

**КЛИМОВА СВЕТЛАНА АЛЕКСАНДРОВНА**

**ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПЛЁНОЧНЫХ ФОТОПРОВО-  
ДЯЩИХ СТРУКТУР НА ОСНОВЕ CdS СО СВИНЦОВОСОДЕРЖАЩИМ  
ОРГАНИЧЕСКИМ МОНОСЛОЙНЫМ ПОКРЫТИЕМ**

05.27.01 – «Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро-  
и наноэлектроника, приборы на квантовых эффектах»

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук

Работа выполнена на кафедре материаловедения, технологии и управления качеством Государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Саратовский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского»

Научный руководитель: кандидат физико-математических наук  
**Стецюра Светлана Викторовна**

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук,  
профессор  
**Ушаков Николай Михайлович**

доктор физико-математических наук,  
профессор  
**Гусятников Виктор Николаевич**

Ведущая организация: **Волгоградский государственный университет**

Защита диссертации состоится **23 декабря 2010 г.** в 15 часов 30 минут на заседании диссертационного совета 212.243.01 в Саратовском государственном университете имени Н.Г. Чернышевского по адресу: 410012, г. Саратов, ул. Астраханская, 83.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке Саратовского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского (Саратов, ул. Университетская, 42)

Автореферат разослан «22» ноября 2010 г.

Ученый секретарь диссертационного совета  
доктор физико-математических наук, профессор

Аникин В.М.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы.** В современных условиях эксплуатации полупроводниковых фотоприемников необходимо учитывать возможное их использование при повышенном уровне радиации (ядерная энергетика, космические технологии). Поэтому, одной из важных задач полупроводниковой электроники является получение одновременно радиационно-устойчивых и фоточувствительных материалов и структур для электронной и оптоэлектронной техники.

Исследования, проводимые в течение ряда лет [1], показали перспективность использования фотопроводящих структур на основе сульфида кадмия для микро- и нанoeлектроники и необходимость дальнейшего их изучения. В результате экспериментов, проводимых научной группой под руководством профессора Рокаха А.Г., удалось добиться повышения радиационной стойкости сульфида кадмия созданием в объеме фотоприемника гетерофазных областей [2], обеспечивающих сток дефектов и электронных возбуждений в узкозонные фазы  $PbS$ . Введение таких фаз приводит к необходимости нахождения компромисса между фоточувствительностью и деградационной стойкостью материала. Возникает идея, что радиационная стойкость может быть повышена за счет ультратонкого покрытия, содержащего атомы свинца. В этом случае покрытие является не столько экранирующим, сколько создающим определенный потенциальный рельеф поверхности, способствующий стоку дефектов из фоточувствительного объема пленки сульфида кадмия в нефотоактивные области покрытия.

Развитие нанотехнологий, в том числе технологии Ленгмюра-Блоджетт (ЛБ), и все большее распространение наноразмерных пленочных электронных устройств делает особенно актуальным изучение поверхности фотопроводников и ее модификацию с целью формирования микро- и нанорельефа, влияющего на свойства электронной структуры в целом. При выборе способа формирования морфологии микрорельефа обычно исходят из его влияния на оптические и рекомбинационные параметры структуры, то есть на эффективность фотопреобразования. Однако необходимо учитывать также влияние морфологии микрорельефа на радиационную стойкость структур, о чем свидетельствуют проводимые исследования в данном направлении. Если влияние равновесного поверхностного заряда на распределение внутреннего электрического поля и вольт-амперные характеристики подобных структур изучено уже достаточно подробно, то роль неравновесных эффектов, проявляющихся в условиях возбуждения электронной подсистемы полупроводника, например, облучения, и обусловленных захватом электронов (дырок) на поверхностные состояния, раскрыта не полностью и часто оказывается неконтролируемой.

Особенно актуальными на данный момент являются исследования гибридных органических-неорганических структур, в которых органическая составляющая представляет собой ультратонкую пленку, например, жирной кислоты, структурированную металлом (в качестве неорганической составляющей). Наибольший интерес представляет получение микро- и нановключений разного состава – металлических кластеров или солей жирных кислот (дендритов) – при непосредственном контроле параметров в процессе синтеза покрытия.

Большой вклад в популяризацию и изучение таких структур, как в России, так и за рубежом, внесли профессора: Янклович А.И. [3], Хомутов Г.Б. [4] и Климов Б.Н., под руководством которого в Саратовском государственном университете были осуществлены исследования электрофизических свойств органических покрытий, полученных по технологии Ленгмюра-Блоджетт [5]. Монослой с присоединенными ио-

нами металла является хорошей основой-подложкой для зародышеобразования неорганических кристаллитов и нанокристаллов металла непосредственно под ленгмюровским монослоем. При этом ориентация нанокристаллов зависит как от структуры монослоя, так и от структуры самого металла.

Органическая ультратонкая матрица также может быть использована как средство переноса металлических кластеров на поверхность полупроводниковых датчиков или других устройств, используемых в электронике, для модификации их поверхности, изменения свойств (оптических и электрофизических) структуры. Актуальность переноса органического монослоя с включениями свинца на фотополупроводниковую подложку *CdS* состоит в возможности получения сочетания таких свойств, как высокая фоточувствительность и радиационная стойкость сульфида кадмия. С этой точки зрения, необходимо иметь полную картину процессов, происходящих во время получения и переноса покрытия, процессов в монослое, перенесенном на поверхность фотоприемника, и, собственно, в фотоприемнике под действием облучений.

Понимание и визуализация процессов, происходящих при модификации органическим покрытием, полупроводниковой поликристаллической пленки очень важно как с фундаментальной точки зрения, так и с прикладной. Свойства пленок и покрытий, в свою очередь, зависят от технологии их получения, от используемых режимов, ингредиентов, способов обработки. Использование современных методов исследования поверхности позволяют не только определить микро- и нанорельеф поверхности, но и проследить динамику его изменения в процессе воздействия технологических и внешних факторов в процессе эксплуатации фотодатчика.

В связи с изложенным, **целью диссертационной работы** является установление закономерностей изменения физических характеристик и радиационной стойкости фотопроводящей структуры на основе сульфида кадмия при модификации его гетерофазным органическим покрытием, представляющим собой пленку Ленгмюра-Блоджетт со свинцовосодержащими включениями.

Для достижения цели диссертационной работы решались следующие **задачи**:

1. Получение органического структурированного свинцом покрытия по технологии Ленгмюра-Блоджетт при различных *pH* водной субфазы, концентрации металла в ней и различных временах выдержки монослоя на границе раздела «вода-воздух» для модификации поверхности фотопроводящей структуры на основе *CdS*;
2. Построение и анализ изотерм сжатия ленгмюровских монослоев арахиновой кислоты и арахината свинца для изучения влияния на их вид фазового и элементного состава монослоев и установления зависимости электрических свойств от состава органического покрытия;
3. Исследования формы, размеров и химического состава свинцовосодержащих включений в полученных плёнках методами сканирующей электронной микроскопии (СЭМ), атомно-силовой микроскопии (АСМ), динамического рассеяния света и энергодисперсионного анализа (ЭДА);
4. Установление закономерностей, определяющих количество свинца, перенесенного на твердую подложку, при изменении условий получения ленгмюровского монослоя с помощью вторично-ионной масс-спектрометрии (ВИМС) и ЭДА;
5. Исследование влияния органического покрытия на основе арахината свинца на электрические свойства поликристаллической пленки сульфида кадмия с использованием методов электросиловой (ЭСМ) и Кельвин-зонд микроскопии (СКМ);

6. Исследование влияния облучения электронами средних энергий и длительного освещения белым светом на люкс-амперные характеристики *CdS* с монослойным покрытием на основе арахината свинца и без него;
7. Построение качественной модели процессов в фоточувствительной структуре на основе *CdS*, происходящих под действием электронного облучения и освещения и приводящих к повышению его радиационной стойкости и уменьшению фотоутомляемости.

