

На правах рукописи

КОКЛЮШКИН Александр Владимирович

ОПТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ И ДИАГНОСТИКА НЕЛИНЕЙНОГО
РЕВЕРСИВНОГО ФОТООТКЛИКА БАКТЕРИОРОДОПСИНА

Специальность 01.04.03 - радиофизика

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Санкт-Петербург
2004 г.

Работа выполнена на кафедре экспериментальной физики Государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет»

Научный руководитель: доктор физико-математических наук,
профессор Кожевников Н.М.

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук,
профессор Котов О.И.
кандидат физико-математических наук,
старший научный сотрудник Брюшинин М.А.

Ведущая организация: Федеральное государственное унитарное предприятие
Всероссийский научный центр «Государственный
оптический институт им. С.И.Вавилова»

Защита состоится 21 октября 2004 года, в 16 ч. 00 мин. на заседании диссертационного совета Д212.229.01 ГОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет» по адресу: 195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, дом 29, 2-ой учебный корпус, ауд.470.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ГОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет»

Автореферат разослан 21 сентября 2004 года

Ученый секретарь

Диссертационного совета Д212.229. 01

доктор физико-математических наук, профессор

Водоватов И.А.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы

Одним из актуальных направлений современной оптоэлектроники является совершенствование оптических интерферометров, осуществляющих регистрацию сигналов фазовой, поляризационной или частотной модуляции. Серьезной проблемой при создании чувствительных интерферометров такого типа является обеспечение надежной работы интерферометра в условиях неизбежных помех, приводящих к нестабильности положения рабочей точки интерферометра, определяемой средней разностью фаз между пучками [1]. Подавление таких помех может быть осуществлено с помощью адаптивных электромеханических систем, однако, несмотря на значительный прогресс в создании подобных интерферометров, такой способ фильтрации низкочастотных помех характеризуется сложностью систем электронной автоподстройки и ограниченным динамическим диапазоном.

Альтернативным способом адаптивной стабилизации рабочей точки интерферометра является использование динамических голографических решеток в качестве смесителей пучков [2,3]. Нелинейные оптические материалы, используемые в таких адаптивных голографических интерферометрах, должны обладать высокой световой чувствительностью и разрешающей способностью, малой инерционностью реверсивного фотоотклика, и т.п. Разнообразие нелинейных материалов, пригодных для использования в когерентных оптических информационных системах, инициировало поиск и разработку таких методов диагностики и управления параметрами нелинейных сред, которые позволили бы прогнозировать и оптимизировать работу адаптивных лазерных интерферометров.

В настоящей диссертации исследуются две методики диагностики нелинейных сред. Первая основана на регистрации дифференциальных (разностных) спектров поглощения (ДСП), позволяющих рассчитать спектральные распределения дифракционной эффективности динамических решеток и их амплитудно-фазовых компонентов. В основе второй методики диагностики нелинейной среды лежит использование оптического интерферометра, который фактически решает обратную задачу – определения параметров среды по результату самодифракции фазомодулированных световых пучков.

Указанные методы диагностики использовались в настоящей диссертации применительно к средам, содержащим бактериородопсин (БР). Являясь типичным реверсивным фоточувствительным материалом со спектрально разделенными полосами поглощения, БР позволяет реализовать чисто оптическое управление голографической записью. Однако вопрос о возможности прогнозирования голографических характеристик БР по его ДСП до сих пор оставался открытым, прежде всего, из-за достаточно сложного характера фотоцикла и быст-

ро достигаемого насыщения среды. Кроме того, работы, посвященные оптическому управлению голографической записью в БР фазомодулированными пучками, выполнялись в основном для случая объемной самодифракции световых пучков [4]. В то же время актуальным с научной и практической точек зрения является самодифракция каналируемых световых пучков в планарных оптических волноводах с фоторефрактивными покрытиями. Исследование этой геометрии оптического смещения, проведенное в диссертации, демонстрирует новые потенциальные возможности применения сред, содержащих БР, в динамической голографической интерферометрии.

Цель работы

Исследование физических процессов, определяющих возможность прогнозирования, диагностики и управления параметрами динамических голографических решеток, формируемых в процессе самодифракции световых пучков в реверсивной фоточувствительной среде на основе БР, в том числе используемой в качестве покрытия планарного оптического волновода.

Задачи исследования

1. Экспериментальное исследование ДСП нелинейных материалов на основе БР с различным соотношением концентраций молекул в *trans*- и *cis*-состояниях.
2. Сопоставление расчетных (по данным ДСП) и экспериментальных значений дифракционной эффективности амплитудно-фазовых решеток в нелинейных средах, содержащих БР, в широком диапазоне интенсивностей записывающих и управляющих световых пучков.
3. Теоретический расчет и экспериментальное исследование эффектов самодифракции каналируемых световых пучков в планарных оптических волноводах с реверсивными фоточувствительными покрытиями.
4. Изучение эффективности оптического управления параметрами динамических голографических решеток, формируемых в реверсивном светочувствительном покрытии на основе БР.

