

**БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩИЙ ИК-СПЕКТРОГРАФ (0,5–3,0 мкм)
НА ОСНОВЕ ГИБРИДНОГО МОДУЛЯ 1 × 384 InAs**

**В. М. Базовкин, Н. А. Валишева, А. А. Гузев,
В. М. Ефимов, А. П. Ковчавцев, Г. Л. Курышев, И. И. Ли,
В. Г. Половинкин, А. С. Строганов**

*Институт физики полупроводников им. А. В. Ржанова СО РАН, г. Новосибирск
E-mail: PVG@isp.nsc.ru*

Представлена конструкция и параметры ИК-спектрографа на базе монохроматора-спектрографа MS2004I и гибридной микросхемы фотоприемного устройства линейчатого типа 1 × 384 на основе InAs, предназначенного для регистрации быстротекущих процессов (время регистрации от 0,2 мс). Получено спектральное разрешение 0,3 нм/элемент на длине волны 1,7 мкм. Диапазон длин волн, регистрируемый при фиксированном положении дифракционной решетки, для этой длины волны равен 118 нм.

Введение. Фотоприемные устройства (ФПУ) линейчатого типа позволяют создавать быстродействующие спектрографы, с помощью которых за короткое время (0,2–50 мс) может быть записан спектр излучения или пропускания исследуемого объекта. Спектрографы такого типа хорошо известны и широко применяются в видимом диапазоне длин волн. Создание скоростных спектрографов ближнего ИК-диапазона (1–3 мкм), характерного для валентных колебаний многих известных молекул и молекулярных комплексов, сдерживается отсутствием многоэлементных ФПУ этого диапазона.

Основным типом приемников в высококачественных ИК-системах остаются охлаждаемые гибридные ИК ФПУ, которые сочетают достоинства ИК-фотоприемников на узкозонных материалах или многослойных квантоворазмерных гетероструктурах с высоким качеством кремниевых устройств считывания [1]. В [2] описан гибридный модуль 1 × 384 InAs для спектрометрических приложений.

Цель данной работы – представить конструкцию и параметры быстродействующего спектрографа на диапазон длин волн 1–3 мкм, предназначенного для исследований кинетики спектров излучения и поглощения.

Спектрометрический модуль. Фоточувствительная линейка для спектрометрического модуля содержит однорядную линейку из 384 МДП-конденсаторов с шагом 25 мкм. Размер фоточувствительной области 17 × 300 мкм. Для улучшения частотно-контрастной характеристики ФПУ зазоры между фотоприемниками защищены металлическим экраном. Контактные площадки для подключения к мультиплексору расположены с двух сторон с шагом 50 мкм.

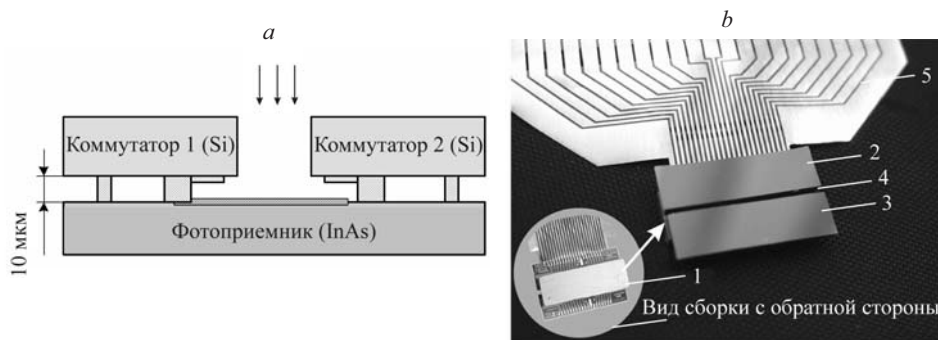


Рис. 1. Спектрометрический модуль: *a* – схематическая конструкция; *b* – модуль в сборе (1 – полупроводниковый кристалл с фотоприемной линейкой; 2, 3 – кремниевые мультиплексоры; 4 – щель, через которую на фотоприемную линейку попадает излучение; 5 – полиимидный шлейф (показан с одной стороны))

Кремниевый мультиплексор (тип Ф-408, разработка ИФП СО РАН) обеспечивает возможность считывания фотосигналов как с МДП-фотоприемников, так и с фотодиодов. Фоточувствительные элементы работают в режиме неравновесного обеднения. Считывание сигнала производится одновременно со всех элементов прямой инжекцией заряда в устройство ввода кремниевое мультиплексора, вывод считанных сигналов – последовательно на один выход мультиплексора.