#### **Научная новизна работы**

1. Показано, что нанесение монослоя на основе арахината свинца увеличивает стойкость фоточувствительной структуры на основе *CdS* к электронному облучению и уменьшает ее фотоутомляемость.
2. Выявлена закономерность наблюдаемых изменений свойств фоточувствительной структуры под действием излучений на основе процессов, происходящих на границе «*CdS*-органический монослой» и в гетерофазном органическом покрытии с учетом создаваемых локальных электрических полей и радиационно-стимулированной диффузии дефектов.
3. Впервые установлено, что модификация поверхности пленки *CdS* монослоем арахиновой кислоты или монослоем на основе арахината свинца приводит к возникновению примерно одинаковых локализованных электрических полей на поверхности *CdS*, на порядок превосходящих электрические поля, обусловленные поликристаллическостью *CdS*.
4. Впервые обнаружены закономерности, определяющие пространственную конфигурацию металлосодержащих включений в ленгмюровском монослое. Показано, что доминирующим фактором является кислотность субфазы.
5. Впервые обнаружена линейная корреляция между размером металлического кластера, полученного в щелочной среде под ленгмюровским монослоем, и площадью, приходящейся на одну молекулу в монослое, определенную по изотермам сжатия.
6. Методика анализа изотерм сжатия и данных ВИМС, позволяющая в процессе получения ленгмюровского монослоя прогнозировать образование кластеров металла, является авторской разработкой.

#### **Практическая значимость работы**

1. Созданное в работе качественное описание процессов в структуре «органическая пленка – фотопроводник» под действием излучений и физическая модель радиационной стойкости подобных структур позволяют достоверно прогнозировать их радиационную стойкость.
2. Получены локальные электрофизические характеристики (распределение электростатических сил отталкивания и притяжения, изменения поверхностного потенциала и поверхностной плотности электронных состояний) для структуры «органический монослой на основе арахината свинца – поликристаллическая пленка сульфида кадмия» методами сканирующей зондовой микроскопии.
3. Проведенный патентный поиск показал, что деградиационная стойкость фотопроводника на основе сульфида кадмия к облучению электронами средних энергий наблюдается при наборе поглощенной дозы  $10^8$ - $10^9$  рад. С помощью результатов исследований, полученных в работе, можно достичь технически значимых параметров радиационно-стойких фотоприемников с низкой фотоутомляемостью при наборе поглощенной дозы  $10^{10}$  рад при облучении электронами с энергией до 5 кэВ.
4. Разработанная и апробированная методика совместного использования анализа

изотерм сжатия лентгмюровских монослоев и данных вторично-ионной масс-спектрометрии позволила уже в процессе получения прогнозировать образование кластеров свинца под монослоем, что подтверждено экспериментально.

5. Осуществлено управление процессом формирования гетерофазного покрытия на основе органической матрицы арахиновой кислоты и получены различные конфигурации свинцовосодержащих включений, приводящие к существенным изменениям характеристик покрытия.

#### **Основные положения, выносимые на защиту**

1. Модификация поверхности сульфида кадмия лентгмюровским покрытием на основе арахината свинца, содержащим сформированные дендритные, либо кластерные свинцовосодержащие включения, приводит к понижению фотоутомляемости (в 4-7 раз) и к увеличению радиационной стойкости (в 8-10 раз) сульфида кадмия при облучении электронами допороговых энергий (до 5 кэВ) при наборе поглощенной дозы до  $10^{10}$  рад.

2. При нанесении гетерофазного лентгмюровского монослоя, содержащего арахинат свинца, на поликристаллическую пленку сульфида кадмия форма и процентное содержание свинца во включениях, сплошность (неразрывность) покрытия влияют на изменение разности потенциалов на локальных неоднородностях вдоль поверхности (в 5-7 раз) и плотности электронных состояний поверхности (на 9–12%), что приводит к созданию на ней локальных возмущений электрического потенциала, способствующих снижению количества положительно заряженных точечных дефектов в фотопроводящей структуре *CdS*.

3. Пространственная конфигурация растущих свинцовосодержащих включений в виде кластеров или дендритов в лентгмюровском монослое на основе арахиновой кислоты определяется изменением кислотности субфазы, приводящей к смещению баланса между электростатическими силами притяжения и отталкивания ионов  $H^+$  и гидроксильных групп  $OH^-$ .

4. Увеличение (уменьшение) концентрации нитрата свинца в водной субфазе и времени экспозиции монослоя на поверхности субфазы приводит к увеличению (уменьшению) размеров свинцовосодержащих включений и процентного содержания в них свинца, но не приводит к изменению формы включений.

**Достоверность** полученных результатов обусловлена современным уровнем технологического и измерительного оборудования, возможностью совмещения нескольких методик исследования для проведения комплексного анализа, применением в экспериментах сертифицированной измерительной аппаратуры и известных апробированных методик обработки результатов, согласованностью полученных результатов с результатами других исследователей, а также непротиворечивостью результатов эксперимента и анализа физическим представлениям о процессах в исследуемых полупроводниковых структурах и органических лентгмюровских слоях.

**Личный вклад автора** состоит в самостоятельном выполнении представленных в диссертации экспериментальных исследований (кроме измерений на электронном микроскопе, которые выполнялись при участии автора), обработке экспериментальных данных, их анализе и выполнении оценочных расчетов. Комплексный анализ данных и описание процессов в структуре «органическая пленка-фотопроводник» под действием излучений проведен совместно с научным руководителем. Автором разработана и опробирована методика анализа изотерм сжатия лентгмюровских металлоструктурированных слоев в широком диапазоне изменения кислотности. При исполь-

зовании результатов других авторов или полученных в соавторстве результатов даются соответствующие ссылки на источник.

### **Апробация работы**

Основные положения и результаты исследования представлены в форме публикаций, научных докладов и получили положительную оценку на научных конференциях: Международной конференции «Опто-, наноэлектроника, нанотехнологии и микросистемы» (Ульяновск, 2007, 2009, 2010 гг.); Ежегодной Всероссийской конференции молодых ученых «Наноэлектроника, нанофотоника и нелинейная физика» (Саратов, 2008, 2009, 2010 гг.); Ежегодной Всероссийской научной школы-семинара «Методы компьютерной диагностики в биологии и медицине - 2008» (Саратов, 2008 г.); IV Ежегодном Всероссийском Салоне «Изобретения, инновации, инвестиции – 2009» (Саратов, 2009 г.); Международной конференции NANOTR (Турция, 2009, 2010 гг.); Международной конференции "Композит-2010" (Саратов, 2010 г.).

Материалы работы использовались при выполнении программы «Участник молодежного научно-инновационного конкурса 2008» (У.М.Н.И.К.) Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере в проекте «Исследование методами атомно-силовой микроскопии органических покрытий, полученных при разных режимах нанесения» (2008 г.). Результаты теоретических и экспериментальных исследований были частично использованы в инициативных грантах Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ): «Взаимодействие радиационно-стойких гетерофазных полупроводников с ускоренными ионами и видимым светом» (2006-2007 гг.), «Исследование процессов самоорганизации наноразмерных кластеров в фотопроводниках и их влияние на радиационную стойкость» (2008-2010 гг.) и получили поддержку в международном российско-турецком гранте РФФИ «Влияние морфологии, условий получения и внешних воздействий на диэлектрические и магнитные свойства нанокompозитов» (2010-2011 гг.). Результаты работы также неоднократно обсуждались на научных семинарах кафедры материаловедения, технологии и управления качеством СГУ.

**Публикации.** По материалам диссертации опубликовано 24 научные работы: 3 статьи в рецензируемых российских научных журналах из списка ВАК, а также труды, тезисы и материалы докладов на всероссийских и международных конференциях (20 публикаций в сборниках) и 1 учебное пособие.

**Структура и объем работы.** Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы из 209 наименований. Общий объем диссертации составляет 180 страниц, включая 81 рисунок и 16 таблиц.

### **КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** обоснована актуальность проведенных исследований, сформулирована их основная цель и конкретные задачи, научная новизна и научно-практическая значимость работы, а также представлены основные результаты и положения, выносимые на защиту, отмечается апробация, публикации и личный вклад автора, описывается структура и объем диссертации.

