

НАНОФИЗИКА И НАНОЭЛЕКТРОНИКА

XXIX СИМПОЗИУМ

10 – 14 марта 2025 года, Нижний Новгород

Тезисы докладов

Нижний Новгород
2025

НАНОФИЗИКА И НАНОЭЛЕКТРОНИКА. XXIX симпозиум (Нижний Новгород, 10–14 марта 2025 г.): **Тезисы докладов.** — Нижний Новгород, 2025.

Организаторы

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Отделение физических наук РАН
Научный совет РАН по физике полупроводников
Научный совет РАН по физике конденсированных сред
Институт физики микроструктур РАН
Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского
Благотворительный фонд «От сердца к сердцу»

Программный комитет

А. В. Акимов, к.ф.-м.н.	РКЦ, ФИАН им. П. Н. Лебедева РАН, Москва
А. Ю. Аладышкин, д.ф.-м.н.	ИФМ РАН, Нижний Новгород
В. В. Бельков, д.ф.-м.н.	ФТИ им. А. Ф. Иоффе РАН, Санкт-Петербург
И. С. Бурмистров, д.ф.-м.н.	ИТФ им. Л. Д. Ландау РАН, Черноголовка
В. А. Бушуев, д.ф.-м.н.	МГУ им. М. В. Ломоносова, Москва
В. А. Быков, д.т.н.	NT-MDT Spectrum Instruments, Москва
В. А. Волков, д.ф.-м.н.	ИРЭ им. В. А. Котельникова РАН, Москва
В. И. Гавриленко, д.ф.-м.н.	ИФМ РАН, Нижний Новгород
<u>С. В. Гапонов</u> , академик РАН	ИФМ РАН, Нижний Новгород
А. Б. Грановский, д.ф.-м.н.	МГУ им. М. В. Ломоносова, Москва
К. Н. Ельцов, д.ф.-м.н.	ИОФ им. А. М. Прохорова РАН, Москва
С. В. Зайцев-Зотов, д.ф.-м.н.	ИРЭ им. В. А. Котельникова РАН, Москва
С. В. Иванов, д.ф.-м.н.	ФТИ им. А. Ф. Иоффе РАН, Санкт-Петербург
Е. Л. Ивченко, академик РАН	ФТИ им. А. Ф. Иоффе РАН, Санкт-Петербург
В. В. Кведер, академик РАН	ИФТТ РАН, Черноголовка
З. Ф. Красильник, чл.-корр. РАН	ИФМ РАН, Нижний Новгород (<i>председатель</i>)
И. В. Кукушкин, академик РАН	ИФТТ РАН, Черноголовка
В. Д. Кулаковский, чл.-корр. РАН	ИФТТ РАН, Черноголовка
А. В. Латышев, академик РАН	ИФП им. А. В. Ржанова СО РАН, Новосибирск
А. С. Мельников, д.ф.-м.н.	ИФМ РАН, Нижний Новгород
М. А. Миляев, д.ф.-м.н.	ИФМ им. М. Н. Михеева УрО РАН, Екатеринбург
В. Л. Миронов, д.ф.-м.н.	ИФМ РАН, Нижний Новгород
С. В. Морозов, д.ф.-м.н.	ИФМ РАН, Нижний Новгород
С. А. Никитов, академик РАН	ИРЭ им. В. А. Котельникова РАН, Москва
А. В. Новиков, д.ф.-м.н.	ИФМ РАН, Нижний Новгород
Д. В. Рощупкин, д.ф.-м.н.	ИПТМ РАН, Черноголовка
В. В. Рязанов, д.ф.-м.н.	ИФТТ РАН, Черноголовка
А. В. Садовников, к.ф.-м.н.	СГУ им. Н. Г. Чернышевского, Саратов
М. В. Сапожников, д.ф.-м.н.	ИФМ РАН, Нижний Новгород
А. А. Саранин, чл.-корр. РАН	ИАПУ ДВО РАН, Владивосток
Д. А. Татарский, к.ф.-м.н.	ИФМ РАН, Нижний Новгород (<i>учёный секретарь</i>)
Ю. А. Филимонов, д.ф.-м.н.	Саратовский филиал ИРЭ РАН, Саратов
А. А. Фраерман, д.ф.-м.н.	ИФМ РАН, Нижний Новгород
Д. Р. Хохлов, чл.-корр. РАН	МГУ им. М. В. Ломоносова, Москва
А. В. Чаплик, академик РАН	ИФП им. А. В. Ржанова СО РАН, Новосибирск
Н. И. Чхало, д.ф.-м.н.	ИФМ РАН, Нижний Новгород
Т. В. Шубина, д.ф.-м.н.	ФТИ им. А. Ф. Иоффе РАН, Санкт-Петербург