На защиту выносятся следующие научные положения:

1. Дифференциальные спектры поглощения нелинейных реверсивных материалов на основе бактериородопсина позволяют рассчитать спектральные распределения дифракционной эффективности динамических голографических решеток в длинноволновом диапазоне *trans*-полосы поглощения.
2. Насыщение фотоотклика материалов на основе бактериородопсина и его синтетических аналогов удовлетворительно интерпретируются в рамках схемы фотоцикла,

включающей в себя исходное *trans*- и возбужденное *cis*- состояния, что в свою очередь, обуславливает применимость соотношений Крамерса-Кронига для расчета светоиндуцированных оптических характеристик среды.

3. Использование бактериородопсина в качестве покрытия планарного волновода позволяет реализовать эффективную самодифракцию каналируемых фазомодулированных пучков, таким образом, реализуя адаптивный оптический интерферометр.
4. Самодифракция фазомодулированных каналируемых пучков в планарных волноводах с фоторефрактивным покрытием на основе генетически модифицированного бактериородопсина D96N, приводит к оптически управляемому энергообмену с эффективностью, сопоставимой с объемной самодифракцией в аналогичной нелинейной среде.

Научная новизна диссертации

1. В диссертации впервые детально исследованы дифференциальные спектры поглощения (ДСП) нелинейных реверсивных сред, содержащих БР, в условиях интенсивной подсветки этой среды когерентным излучением из полос поглощения *trans*- и *cis*- состояний молекул БР. Показано, что информация, содержащаяся в ДСП, позволяет рассчитать спектральное распределение дифракционной эффективности амплитудно-фазовых решеток, формируемых в этих средах.
2. В отличие от известных публикаций, впервые получено удовлетворительное совпадение экспериментальных и расчетных данных по энергообмену фазомодулированных пучков в нелинейных средах, содержащих БР, в широком диапазоне интенсивностей записывающих пучков.
3. Впервые продемонстрирован эффективный энергообмен фазомодулированных пучков в планарном оптическом волноводе с фоторефрактивным покрытием на основе БР.
4. Впервые изучено влияние внешней подсветки на эффективность самодифракции каналируемых мод в планарном оптическом волноводе с фоточувствительным покрытием на основе БР. В результате этого показано, что управляющее воздействие внешней подсветки может иметь противоположный характер в зависимости от степени насыщения среды.

Практическая значимость результатов работы

Сформулированная выше цель диссертационной работы, определившая направление и характер проводимых исследований, тесно связана с совершенствованием адаптивных голографических интерферометров и расширением области их практического использования. Установленная в диссертации связь спектроскопических и голографических характеристик фоточувствительных сред, содержащих БР, позволяет оперативно, основываясь только на

данных ДСП, прогнозировать чувствительность голографического интерферометра в широком спектральном диапазоне, целенаправлено управлять этой чувствительностью, оптически воздействуя на концентрацию БР в *trans*- и *cis*- состояниях.

Изученный в диссертации адаптивный интегрально-оптический голографический интерферометр на основе планарного оптического волновода с фоточувствительным покрытием представляет несомненную практическую ценность, так как впервые демонстрирует возможность использования фоточувствительных сред в качестве управляющей структуры, пространственно отделенной от среды, где распространяется основная часть излучения. Полученные в результате численные значения параметров модуляции выходного сигнала позволяют ожидать чувствительность регистрации сигнала фазовой модуляции, сравнимую с чувствительностью адаптивного интерферометра на основе объемной самодифракции.

Наконец, рассмотренные схемы управления голографическими характеристиками интерферометра, могут стать прототипом различных устройств оптической обработки информации, таких как оптические переключатели, корреляторы и т.п.

Апробация работы

Результаты проведенных в работе исследований докладывались на международных конференциях: «VII республиканская научная конференция студентов и аспирантов» (Гродно, 1999), «International Quantum Electronic Conference» (Москва, 2002), «CLEO/Europe 2003» (Мюнхен, 2003), «Лазеры, Измерения, Информация» (Санкт-Петербург, 2003, 2004), «XI Conference on Laser Optics» (Санкт-Петербург, 2003), «Оптика 2003» (Санкт-Петербург, 2003), «Современные проблемы физики» (Минск, 2004).

Публикации

Основные результаты диссертации изложены в 8 печатных работах.

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, библиографического списка из 180 наименований, содержит 185 страниц основного текста, включая 54 рисунка.

