассеяния, являющаяся комбинацией всех элементов фазовой матрицы: фактор деполяризации

$$D = \frac{P_1 P_2 - (P_3^2 + P_4^2)}{P_1 P_2 + (P_3^2 + P_4^2)}$$

Проведенные исследования показывают, что: 1) элементы фазовой матрицы мало зависят от конкретной функции распределения, что позволяет исключить неопределенность знания вида функции при определении микрофизических характеристик аэрозоля по данным рассеяния света; 2) в качестве параметров распределения частиц по размерам необходимо использовать эффективные значения радиуса и ширины.

### Литература

1. *Архинов В.А., Бондарчук С.С., Квеско Н.Г., Росляк А.Т., Трофимов В.Ф.* Идентификация унимодальных распределений частиц по размерам/ Оптика атмосферы и океана. 2004. Т.17, № 5-6 – с.513-516

## **Информационные характеристики интегрально-оптических фильтров для DWDM**

*А.Н Петров, А.В. Шамрай, В.М. Петров,  
(Санкт-Петербург)*

Интегрально-оптические фильтры на основе Брэгговских решёток в ниобате лития вызывают постоянный интерес у разработчиков различных устройств, работающих в оптических линиях связи, в том числе, использующих принципы DWDM. Это связано с тем, что такие фильтры могут быть использованы для создания быстродействующих, «полностью прозрачных» управляемых оптических де- и мультиплексоров.

Рассматриваемые здесь фильтры удачно сочетают в себе высокую спектральную селективность (до 0.1 нм) используемых Брэгговских решёток с одной стороны, с другой стороны, поскольку решетка записана в электрооптическом материале, имеются очень широкие возможности по электрическому управлению условиями дифракции в таких решётках [1 -4]. Поскольку для такого управления используется электрооптический эффект, время изменения формы передаточной характеристики фильтра (т.е. время его переключения), определяется электрической ёмкостью межэлектродного зазора и может составлять доли микросекунды.

Нами будет представлена новая конструкция фильтра, позволяющая решить одну из главных проблем – наличие поляризационно-зависимых потерь. Использование методики оценки информационных параметров по Шеннону показывает, что наши фильтры обладают пропускной способностью до 100 Гбит/с и спектральной селективностью до 0.1 нм, что позволяет их реально использовать в оптических линиях связи со стандартами WDM.

### *Литература*

1. Van Heerden P.J. // Appl. Opt. 1963, V.2, N4, p. 393 – 400/
2. Shannon C. // Proc. IRE, 1949, V. 37, N1, p. 10 – 21.
3. Miridonov S.V., Khomenko A.V., Tentori D., Kamshilin A.A. // Opt. Lett. 1994, V. 19 N 7, p. 502 – 504.
4. Tiemann M., Schmidt M., Petrov V.M., Petter J., Tschudi T. // Appl. Opt. V. 46 N14, 2007, p. 2683 – 2687.

## Спектральная селективность отражательных голограмм в $\text{BaTiO}_3\text{:Co}$

*А.П. Погода, В.М. Петров*

*(Санкт-Петербург)*

Разработана оригинальная методика создания отражательных голограмм с управляемыми параметрами. Особенностью является одновременная запись голограммы в пропускающей геометрии, а считывание – в отражательной. Это позволяет нам выбрать для записи источник с длиной волны, находящейся в области максимальной чувствительности материала. Для считывания используется перестраиваемый по длине волны источник, причем длина волны может существенно отличаться от длины волны записывающего лазера. Такая геометрия позволяет измерить зависимость дифракционной эффективности голограммы от длины волны считывающего излучения. В данной работе рассматривался кристалл  $\text{BaTiO}_3\text{:Co}$ . Получено соответствие результатов эксперимента и теоретического расчета зависимости спектральной селективности от толщины решётки. Продemonстрировано, что при изменении толщины отражательной решётки от 1 до 9 мм её спектральная селективность изменяется примерно от 275 до 52 пм, что соответствует изменению ширины полосы частоты отраженного излучения от 33.1 до 6.5 ГГц.

Разработанная методика дает возможность оценить ширину полосы генерации лазера, в активной среде которого формируются пространственные решетки. Сравнивая результаты работы с результатами статьи [1] можно отметить следующее. В представленной работе исследовались решётки показателя преломления, причем толщина решетки изменялась в диапазоне от 1 до 9 мм, а в работе [1] – решетки коэффициента усиления толщиной от 35 до 105 мм. Кроме того, различались методики измерения спектральной селективности: в этой работе проводилось прямое измерение параметров контура дифракционной эффективности, тогда как в работе [1] оценка спектральной селективности проводилась путем измерения ширины полосы генерации лазера, в активном элементе которого образованы решётки. На основании проведенного сравнения можно заключить, что спектральная селективность решёток определяется исключительно их геометрическими параметрами - толщиной и периодом.

### *Литература*

[1]. А.П. Погода, А.А. Ермолаев, В.Ф. Лебедев, С.Н. Сметанин, А.С. Борейшо Спектральная селективность голографических решеток коэффициента усиления в мощном твердотельном лазере с петлевым резонатором, НТВ СПбГПУ, т. 170, №2, с.121 – 129, 2013.

## **Интегрально-оптические технологии для оптической связи и радиофотоники: состояние и перспективы**

*В.М. Петров, А.В. Шамрай, И.В. Ильичёв, К.В. Зайченко  
(Санкт-Петербург)*

Современные интегрально-оптические технологии позволяют создавать широкий спектр элементной базы: простые отражательные решётки и интегральные фильтры на их основе, амплитудные и фазовые модуляторы, оптические кодеры-декодеры, поляризаторы излучения, датчики электромагнитных полей и т.д. В основе всех этих элементов лежит технология изготовления поверхностного оптического волновода. Если в качестве подложки используется электрооптический материал, например – ниобат лития, то возникает возможность быстрого (порядка десятков наносекунд) электрического управления устройства.

