

*Горшков Артем Андреевич*¹,
аспирант;
*Грабчак Владислав Юрьевич*²,
аспирант

**АНАЛИЗ ТЕНДЕНЦИЙ ВЫБОРА ТИПА ДЕТЕКТОРА ДЛЯ
ИК СПЕКТРОСКОПИИ НА ПРИМЕРЕ ПИРОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО
(DLaTGS), КАДМИЙ-РТУТЬ-ТЕЛЛУРОВОГО ДЕТЕКТОРОВ
(HgCdTe) И ДЕТЕКТОРА InAsSb**

^{1,2} Россия, Санкт-Петербург,
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
¹ artem.gorshkov@gmail.com, ² vladislavgc@yandex.ru

Аннотация. В докладе проведен анализ тенденций в вопросах использования промышленно выпускаемых детекторов для ИК спектроскопии, выполненный на примере трех наиболее часто используемых типов последних: пироэлектрического детектора (DLaTGS, LiTaO₃), кадмий-ртуть-теллурического детектора (HgCdTe, МСТ) и детектора InAsSb. Анализ выполнен с учетом сферы и области применения. Основной метрикой интереса к тому или иному типу детектора был выбран объем поминаний в научной литературе от года к году. Для оценки возможности появления новых трендов в ИК спектроскопии был также выполнен анализ упоминания в научных публикациях за последние 10 лет других типов детекторов.

Ключевые слова: ИК-детектор, ИК-спектроскопия, пироэлектрический детектор, DLaTGS, кадмий-ртуть-теллурический детектор, детектор среднего ИК-диапазона, HgCdTe, арсенид индия, InAsSb.

*Artem A. Gorshkov*¹,
Postgraduate Student;
*Vladislav U. Grabchak*²,
Postgraduate Student

**TRENDS ANALYSIS IN THE DETECTOR TYPE CHOOSING FOR
IR SPECTROSCOPY ON EXAMPLES OF PYROELECTRIC
DETECTOR (DLaTGS), CADMIUM-MERCURY-TELLURIUM
DETECTOR (HgCdTe) AND DETECTOR InAsSb**

^{1,2} Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russia,
¹ artem.gorshkov@gmail.com, ² vladislavgc@yandex.ru

Abstract. The report analyzes trends in the use of industrially produced detectors for IR spectroscopy, using the example of the three most frequently used detector types: a

pyroelectric detector (DLaTGS, LiTaO₃), a mercury-cadmium-tellurium detector (HgCdTe, MCT) and an InAsSb detector. The analysis is performed considering the scope and area of application. The main metric of interest in a particular type of detector was chosen to be the volume of citations in scientific literature from year to year. To assess the possibility of new trends in IR spectroscopy, an analysis of citations in scientific publications over the past 10 years of other types of detectors was also performed.

Keywords: IR detector, IR spectroscopy, pyroelectric detector, DLaTGS, cadmium-mercury-tellurium detector, Mid-IR detector, HgCdTe, Indium arsenide, InAsSb.

Введение

Основным элементом средств измерений, используемых для выполнения измерений различных физических величин и регистрации изображений в ИК диапазоне [1, 2], является ИК детектор. При разработке новых ИК спектрометров выбор его типа является ключевым, поскольку по сути дела определяет технологию дальнейшего производства упомянутых приборов. В литературе отмечается, что адаптация ИК спектрометра к использованию детектора нового типа во многих ситуациях по трудозатратам сопоставима с проектированием нового изделия [1]. В связи с этим обстоятельством для ИК спектроскопии как отдельной приборостроительной области актуальным является изучение тенденций выбора ИК детекторов на основе упоминания их типа в публикациях за последние 30 лет. Были рассмотрены три наиболее часто встречающихся на практике типа ИК детекторов: пироэлектрического детектора (DLaTGS, LiTaO₃), кадмий-ртуть-теллурического детектора (HgCdTe, MCT) и детектора InAsSb.

Основные типы ИК детекторов

На практике используется существенное количество способов детектирования ИК излучения [2]. Для выделения наиболее трендовых ИК детекторов были предложены следующие критерии отбора:

- детектор является серийно производящимся как минимум несколькими компаниями на момент упоминания в научных публикациях [3–7];
- количество упоминаний типа детектора в научных публикациях составляет более 300.

Данным требованиям удовлетворяют пироэлектрические детекторы (DLaTGS, LiTaO₃), кадмий-ртуть-теллурические детекторы (HgCdTe, MCT) и детекторы InGaAs, но о последних следует заметить, что они не используются в дальнем ИК диапазоне и лишь частично перекрывают средний ИК диапазон [2], что указывает на ограниченную возможность их отнесения к ИК детекторам в сравнении с остальными перечисленными типами.