Организационный комитет

А. В. Новиков	ИФМ РАН, Нижний Новгород (<i>председатель</i>)
Т. Е. Бахтина	ИФМ РАН, Нижний Новгород
М. В. Зорина	ИФМ РАН, Нижний Новгород
А. В. Иконников	МГУ им. М. В. Ломоносова, Москва
Д. А. Камелин	ИФМ РАН, Нижний Новгород
Р. С. Малофеев	ИФМ РАН, Нижний Новгород
М. С. Михайленко	ИФМ РАН, Нижний Новгород
С. В. Морозов	ИФМ РАН, Нижний Новгород
Е. Н. Садова	ИФМ РАН, Нижний Новгород
С. С. Уставщиков	ИФМ РАН, Нижний Новгород

СЕКЦИЯ 3

**Полупроводниковые
наноструктуры:
электронные,
оптические свойства,
методы формирования**

Окна прозрачности ИК-диапазона в нанокompозитных пленках PbS-CdS и PbS-ZnS

Ю. А. Белых*, Р. М. Закирова, И. В. Федотова, Л. А. Сабанова, П. Н. Крылов

Удмуртский государственный университет, ул. Университетская, 1, Ижевск, 426034
*belykh.yu.a@mail.ru

Сульфид свинца широко применяется для изготовления устройств в ближней и средней ИК-области спектра. Преимуществом использования PbS в качестве ИК-фотодетекторов является более простая технология нанесения тонких поликристаллических пленок по сравнению с технологией получения ИК-приборов на основе кремния, германия и других полупроводниковых материалов [1]. Наноструктурирование сульфида свинца посредством варьирования размеров кристаллитов позволяет управлять его энергетическим спектром. Интерес представляет создание ИК-датчиков, действующих в области среднего ИК – окна прозрачности атмосферы 3–5 мкм [2]. Это возможно путем создания гетерофазных полупроводниковых материалов, состоящих из широкозонных матриц и узкозонных включений сульфида свинца, что обеспечивает также увеличение радиационной стойкости таких структур [3].

В настоящей работе для получения нанокompозитных пленок PbS-CdS и PbS-ZnS использовался метод высокочастотного магнетронного напыления. Подложки поочередно проходили определенное число раз (сканы) над магнетронами с мишенями из PbS, CdS, ZnS. Изменяя соотношение числа сканов, варьировались толщины напыляемых слоев сульфидов, и тем самым менялись типы нанокompозитных пленок (гетероструктуры, нанокompозиты, квантовые точки) и процентное соотношение самих сульфидов. Количество слоев сульфидов выбиралось таким, чтобы суммарная толщина полученных пленок составила 4500 Å.

Полученные нанокompозитные пленки имели разные толщины слоев сульфидов свинца (5 и 8,75 Å) и сульфидов цинка (7,5, 15, 30, 60 Å)/кадмия (12, 24, 36, 72 Å) с разным количеством слоев (от 58 до 277):

- нанокompозиты $\{PbS_5CdS_{12}\}_{265}$, $\{PbS_{8.75}ZnS_{7.5}\}_{277}$, $\{PbS_{8.75}ZnS_{15}\}_{189}$,
- квантовые точки $\{PbS_5CdS_{24}\}_{155}$, $\{PbS_5CdS_{36}\}_{110}$, $\{PbS_5CdS_{72}\}_{58}$, $\{PbS_{8.75}ZnS_{30}\}_{116}$, $\{PbS_{8.75}ZnS_{60}\}_{65}$.

Также были осаждены пленки CdS, ZnS, PbS.

ИК-спектры отражения и пропускания были получены на ИК-Фурье-спектрометре ФСМ-1201 в диапазоне 2200–5000 cm^{-1} (2–4,5 мкм). ИК-отражение измеряли в диапазоне от 400 до 5000 cm^{-1} (2–25 мкм).