Главным преимуществом таких устройств является возможность построения широкого класса различных устройств на одной технологической базе. К таким устройствам, например, можно отнести создание систем управления фазированными антенными решётками различного назначения, параллельных и последовательных систем датчиков различных величин, и т.д. Все элементы таких устройств создаются с использованием единой, унифицированной технологии, а отдельные устройства объединяются в систему при помощи оптического волокна по принципам оптической связи. Поток информации, передаваемой по таким сетям может достигать 100 Гбит/с, что необходимо для создания современных систем промышленного назначения.

В докладе мы будем обсуждать проблемы и перспективы создания отечественной технологической базы для промышленного производства таких устройств.

## **Анализ чувствительности оптического голографического интерферометра на отражательных решетках**

*Я.А. Криницкий, М.А. Гарсиа В.М. Петров, А.В. Хоменко  
(С.-Петербург, Россия, Энсенада, Мексика)*

Адаптивные голографические интерферометры на основе отражательных динамических решеток уже несколько десятков лет успешно используются для исследования колебаний поверхности с амплитудой  $10^{-8} \dots 10^{-9}$  м [1,2]. Основным элементом таких интерферометров являются фоторефрактивные кристаллы, в которых и создаётся голографическая решётка.



Очевидно, что для надёжного обеспечения высокой чувствительности требуется чрезвычайно точная настройка интерферометра. Первый этап настройки голографического интерферометра состоит в линеаризации выхода. Отметим, что задача линеаризации выхода уже успешно решена [2,3]. Следующая важная задача – это оптимизация условий записи отражательной голографической решетки с учётом длины, оптической активности, и поглощения света фоторефрактивным кристаллом. Оптимизация условий записи может производиться исходя из трёх критериев: дифракционная эффективность решетки, отношение сигнал-шум на выходе интерферометра и амплитуда первой гармоники на выходе фотоприёмника. На предмет этих критериев были исследованы кристаллы селенитов  $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ ,  $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ ,  $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}$ . Выявлены определенные зависимости, о них и пойдет речь в докладе.

#### *Литература*

S.I. Stepanov, Application of photorefractive crystals[Text]/ S.I. Stepanov, Rep. Prog. Phys. 57, 39-116 (1994).  
 I.M. Rossomakhin and S.I. Stepanov, Linear adaptive interferometer via diffusion recording in cubic photorefractive crystals[Text]/, Opt. Com. 86 199-204 3(1991).  
 A.V. Khomenko, Highly Sensitive Adaptive Interferometer Based on Reflection Photorefractive Grating in  $\text{BaTiO}_3\text{:Co}$  [Text]/ A.V. Khomenko and V.M. Petrov // Journal of Holography and Speckle, 5, 238-242 (2009).

### **Использование давления света для ахроматического фотодетектирования**

*В.М. Петров, А.В. Хоменко, Я.А. Криницкий, М.А. Гарсиа*  
*(С.-Петербург, Россия, Энсенада, Мексика)*

Хорошо известно, что свет как и любая другая электромагнитная волна, создает давление на освещаемую поверхность[1]:

$$P = I(1 + R)/c, [H/m^2]$$

Где  $I$  – мощность падающего света,  $c$  – скорость света,  $R$  – коэффициент отражения поверхности. Важно отметить, что в формуле(1) в явном виде отсутствует длина волны электромагнитного излучения. До последнего времени этим влиянием было принято пренебрегать. Но в последнее время в связи с бурным развитием MEMS технологий и технологий, использующих принципы наномеханики, стало очевидно, что давление света может быть использовано для создания принципиально новых устройств[2]. В настоящем докладе мы сообщаем об измерении давления света при помощи динамического голографического интерферометра[3]. Для создания периодических фазовых модуляций в качестве зеркала в одном из плеч интерферометра нами использовались алюминиевые мембраны толщиной 10...50 нм, которая находилась в вакуумной камере. Мембрана освещалась модулированным по интенсивности лучом

света на различных длинах волн. Под действием давления данного луча происходили периодические перемещения мембраны, что приводило к возникновению периодического электрического сигнала на выходе фотодетектора. Эксперимент показал, что по крайней мере, в диапазоне от 450 нм до 1600 нм практически отсутствует зависимость от длины волны. Чувствительность такого фотоприемника составила примерно 3 мкВ/мм<sup>2</sup>, что соответствовало измеренному давлению света примерно, что соответствовало измеренному давлению света примерно  $1 \times 10^{-8}$  Н/м<sup>2</sup>. В докладе мы будем обсуждать возможности практических применений методики.

#### *Литература*

1. Khomenko J.C., Petrov V.M., A high-sensitive holographic interferometer based on photorefractive BaTiO<sub>3</sub>:Co crystals, // Journal of Holography and speckle Vol. 5(2009)238-242.
2. Maxwell J.C., A treatise on Electricity and Magnetism (1-st edition), II, Oxford(1873)391.
3. V. M. Petrov, J. Hahn, J. Petter, M. P. Petrov, and T. Tschudi, "Precise subnanometer control of the position of a macro object by light pressure," Opt. Lett. 30, 3138-3140 (2005).

### **Лидарное уравнение для комбинационного рассеяния света с учетом ширины линии лазерного излучения**

*В.Е.Привалов, В.Г.Шеманин  
(Санкт-Петербург, Новороссийск)*

Ранее мы рассматривали решения лидарного уравнения для различных веществ в атмосфере без учёта ширины линии излучения [1-3]. Целью настоящей работы является учет ширины линии генерации лазера в лидаре комбинационного рассеяния света молекулами водорода при зондировании атмосферы.

Показано, что учет ширины линии генерации лазера и ширины аппаратной функции спектроанализатора лидара ведет к уменьшению времени измерения сигнала комбинационного рассеяния света исследуемыми молекулами примерно на порядок при увеличении ширины аппаратной функции на 2 порядка.