Личный вклад автора

Все эксперименты, численные расчеты и их анализ выполнены лично автором, за исключением расчетов параметров каналируемых мод и экспериментов, связанных с оптически управляемым энергообменом в нелинейном покрытии планарного волновода, которые проводились совместно с к.ф.-м.н. Липовской М.Ю. Анализ спектрального распределения дифракционной эффективности динамических решеток на основе ДСП и оптически управляемая запись решеток в БР были выполнены под руководством к.ф.-м.н. Королева А.Е. Часть экспериментальных исследований, связанных с записью решеток в фоточувствительном по-

крытии планарных оптических волноводов, выполнялись в 2000 - 2002 г.г. в научно-исследовательском центре «Корнинг» в Санкт-Петербурге.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Введение

Дана общая характеристика диссертационной работы и обоснована ее актуальность. Поставлены цели работы, задачи, приведено краткое содержание глав диссертационной работы, показана ее научная новизна и практическая значимость, сформулированы защищаемые положения.

Первая глава представляет собой обзор литературы. В ней кратко рассматриваются вопросы определения чувствительности оптических интерферометров, стабилизации их рабочей точки, фильтрации низкочастотных помех. Отмечается перспективный метод стабилизации рабочей точки, в котором нелинейные светочувствительные среды используются в качестве смесителей фазомодулированных пучков. Проводится сопоставительный анализ современных методик диагностики нелинейных сред. Рассмотрен нелинейный фотоотклик материалов на основе БР и его аналогов.

Во второй главе представлены результаты измерений светоиндуцированных изменений в спектре поглощения суспензии БР D96N в глицерине. Молекулы БР под действием света могут накапливаться в двух состояниях – основном (*trans*-) и возбужденном (*cis*-), с широкими (~100нм) полосами поглощения, имеющими максимумы на 570нм и 412нм соответственно [5,6]. Результирующий спектр поглощения определяется концентрациями молекул БР в этих состояниях. По спектру поглощения с помощью известных линейных дисперсионных соотношений Крамерса-Кронига можно рассчитать спектральное распределение показателя преломления БР. Однако для прогнозирования голографических экспериментов знание спектра поглощения оказывается недостаточным, так как запись динамических решеток в нелинейной среде, содержащей БР, связана, прежде всего, с пространственной модуляцией соотношения концентраций молекул в указанных состояниях. Именно поэтому для диагностики нелинейного фотоотклика БР необходимо измерение спектров поглощения для разных концентраций молекул БР в двух состояниях, которые варьируются путем изменения интенсивности когерентной засветки среды излучением с длинами волн из полос поглощения *trans*- состояния (В-полоса) и/или *cis* - состояния (М-полоса). Вычитая из измеренных таким образом спектров поглощения исходный спектр, получаем так называемые дифференциальные спектры поглощения (ДСП), на основании которых и рассчитывается спектральное

распределение дифракционной эффективности голографических решеток и их амплитудно-фазовых компонентов.

В §2.1 описывается методика регистрации ДСП при засветке суспензии БР D96N пучками монохроматического излучения из В-полосы (633нм, He-Ne лазер Spectra Physics) и/или из М-полосы (441нм, He-Cd лазер Kimmon Electric), интенсивности которых сопоставимы с интенсивностью насыщения В-полосы поглощения. Спектры поглощения регистрировались с помощью спектрофотометра Cary 500 Scan (Varian) с последующей компьютерной обработкой полученных результатов. Засвечивающие пучки вводились в спектрофотометр с помощью световодного жгута с коллимирующей линзой на выходе. Исходным спектром поглощения для ДСП считался спектр поглощения среды при комнатном освещении, что в большинстве случаев соответствует начальным условиям голографических экспериментов.

В §2.2 анализируются светоиндуцированные изменения в спектре поглощения БР D96N при воздействии либо только красного (633нм), либо только синего (441нм) излучений. Характерное семейство полученных таким образом ДСП показано на рис.1. При засветке среды излучением из М-полосы надежно обнаружено смещение максимума В-полосы в длинноволновую область и «раздвоение» М-полосы, которые иногда в литературе объясняют появлением двух различных *cis*- состояний молекулы БР [6].

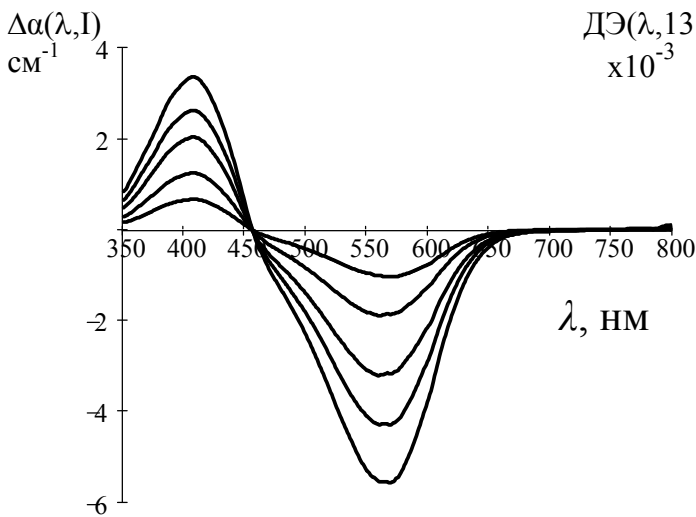


Рис.1 ДСП БР D96N, полученные при освещении среды излучением с $\lambda=633\text{нм}$ с интенсивностью $I=2.3; 4.6; 8.6; 13.5; 18.9 \text{ мВт/см}^2$ (сверху вниз по 570нм)