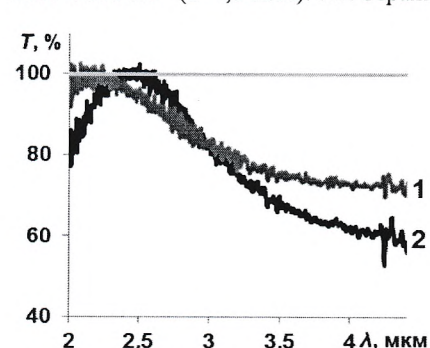


Рис. 1. Спектры пропускания PbS-CdS:
1 – $\{PbS_5CdS_{72}\}_{58}$, 2 – $\{PbS_5CdS_{12}\}_{265}$

Пленки сульфида свинца в диапазоне 2–20 мкм имеют лучшую отражательную способность, чем пленки сульфидов цинка и кадмия. ИК-пропускание пленок сульфидов цинка и кадмия, наоборот, выше, чем у сульфида свинца.

ИК-отражение нанокompозитных пленок PbS-CdS и PbS-ZnS по интенсивности примерно одинаково, незначительно отличается от ИК-отражения пленок CdS и ZnS. В диапазоне 2–7 мкм у пленок PbS-CdS и PbS-ZnS находится максимум отражения при ~4 и ~5 мкм соответственно. Максимум отражения у пленок PbS-CdS и PbS-ZnS с квантовыми точками смещается в сторону коротких длин волн с увеличением толщины слоев CdS и ZnS. А увеличение толщины слоев PbS увеличивает отражение и смещает максимум отражения в длинноволновую область. Также наблюдается смещение пика, характерного для подложки. Такое смещение может быть обусловлено

напряженным состоянием системы пленка-подложка. С увеличением толщины слоев CdS и ZnS (увеличением концентрации CdS и ZnS) в системах PbS-CdS и PbS-ZnS смещение пика подложки уменьшается, т. е. в пленках уменьшается напряженное состояние.

На ИК-спектрах пропускания (рис. 1) нанокompозитных пленок $\{PbS_5CdS_{12}\}_{265}$ при ~2,5 мкм наблюдается наличие области с пропусканием ~100% (так называемое окно прозрачности). По характеру спектра пропускания пленок PbS-CdS с квантовыми точками можно предположить, что окно прозрачности смещается в ближнюю ИК-область при увеличении толщины слоев CdS. В нанокompозитных пленках PbS-ZnS окно прозрачности средней ИК-области не наблюдается, но также можно предположить наличие окон прозрачности в ближней ИК-области.

1. И.А. Шуклов, В.Ф. Токнова, Д.В. Демкин, Г.И. Лапушкин, Л.М. Николенко, А.А. Лизунова, С.Б. Бричкин, В.Н. Василец, В.Ф. Разумов // Химия высоких энергий. 2020. Т. 54, №3. С. 200–205.

2. Ю.И. Белоусов, Е.С. Постников. Инфракрасная фотоника. Часть I. Особенности формирования и распространения ИК-излучения: учебное пособие. Санкт-Петербург : Университет ИТМО, 2019. 82 с.

3. Н.А. Фростяная. Физико-химические закономерности получения твердых растворов в системе PbS-CdS путем ионообменной трансформации : дисс. к.х.н. Екатеринбург, 2015. 196 с.

Дюжнев Н. А., Чиненков М. Ю., Орешкин Г. И., Султан-Заде Т. Т., Демин Г. Д., Парамонов В. В. Разработка сенсоров магнитного поля на основе магниторезистивного эффекта.....	229
Шайхулов Т. А., Станкевич К. Л., Сизов В. Е., Лузанов В. А., Калябин Д. В., Никитов С. А. Модификация микроструктуры и возникновение топологического эффекта Холла в легированных индием тонких пленках $\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{MnO}_3$, полученных методом параллельного магнетронного распыления	230
Шешукова С. Е., Бегинин Е. Н., Пташенко А. С., Садовников А. В. Эффекты пространственного разделения пучка спиновых волн в многослойных структурах на основе пленок ЖИГ	231
Шипко М. Н., Степович М. А., Хлюстова А. В., Агафонов А. В., Сироткин Н. А., Савченко Е. С. Исследования кристаллической структуры, морфологии и магнитных свойств порошков нанокмполитов на основе переходных металлов Ni, Cu, Fe, синтезированных в условиях подводной плазмы	232
Столяр С. В., Шохрина А. О., Николаева Е. Д., Ли О. А., Воротынов А. М., Великанов Д. А., Исхаков Р. С. Нагрев порошков SiO_2 в режиме ферромагнитного резонанса	233
Эндерова Т. Н., Гимазов И. И., Сахин В. О., Таланов Ю. И., Куковицкий Е. Ф. Особенности транспортных свойств анизотропных кристаллов $\text{Bi}_{1.06}\text{Sn}_{0.04}\text{Sb}_{0.9}\text{Te}_2\text{S}$	234