- 1 Привалов В.Е., Фотиади А.Э., Шеманин В.Г. Лазеры и экологический мониторинг атмосферы. С-Пб.: Изд. Лань. 2013. 288 с.
- 2 Привалов В.Е., Шеманин В.Г. Параметры лидаров для дистанционного зондирования газовых молекул и аэрозоля в атмосфере. С.-Пб. Балтийский ГТУ. 2001. 56 с.
- 3 Привалов В.Е., Фотиади А.Э., Шеманин В.Г. Лазерная физика. Лазерные системы экологического мониторинга. С-Пб.: Изд. Политехн. ун-та. 2013. 170 с.

## **Зеркала активного элемента зеемановского лазера с повышенной разностной частотой**

*Кондрахин А.А., Мельничук Г.В., Серебряков А.Е., Тумаков Н.Ю., Чуляева Е.Г.*

*(Рязань)*

Двухчастотные стабилизированные зеемановские лазеры с повышенной разностной частотой, например, ЛГН-212-1М ОАО «Плазма»[1], в своем составе имеют активные элементы с юстируемыми оптическими узлами на основе эффекта пластической деформации и не содержат внутри вакуумного баллона управляющего элемента, как это сделано в лазерах ф. Агилент[<sup>2</sup>]. Такие лазеры имеют разностную частоту в диапазоне 1,5–7,0 МГц. В лазерах ф. Агилент мощность лазерного излучения менее 0,1 мВт при разностных частотах более 4 МГц. Недостатком вышеуказанных лазеров до последнего времени являлась низкая мощность излучения.

Целью настоящей работы являлась разработка резонатора лазера таким, чтобы мощность лазерного излучения была максимальной при максимальном значении разностной частоты.

В формировании разностной частоты большую роль играют зеркала, так как наряду с магнитным полем они обеспечивают и мощность лазерного излучения и повышенную разностную частоту. Расчеты показали, что для повышения разностной частоты необходимо снижать добротность резонатора. Для снижения добротности резонатора нами предлагается увеличить полезные потери, т.е. пропускание зеркал. По формулам, приведенным в работе [<sup>3</sup>] рассчитана мощность лазерного излучения в зависимости от полезных потерь резонатора. Показано, что мощность лазерного излучения при пропускании зеркала 2,5% и длине резонатора 115 мм может достигать 0,75 мВт. Такой результат можно получить путем снижения потерь на рассеяние. Это достигается полировкой поверхности подложки с получением неоднородностей поверхности не более 0,2-0,3 нм [<sup>4</sup>], а также получением однородной поверхности напыления с выступами не более 17 нм.

### Литература:

<sup>1</sup>. <http://www.plasmalabs.ru>

<sup>2</sup>. <http://www.home.agilent.com>

<sup>3</sup>. Липский В.В, Привалов В.Е. Расчет параметров генерации мощного He-Ne лазера на  $\lambda=0,63$  мкм // Письма в ЖТФ. 2005г. Т. 31. Вып. 14, С. 51-92

<sup>4</sup>. А.В. Молчанов, А.Е. Серебряков, М. В. Чиркин. Анизотропия рассеивающих свойств сверхгладких подложек зеркал для прецизионных лазерных гироскопов. // Вестник РГРТУ. № 4 (выпуск №42). Часть 2. Рязань, 2012

**Использование наведенных механических напряжений  
при формообразовании поверхностей оптических деталей  
модуляторов нарушенного полного внутреннего отражения**

*Голяева А.Ю., Лобанов П.Ю., Мануйлович И.С., Сидорюк О.Е.*

*(Москва)*

В оптических модуляторах на принципе нарушения полного внутреннего отражения (НПВО) значимым параметром является изменяемая толщина зазора между полированными плоскостями сопрягаемых элементов. Существенно, что в процессе переключения модулятора она является функцией не только от времени, но и координат [1]. При этом радиальная зависимость межплоскостного расстояния определяется конструктивными особенностями конкретного типа изделий, среди которых немалое значение имеют исходные характеристики рельефа рабочих оптических поверхностей, способы и условия его формирования.

При производстве модуляторов на эффекте НПВО формообразование необходимых профилей контактирующих поверхностей наиболее часто производят посредством осаждения периферийных тонкослойных покрытий на соответствующие грани, полированные с высокой плоскостностью [2]. Используется также технология создания рабочего зазора посредством соединения деталей, на которых при механической полировке сформированы вогнутые сферические поверхности с большими радиусами кривизны [3].

Однако для ряда практических задач могут иметь преимущества модуляторы НПВО и с иными профилями рельефа рабочих поверхностей. С этой целью в настоящей работе проведены исследования по формообразованию поверхностей оптических деталей модуляторов НПВО специальной оптико-механической обработкой, использующей возможности контролируемых изгибов элементов посредством управляемых наведенных механических напряжений. Результаты математического моделирования положены в основу разработанной технологии. Контроль характеристик полученных образцов, производимый на профилометре с использованием фазосдвигающей интерферометрии, показал хорошее соответствие экспериментальных результатов данным компьютерных расчетов.

*Литература*

1. Назаров В.В., Парахуда С.Е., Хопмов В.Ю. Исследование плоского и неустойчивого резонатора твердотельного моноимпульсного лазера с динамическим градиентным отражателем // Научно-технический вестник СПбГУ ИТМО. 2005. т.18. № 2. с. 5–9.
2. Jakschin M.A., Sidoryuk O.E. Optischer variabler Strahlteiler/-modulator // Int.Cl.G 02B 26/02. Offenlegungsschrift DE 19506894 A1. 1996.
3. Баганов М.И., Батов Ю.Н., Введенский В.Д., Каплан Б.М., Малинин С.М. // Модулятор добротности лазера на эффекте нарушения полного внутреннего отражения (НПВО). Свидетельство на полезную модель. 2000. №16224 U1