**Первая глава** диссертации содержит обзор публикаций и экспериментальных исследований, посвященных методам повышения деградационной, в частности, радиационной стойкости фотопроводящих структур на основе *CdS*. Описываются процессы, происходящие в полупроводнике под воздействием электронного облучения и длительного освещения белым светом. Показана возможность повышения радиационной стойкости при наборе дозы до  $10^8$ - $10^9$  рад введением узкозонной фазы в объем широкозонного полупроводника для геттерирования дефектов и неравновесных носи-

телей заряда. Приведены статьи, посвященные получению, свойствам и применению кластерных, а также дендритных образований в органической матрице. Сделаны выводы об имеющихся пробелах при описании технологических режимов, способствующих получению пространственной организации включений в виде дендритов или кластеров. По обзору сделаны выводы о возможности применения комплекса технологических параметров, способных изменить процесс кристаллизации в ту или иную сторону. Отдельно представлены методики, с помощью которых проводились исследования. Обращено внимание на преимущества таких методов исследования, как атомно-силовая микроскопия, электронная микроскопия, метод динамического рассеяния света, позволяющих изучать органические покрытия, структурированные металлом.

**Во второй главе** показана закономерность образования, либо кластерных, либо дендритных свинцовосодержащих включений в монослойном органическом гетерофазном покрытии на основе пленки арахината свинца  $Pb(CH_3(CH_2)_{17}COO)_2$  с помощью технологии Ленгмюра-Блоджетт. В качестве органической компоненты использовали монослой арахиновой кислоты  $C_{19}H_{39}COOH$  на поверхности водного раствора, содержащего нитрат свинца  $Pb(NO_3)_2$  в качестве неорганической составляющей. Монослой формировали нанесением раствора арахиновой кислоты в хлороформе объемом 0,2 мл и концентрации 0,001 моль/л на поверхность водной субфазы с различными значениями концентрации металлосодержащей соли ( $C = 0,0001$  моль/л, 0,001 моль/л и 0,01 моль/л) в диапазоне кислотности рабочего раствора  $pH$  от 3,5 до 11.

При постоянной температуре и концентрации металла в растворе основным фактором, влияющим на состав монослоя, является  $pH$  субфазы [3]. Объяснение процессов в системе «водная субфаза-монослой» проводили на основе количественных измерений процентного содержания свинца, полученных с помощью энергодисперсионного анализа (ЭДА), в плёнках, перенесенных на исследуемые образцы методом Ленгмюра-Шеффера.

При  $pH$  от 3,5 до 5 происходит постепенное возрастание содержания свинца, что согласуется с теорией о постепенном переходе кислоты в соль с присоединением ионов  $Pb^{2+}$ . При  $pH = 5$  достигается максимум содержания свинца (3% состава). При увеличении  $pH$  от 5 до 8,5 отмечается низкое содержание свинца и высокое содержание кислорода, что обусловлено образованием и присоединением к монослою гидроксида свинца. Последний диапазон  $pH$  от 8,5 до 11 характеризуется резким возрастанием содержания свинца и снижением кислорода до минимума. Это объясняется растворением гидроксида и образованием свинцовосодержащих кластеров. Увеличение концентрации соли металла в водной субфазе приводит к интенсификации этих процессов, что характеризуется монотонным возрастанием площади, приходящейся на молекулу в монослое, при постоянном значении  $pH$ .

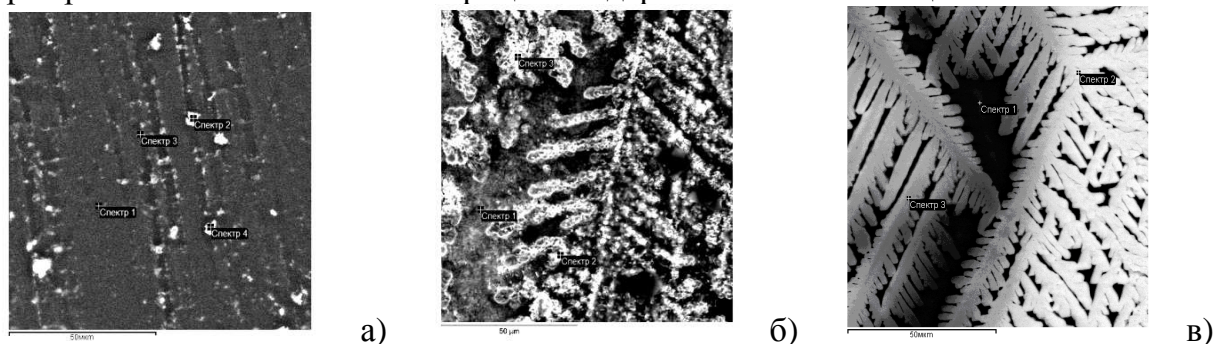
Для подтверждения того, что возрастание площади, приходящейся на одну молекулу, связано с образованием и увеличением размеров кластеров, как на поверхности водной субфазы, так и на поверхности твердой подложки, были проведены измерения размеров кластеров методом динамического рассеяния света. Так как процессы присоединения ионов металла из водной субфазы к монослою могут протекать длительное время, то были проведены исследования монослоя при времени выдержки его на поверхности водной субфазы  $t = 1, 7$  и 15 минут.

Результаты представлены в виде диаграмм рассеяния, показавших наличие линейной корреляции между размером кластера и площадью, приходящейся на одну молекулу. Для свинцовосодержащих кластеров диаметр частиц варьировался в диапа-

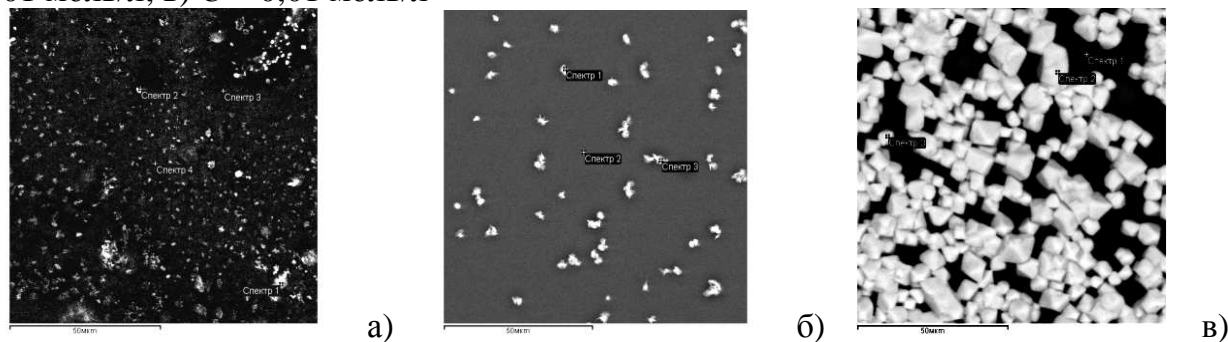


зоне от 8 до 800 нм при изменении площади, приходящейся на одну молекулу от 0,244 до 0,342 нм<sup>2</sup>.

Исследования морфологии поверхности полученных свинцовосодержащих пленок проводились с помощью сканирующей электронной микроскопии (СЭМ). Отмечено, что пространственная конфигурация металлосодержащих включений зависит от  $pH$  субфазы. Так, при  $pH = 3,5$  (рис. 1) для средней и максимальной концентрации нитрата свинца в субфазе отчетливо видна дендритная структура, которая имеет четкие очертания и ветви не только 2-го, но и 3-го порядка, достаточную однородность поверхности ветвей, как по высоте, так и по содержанию металла. При  $pH = 8,5$  (рис. 2) включения имеют вид кластеров размером от 50 нм при малой концентрации нитрата свинца в субфазе до 2 мкм при большой концентрации. Следует отметить, что форма включений зависит от  $pH$ , а с увеличением концентрации растет степень сформированности включений и процент содержания в них свинца.