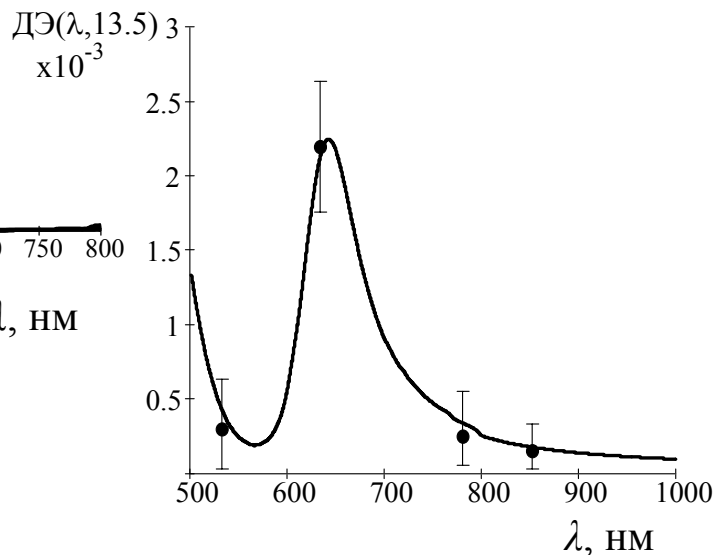


Рис.2 Сравнение рассчитанного спектрального распределения дифракционной эффективности (сплошная линия) с эффективностью считывания, полученной экспериментально

В §2.3 изучены вопросы, связанные с релаксацией БР и точностью воспроизведения исходного спектра поглощения после возбуждения среды дополнительной засветкой. Эти результаты имели большое значение для отработки методики спектрофотометрических измерений ДСП. Было обнаружено, что после прекращения действия как синего (441нм), так и красного света (633нм) повторное спектрофотометрирование регистрирует небольшой рост поглощения в В-полосе относительно исходного спектра поглощения и смещение ее максимума. Время восстановления формы исходного спектра поглощения после прекращения возбуждения синим светом (441нм), достигало 150 мин независимо от интенсивности освещения, что учитывалось при регистрации этой серии ДСП.

В §2.4 приводятся результаты измерения ДСП при одновременном возбуждении суспензии БР D96N излучением с $\lambda_B = 633\text{нм}$ и с $\lambda_M = 441\text{нм}$. Было установлено, что суммарное действие указанных излучений может оказаться не равным сумме воздействий, полученных в результате их независимого возбуждения среды. Определены спектральные области, где аддитивность двухдлинноволнового возбуждения не выполняется, а также такие соотношения интенсивностей, при котором действие синего света ($\lambda_M = 441\text{нм}$) увеличивает, уменьшает или не изменяет поглощения, вызванного красным излучением ($\lambda_B = 633\text{нм}$).

Третья глава посвящена расчету по измеренным ДСП спектрального распределения дифракционной эффективности динамических амплитудно-фазовых решеток в БР D96N с учетом насыщения и сопоставлению результатов этого расчета с экспериментальными данными, полученными методами зондирования (считывания) решетки слабым пучком и методом, основанном на самодифракции фазомодулированных пучков.

В §3.1 кратко рассматриваются особенности применения соотношений Крамерса-Кронига для расчета светоиндуцированных изменений поглощения $\Delta\alpha$ и преломления среды Δn . В основе расчета лежит полученное в [7] интегральное соотношение

$$\Delta n(\lambda', I) = -\frac{\lambda'^2}{2\pi^2} \text{v.p.} \int_{\lambda_0}^{\lambda_f} \frac{\Delta\alpha(\lambda, I)}{\lambda^2 - \lambda'^2} d\lambda \quad (1)$$

где λ_0 и λ_f граничные длины волн изменений спектра поглощения (СП), I - интенсивность, $\Delta\alpha(\lambda, I) = \alpha(\lambda, I) - \alpha(\lambda, 0)$. Принципиальное отличие этого равенства от линейного соотношения Крамерса-Кронига состоит в том, что интегрирование в (1) ведется на ограниченном спектральном интервале $[\lambda_0, \lambda_f]$. При этом предполагается, что зависимости $n(\lambda, I)$ и $\alpha(\lambda, I)$ для любых интенсивностей I связаны линейными дисперсионными соотношениями Крамерса-Кронига. Следующим шагом в определении спектрального распределения дифракционной

эффективности динамических решеток по ДСП является учет эффекта насыщения фотоотклика среды, который проявляется в искажении профиля решетки при синусоидальной заливке среды интерференционной картиной двух когерентных пучков. В нашем конкретном случае возбуждения В-полосы поглощения молекул БР, светоиндуцированные изменения оптических свойств БР определяются соотношением концентраций молекул БР в двух состояниях, что позволило нам определить интенсивность насыщения, не выходя за рамки модели двухуровневой среды [8].