## Содержание

|                                                                                                                                                                                                                           |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| О.Л.Головков, Г.А.Купцова, В.А.Степанов Влияние скорости релаксационных переходов между подуровнями мультиплета $^4F_{3/2}$ на генерацию двух длин волн YAG:Nd- лазером.....                                              | 4  |
| О.Л.Головков, Г.А.Купцова, В.А.Степанов Влияние степени однородности линии усиления на спектр генерации YAG:Nd- лазера.....                                                                                               | 5  |
| В.В.Давыдов, А.Ю.Карсеев Имитатор аварийной ситуации на основе волоконно – оптической линии связи для проверки работы систем контроля корабельных атомных энергетических установок.....                                   | 6  |
| Т.В.Казиева, А.П.Кузнецов, К.Л.Губский, В.Н.Решетов, К.В. Гоголинский Лазерный интерферометр для определения функции поверхности наконечников нанотвердомеров.....                                                        | 7  |
| В.В.Качалов, В.Я.Менделеев Обоснование способа и устройства дистанционного оптического контроля профиля поверхности диска ГТД в процессе раскатки при высоких температурах.....                                           | 8  |
| Г.Х.Китаева, А.В.Шепелев Методы генерации и модуляции излучения ТГц диапазона.....                                                                                                                                        | 9  |
| Ю.В.Коробкин, В.А.Давыдов, И.В.Романов Эмиссионные эффекты при воздействии лазерного излучения на сегнетоэлектрики.....                                                                                                   | 10 |
| М.М.Кугейко, Д.А.Смунев Анализ информативности поляризационных и нефелометрических измерений в диагностике микрофизических параметров эритроцитов.....                                                                    | 11 |
| М.М.Кугейко, Д.А.Смунев Оперативный метод определения параметра асферичности эритроцитов по коэффициенту направленного рассеяния.....                                                                                     | 12 |
| А.А.Маковецкий, А.А.Замятин, Г.А.Иванов, В.А.Аксенов Использование азимутально-неоднородного температурного поля для вытяжки оптических волокон с эллиптической световедущей сердцевиной.....                             | 13 |
| Г.Н.Мальцев, Г.И.Афонин Распознавание объектов по лазерным изображениям.....                                                                                                                                              | 14 |
| Е.М.Иващенко, П.А.Павлов Определение характеристик динамических гониометров для калибровки преобразователей угла с использованием кольцевого лазера.....                                                                  | 15 |
| В.Я.Менделеев, В.В.Качалов, А.В.Курилович, И.В.Животовский, Г.А.Сычев, А.Ю.Каплин Экспериментальная установка для исследования теплофизических свойств анизотропно шероховатых поверхностей при высоких температурах..... | 15 |
| В.Я.Менделеев Теоретическое и экспериментальное исследование рассеяния лазерного излучения одномерно шероховатыми поверхностями в конической геометрии.....                                                               | 17 |
| В.Я.Менделеев Условия, при которых ориентация канавок одномерно шероховатой поверхности не влияет на интенсивность излучения, отраженного в зеркальном направлении.....                                                   | 18 |
| В.Я.Менделеев, В.В.Качалов Лазерный контроль плавления анизотропно шероховатой металлической поверхности.....                                                                                                             | 19 |
| А.С.Насибов, К.В.Бережной, М.Б.Бочкарев, А.Г.Садыкова, П.В.Шапкин, С.А.Шунайлов Лазерное излучение твердых растворов $CdS_x Se_{1-x}$ , возбуждаемых электронным пучком и разрядом.....                                   | 20 |
| С.А.Бельков, И.Н.Воронич, А.Л.Воронов, Н.В.Воронина, И.Н.Деркач, И.В.Епатко, Р.В.Серов, Н.А.Филатова, И.Е.Чернов Расчётное моделирование оптической системы многопроходной лазерной установки УФЛ-2М.....                 | 20 |
| О.Д.Москалец Формирование и детектирование оптических сигналов. Квантовый подход и классическое приближение.....                                                                                                          | 21 |
| В.Л.Борисов, М.Э.Борисова Оптический метод исследования накопления и релаксации заряда в диэлектрике.....                                                                                                                 | 22 |
| В.А.Глухов, И.Р.Куликов, Ю.А.Толмачев Автокоррелятор одиночных световых импульсов на основе бипризмы Френеля.....                                                                                                         | 23 |