**Рис. 1.** СЭМ-изображения (в отраженных электронах) поверхности органических пленок, структурированных свинцом, на твердой подложке, полученных при  $pH = 3,5$  и различных концентрациях  $Pb(NO_3)_2$  в водной субфазе: а)  $C = 0,0001$  моль/л; б)  $C = 0,001$  моль/л; в)  $C = 0,01$  моль/л

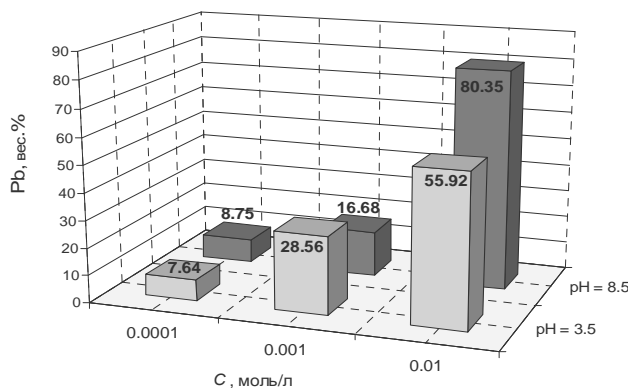


**Рис. 2.** СЭМ-изображения (в отраженных электронах) поверхности органических пленок, структурированных свинцом, на твердой подложке, полученных при  $pH = 8,5$  и различных концентрациях  $Pb(NO_3)_2$  в водной субфазе: а)  $C = 0,0001$  моль/л; б)  $C = 0,001$  моль/л; в)  $C = 0,01$  моль/л

Различие в конфигурации включений в зависимости от  $pH$  среды, в которой формируется монослой, в значительной степени, определяется электростатическими силами взаимодействия (притяжения или отталкивания) молекул монослоя. Силы электростатического отталкивания возрастают в кислой среде ( $pH < 7$ ) из-за взаимодействия большого количества одноименных ионов водорода  $H^+$ .

В щелочной среде ( $pH > 7$ ) количество  $OH^- > H^+$ , что способствует появлению силы электростатического притяжения между гидратированными и негидратированными молекулами, что обеспечивает плотную упаковку пленки и формирование кластеров. Получены значения процентного содержания свинца, соответствующие точкам, как на дендрите и кластере (рис. 3), так и в межкластерном и междендритном

пространствах. Междендритное пространство состоит из механической смеси молекул арахиновой кислоты и арахината свинца. Дендриты же состоят только из молекул арахината свинца, что подтверждается большим процентом свинца в них. В межкластерном пространстве образцов свинец не регистрируется, т.е. оно состоит из молекул арахиновой кислоты.



**Рис. 3.** Диаграмма распределения концентрации свинца (вес. %) во включении в зависимости от  $pH$  и концентрации нитрата свинца в рабочем растворе

ской пленки  $CdS$ , модифицированной монослоем арахината свинца, в сравнении с морфологическими изменениями, которые были внесены указанным покрытием. С помощью атомно-силовой микроскопии были получены изображения распределения неровностей вдоль поверхности образца. Показано, что органический монослой сглаживает неровности поверхности сульфида кадмия при наличии в нем кластеров на 64%, а при наличии дендритов – на 84%.

Далее представлены результаты исследований изменения электростатической силы взаимодействия системы «зонд-образец» при нанесении на  $CdS$  органического покрытия, полученные с помощью электросиловой микроскопии. При отсутствии напряжения смещения, подаваемого на зонд, изменения электростатической силы взаимодействия вдоль поверхности арахиновой кислоты не наблюдается. При приложении напряжений смещения происходит увеличение контрастности изображений локальных областей, характеризующих различные силы взаимодействия (притяжения или отталкивания) системы «зонд-образец», локализация которых для конкретного образца сохраняется, что объясняется следующим образом.

При  $pH = 3,5$  органическая пленка рыхлая, что позволяет зернам сульфида кадмия разрывать его, практически полностью выходя на поверхность. Органическое покрытие при этом получается сильно разреженным, не структурированным, что связано с заполнением органической матрицей в основном лишь межзеренных промежутков. При  $pH = 8,5$  покрытие пленки  $CdS$  монослоем арахиновой кислоты получается более плотное. Разрывы, появляющиеся благодаря морфологии сульфида кадмия, локализованы, имеют округлые формы размером не более 500 нм в диаметре.

Наличие на поверхности областей с противоположным характером электростатического взаимодействия свидетельствует о существовании проводящих участков и участков с выраженными диэлектрическими свойствами. Увеличение сил притяжения при увеличении прикладываемого к кантилеверу постоянного напряжения возникает за счет наведенного заряда противоположного знака, причем его возрастание, про-

Содержание свинца в спектре, соответствующем точке на поверхности дендрита, достигает 56 весовых %, а на поверхности кластера – 80 весовых %. Рост процентного содержания свинца увеличивается с увеличением концентрации соли свинца в исходной субфазе.

Таким образом, во всем диапазоне варьирования параметров технологического режима были получены гетерофазные покрытия.

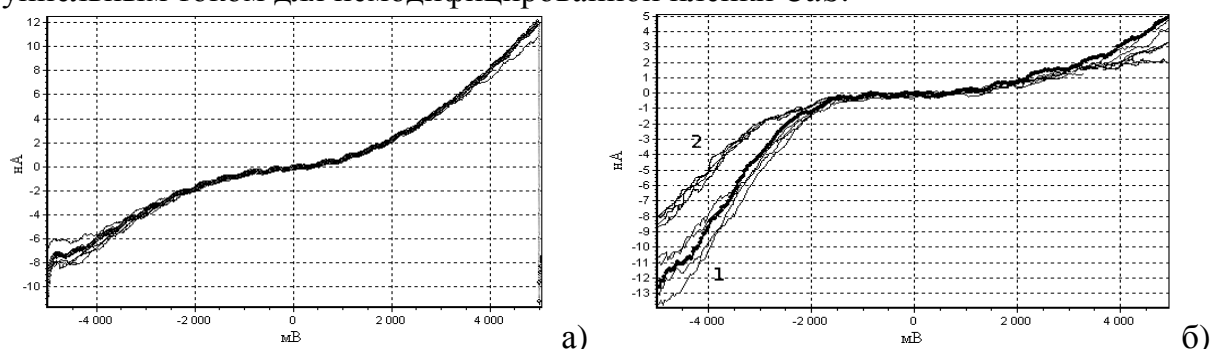
**В третьей главе** представлены результаты исследований локальных электрических характеристик поверхности поликристаллической пленки  $CdS$ , модифицированной монослоем арахината свинца, в сравнении с морфологическими изменениями, которые были внесены указанным покрытием.

порциональное напряжению, свидетельствует о наличии свободных носителей заряда. Таким образом, органическая матрица может влиять на формирование металлосодержащих включений, что было подтверждено изображениями СЭМ и ЭДА.

С помощью сканирующей микроскопии зонда Кельвина [6] показано распределение изменения поверхностного потенциала изучаемых образцов. Если сравнить значения изменения потенциала поверхности поликристаллической пленки  $CdS$ , модифицированной органическим покрытием на основе арахината свинца, полученном при  $pH = 3,5$ , с аналогичными изменениями потенциала пленки, полученной при  $pH = 8,5$ , то разброс значений вдоль поверхности в первом случае составил 60 мВ, а во втором – 700 мВ. Причем при сопоставлении изменения потенциала и конкретных неровностей поверхности образца видно, что выступам поверхности (кластерным образованиям) соответствуют минимумы значений изменения потенциала. Увеличение разброса значений потенциала ( $\varphi_{smax} - \varphi_{smin}$ ) вдоль поверхности покрытия приводит к увеличению локальных электрических полей на поверхности пленки.

Таким образом, напряженность локальных электрических полей возрастает не менее чем на порядок при применении покрытий, как на основе арахиновой кислоты, так и арахината свинца, полученных при разных значениях  $pH$ , и достигают максимального экспериментально определенного значения  $5,4 \cdot 10^4$  В/см. Из-за неоднородности химического состава пленки и геометрии кластера локальное электрическое поле направлено к металлосодержащему кластеру от органической матрицы вокруг него. Следовательно, кластер может служить стоком для положительных зарядов, имеющихся в пленке.