Секция 3

ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ НАНОСТРУКТУРЫ: ЭЛЕКТРОННЫЕ, ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА, МЕТОДЫ ФОРМИРОВАНИЯ

Абрамкин Д. С. Транзисторные AlN/AlGaIn гетероструктуры с GaN/AlN квантовыми точками для создания универсальной памяти.....	237
Алексеев П. А., Елисеев И. А., Шаров В. А., Давыдов В. Ю. Структура и влияние поверхности в полупроводниках $\text{A}^{\text{III}}\text{-As}$ и $\text{A}^{\text{III}}\text{-Sb}$ со слоем естественного оксида на электронные и оптические свойства полупроводниковых приборов	238
Алешкин В. Я., Рудаков А. О., Морозов С. В. Генерация плазмон-фононов в легированных структурах $\text{CdHgTe}/\text{HgTe}$ с узкозонными квантовыми ямами.....	239
Алисултанов З. З. Недиагональный беспорядок в многослойном топологическом изоляторе	240
Андреев Б. А., Кудрявцев К. Е., Красильникова Л. В., Лобанов Д. Н., Калинин М. А., Новиков А. В. Влияние дислокаций на свойства спонтанной и стимулированной эмиссии гетероструктур с активным слоем InN.....	241
Андреева С. А., Щепетильников А. В., Николаев Г. А., Хисамеева А. Р., Кукушкин И. В. Термодинамика псевдоспинового ферромагнитного фазового перехода на факторе заполнения 2	242
Архипова Е. А., Дроздов М. Н., Краев С. А., Хрыкин О. И., Охупкин А. И., Демидов Е. В., Востоков Н. В., Лобаев М. А., Вихарев А. Л., Богданов С. А., Исаев В. А. Исследование проблемы подготовки поверхности алмаза для изготовления затвора полевых транзисторов.....	243
Асхадуллин И. Н., Сгибнев Е. М., Докукин М. Е., Шелаев А. В., Барышев А. В. Влияние параметров осаждения и термического окисления металлического ванадия на формирование фаз VO_2 и V_2O_5	244
Афоненко Ан. А., Афоненко А. А., Ушаков Д. В., Хабибуллин Р. А. Неоднородное уширение энергетических уровней при флуктуации концентрации легирования в квантово-каскадных лазерах	245
Дрозд А. Н., Афоненко А. А. Дефазировка электронных состояний в квантово-каскадных структурах из-за шероховатости гетероинтерфейсов	246
Багаев Т. А., Мартычев И. Е., Ладугин М. А., Мармалюк А. А., Данилов А. И., Ушаков Д. В., Афоненко А. А., Зайцев А. А., Маремьянин К. В., Морозов С. В., Гавриленко В. И., Галиев Р. Р., Павлов А. Ю., Пушкарёв С. С., Пономарев Д. С., Хабибуллин Р. А. Короткопериодные сверхрешетки $\text{Al}_{0.15}\text{GaAs}_{0.85}/\text{GaAs}$ для квантово-каскадных лазеров терагерцевого диапазона, полученные в условиях МОС-гидридной эпитаксии	247
Базакиев С. В., Махов И. С., Кириченко Д. В., Духан Д. Д., Черненко Н. Е., Шандыба Н. А., Еременко М. М., Надточий А. М., Крыжановская Н. В., Жуков А. Е., Солодовник М. С. Оптимальное соотношение потоков As/Ga при низкотемпературном заращивании квантовых точек InAs слоем GaAs с различной скоростью.....	248