|                                                                                                                                                                                                                                |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| М.С.Глушков, А.А.Верещагин, А.В.Виноградов Исследование фазовых искажений активного элемента импульсно-периодического лазера.....                                                                                              | 24 |
| В.И.Зайков, С.А.Скоморовский Абберрационный расчет оптической системы для формирования интерференционной структуры в поперечном сечении коллимированного лазерного пучка.....                                                  | 25 |
| В.И.Зайков, С.А.Скоморовский Оценка угловых флуктуаций оси диаграммы направленности лазерного пучка.....                                                                                                                       | 26 |
| Д.В.Кизеветтер, Н.В.Ильин, В.И.Малюгин, Чангсен Сан Исследование спекл-структур, сформированных оптическими вихрями волоконных световодов.....                                                                                 | 27 |
| А.В.Князьков Электро-отражение света как способ измерения электрооптики материалов.....                                                                                                                                        | 28 |
| А.В.Князьков, В.А.Кукуричкин Оценка электрооптики сегнето-керамики по модуляции электро-отражения света.....                                                                                                                   | 29 |
| М.Р. Крупский, В.И. Зайков Программно-аппаратный комплекс анализа пространственно-энергетических характеристик лазерных систем.....                                                                                            | 29 |
| Г.С.Рогожников, Р.Ю.Костюнин, И.В.Мишина Исследование пропускания импульсного электромагнитного излучения миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов длин волн однородными изотропными средами.....                         | 30 |
| Л.А.Таскина, Е.В.Тимченко, Н.В. Трегуб, А.В.Родина Оптический метод контроля качества продуктов питания.....                                                                                                                   | 31 |
| Д.Я.Свет Спектропирометрия на основе Брэгговской дифракции света на ультразвуке.....                                                                                                                                           | 32 |
| Л.Т.Волова, П.Е.Тимченко, Е.В.Тимченко, В.В. Болтовская, Л.А.Таскина, О.Н. Прокофьева, А.А.Бурнаев Оценка динамики развития жизнеспособных клеток на бионосителе с помощью метода конфокальной флуоресцентной микроскопии..... | 33 |
| А.Ю.Савина, Д.В.Кизеветтер, Н.М.Журавлева, А.С.Резник Мониторинг оптических свойств трансформаторных масел.....                                                                                                                | 34 |
| Е.С.Пермякова, Ю.А.Толмачев Спектр как носитель информации о следах вещества.....                                                                                                                                              | 35 |
| Е.А.Селезнева, Е.В.Тимченко, Н.В.Трегуб, Л.А.Таскина, П.Е.Тимченко Экспериментальные исследования влияния водорода на оптические характеристики растений.....                                                                  | 36 |
| В.П.Захаров, Л.Т.Волова, Е.В.Тимченко, П.Е.Тимченко, Л.А.Таскина, С.В.Першуткина Контроль костных трансплантатов с помощью Рамановской спектроскопии.....                                                                      | 37 |
| Г.А.Череватенко, Е.Т.Аксенов, К.Г.Домнин Дифференциальный лазерный поляриметр для измерения концентрации глюкозы в биотканях и их фантомах.....                                                                                | 38 |
| Т.В.Яковлева, А.В.Князьков Двухпараметрический метод моментов обработки результатов периодической модуляции отраженного света для оценки ЭО коэффициентов.....                                                                 | 39 |
| В.Н.Матрсов, Т.А.Матрсова, Е.В.Пестряков Активированный гексаалюминат бериллия - новый перспективный кристалл для гибридных лазеров, применяемых в установках термоядерного синтеза.....                                       | 40 |
| Е.В.Пестряков, В.Н.Матросов, Т.А.Матрсова, Н.В.Ржеуцкий, Е.В.Луценко Спектроскопические свойства ионов Cr(III) в кристалле эвтектического состава $\text{BeAl}_2\text{O}_4/\text{BeAl}_6\text{O}_{10}$ .....                   | 41 |
| В.В.Азарова, А.П.Макеев Исследование влияния анизотропии зеркал на параметры неплоского кольцевого лазерного резонатора .....                                                                                                  | 42 |
| Л.Б.Кочин, В.Ф.Лебедев, А.П.Погода Оптический лабораторный комплекс для угловых и спектральных измерений.....                                                                                                                  | 44 |
| О.В.Дрокова Обработка цифровых изображений – программное обеспечение вариации яркости/контраста для экспертных приложений.....                                                                                                 | 45 |
| К.М.Мужчинкина, Е.С.Сергеев, И.В.Чавкин Оптимизация эрбиевых импульсных лазеров с ламповой накачкой.....                                                                                                                       | 46 |
| С.Н.Багаев, В.С.Егоров, В.Г.Николаев, И.А.Чехонин, М.А.Чехонин Самоиндуцированные поляритонные резонансные нанорезонаторы.....                                                                                                 | 47 |