Более подробное описание мультиплексора можно найти в работе [2]. Спектрометрический модуль собирался методом групповой холодной сварки фотоприемной линейки и двух кремниевых мультиплексоров. Для этого на линейке и на мультиплексоре изготавливались индиевые столбики высотой 5–7 мкм.

Схематическая конструкция модуля и его общий вид представлены на рис. 1. Собранный модуль устанавливался в заливной вакуумный криостат с угольным геттером. Основные параметры криостата: объем жидкого азота 0,2 л; теплоприток 0,52 Вт; время непрерывной работы без дозаправки азотом ≥ 10 ч; температура платформы 80 ± 2 К; время выхода на режим 10 мин; масса (без азота) 1,2 кг; объем контейнера для активированного угля $20,7 \text{ см}^3$; габариты $104 \times 83 \times 155$ мм; расстояние от ФПУ до наружной поверхности окна 12 ± 1 мм; максимальное число электрических выводов 32; расчетное время удержания вакуума в криостате ~ 11 лет. Общий вид криостата показан на рис. 2.

Для управления работой спектрометрического модуля, считывания сигналов с элементов и их передачи в персональный компьютер (ПК) разработан и изготовлен оригинальный электронный блок, подключаемый к ПК через интерфейс USB 2.0. Блок состоит из двух частей: аналоговой и интерфейсной (рис. 3). Питание блока осуществляется от шины USB. Потребляемая мощность не более 1 Вт. Для оцифровки полезного сигнала применяется 12-разрядный АЦП AD9235 фирмы “Analog Devices” с максимальной частотой выборки 20 МГц. Для передачи данных в ПК через интерфейс USB 2.0 используется контроллер CY7C 68013A. Работа контроллера в режиме High Speed позволяет реализовать скорость обмена до 4200 спектр./с. Минимальное время накопления фотосигналов в ячейках линейки определяется временами параллельного считывания и последовательного вывода сигнала со

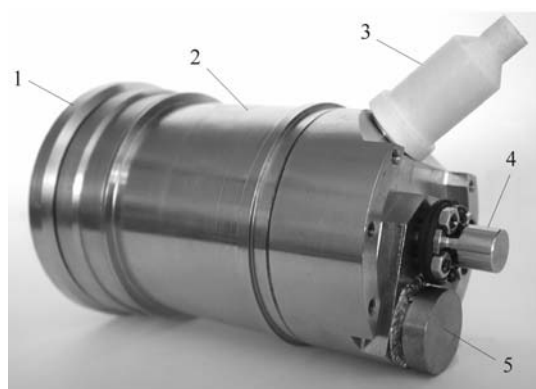


Рис. 2. Криостат: 1 – фланец с оптическим окном, 2 – корпус криостата, 3 – заливочная горловина, 4 – защитная крышка вакуумного штенгеля, 5 – защитная крышка электрического разъема

всех элементов и равно 0,23 мс. Предусмотрена возможность кратного увеличения этого времени до 128 раз. Реально максимальное время накопления ограничивается величиной фонового потока и равно примерно 20 мс. При времени накопления 10 мс были проведены измерения обнаружительной способности D^* . Получено среднее значение $D^* \approx 1,5 \cdot 10^{12} \text{ см} \cdot \text{Гц}^{1/2} \cdot \text{Вт}^{-1}$. Лишь несколько элементов имели избыточные шумы, их D^* не хуже $0,5 \times 10^{12} \text{ см} \cdot \text{Гц}^{1/2} \cdot \text{Вт}^{-1}$. Динамический диапазон не менее 1000.