Баязников Д. М., Байдусь Н. В., Зубков С. Ю., Круглов А. В., Самарцев И. В. Влияние Al, температуры роста и ориентации подложки на морфологию поверхности структур, содержащих метаморфный буферный слой на основе InGaAs	249
Банников М. И., Селиванов Ю. Г., Мартовицкий В. П., Прудкозяд В. А., Кунцевич А. Ю. Существенное повышение подвижности в кристаллах топологического изолятора Bi ₂ Se ₃ при допировании FeSe	250
Барabanенков М. Ю., Салегин А. А., Крылов А. А. Частотно-ориентационный резонанс сечения экстинкции димера малых сферических частиц с электрическим дипольным рассеянием	251
Барabanенков М. Ю., Итальянцев А. Г. Перераспределение энергии поляризованного электромагнитного импульса между резонансными малыми диэлектрическими рассеивателями с объемной и поверхностной модами и окружающей средой	252
Баранов А. И., Уваров А. В., Максимова А. А., Вячеславова Е. А., Ярчук Э. Я., Гудовских А. С. Исследование пассивирующих свойств слоев оксидов элементов третьей группы, выращенных на развитой поверхности кремния	253
Бекин Н. А., Козлов Д. В. Захват электронов на состояния вакансий ртути в «широкозонных» слоях HgCdTe: многофотонный процесс	254
Белов Д. А., Иконников А. В., Хохлов Д. Р., Ушаков Д. В., Афоненко А. А., Мартычев И. Е., Багаев Т. А., Мармалюк А. А., Ладугин М. А., Павлов А. Ю., Галиев Р. Р., Пономарев Д. С., Хабибуллин Р. А. Спектральные характеристики непрерывных терагерцевых квантово-каскадных лазеров, выращенных методом МОС-гидридной эпитаксии	255
Белых Ю. А., Закирова Р. М., Федотова И. В., Сабанова Л. А., Крылов П. Н. Окна прозрачности ИК-диапазона в нанокompозитных пленках PbS-CdS и PbS-ZnS	256
Бельков В. В., Молдавская М. Д., Голуб Л. Е., Михайлов Н. Н., Дворецкий С. А., Криштопенко С. С., Ганичев С. Д. Магнитофотогальванический эффект в объемных кристаллах CdHgTe	257
Блуменау М. И., Каменская Т. А., Пугачев М. В., Таркаева Е. В., Кунцевич А. Ю. Кинетика фотопроводимости в дихалькогенидах переходных металлов	258
Боев М. В., Снегирев А. В. Долинный эффект Холла в двумерной электрон-экситонной системе	259
Будкин Г. В., Ивченко Е. Л. Баллистический и сдвиговый вклады в фотогальванический эффект	260
Бурдов В. А., Фомичёв С. А. Однофотонная пороговая генерация биекситонов в нанокристаллах	261
Васильев Р. Б., Куртина Д. А., Скрыпник М. Ю., Лебедев А. И. Хиральность атомарно тонких полупроводников A ^{III} B ^{VI} : хироптические свойства 2D-экситонов, индуцированные энантиомерными молекулами	262
Василькова Е. И., Баранцев О. В., Пирогов Е. В., Воропаев К. О., Васильев А. А., Карачинский Л. Я., Новиков И. И., Соболев М. С. Электрические и спектральные характеристики фотодиодов коротковолнового ИК-диапазона 2,0–2,6 мкм на основе гетероструктур InGa(Al)As/InP	263
Веретенников А. И., Рахлин М. В., Серов Ю. М., Галимов А. И., Малеев Н. А., Бобров М. А., Сорокин С. В., Торопов А. А. Исследование резонаторных структур с квантовыми точками InAs/InGaAs и метаморфным буферным слоем для реализации однофотонного излучения в С-диапазоне	264
Винниченко М. Я., Махов И. С., Адамов Р. Б., Хвостиков В. П., Фирсов Д. А., Шалыгин В. А. Определение температур электронов и дырок при их разогреве электрическим полем в эпислоях n-GaAs в условиях межзонного фотовозбуждения	265
Виноградова Л. М., Нежданов А. В., Шестаков Д. В., Скрылев А. А., Ершов А. В., Машиш А. И., Крюков Р. Н., De Filipo G., Varatta M. Влияние напыления тонких пленок TiO ₂ на фильтрующую способность мембран из углеродных нанотрубок	266
Власов А. С., Аксенов В. Ю., Анкудинов А. В., Берт Н. А., Калужный Н. А., Павлов Н. В., Пирогов Е. В., Сазий Р. А., Сошников И. П., Щенин А. С., Митяилов А. М. Сегнетоэлектрические свойства твердых растворов (Al,Ga)InP ₂	267
Волков П. В., Краев С. А., Вовилкин Е. А., Лукьянов А. Ю., Горюнов А. В., Вязанкин О. С., Семиков Д. А., Оханкин А. И., Архипова Е. А., Назаров А. А., Аникина Е. О. Исследование механических напряжений в тонких металлических пленках микромеханических чувствительных элементов волоконно-оптических датчиков	268
Волохов И. С., Теленков М. П., Митягин Ю. А. Методика расчета спектров многочастичных комплексов в квантовых проволоках с продольным ограничивающим потенциалом	269