|                                                                                                                                                                                                                                |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| А.Р.Баев, А.А.Карабутов, В.Г.Гуделев, А.И.Митьковец, А.Л.Майоров, М.В.Асадчая<br>Магнитная жидкость для оптоакустических измерений.....                                                                                        | 48 |
| Н.В.Барышников, Д.Г.Денисов. И.В. Животовский, В.Я. Менделеев Теоретическое и<br>экспериментальное исследование триангуляционного метода измерения формы<br>поверхности.....                                                   | 49 |
| О.Ю.Биткина, А.С.Егоров, А.П.Савикин, О.Н.Еремейкин Однопроходный лазерный<br>усилитель на поликристалле CR:ZNSE.....                                                                                                          | 50 |
| Н.М.Ганжерли, С.Н.Гуляев, И.А.Маурер, Д.Ф.Черных Формирование поверхностного<br>рельефа галогеносеребряного фотослоя с помощью мультиплексной голограммы.....                                                                  | 51 |
| И.В.Чавкин, Е.С.Сергеев, К.М.Мужчинкина Термооптические эффекты в лазере на Yb-Er<br>стекле с диодной накачкой.....                                                                                                            | 51 |
| С.А.Куценко, Д.А.Русских Многоканальная лазерная система для возбуждения спектров<br>вынужденного комбинационного рассеяния.....                                                                                               | 52 |
| А.Ф.Корнев, А.С.Наривончик, А.Л.Павлова, А. А.Порозов, В.А.Серебряков Проблемы<br>повышения выходной энергии Ho:YLF лазера .....                                                                                               | 53 |
| Д.О.Москалец, О.Д.Москалец Выражение корреляции через временные и спектральные<br>функции.....                                                                                                                                 | 54 |
| Н.С.Панамарев, И.В.Самохвалов, В.А.Донченко, Ал.А.Землянов Дисперсионные<br>характеристики композитных материалов на основе металлических наноструктур.....                                                                    | 55 |
| В.С.Макин, Р.С.Макин Фемтосекундное излучение круговой поляризации и формирование<br>упорядоченного 2D нанорельефа поверхности конденсированной среды.....                                                                     | 56 |
| Ю.И.Кузьмин, В.М.Петров Оценка предельной информационной ёмкости 2-D и 3-D<br>оптических сред .....                                                                                                                            | 57 |
| А.В.Савченков, А.О.Андреев, О.И.Бужинский, К.Л.Губский, А.П.Кузнецов, А.В.Михайлюк,<br>С.Н.Тугаринов Разработка метода лазерной очистки поверхности первого зеркала<br>диагностики плазмы “Активная спектроскопия” в ИТЭР..... | 58 |
| Г.В.Симоненко Анализ конструкций ЖК – затвора для 3D – модуляторов.....                                                                                                                                                        | 59 |
| А.С.Скублов, В.Б.Совков, В.С.Иванов Анализ возмущений в неадиабатически<br>взаимодействующих состояниях димеров Rb <sub>2</sub> , Cs <sub>2</sub> .....                                                                        | 59 |
| А.Ф.Шаталов, Ф.А.Шаталов Чувствительность частоты импульсов квазитрехуровневого<br>твердотельного лазера с пассивным модулятором в резонаторе к изменениям мощности<br>диодной накачки.....                                    | 60 |
| А.В.Черемискина, Э.К.Непомнящая, К.К.Кориков, Е.Н.Величко, О.Ю.Цыбин, Е.Т. Аксенов<br>Исследование параметров биомолекулярных растворов методами лазерного светорассеяния и<br>импедансной спектроскопии.....                  | 61 |
| И.В.Красников, А.Ю.Сетейкин, А.П.Попов Модель поглощения оптического излучения и<br>тепловой нагрузки поверхности кожи в присутствии наночастиц диоксида титана (TiO <sub>2</sub> ) и<br>оксида цинка (ZnO).....               | 62 |
| М.С.Кузьмин, С.А.Рогов, С.В.Розов, К.Я.Смирнов Макет фурье-процессора для оптической<br>обработки изображений и<br>сигналов.....                                                                                               | 63 |
| В.В.Манухов, А.Б.Федорцов, А.С.Иванов Бесконтактный метод определения длины<br>диффузии носителей заряда в полупроводниковых пластинках.....                                                                                   | 64 |
| В.В.Близнюк, М.А.Брит, Е.С.Ефремов, А.А.Моисеев, В.А.Паршин Альтернативный метод<br>определения режима генерации лазерного диода на основной моде.....                                                                         | 65 |
| В.В.Близнюк, М.А.Брит, Е.С.Ефремов, А.А.Моисеев, В.А.Паршин Средство измерений<br>степени поляризации излучения одномодового лазерного диода в свободное пространство...66                                                     | 66 |
| В.В.Близнюк, М.А.Брит, Е.С.Ефремов, А.А.Моисеев, В.А.Паршин Модельный ряд<br>многофункциональных средств измерений параметров сильно расходящегося лазерного<br>излучения.....                                                 | 67 |
| Л.А.Глушченко, Е.П.Лескина Математическая модель оценки качества речевой информации,<br>полученной с помощью лазерного микрофона.....                                                                                          | 68 |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                             |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| П.Е.Гребенюк, А.М.Чмутин Информативность изображений – оттеночный сдвиг versus<br>оттеночный контраст.....                                                                                                                                                                                  | 69 |
| Ю.С.Даняева С.А.Куценко Возможность мониторинга взаимопревращений различных форм<br>витамина С методами электронной спектроскопии.....                                                                                                                                                      | 69 |
| В.Л.Козлов, А.С.Васильчук Ускорение вычисления корреляции для смежных областей в<br>фотоальбоме.....                                                                                                                                                                                        | 71 |
| М.С.Кузьмин, С.А.Рогов Когерентные оптические системы со свернутым спектром на<br>основе жидкокристаллического устройства ввода.....                                                                                                                                                        | 72 |
| Е.Л.Латуш, Г.Д.Чеботарев Исследование He-Sr лазера с генерацией на видимых и ИК<br>линиях.....                                                                                                                                                                                              | 73 |
| Е.Н.Попов, В.А.Решетов Стимулированное фотонное эхо и столкновительная<br>релаксация.....                                                                                                                                                                                                   | 74 |
| А.Б.Прокофьев, О.А.Журавлев, Р.Н.Сергеев, Е.В.Найденова Экспериментальное<br>моделирование теплового удара в конструкционных материалах.....                                                                                                                                                | 75 |
| А.В.Скиданенко, Е.Н.Попов Сложный характер задержанных оптических нутаций в<br>полярном газе.....                                                                                                                                                                                           | 76 |
| С.С.Смирнов, П.П.Гейко, И.В.Самохвалов Трассовые измерения концентраций малых<br>газовых составляющих атмосферы методом ДООС.....                                                                                                                                                           | 77 |
| В.А.Алексеев, С.И.Юран, А.С.Перминов Источник импульсного лазерного излучения с<br>интерференцией когерентных импульсов.....                                                                                                                                                                | 78 |
| И.В.Вощула, В.А.Длугунович, А.Ю.Жумарь, Э.М.Шпилевский Рассеивающие свойства<br>композитных пленок $(Al_{11}-Cu_2-Fe)_x C_{60}$ и хитазан- $C_{60}$ , освещаемых многомодовым или<br>бесселевым пучками поляризованного лазерного излучения.....                                            | 80 |
| В.Н.Звегинцев, С.И.Иванов, А.П.Лавров, И.И.Саенко Основные характеристики аналоговых<br>широкополосных волоконно-оптических линий связи для приемных ФАР.....                                                                                                                               | 81 |
| С.И.Иванов, А.П.Лавров, С.А.Молодяков, Д.А.Зотов Особенности синхронного захвата<br>движущихся оптических изображений цифровой ВЗН-камерой.....                                                                                                                                             | 82 |
| И.Г.Иванов, Ю.А.Моисеева, А.В.Рязанов Динамика создания инверсии в многоволновом<br>газоразрядном лазере на парах селена.....                                                                                                                                                               | 83 |
| Е.М.Козаченко, В.П.Усольцев, С.И.Юран Многочастотный оптический анализ загрязнения<br>сточных вод.....                                                                                                                                                                                      | 84 |
| С.В.Кружалов, А.Ю.Кушевич Волновой конвертор с оптической модуляцией.....                                                                                                                                                                                                                   | 85 |
| Н.А.Крюков, С.А.Пеганов О точности измерения динамических характеристик в оптических<br>экспериментах .....                                                                                                                                                                                 | 86 |
| Э.К.Непомнящая, Е.Н.Величко, Т.А.Богомаз, Е.Т.Аксёнов Развитие методов лазерной<br>корреляционной спектроскопии для исследования параметров технических и биологических<br>суспензий.....                                                                                                   | 87 |
| А.Н.Палагушкин, С.А.Прокопенко, А.П.Сергеев Влияние плазмы коронного разряда на<br>плазмонный .....                                                                                                                                                                                         | 88 |
| А.Н.Палагушкин, С.А.Прокопенко, А.П.Сергеев Влияние периода и коэффициента<br>металлизации в многополосковом волноводе на возбуждение плазмонного резонанса.....                                                                                                                            | 89 |
| С.В.Никоненко, А.В.Данильчик, В.А.Длугунович, В.А.Ждановский, А.В.Крейдич,<br>А.А.Липлянин, Е.В.Луценко, Н.В.Ржеуцкий Комплекс для измерений фотометрических,<br>радиометрических, спектрорадиометрических и пространственных характеристик излучения<br>лазерных диодов и светодиодов..... | 90 |
| А.В.Поляков, М.А.Ксенофонов Динамическая прочность волоконных световодов для<br>оптических систем измерения температуры.....                                                                                                                                                                | 91 |
| А.В.Рязанов, Р.К.Бабичев, И.Г.Иванов, А.М.Бессмертный Особенности возбуждения газовых<br>лазеров на парах металлов импульсами тока микросекундной длительности.....                                                                                                                         | 92 |
| В.А.Харенков, А.Ю.Искандаров, Н.С.Панамарев, И.В.Самохвалов, В.А.Донченко,<br>Ал.А.Землянов Временные характеристики суперфлуоресценции в активных средах с<br>наночастицами металлов при отсутствии плазмонных резонансов.....                                                             | 93 |