ИК-детекторы условно можно разделить на два класса: тепловые и фотонные [2, 8]. В таблице 1 приведены основные преимущества и недостатки упомянутых типов ИК детекторов, влияющие на их выбор и использование при проектировании новых изделий/приборов в области ИК спектрометрии.

Основные достоинства и недостатки ИК детекторов [9]

Тип	Примеры детекторов	Преимущества	Недостатки
тепловой	термопары, боллометрические, пирозлектрические, DLATGS и LiTaO	– работа при комнатной температуре, – надежные, – недорогие	– низкая чувствительность, – медленный отклик
фотонный	HgCdTe	– высокая чувствительность, – простая настройка ширины запрещенной зоны, – хорошо проработанное теоретическое описание, – продолжительный опыт производства (налаженное производство)	– неоднородность на больших поверхностях, – высокая стоимость роста, – нестабильность поверхности, – в производстве используются токсичные компоненты, – необходимость охлаждения
	InAsSb	– высокая чувствительность, – передовая технология, – безопасные материалы	– отсечка при длинах волн более 7–11 мкм (большинство детекторов), – необходимость охлаждения

На основе преимуществ и недостатков, приведенных в таблице 1, а также на основе анализа продуктовых линеек основных производителей из ряда стран [3–7], выделены три основных типа детекторов: DLATGS, HgCdTe, InAsSb.

DLATGS – тип тепловых детекторов с наиболее высокими показателями чувствительности. HgCdTe, InAsSb – фотонные детекторы, обладающие чувствительностью, большей до 40 раз [6, 7] по сравнению с тепловыми детекторами [5, 6], и отвечающие основным требованиям по широте диапазона измерения для ИК спектроскопии.

Библиографические исследования

В таблице 2 представлены результаты анализа количества упоминаний выбранных типов детекторов в научных публикациях в зависимости от ее года выхода. Данные были получены с помощью программного обеспечения Publish or Perish [10], которое извлекает и анализирует содержание научных статей из различных открытых источников, а также результатов запросов в специализированной поисковой системе Google Scholar [11] по ключевым словам. Результаты поиска по словосочетаниям «IR Detector HgCdTe» и «IR Detector МСТ» были объединены, так как обозначают один и тот же тип детектора.

Таблица 2

Упомянутость основных типов ИК детекторов в научной литературе в зависимости от года публикаций

Год	DLATGS	HgCdTe, МСТ	InAsSb
2023	59	17	39
2022	55	25	61
2021	73	16	37
2020	51	26	62
2019	74	26	56
2018	73	21	53
2017	88	28	39
2016	55	28	40
2015	60	34	51
2014	50	37	39
2013	34	29	33
2012	48	33	38
2011	34	35	24
2010	32	31	29
2009	30	24	24
2008	31	38	23
2007	15	29	13
2006	11	32	16
2005	13	33	19
2004	15	29	14
2003	14	28	15
2002	3	8	11
2001	6	27	12
2000	3	22	29
1999	4	20	26
1998	2	31	27
1997	2	17	26
1996	1	20	20
1995	2	29	20
1994	0	13	14
1993	2	20	8
1992	1	24	6
1991	4	20	6
1990	0	13	9
Итого:	945	863	939

Результаты, собранные в табл. 2, также были представлены в графическом виде на рис. 1. Выполнено выделение тренда на основе его описания полиномом третьей степени. По вертикали осей графика, изображенного на рис. 1 отложено количество упоминаний того или иного типа детектора, а по горизонтали – год выхода соответствующих публикаций.