С помощью сканирующей туннельной микроскопии измерены локальные вольт-амперные характеристики (ВАХ) «чистой» поверхности  $CdS$  (рис. 4а) и с нанесенным органическим свинцовосодержащим покрытием (рис. 4б). При приложении отрицательного напряжения к зонду происходит увеличение туннельного тока через образец в месте локализации кластера (рис. 4, группа зависимостей 1). При приложении положительного напряжения к зонду туннелированию электронов с поверхности образца препятствует пленка органической кислоты между поверхностью  $CdS$  и не полностью погруженным в органическую матрицу свинцовосодержащим кластером. Поэтому туннельный ток меньше для модифицированной пленки  $CdS$ , по сравнению с туннельным током для немодифицированной пленки  $CdS$ .



**Рис. 4.** Туннельные ВАХ «чистой» (а), и модифицированной (б) органическим покрытием на основе арахината свинца, полученном при концентрации нитрата свинца  $C = 0,001$  моль/л и  $pH = 8,5$ , пленки  $CdS$  в точках 1 (на кластере) и 2 (вне кластера)

В соответствии со стандартной методикой [7] дифференцированием зависимостей туннельного тока от прикладываемого напряжения были рассчитаны спектры плотности поверхностных электронных состояний (в относительных единицах) в различных точках поверхности образцов, соответствующих кластеру и межкластерному промежутку. Проведенное сравнение спектров показало увеличение поверхностной

плотности электронных состояний модифицированной пленки  $CdS$  более чем на порядок, по сравнению с немодифицированной органическим гетерофазным покрытием фотопроводящей структуры на основе сульфида кадмия.

Относительное изменение плотности электронных состояний вдоль поверхности модифицированной пленки  $CdS$  достигает 9 - 12%, что объясняется кластерной структурой наносимых пленок арахината свинца, которая создает большие электрические поля, чем пленка сульфида кадмия. Таким образом, электрофизические свойства определяются формой и составом свинцовосодержащих включений поверхности структуры «пленка  $CdS$  –монослой арахината свинца», которые приводят к возникновению локальных неоднородностей потенциала, превышающих аналогичную неоднородность характеристик «чистого»  $CdS$  на 1-2 порядка.

**В четвертой главе** описаны процессы, происходящие в структуре «пленка  $CdS$  –монослой арахината свинца» под воздействием электронного облучения и/или длительного интенсивного освещения. Важными экспериментальными характеристиками проникновения быстрых частиц в твердое тело является величина свободного пробега и связанная с ней глубина проникновения. Величина пробега  $d$  ускоренных электронов для разных веществ [8] зависит от энергии  $E$ , с которой электроны входят в вещество, и плотности этого вещества  $\rho$ :

$$\rho \cdot d[\text{г/см}^2] = 10^{-5} E_0^{1,55} [\text{кэВ}] \quad (1)$$

где  $\rho = 4,82 \text{ г/см}^3$  - плотность материала мишени поликристаллического  $CdS$ ,  $E_0$  – энергия первичных электронов, значение которой в проведенных экспериментах 5 кэВ. Оценка значения глубины проникновения электронов в образец по формуле (1) составила  $d = 2,5 \cdot 10^{-5}$  см. Толщина полупроводниковой пленки более 0,5 мкм и превосходит глубину проникновения электронов. Следовательно, вся энергия электронов остается в объеме фотопроводящей структуры на основе сульфида кадмия.

При проведении эксперимента ток первичных электронов поддерживался постоянным, а ток, прошедший через образец,  $I_{нозл}$  колебался в диапазоне 110 ÷ 170 нА в результате некоторого экранирования свинцовосодержащим покрытием и изменения сопротивления приповерхностного слоя  $CdS$ . Поэтому поглощенная доза электронов поддерживалась постоянной для каждого образца варьированием временем набора дозы  $t$  от 2200 с до 3400 с. Зная глубину проникновения и значение энергии облучения, определяли поглощенную дозу облучения электронами по формуле[8].

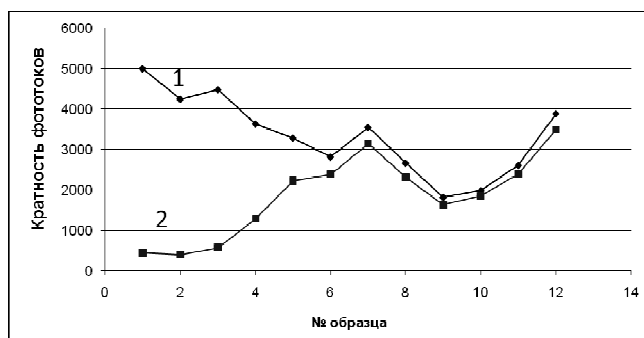
$$D = E_0 \frac{I_{нозл}}{\rho \cdot d \cdot S} \cdot t, \quad (2)$$

где  $S$  – площадь облучаемого участка образца, которая составила 25 мм<sup>2</sup>. В результате значение поглощенной дозы электронного облучения составило  $D = 10^{10}$  рад.

Проведенные оценки средней скорости радиационно-стимулированной диффузии дефектов ( $0,24 - 0,15 \cdot 10^{-2}$  см/с) и глубины проникновения ускоренных электронов позволяют оценить время радиационно-стимулированной диффузии дефекта при воздействии облучения через весь поврежденный ионизирующим излучением слой. Это время в соответствии с расчетами оказывается равным или меньшим значения  $t_d = 1,6 \cdot 10^{-2}$ с, то есть является существенно меньшим времени набора дозы электронного облучения в проведенных нами экспериментах.

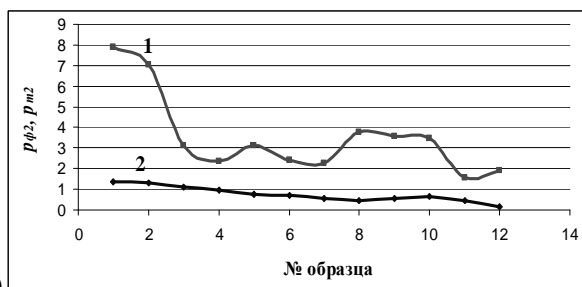
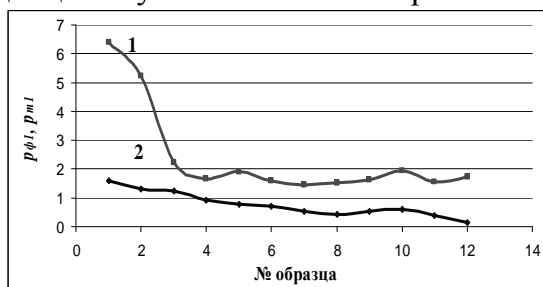
Изменение фотоэлектрических параметров структур проверялось по люксамперным характеристикам, измеренным в поперечном режиме фотопроводимости. Для каждого из образцов в диапазоне освещенностей 880 лк были определены кратности изменения фототока при максимальной и минимальной освещенностях до и по-

сле электронного облучения (рис. 5). Если для *CdS* относительное изменение кратности фототоков после электронного облучения было существенным (более 90%), то для образцов *CdS* с органическим покрытием, содержащим среднее и большое количество свинца, изменение кратности составило 7-10%.



**Рис. 5.** График зависимостей от номера образца кратности изменения фототоков в диапазоне освещенностей 880 лк до (1) и после (2) электронного облучения

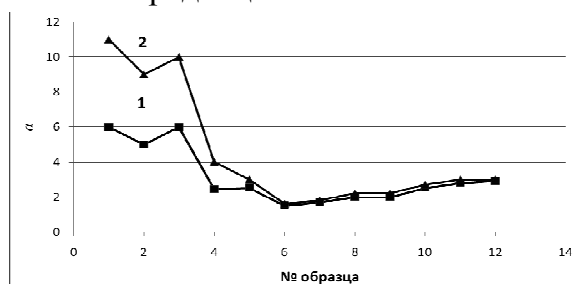
так же, как и для «чистой» пленки *CdS*, причем наиболее сильно меняется темновая проводимость. Следовательно, органический монослой «положительно» не влияет на радиационную стойкость материала.



а) б)

**Рис. 6.** График зависимости от номера образца отношения темновых токов (1) и фототоков (2) при освещенности 45 лк до и после электронного облучения: а) при отсутствии длительной засветки; б) при длительной засветке (1,5 часа) белым светом интенсивностью  $10^4$  лк.