|                                                                                                                                                                                                                                      |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| В.М.Немец, А.А.Пастор Лазеры в аналитике.....                                                                                                                                                                                        | 94  |
| О.В.Мкртычев, В.Г.Шеманин Лазерная абляция стеклянных нанокмползтов.....                                                                                                                                                             | 96  |
| П.И.Сарычев, В.Г.Шеманин Программно- аппаратный комплекс персонального 3D –<br>принтера.....                                                                                                                                         | 97  |
| В.В.Дьяченко, В.Г.Шеманин Лазерный мониторинг аэрозольного переноса в атмосфере.....                                                                                                                                                 | 98  |
| Е.И.Веденин, П.В.Чартий, В.Г.Шеманин Лазерная система мониторинга аэрозольных<br>выбросов в атмосферу.....                                                                                                                           | 98  |
| А.О.Васильев, П.В.Чартий, В.Г.Шеманин Метрологическое обеспечение ИК детектора для<br>измерения концентрации углеводов нефти в газовых выбросах.....                                                                                 | 99  |
| А.Б.Аткарская, В.Г.Шеманин Оптические свойства наноразмерных покрытий системы CuO-<br>TiO <sub>2</sub> .....                                                                                                                         | 100 |
| Э.К.Аблязов, В.Г.Шеманин, О.В.Явная Лазерная система мониторинга воздуха рабочей<br>зоны.....                                                                                                                                        | 102 |
| В.И.Дудкин, В.А.Полянский, П.С.Попов Бесконтактное измерение сердечного ритма(пульса)<br>используя видео поток и метод анализа независимых компонент (ICA - Independent<br>Component Analysis).....                                  | 103 |
| Д.В.Александров, М.Н.Дубров, В.В.Кравцов Обработка лазерно-интерферометрической<br>информации в прецизионных измерительных устройствах.....                                                                                          | 104 |
| Е.В.Бурнаевская, А.Р.Гильдина, В.Н.Гришанов Оптимизация систем измерения<br>пространственно-энергетических параметров лазерного излучения методами<br>моделирования.....                                                             | 105 |
| Е.В.Бурнаевская, В.Н.Гришанов, Д.Ю.Евсеев Модификация метода Бесселя для измерения<br>фокусных расстояний.....                                                                                                                       | 106 |
| С.В.Ивакин, А.П.Погода Современные подходы к созданию мощных твердотельных<br>лазеров.....                                                                                                                                           | 107 |
| П.Г.Воробьев, В.С.Зоркин, А.А.Кондрахин, Г.В.Мельничук, Н.Ю.Тумаков Методы снижения<br>времени начального прогрева зеемановского лазера.....                                                                                         | 108 |
| Р.Ш.Затрудина, М.А.Корнаухова Интерпретация электронных спектров амидов<br>пиридинмонокарбоновой кислоты.....                                                                                                                        | 109 |
| В.Д.Купцов, В.Я.Кателевский, В.П.Валюхов, Е.Н.Рыбин Рассеяние лазерного излучения<br>молекулярными ядрами конденсации.....                                                                                                           | 110 |
| В.Ф.Лебедев, Г.В.Бурковский Режимы генерации импульсного Nd-YAG-лазера с поперечной<br>полупроводниковой накачкой с многопетлевым самонакачивающимся ОВФ-резонатором и<br>оптически связанным «паразитным» линейным резонатором..... | 111 |
| В.А.Парфенов, Д.В.Дворцов, А.С.Фомин Стабилизация частоты полупроводниковых<br>лазерных диодов по доплеровски уширенным линиям поглощения иода <sup>127</sup> I <sub>2</sub> .....                                                   | 112 |
| В.А.Парфенов, Д.В.Дворцов Исследование зависимости мощности излучения лазерных<br>диодов от режима работы.....                                                                                                                       | 113 |
| П.С.Макарчук, В.Ф.Лебедев, А.П.Погода, В.А.Пономаренко Возможности применения<br>количественного ЛИЭС анализа в процессе лазерной обработки материала.....                                                                           | 114 |
| Н.А.Матвеева, В.В.Яцышен Нелинейная эллипсометрия комбинационных частот для<br>анизотропного одноосного кристалла с оптической осью, лежащей в плоскости<br>падения.....                                                             | 115 |
| Н.М.Моисеева Собственные волны киральных и анизотропных сред.....                                                                                                                                                                    | 116 |
| С.А.Шойдин Влияние параметров лазеров на информационную ёмкость канала связи.....                                                                                                                                                    | 117 |
| М.С.Баранов, К.И.Немков, В.Н.Храмов Применение оптических notch-фильтров для<br>монохроматизации излучения полупроводниковых лазеров.....                                                                                            | 118 |
| Л.К.Ермаков Волны электростатики.....                                                                                                                                                                                                | 119 |
| А.П.Бережной, Т.Бак, Л.Б.Ликумович, А.В.Медведев, М.Мюллер, М.Райт Опросное<br>устройство для волоконно-оптических датчиков на брегговских решетках.....                                                                             | 120 |