Монохроматор. В качестве спектрального прибора выбран монохроматор-спектрограф MS2004I фирмы “Solar ТП” (г. Минск, Беларусь) [3]. Это полностью автоматизированный прибор, управляемый от ПК через интерфейс RS232. Предусмотрены выбор по команде от ПК одной из четырех предварительно установленных решеток, управление углом поворота решетки (длиной волны), шириной входной щели от 0 до 2 мм с шагом 0,5 мкм. При выборе решетки 400 штрих./мм монохроматор имеет рабочий диапазон длин волн 1135–3400 нм. Обратная линейная дисперсия на длине волны в

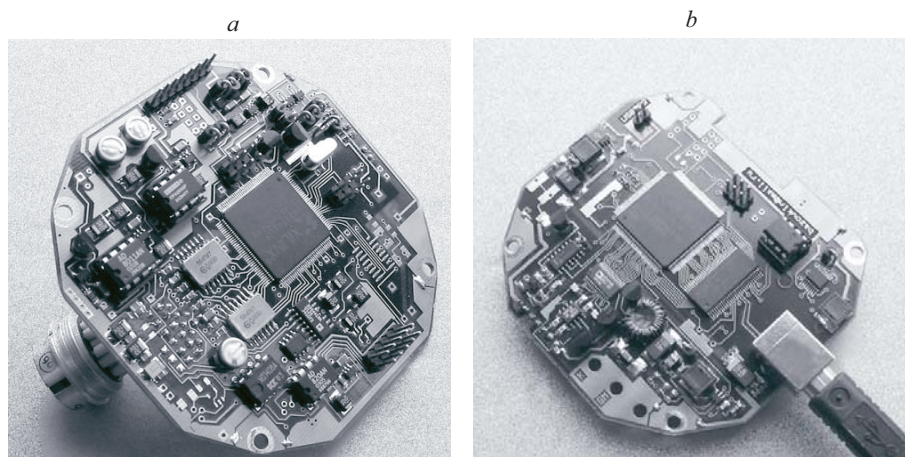


Рис. 3. Блок электроники: а – электронная плата, подключаемая к криостату; б – интерфейсная электронная плата, подключаемая к шине USB



Рис. 4. Спектрограф 1 × 384 InAs

углу блеска решетки (1700 нм) составляет 12,34 нм/мм, что позволяет получить спектральное разрешение 0,31 нм/элемент. При этом одновременно регистрируемый фотоприемным модулем диапазон длин волн равен 118 нм. При выборе решетки 1200 штрих./мм рабочий диапазон смещается в сторону коротких длин волн 400–1200 нм. Общий вид спектрографа, состоящего из монохроматора-спектрографа и спектрометрического ФПУ, представлен на рис. 4.