Наиболее реальным объяснением увеличения темновой проводимости *CdS* под действием ионизирующего облучения, является увеличение концентрации междоузельных атомов *Cd*, представляющих собой легко ионизируемые доноры [9]. В этом случае, геттерирование образующихся междоузельных атомов *Cd* нефотоактивными фазами уменьшит изменение характеристик фотопроводника, то есть приведет к увеличению радиационной стойкости.



**Рис. 7.** График зависимостей от номера образца фотоутомляемости структуры до (1) и после (2) электронного облучения

Проводилось исследование изменений темнового тока и фототока при фиксированной освещенности (45 лк) до и после электронного облучения (рис. 6), вычисленных по формуле:  $p = I'/I$ , где  $I'$  – значение темнового тока (фототока) после электронного облучения;  $I$  – значение темнового тока (фототока) при той же освещенности до электронного облучения.

При нанесении пленки арахиновой кислоты на поверхность *CdS* кратность фототоков снижается практически

Кроме электронного облучения образцы подвергались длительному освещению белым светом интенсивностью  $10^4$  лк. Изменение кратности фототоков после длительной засветки для сульфида кадмия составило 88%, а для модифицированной пленки сульфида кадмия максимальное изменение кратности фототоков – не более 29%. Исследование фотоутомляемости показало, что ее значение для модифицированной органическим

свинцовосодержащим покрытием пленки  $CdS$  меньше, чем для немодифицированной, в 4 - 7 раз (рис. 7). Относительное изменение фотоутомляемости пленки  $CdS$  составило 45%, а модифицированной органическим покрытием – около 4%. Такое изменение фотоутомляемости структуры «пленка  $CdS$  - монослой арахината свинца» происходит за счет уменьшения количества точечных дефектов (междоузельных атомов  $Cd$ , вакансии  $S$ ), образующих комплексы, которые приводят к возникновению глубоких рекомбинационных уровней в запрещенной зоне фотопроводника [10].

Таким образом, модификация органическим гетерофазным покрытием, полученным при разных значениях  $pH$  и концентрации свинцовосодержащей соли (нитрата свинца) в водной субфазе, пленки сульфида кадмия привела к увеличению радиационной стойкости фотопроводника и уменьшению фотоутомляемости. Следовательно, органический монослой, содержащий дендритные или кластерные образования, можно использовать в качестве покрытия для увеличения деградационной стойкости фотоэлектрических приемников. Следует отметить, что желательно использовать покрытие, содержащее кластеры, так как дендриты препятствуют эффективному использованию светового потока из-за своей практически сплошной структуры. Подтверждение было получено из оптических характеристик. Были измерены спектры отражения и пропускания модифицированного и немодифицированного органическим свинцовосодержащим покрытием образцов. Коэффициент отражения последних варьировался от 2 до 3%, а коэффициент пропускания – от 40 до 50%, в отличие от коэффициента пропускания  $CdS$  без покрытия, равного 65%.

Для описания процессов в структуре «пленка  $CdS$ -монослой арахината свинца» под действием облучений проводился анализ изменения концентрации свободных носителей заряда после освещения и электронного облучения с помощью уравнения непрерывности для полупроводников в одномерном случае с учетом соответствующих процессов генерации и рекомбинации [11]. Для подсчета количества ионизованных междоузельных атомов  $Cd$ , генерируемых электронным излучением, использовалось решение уравнения непрерывности в следующем виде:

$$N = \Gamma \cdot \tau(1 - \exp(-t / \tau)) \quad (3)$$

где  $\Gamma$  – скорость генерации радиационных дефектов,  $\tau = (\alpha \rho D)^{-1}$  – время жизни ионизованных радиационных дефектов, плотность которых  $\rho$  и коэффициент предпочтительного поглощения  $\alpha$ ,  $D$  – коэффициент диффузии дефектов,  $t$  – время облучения образца. Расчет генерации дефектов проводили по формуле:

$$\Gamma = \frac{E \cdot \eta}{E_d \cdot V \cdot t}, \quad (4)$$

где  $E$  – энергия ионизирующего излучения,  $E_d$  - энергия образования одного дефекта,  $V$  – объем полупроводника, оцениваемый как произведение площади сканирования электронным лучом  $S$  (25 мм<sup>2</sup>) на максимальную глубину  $d$  (250 нм) проникновения первичных электронов в образец,  $t$  – время облучения образца (2200 с),  $\eta$  – коэффициент, учитывающий отражение электронов от поверхности мишени и долю энергии электронного облучения, поглощенной в  $CdS$  и потраченной на дефектообразование (0,1-1%). Энергию пучка электронов выражаем через его мощность:  $E = U \cdot I \cdot t$ . Здесь  $U$  – ускоряющее напряжение электронов (5 кВ),  $I$  – ток первичных электронов (170-200 нА),  $t = 2200$  с – время облучения. Общепринятая оценка энергии образования дефектов  $E_d$  проводится в соответствии с равенством  $E_d = 3E_g$ , где значение  $E_g$  для  $CdS$  составляет 2,4 эВ. С учетом этих параметров и предположений для пленки  $CdS$  вычислено значение скорости генерации радиационных дефектов  $\Gamma = 1,2 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3} \cdot \text{с}^{-1}$ .

Расчетная концентрация радиационных дефектов составила  $N = 10^{15} - 10^{16} \text{ см}^{-3}$ , что превышает концентрацию собственных точечных дефектов в поликристаллической пленке *CdS* на 1-2 порядка. Следствием подпорогового дефектообразования является увеличение темнового тока для пленки сульфида кадмия после электронного облучения в 6,4 раза, а при нанесении органического покрытия на основе арахината свинца изменение темнового тока произошло только в 1,4 – 1,9 раза. Значение темнового тока после электронного облучения и длительного интенсивного освещения структуры «*CdS*-монослой арахината свинца» изменяется в 1,5 – 3,7 раза за счет того, что часть ионизованных дефектов успевает образовать комплексы, диффузия которых существенно затруднена.

Для определения концентрации неравновесных носителей заряда (электронов) при освещении была использована формула:  $n = I/(R \cdot S \cdot q \cdot \mu)$ , которая также является решением уравнения непрерывности с учетом процессов фотогенерации и рекомбинации неравновесных носителей заряда. Здесь  $R$  – сопротивление пленки,  $S$  – площадь контакта,  $l$  – расстояние между контактами,  $q$  – единичный заряд электрона,  $\mu$  – подвижность электронов. В результате оценочное значение концентрации неравновесных носителей заряда в заданном диапазоне освещенностей изменяется не менее, чем на 3 порядка ( $n_m = 2 \cdot 10^9 \text{ см}^{-3}$  и  $n_{cv} = 2 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-3}$ ).

Результаты оценочных вычислений легли в основу физической модели повышения радиационной стойкости структуры «*CdS*-монослой арахината свинца» и позволили объяснить наблюдаемые изменения кратности фототоков структуры с помощью привлечения построенной схемы распределения электрических полей в приповерхностном слое, способствующих миграции дефектов и их движению на стоки.

При построении модели основной гипотезой, было предположение, что такое повышение возможно, если имеются стоки для радиационных дефектов или/и для рекомбинационного потока неравновесных носителей заряда, образующихся при облучении. Чтобы при этом не происходило ухудшения фоточувствительности [9], должно выполняться ряд условий: область стока дефектов должна быть нефотоактивной; должен обеспечиваться эффективный подвод заряженных частиц к стокам (например, путем создания соответствующего потенциального рельефа); количество и расположение областей стоков не должно ухудшать фоточувствительность структуры. Если рассматривать поликристаллический *CdS*, то имеется потенциальный рельеф за счет межзеренных границ, но он не высокий и не способствует эффективному стоку и задержке дефектов.

При облучении электронами с энергией 5 кэВ возбуждение неравновесных носителей и процессы допорогового дефектообразования протекают в поверхностных слоях (около 250 нм). Оценочные расчеты скорости радиационно-стимулированной диффузии показали, что стоки, созданные на поверхности фоточувствительного *CdS*, при имеющихся напряженностях электрического поля ( $5,4 \cdot 10^4 \text{ В/см}$ ), возникающего вокруг стоков, и указанных энергиях электронов, будут обеспечивать радиационную стойкость *CdS*. Предположение было подтверждено экспериментально.