|                                                                                                                                                                                                                                |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| А.К.Вишератина, И.В.Мартыненко, А.О.Орлова Исследование условий формирования и стабильности комплексов на основе квантовых точек ZnS, допированных ионами $Mn^{2+}$ , с молекулами хлорина еб.....                             | 121 |
| Д.Р.Деветьяров, О.И.Котов, А.В.Медведев, И.Е.Чапало Исследование сигналов межмодовой интерференции на выходе оптического волокна при помощи ПЗС-матрицы.....                                                                   | 122 |
| О.И.Котов, И.Е.Чапало, А.В.Медведев Контроль модового состава излучения вдоль многомодового волоконного тракта.....                                                                                                            | 123 |
| О.И.Котов, И.Е.Чапало, А.В.Медведев Межмодовые волоконные интерферометры с изменением модового состава вдоль световода.....                                                                                                    | 124 |
| Л.Б.Лиокумович, А.В.Медведев, А.С.Мязин, В.М.Петров Анализ поляризационных рассогласований в схеме волоконно-оптического датчика электрического поля.....                                                                      | 125 |
| С.А.Куценко, Б.П.Аношин Оценка размеров частиц в дисперсных средах методом лазерной дифракции.....                                                                                                                             | 126 |
| Д.С.Перевозник, Е.Т.Аксенов Модифицированный биометрический датчик с лазерным спектральным каналом.....                                                                                                                        | 127 |
| С.Н.Менсов, М.А.Морозова, Ю.В.Полуштайцев Формирование голографических линз при фотополимеризации нестационарным излучением.....                                                                                               | 128 |
| Н.М.Кожевников Влияние контраста интерференционной картины на отношение сигнал/шум динамического голографического интерферометра.....                                                                                          | 129 |
| В.Ф.Лебедев, Г.В.Бурковский Режимы генерации импульсного Nd-YAG-лазера с поперечной полупроводниковой накачкой с многопетлевым самонакачивающимся ОВФ-резонатором и оптически связанным «паразитным» линейным резонатором..... | 130 |
| А.А.Карнаухов, В.Б.Морозов, А.Н.Оленин, Д.В.Яковлев Исследование влияния на величину джиттера параметров процесса генерации в пикосекундном импульсно-периодическом лазере.....                                                | 131 |
| Н.А.Ушаков, Л.Б.Лиокумович, С.А.Михайлов Регистрация абсолютной величины быстрых колебаний базы интерферометра Фабри-Перо методами частотно-сканирующей интерферометрии.....                                                   | 132 |
| Н.А.Ушаков, Л.Б.Лиокумович, С.А.Михайлов Мультиплексирование датчиков на основе внешних волоконных интерферометров Фабри-Перо.....                                                                                             | 133 |
| Н.А.Ушаков, Н.Б.Радчук, А.Ю.Ушаков Оптические свойства металлических наночастиц пленённых молекулами арабиногалактана.....                                                                                                     | 134 |
| В.Е.Прокопьев, В.В.Удуд, А.В.Удуд, А.Н.Солдатов, В.К.Стефлекова Медицинская установка для экспресс-анализа химического состава лекарственных средств спектроскопическими методами.....                                         | 135 |
| А.Н.Солдатов, А.В.Васильева, Я.А.Лоева Лазерная абляция костных тканей в ИК диапазоне.....                                                                                                                                     | 136 |
| А.Н.Солдатов, Ю.П.Полунин, А.В.Васильева Высокочастотный лазер на парах стронция.....                                                                                                                                          | 137 |
| А.Н.Солдатов, Ю.П.Полунин, И.В.Реймер, С.Ю.Мирза, А.В.Васильева Лазерная резка хрупких материалов.....                                                                                                                         | 138 |
| А.П.Ушаков, А.И.Петров Области применения и преимущества бесконтактной лазерной вибродиагностики.....                                                                                                                          | 138 |
| С.В.Половченко О влиянии вида функции распределения частиц по размерам на характеристики однократного рассеяния.....                                                                                                           | 140 |
| А.Н.Петров, А.В.Шамрай, В.М.Петров Информационные характеристики интегрально-оптических фильтров для DWDM.....                                                                                                                 | 141 |
| А.П.Погода, В.М.Петров Спектральная селективность отражательных голограмм в $BaTiO_3:Co$ .....                                                                                                                                 | 142 |
| В.М.Петров, А.В.Шамрай, И.В.Ильичёв, К.В.Зайченко Интегрально-оптические технологии для оптической связи и радиофотоники: состояние и перспективы.....                                                                         | 143 |
| Я.А.Криницкий, М.А.Гарсия В.М.Петров, А.В.Хоменко Анализ чувствительности оптического голографического интерферометра на отражательных решетках.....                                                                           | 143 |

|                                                                                                                                                                                                                        |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| В.М.Петров, А.В.Хоменко, Я.А.Криницкий, М.А.Гарсиа Использование давления света для ахроматического фотодетектирования.....                                                                                            | 144 |
| В.Е.Привалов, В.Г.Шеманин Лидарное уравнение для комбинационного рассеяния света с учетом ширины линии лазерного излучения.....                                                                                        | 145 |
| А.А.Кондрахин, Г.В.Мельничук, А.Е.Серебряков, Н.Ю.Тумаков, Е.Г.Чуляев Зеркала активного элемента зеемановского лазера с повышенной разностной частотой.....                                                            | 146 |
| А.Ю.Голяева, П.Ю.Лобанов, И.С.Мануйлович, О.Е.Сидорюк Использование наведенных механических напряжений при формообразовании поверхностей оптических деталей модуляторов нарушенного полного внутреннего отражения..... | 147 |
| Содержание.....                                                                                                                                                                                                        | 148 |