В §3.2 приводится расчет спектрального распределения дифракционной эффективности динамической амплитудно-фазовой решетки, формируемой в БР D96N, который обнаруживает максимум в области 650нм. Для определения нелинейных спектральных изменений показателя преломления суспензии БР при ее возбуждении красным светом (633нм) и последующей оценки спектрального распределения дифракционной эффективности динамической решетки проводилось численное интегрирование соответствующих ДСП. Было обнаружено, что в диапазонах 350-410нм и 550-600нм преобладает амплитудный вклад, а в диапазонах 450-500нм, 650-1000нм - фазовый вклад в дифракционную эффективность динамической решетки. Оцениваются спектральные распределения дифракционной эффективности при учете нелинейного изменения прозрачности среды на длине волны записи. Исследуется зависимость рассчитанного соотношения $\Delta n/\Delta\alpha$ от интенсивности. Показано, что это отношение не зависит от интенсивности, что и должно быть в рамках принятой модели среды.

В §3.3 приводится описание экспериментальной установки для записи и одновременного считывания динамических решеток в бактериородопсине D96N. Запись-считывание решетки осуществлялось непрерывным лазерным излучением на длине волны 633нм, считывание - на длинах волн 532нм, 633нм, 780нм, 852нм. Приводятся результаты измерения дифракционной эффективности при считывании решетки на указанных длинах волн в зависимости от интенсивности считывающих пучков. Для сравнения экспериментальных результатов с результатами, расчета на основе ДСП, измеренные значения дифракционной эффективности редуцировались к нулевой интенсивности считывающего пучка (рис. 2). На этом рисунке спектральное распределение дифракционной эффективности рассчитано по ДСП, полученному при возбуждении БР красным светом (633нм) с интенсивностью 13.5мВт/см^2 . Максимальное значение дифракционной эффективности лежит в области 650нм и составляет $\sim 2.2 \times 10^{-3} \%$.

В §3.4 методом фазомодулированных пучков измерена дифракционная эффективность амплитудной и фазовой компоненты динамической решетки. Показано, что полученное значение удовлетворительно соответствует рассчитанному по ДСП. Приводятся результаты

прямого измерения амплитудно-фазового вклада в дифракционную эффективность на длине волны 633нм в зависимости от интенсивности записывающих пучков. Зависимости глубин модуляции фотоотклика на первой и второй гармониках от интенсивности (рис. 3) показывают, что насыщение амплитудной и фазовой составляющих происходит одинаково ($I_{\text{нас}} \sim 3 \text{ мВт/см}^2$), что совпадает с результатами расчетов, проводимых на основе спектрофотометрических измерений. Непрерывные линии на рис.3 - результат расчета глубины модуляции выходного сигнала согласно [8]. Из полученных зависимостей, приведенных на рис.3 следует, что прогнозирование голографических характеристик динамических решеток, формируемых в БР возможно в достаточно широком диапазоне интенсивности записывающих пучков.