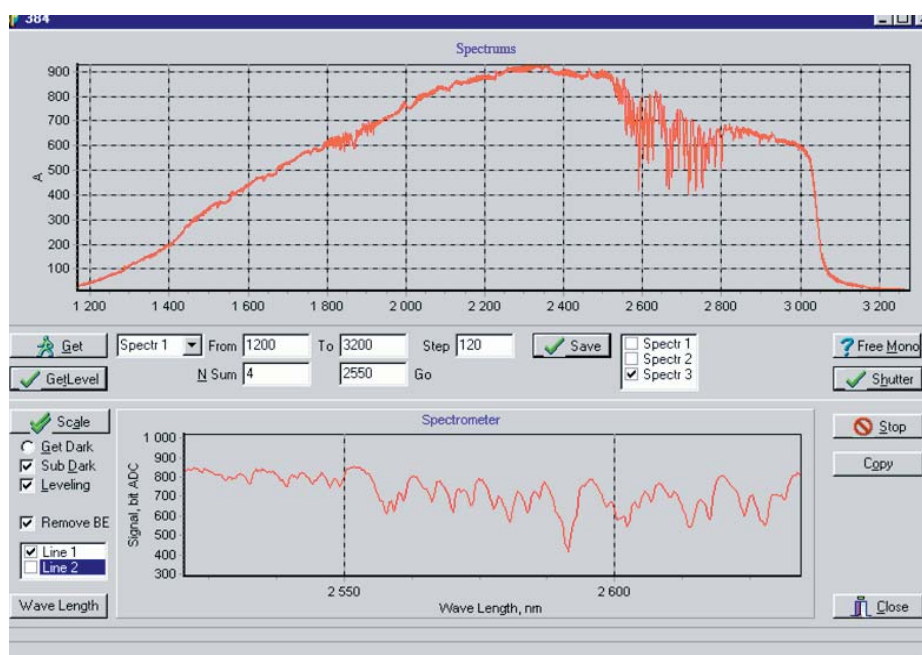


Рис. 5. Окно программы Spectrums

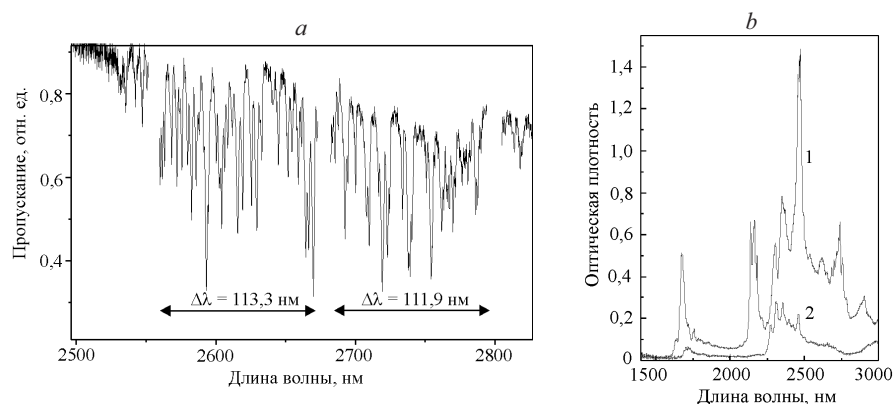


Рис. 6. Измеренные спектры: *a* – спектр пропускания атмосферы (поглощение на парах воды) на оптическом пути ИК-излучения длиной $\sim 0,5$ м (комнатная атмосфера внутри монохроматора); время накопления одного спектра 10 мс; показаны участки спектра, регистрируемые при фиксированных углах поворота решетки монохроматора; *b* – спектры поглощения листа полиметилметакрилата толщиной 2 мм (кривая 1) и полистирольной пленки толщиной 0,1 мм (кривая 2)

Специализированное программное обеспечение Spectrums 384 позволяет:

- выводить на монитор текущие значения сигнала на элементах линейки;
- суммировать отдельные спектры для увеличения отношения сигнал/шум;
- управлять углом поворота решетки (центральной длиной волны);
- управлять шириной входной щели;
- преобразовывать номера элементов фотоприемной линейки в длину волны при различных углах поворота решетки;
- измерять обзорные спектры, комбинируя фрагменты, полученные при различных углах поворота решетки;
- вычислять отношение двух спектров (спектр пропускания);
- создавать каталог спектров на жестком диске и дискетах.

Окно программы Spectrums 384 показано на рис. 5.

Примеры спектров, полученных на спектрографе, представлены на рис. 6. Характерный спектр пропускания паров воды комнатной атмосферы при относительной влажности $\sim 65\%$ и температуре $22\text{ }^\circ\text{C}$ показан на рис. 6, *a*. При измерении обзорного спектра число необходимых поворотов дифракционной решетки зависит от выбранного спектрального диапазона. Примеры спектров поглощения различных пленок приведены на рис. 6, *b*.

Заключение. Представлен разработанный и изготовленный быстродействующий спектрометрический модуль 1×384 InAs для длин волн $0,5\text{--}3,0$ мкм. Спектральная область $2\text{--}3$ мкм характерна для валентных колебаний многих известных молекул. Проведено сопряжение модуля с монохроматором-спектрографом MS2004I. Разработана программа для управления спектрометрическим модулем и монохроматором. На примерах спектров органических материалов продемонстрированы возможности спектрографа. Опытные экземпляры, созданные при поддержке Фонда Бортника и программы СО РАН «Импортозамещение», с успехом используются в Институте физики

полупроводников СО РАН и Институте химической кинетики и горения СО РАН.

Прибор может применяться для исследования кинетики спектров поглощения и люминесценции продуктов радиационно-химических, фотохимических и химических реакций при исследовании процессов в молекулярных системах и полупроводниковых материалах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Рогальский А.** Инфракрасные детекторы: Пер. с англ. Новосибирск: Наука, 2003.
2. **Базовкин В. М., Валишева Н. А., Ефимов В. М. и др.** Гибридное фотоприемное устройство на основе линейки 1×384 InAs МДП-структур для спектрометрических применений // Прикладная физика. 2003. № 6. С. 85.
3. **www.solartii.com**

Поступила в редакцию 4 мая 2007 г.