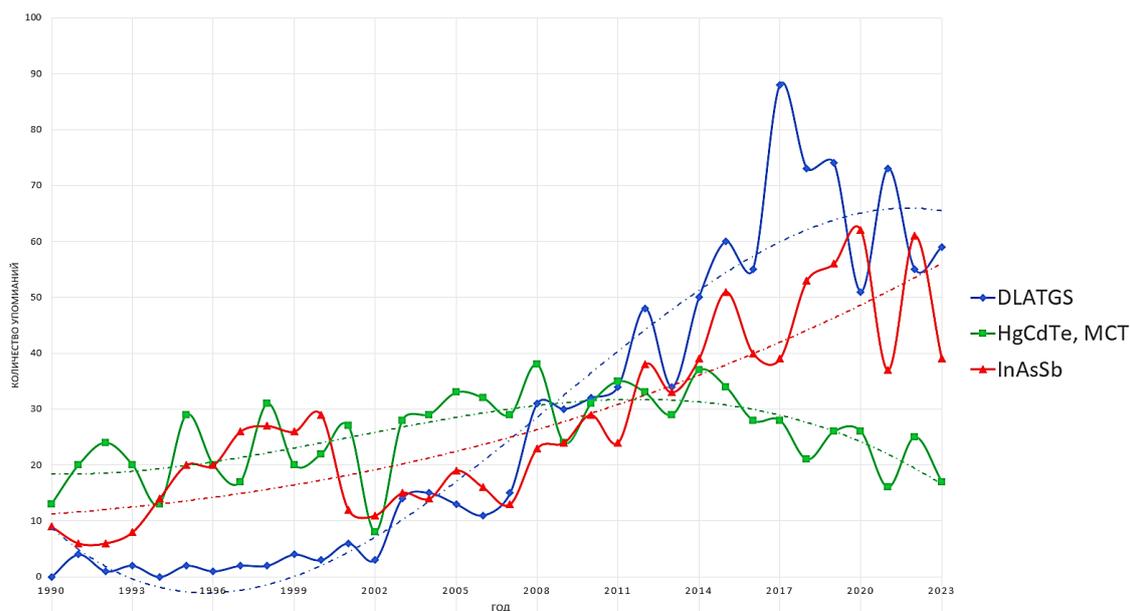


Рис. 1. Количество упоминаний основных типов ИК детекторов в зависимости от года соответствующей научной публикации

Заключение

При сравнении основных свойств разных типов ИК детекторов, приведенных в таблице 1, и их технических характеристик, близкими по величине чувствительности и ширине диапазона измерения являются детекторы HgCdTe и InAsSb [4, 6, 7]. Детекторы DLATGS, имея более широкий диапазон, существенно проигрывает по уровню чувствительности, оказывающемуся ниже более чем в сорок раз [4, 6, 7].

При сравнении детекторов HgCdTe и InAsSb оказывается, что детекторы InAsSb упоминаются как имеющие преимущества по сравнению с детекторами HgCdTe: они имеют более совершенную технологию производства и изготавливаются из безопасных материалов [4, 9, 12], что хорошо коррелирует с растущим числом их упоминаний в научных публикациях (и повышающимся трендом на рис. 1). Частота упоминаний же детекторов HgCdTe в литературе имеет нисходящий тренд. Цитирование детекторов DLATGS имеет возрастающий тренд (см. рис. 1) с тенденцией выхода на плато, что может определяться следующими преимуществами данного типа ИК детекторов: более широкий диапазон измерения, более низкая стоимость [4, 6, 7].

Список литературы

1. Михеев С. В. Основы инфракрасной техники. – СПб: Ун-т ИТМО, 2017. – 127 с.
2. Rogalski A. Infrared detectors. – Boca Raton, FL: CRC Press, Taylor & Francis, 2011. – 900 p.
3. Infrared detectors [Электронный ресурс] // vigophotonics.com [сайт]. – URL: <https://vigophotonics.com/products/infrared-detectors/> (дата обращения: 07.06.2024).

4. Infrared detectors. Sensors and modules for infrared light detection [Электронный ресурс] // www.hamamatsu.com [сайт]. – URL: <https://www.hamamatsu.com/jp/en/product/optical-sensors/infrared-detector.html> (дата обращения: 07.06.2024).
5. Products [Электронный ресурс] // www.beleadsensor.com [сайт]. – URL: <http://www.beleadsensor.com/en/h-col-104.html> (дата обращения: 07.06.2024).
6. Infrared sensor technology [Электронный ресурс] // www.infratec.eu [сайт]. – URL: <https://www.infratec.eu/sensor-division/> (дата обращения: 07.06.2024).
7. Фотодиоды для средней инфракрасной области спектра (2–6 мкм) [Электронный ресурс] // www.ioffeled.com [сайт]. – URL: http://www.ioffeled.com/index.php?option=com_content&view=article&id=50&Itemid=104 (дата обращения: 07.06.2024).
8. Handbook of II-VI semiconductor-based sensors and radiation detectors: volume 1, materials and technology / G. Korotcenkov (Ed.) – Springer nature, 2023. – 527 p.
9. Rogalski A. Infrared detectors: status and trends // Progress in quantum electronics. – 2003. – Vol. 27(2–3). – Pp. 59–210.
10. Publish or perish. [Электронный ресурс] // harzing.com [сайт]. – URL: <https://harzing.com/resources/publish-or-perish> (дата обращения: 07.06.2024).
11. Google Scholar [Электронный ресурс]. – URL: <https://scholar.google.com/> (дата обращения: 07.06.2024).
12. InAs/InAsSb Detectors [Электронный ресурс] // vigophotonics.com [сайт]. – URL: <https://vigophotonics.com/products/infrared-detectors/inas-and-inassb-detectors/> (дата обращения: 07.06.2024).