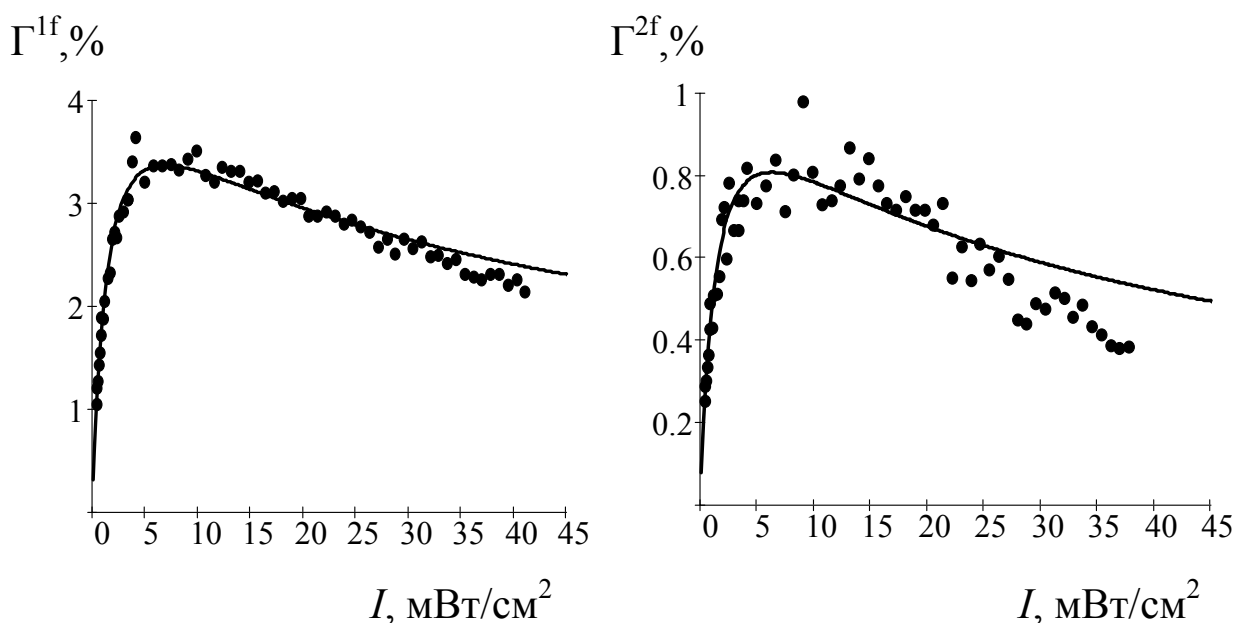


Рис.3 Зависимости эффективности энергообмена от суммарной интенсивности записывающих пучков. Γ^{1f} и Γ^{2f} - глубина модуляции выходного сигнала на первой и второй гармониках частоты ФМ.

В §3.5 приведены результаты экспериментального исследования эффектов насыщения в фоточувствительных средах на основе синтетических аналогов БР: 4-keto-БР, wild-БР, 3,4-didehydro-БР, В-полосы поглощения первых двух сдвинуты относительно 570нм (БР D96N) в коротковолновую область (4-keto-БР, 510нм и wild-БР, 550нм). Положение В-полосы поглощения 3,4-didehydro-БР, также как и БР D96N, расположен в области 570нм. Сопоставление результатов полученных методом ФМП, и спектров поглощения этих сред показывает, что изученная в диссертации связь спектроскопических и голографических характеристик имеет место и в этом случае.

В четвертой главе продемонстрирована возможность записи динамических решеток в нелинейно-оптическом покрытии планарного волновода. В параграфе 4.1 приводятся ре-

зультаты численного расчета профиля показателя преломления планарного волновода, изготовляемого из стекол различных составов, а также модовой структуры такого волновода. Сравниваются различные технологии изготовления планарных волноводов на предмет увеличения доли мощности каналируемого излучения, проникающего в покрытие. Приводятся данные о рассеянии в различных типах волноводов. Отмечается преимущество стекла К8 в качестве подложки одномодовых волноводов с наилучшим оптическим качеством поверхности.

§ 4.2 посвящен записи решеток возбуждения (излучением с длиной волны 633нм) и решеток релаксации (излучением с длиной волны 441нм при одновременной подсветке излучением с длиной волны 633нм) в светочувствительном покрытии планарного волновода, содержащего БР D96N. Описывается экспериментальная установка, и приводятся результаты эксперимента по записи динамических решеток в нелинейно-оптическом покрытии планарного волновода. Покрытие поверхности планарного волновода осуществлялось путем равномерного нанесения тонкого слоя суспензии молекул БР. Показатель преломления суспензии $n=1.467$ был близок к показателю преломления волновода $n_w=1.516$, что способствовало более эффективному проникновению волноводной моды в покрытие. При этом решетки формировались в покрытии «хвостами» волноводных мод, интерферирующих в покрытии. Для детектирования энергообмена волноводных мод применялся метод фазомодулированных пучков. Показана возможность записи как решеток возбуждения (*trans-cis* переход), так и решеток релаксации (*cis-trans* переход) в нелинейном покрытии планарного волновода с эффективностью энергообмена, порядка процента, которая сравнима с эффективностью объемной самодифракции. При этом для формирования решеток релаксации область интерференции двух мод с длинами волн 441нм подсвечивалась сверху (перпендикулярно поверхности волновода) излучением с длиной волны 633нм, насыщающим *trans-cis* переход. Поскольку действие излучения с длиной волны 441нм значительно ускоряет релаксационные процессы в БР [6], то их интерференция в присутствии излучения с длиной волны 633нм также приводит к формированию решетки. В результате записи решеток возбуждения и решеток релаксации при различных интенсивностях записывающего света было установлено, что насыщение эффективности энергообмена, идентично наблюдаемому при записи этих решеток в объеме аналогичной среды [4].