Исходя из данных АСМ и СТМ, кластерные и дендритные металлосоодержащие включения погружены в металлическую матрицу, но не разрывают ее, то есть под металлическим включением находится туннельно тонкий слой органической матрицы. Направления локальных электрических полей также построены с учетом данных АСМ, ЭСМ и СКМ. Построенная на основе экспериментальных данных качественная модель предполагает сток дефектов на свинцовосодержащие включения и объясняет повышение радиационной стойкости.

## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. Проведены измерения люкс-амперных характеристик в поперечном режиме фотопроводимости структур «пленка *CdS*-монослой арахината свинца» до и после облучения электронами с энергией 5 кэВ при наборе поглощенной дозы  $10^{10}$  рад. Показано, что изменение кратности фототоков в заданном диапазоне после электронного облучения существенно меньшее (в 8-10 раз), чем у пленки *CdS* без указанного покрытия.
2. Проведены экспериментальные исследования темновых токов и фототоков фотопроводящих структур на основе *CdS* с монослоем арахината свинца и без. Сделаны оценочные расчеты, показавшие, что электронный поток создает радиационные дефекты в поверхностном слое *CdS* толщиной до 250 нм. Увеличение темнового тока в структурах без покрытия происходит на 1-2 порядка, а значение фототока уменьшается на 1 порядок.
3. Выявлено, что нанесение органического монослоя на основе арахиновой кислоты, содержащего сформированные дендритные и кластерные свинцовосодержащие включения, приводит к незначительному увеличению темнового тока (в 1,4-1,9 раза) по сравнению с пленкой *CdS* без покрытия (в 6,4 раза). Это объясняется модификацией поверхности *CdS* и созданием на ней локальных возмущений электрического потенциала, способствующих стоку точечных дефектов.
4. Проведены исследования фотоутомляемости при облучении белым светом интенсивностью  $10^4$  лк в течении 1,5 часов и показано, что основной причиной увеличения фотоутомляемости, является образование комплексов на основе междоузельного кадмия, приводящее к возникновению глубоких рекомбинационных уровней в запрещенной зоне *CdS*.
5. Модификация поверхности органическим покрытием со свинцовосодержащими включениями приводит к понижению фотоутомляемости в 4-7 раз за счет ухода атомов междоузельного кадмия на стоки. Значение темнового тока после электронного облучения и последующего длительного интенсивного освещения структуры «*CdS*-монослой арахината свинца» изменяется в 1,5 – 3,7 раза.
6. Проведены оценочные расчеты концентрации однократно ионизованных междоузельных атомов *Cd*, генерированных электронным облучением, и неравновесных носителей заряда (электронов), возникающих под действием облучения электронами или освещения в *CdS*. Показано, что расчетная концентрация радиационных дефектов при указанных условиях облучения составила  $N = 10^{15} - 10^{16} \text{ см}^{-3}$ , что превышает концентрацию собственных точечных дефектов в поликристаллической пленке *CdS* на 1-2 порядка. Концентрация электронов, возникающих под действием освещения белым светом в диапазоне 880 лк, изменяется не менее чем на 3 порядка.
7. Построена качественная модель деградационной стойкости структуры «*CdS*-монослой арахината свинца», которая основана на описании процессов радиационно-стимулированной диффузии, протекании фотохимических реакций при освещении, движении зарядов в электрических полях, создаваемых за счет потенциального рельефа поверхности структуры и наведенного на ней электронным облучением заряда. Модель позволила объяснить более значительное увеличение радиационной стойкости по сравнению с изменением фотоутомляемости, достигаемое за счет нанесения органического покрытия со свинцовосодержащими включениями.



8. Получено распределение поверхностного потенциала и оценено изменение плотности поверхностных состояний при нанесении на *CdS* органического металлоструктурированного покрытия методами зондовой микроскопии (СКМ, СТМ, ЭСМ). Максимальное значение напряженности электрического поля на поверхности, оцененное из изменения потенциалов и размеров кластера, составило  $E = 5,4 \cdot 10^4$  В/см. Изменение локальной неоднородности плотности поверхностных электронных состояний происходит на 1-2 порядка при нанесении монослойного покрытия арахината свинца на *CdS*.
9. В зависимости от *pH* и концентрации соли в рабочем растворе свинец переносится на твердую подложку по методу Ленгмюра-Шеффера, создавая покрытие, в разной степени упорядоченное и структурированное свинцом. Во всем диапазоне варьирования *pH* (3,5-11,0) было получено гетерофазное металлоструктурированное покрытие на основе органической матрицы.
10. Показано, что возможно создать условия для получения монофазного покрытия, состоящего из смеси молекул арахината свинца и арахидиновой кислоты, или гетерофазного покрытия, содержащего дендритные образования (в кислой среде), состоящие из молекул арахината свинца, или отдельные металлосодержащие кластеры в органической матрице (в щелочной среде) на твердой подложке.
11. Использование метода динамического рассеяния света позволило оценить размеры свинцовосодержащих кластеров, взятых из органического монослоя непосредственно с поверхности водной субфазы и с поверхности твердой подложки. Размер кластеров свинца варьировался от 8 нм до 800 нм и зависел от концентрации соли свинца в водной субфазе и времени выдержки монослоя.

#### СПИСОК ЦИТИРУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Давидюк Г.Е., Божко В.В., Мирончук Г.Л. [и др.]. Особенности оптических и фотоэлектрических свойств специально не легированных и легированных *Cu* монокристаллов *CdS*. // Физика и техника полупроводников. 2008. Т.42. №4. С. 399-403.
2. Роках А.Г., Стецюра С.В., Сердобинцев А.А. Гетерофазные полупроводники под действием излучений // Известия Саратов. ун-та. Сер. Физика. 2005. Т.5. Вып.1. С. 92-102.
3. Янклович А.И. Регулярные мономолекулярные структуры ПАВ – плёнки Ленгмюра-Блоджетт. // Успехи коллоидной химии. Л.: Химия. 1991. С. 263-291.
4. Khomutov G.B., Vykov I.V., Gainutdinov R.V. Synthesis of Ni-containing nanoparticles in Langmuir-Blodgett films. // Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects. 2002. №198-200. P. 559-567.
5. Климов Б.Н., Невешкин А.А., Ященко А.М, Горин Д.А. [и др.]. Электрофизические свойства структур «металл – диэлектрик – полупроводник», содержащих наноразмерные пленки Ленгмюра-Блоджетт на основе каликс[4]резорцинарена с ионами металлов. // Вестник СГТУ. 2006. № 4 (17). Вып. 2. С.32-38.
6. Palermo V., M. Palma, P. Samorì. Electronic Characterization of Organic Thin Films by Kelvin Probe Force Microscopy // Adv. Mater. 2006. V.18. P. 145-164.
7. Миронов В.Л. Основы сканирующей зондовой микроскопии. РАН Институт физики микроструктур. Н. Новгород. 2004г. 114с.
8. Kanaya K., Okayama S. Penetration and energy-loss theory of electrons in solid targets. // J.Phys. D: Appl. Phys. 1972. V. 5, N. 1. P. 43 - 58.
9. Бухаров В.Э., Роках А.Г., Стецюра С.В. Диффузионная модель деградационной стойкости гетерогенной фотопроводящей системы // Журнал технической физики. 2003. Т. 73, Вып. 2. С. 93-98.
10. Физика соединений  $A^{IV}B^{IV}$ /под ред. А.Н.Георгобиани, И.К.Шейнкмана. М.: Наука. 1986. 561с.
11. Селищев П.А. Самоорганизация в радиационной физике. М.-Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», Институт компьютерных исследований. 2008. 208с.

## СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Стецюра С.В., Глуховской Е.Г., Климова С.А., Маляр И.В. Фоточувствительные материалы с наноразмерными включениями, полученные с использованием технологии Ленгмюра-Блоджетт // Вестник СГТУ. 2007, № 2, Вып. 1. С. 112-118.
2. Стецюра С.В., Маляр И.В., Сердобинцев А.А., Климова С.А. Влияние параметров узкозонных включений на тип и величину вторично-ионного фотоэффекта в гетерофазных фотопроводниках // Физика и техника полупроводников. 2009, Т. 43, Вып. 8. С. 1102-1108.
3. Вениг С.Б., Стецюра С.В., Глуховской Е.Г., Климова С.А., Маляр И.В. Формирование металлических кластеров в органическом монослое, полученном методом Ленгмюра // Нанотехника. 2009, Т. 3, Вып. 19. С. 49-54.
4. Стецюра С.В., Климова С.А., Маляр И.В. Вторично-ионная масс-спектрометрия неоднородно легированных фоточувствительных мишеней // Труды IX международной конф. «Опто-, наноэлектроника, нанотехнологии и микросистемы»: Ульяновск: УлГУ. 2007. С. 46.
5. Стецюра С.В., Глуховской Е.Г., Маляр И.В., Климова С.А. Создание ультра-тонкого источника примеси с заданным катионным составом // Труды IX между-народной конф. «Опто-, наноэлектроника, нанотехнологии и микро-системы», Ульяновск: УлГУ. 2007. С. 108.
6. Климова С.А., Стецюра С.В., Глуховской Е.Г., Маляр И.В. Создание ультратонкого источника примеси металла методом Ленгмюра-Блоджетт // Тез. док. III конф. молодых учен. «Наноэлектроника, нанофотоника и нелинейная физика»: Саратов: Сарат. ун-т, 2008. С. 54-57.
7. Стецюра С.В., Глуховской Е.Г., Климова С.А., Портнов С.А., Браташов Д.Н. Исследование монослоев органических соединений, содержащих кластеры металла, методом АСМ // Тез. док. III конф. молодых учен. «Наноэлектроника, нанофотоника и нелинейная физика»: Саратов: Сарат. ун-т, 2008. С. 148-151.
8. Стецюра С.В., Сердобинцев А.А., Маляр И.В., Климова С.А. Вторично-ионный фотоэффект на образцах, полученных с использованием технологии Ленгмюра-Блоджетт // Тез. док. III конф. молодых учен. «Наноэлектроника, нанофотоника и нелинейная физика»: Саратов: Сарат. ун-т, 2008. С. 151-154.
9. Стецюра С.В., Климова С.А. Исследование методами атомно-силовой микроскопии органических покрытий, полученных при разных режимах нанесения // Материалы Ежегодной Всероссийской научной школы-семинара «Методы компьютерной диагностики в биологии и медицине - 2008» // под ред. проф. Д.А. Усанова: Саратов: Сарат. ун-т, 2008. С. 142-145.
10. Стецюра С.В., Глуховской Е.Г., Климова С.А. Способ изготовления наноструктурированных покрытий и тонких пленок // Материалы IV Ежегодного Всероссийской Салона «Изобретения, инновации, инвестиции – 2009», Саратов: Сарат. ун-т, 2009. С. 65-66.
11. Klimova S.A., Yavuz M., Stetsyura S.V., Durak G., Glukhovskoy E.G., Arslan M., Wenig S.B., Elerman Y. Scanning probe microscopy measurements of the Langmuir-Blodgett organic thin films // Abstracts of 5th Nanoscience and Nanotechnology Conference “Nano TR – V”, Turkey. 2009. P.75.
12. Klimova S.A., Yavuz M., Stetsyura S.V., Durak G., Glukhovskoy E.G., Arslan M., Wenig S.B., Elerman Y. Investigation of the LSH thin films with different pH by Scanning probe microscopy (AFM, EFM, SKM, SCM) measurements // Abstracts of 5th Nanoscience and Nanotechnology Conference “Nano TR – V”, Turkey. 2009. P.76.
13. Климова С.А., Стецюра С.В., Глуховской Е.Г. Органические покрытия, структурированные металлом // Тез. док. IV конф. молодых учен. «Наноэлектроника, нанофотоника и нелинейная физика» – Саратов: Сарат. ун-т, 2009. С. 35-37.

14. Климова С.А., Стецюра С.В. Изучение качества органических покрытий методом атомно-силовой микроскопии // Тез. док. IV конф. молодых учен. «Наноэлектроника, нанофотоника и нелинейная физика»: Саратов: Сарат. ун-т, 2009. С. 116-119.
15. Стецюра С.В., Климова С.А. Исследование морфологии поверхности монослоя арахината свинца // Труды XI международной конф. «Опто-, наноэлектроника, нанотехнологии и микросистемы»: Ульяновск: УлГУ. 2009. С. 307.
16. Стецюра С.В., Климова С.А., Маляр И.В. Исследование органической пленки, структурированной металлом, методами электронной микроскопии // Труды XI международной конф. «Опто-, наноэлектроника, нанотехнологии и микро-системы»: Ульяновск: УлГУ. 2009. С. 306.
17. Климова С.А., Стецюра С.В. Электрофизические свойства поверхности *CdS* модифицированной органическим покрытием // Перспективные полимерные композиционные материалы. Альтернативные технологии. Переработка. Применение. Экология: доклады международной конференции "Композит-2010". Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 2010. С. 372-373.
18. Климова С.А., Yavuz M., Стецюра С.В., Arslan M., Сердобинцев А.А., Вениг С.Б., Elerman Y. Исследование электростатических свойств поверхности *CdS*, модифицированной органической пленкой // Труды XII международной конф. «Опто-, наноэлектроника, нанотехнологии и микросистемы»: Ульяновск: УлГУ. 2010. С. 33-35.
19. Стецюра С.В., Климова С.А., Маляр И.В. Зависимость морфологии, химического и фазового состава поверхности монослоя арахината свинца от технологии получения пленок // Труды XII международной конф. «Опто-, наноэлектроника, нанотехнологии и микросистемы»: Ульяновск: УлГУ. 2010. С. 57.
20. Стецюра С.В., Климова С.А., Сердобинцев А.А., Петинин П.Н., Геранин А.В. Исследование вольт-амперных и оптических характеристик органического покрытия, полученного по технологии Ленгмюра-Блоджетт, нанесенного на *CdS* и ИТО // Труды XII международной конф. «Опто-, наноэлектроника, нанотехнологии и микросистемы»: Ульяновск: УлГУ. 2010. С. 58-59.
21. Климова С.А., Маляр И.В., Мишин А.В., Стецюра С.В. Влияние потоков ускоренных электронов на фоточувствительную пленку *CdS*, модифицированную арахинатом свинца // Тез. док. V конференции молодых учен. «Наноэлектроника, нанофотоника и нелинейная физика»: Саратов: Сарат. ун-т, 2010. С. 42-43.
22. Klimova S.A., Arslan M., Stetsyura S.V., Yavuz M., Glukhovskoy E.G., Venig S.B., Elerman Y. Electrical Force Microscopy and SKPM Investigations of Pb Doped *CdS* Films // Abstracts of 6th Nanoscience and Nanotechnology Conference "Nano TR – VI", June 15-18, 2010. Izmir, 2010, P. 656.
23. Klimova S.A., Yavuz M., Stetsyura S.V., Arslan M., Glukhovskoy E.G., Venig S.B., Elerman Y. Investigation of *CdS* Langmuir-Blodgett Thin Films by Using EFM Technique // Abstracts of 6th Nanoscience and Nanotechnology Conference "Nano TR – VI", June 15-18, 2010. Izmir, 2010, P. 218.
24. Глуховской Е.Г., Стецюра С.В., Маляр И.В., Климова С.А. Технология материалов электронной техники: лабораторный практикум. Материалы электронной техники. Лабораторный практикум: учеб. пособие для студентов фак. нано- и биомедицинских технологий; под общ. ред. доц. С.В. Стецюра, доц. Е.Г. Глуховского. - Саратов: ООО «Редакция журнала «Промышленность Поволжья», 2008. –174 с.: илл. – 100 экз. – ISBN 978-5-901806-10-4.

---

Подписано к печати 19.11.2010. Формат 60×84 1/16. Бумага офсетная

Гарнитура Times. Печать офсетная. Усл.-печ.л.1.0.

Тираж 100 экз. Заказ № 175

---

Типография «Саратовский источник».

410012, Саратов, Университетская, 42