В § 4.3 анализируются возможности управляемого энергообмена интерферирующих волноводных мод в одномодовом планарном волноводе с нелинейно-оптическим покрытием. Для реализации и измерения эффективности управления энергообменом применяется методика фазомодулированных пучков. Запись динамических решеток осуществляется в покры-

тии как излучением с длиной волны из полосы поглощения *trans*-состояния (633нм), так и с длиной волны из полосы поглощения *cis* - состояния (441нм). Наблюдается эффективное управление энергообменом волноводных мод, с помощью однородной внешней засветки области их интерференции. Реализуется полностью интегральная геометрия оптически управляемого энергообмена (рис. 4, 5).

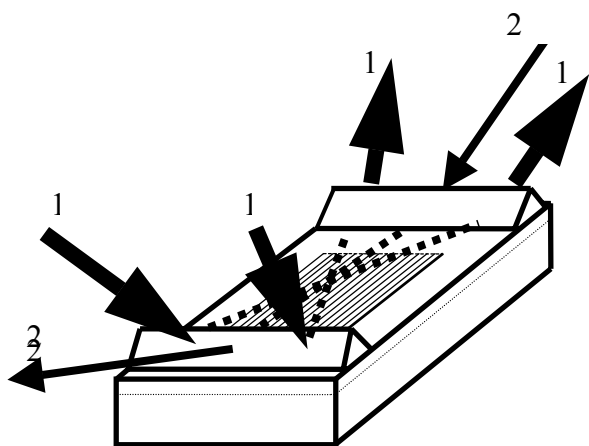


Рис.4 Интегрально-оптическая геометрия записи динамических решеток в нелинейном покрытии планарного волновода, содержащем молекулы BR D96N (запись пучками 1). Управляющий пучок (2) также каналируется волноводом.

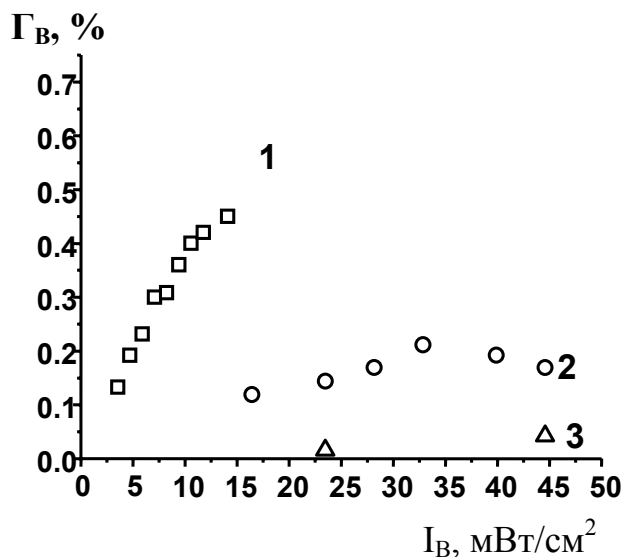


Рис.5 Зависимость глубины модуляции выходного сигнала от интенсивности записывающего излучения (633нм), при различных интенсивностях управляющего света (441нм): 1 -15, 2- 100, 3 -270 мВт/см².

Как в объемном, так и в интегральном варианте наблюдалось эффективное управление энергообменом (как усиление, так и ослабление) с помощью засветки области интерференции излучением другой длины волны, зависящее от степени насыщения среды взаимодействующими пучками и достигающее трех раз. Количественные оценки величины управляемого энергообмена волноводных пучков и пучков, записывающих решетку в объеме суспензии, удовлетворительно согласуются друг с другом.

В заключении сформулированы основные результаты работы:

1. Экспериментально исследованы дифференциальные спектры поглощения (ДСП) суспензии BR D96N при возбуждении красным (633нм) и/или синим (441нм) светом в широком диапазоне интенсивностей. Показано, что одновременное воздействие этих пучков приводит к их неаддитивному вкладу в светоиндуцированные изменения поглощения и обуславливает возможность чисто оптического управления голографическими процессами.

2. На основе ДСП рассчитаны спектральные распределения светоиндуцированных изменений показателя преломления и дифракционной эффективности динамических амплитудно-фазовых голографических решеток, формируемых в БР D96N и синтетических аналогах БР.
3. Методом фазомодулированных пучков показано, что зависимости амплитудных и фазовых вкладов от интенсивности записывающих пучков на длине волны 633нм удовлетворительно прогнозируются универсальной функцией, описывающей энергообмен фазомодулированных пучков в двухуровневой среде, а соотношение указанных вкладов на этой длине волны (1:15) удовлетворительно совпадает с оценками, полученными по ДСП (1:10).
4. Экспериментально реализована эффективная самодифракция каналируемых мод на динамических решетках, формируемых в нелинейно-оптическом покрытии планарного волновода, содержащем БР D96N.
5. Экспериментально достигнуто оптическое управление энергообменом двух каналируемых мод, формирующих решетки возбуждения и релаксации в нелинейном покрытии планарного волновода, с помощью излучения волноводной моды на длине волны 441нм (или 633нм) с эффективностью, сопоставимой с эффективностью оптически управляемой записи в объеме аналогичной среды.
6. Экспериментально показано, что насыщение амплитудных и фазовых компонент динамических решеток, формируемых в средах, содержащих генетически модифицированный БР D96N, а также его синтетические аналоги, происходит одинаковым образом, что свидетельствует об отсутствии вклада в фотоотклик промежуточных интермедиатов фотоцикла БР.
7. Максимальная чувствительность диагностики фотоотклика методом фазомодулированных пучков достигается при амплитудах a фазовой модуляции, соответствующих первому максимуму функции $J_0(a)J_1(a)$ и второму максимуму $J_0(a)J_2(a)$, где $J_i(a)$ – функции Бесселя i -го порядка.

Цитируемая литература:

1. Воронцов М.А, Шмальгаузен В.И. Принципы адаптивной оптики. - М.: Наука, 1985.
2. Андропова И.А, Бернштейн И.Л., Зайцев Ю.И. Предельные возможности лазерной микрофазометрии. - Изв. АН СССР, сер.физ. -1982.- Т.46.- С.1590-1593.
3. Барменков Ю.О., Зосимов В.В, Кожевников Н.М и др. Исследование малых ультразвуковых колебаний методом динамической голографии. - ДАН СССР, сер. физика. – 1986. - Т.290, №5. - С.1095-1098.

4. Кожевников Н.М., Королев А.Е., Липовская М.Ю., Назаров В.Н. Голографическая запись в суспензии бактериородопсина D96N с оптически управляемой инерционностью. - Оптический журнал. – 2000. - Т.67, № 8. - С.27 - 30.
5. Hampp N., Brauchle Ch., Oesterhelt D. Bacteriorhodopsin wildtype and variant aspartate-96 asparagine as reversible holographic media.- Biophys. J. – 1990. - V.58, №1.- P.83-93.
6. Всеволодов Н.Н. Биопигменты-фоторегистраторы: Фотоматериал на бактериородопсине. - М.: Наука, 1988. - 224 с.
7. Hutchings D.C, Sheik-Banae M., Hagan D., Van Stryland E. Kramers-Kronig relations in nonlinear optics. - Optical and Quantum Electronics. – 1992. – V.24. - P.1-30.
8. Кожевников Н.М., Королев А.Е. Связь голографических и спектроскопических характеристик реверсивных фоточувствительных сред, содержащих бактериородопсин. - Оптика. и спектроскопия. – 2002. - Т.93, № 4. - С.691-695.

Основные результаты исследований опубликованы в работах:

1. Кожевников Н.М., Королев А.Е., Коклюшкин А.В., Липовская М.Ю., Назаров В.Н. Запись динамических решеток в нелинейно-оптическом покрытии планарного волновода. Оптика и спектроскопия. – 2003. - Т.94, №4. - С.841-847.
2. Korolev A., Koklushkin A., Nazarov V., Kozhevnikov N., Lipovskaya M. Controlled two-wave mixing in nonlinear coating of planar waveguide. CLEO/Europe 2003. - Europhysics Conference Abstracts. - 2003, V. 27E. - P. CF1T.
3. Коклюшкин А.В., Королев А.Е. Спектральные распределения дифракционной эффективности светоиндуцированных решеток в фотосинтетических реакционных центрах. VII республиканская научная конференция студентов и аспирантов. Физика конденсированных сред. Тезисы докладов. – Гродно: ГрГУ. -1999. - С.112-113.
4. Korolev A., Kozhevnikov N, Koklushkin A., Lipovskaya M., Nazarov V. Real-time grating recording in nonlinear coating of planar waveguide. International Quantum Electronic Conference. Technical Digest. – Moscow: RAS. - 2002.- P.313-314.
5. Коклюшкин А.В., Королев А.Е. Применение дифференциальных дисперсионных соотношений для предсказания параметров динамических голограмм. Научно-практическая конференция «Лазеры, Измерения, Информация 2003», Санкт-Петербург. – 2003. - С.60-62.
6. Коклюшкин А.В., Королев А.Е. Светоиндуцированные изменения в спектре поглощения бактериородопсина при двухдлиноволновом возбуждении. Оптика и спектроскопия. – 2004. - Т. 97, №3. - С.393-398.

7. Кожевников Н.М., Коклюшкин А.В., Королев А.Е., Липовская М.Ю. Оптическое управление записью светоиндуцированных решеток в бактериородопсине. Научно-практическая конференция «Лазеры, Измерения, Информация 2004», Санкт-Петербург. – 2004. - С.48-49.
8. Коклюшкин А.В. Особенности использования дисперсионных соотношений для оценки эффективности четырехволнового смешения. Школа-семинар «Современные проблемы в физике 2004», Минск. – 2004. - С.165-169.