

О Т З Ы В

официального оппонента на диссертацию Шишкина Михаила

Игоревича «Фотоэлектрические и оптические свойства полупроводников, обнаруживающих влияние света на выход вторичных ионов»,

представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.27.01 –

Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и наноэлектроника, приборы на квантовых эффектах.

Современное состояние и перспективы развития полупроводниковой технологии обуславливает необходимость исследования новых физических эффектов и материалов и разработки технологии получения полупроводниковых материалов и структур с заданными свойствами. Изучение распыления из полупроводниковых мишеней на основе поликристаллических пленок $Cd_xPb_{1-x}S$, освещаемых светом, позволило обнаружить некоторые важные закономерности, связанные с различным поведением ионов элементов в зависимости от содержания узкозонной компоненты, а также от спектрального состава освещения. При этом сама распыляемая мишень становится уже не пассивной, а активной (т.е. появляется возможность дополнительного элемента управления). Очевидно, что механизм влияния света на выход вторичных ионов обусловлен во многом неравновесными носителями заряда, распределение которых в тонком приповерхностном слое может быть существенно не равномерным. В связи с вышесказанным, основная особенность данной работы была связана с расширением ряда полупроводниковых мишеней для изучения влияния света на распыление за счет фоточувствительных монокристаллов GaAs, CdTe, широко используемых в промышленности. Объяснение полученных профилей распыления в этих образцах проводилось с помощью анализа спектров фотопроводимости. В ходе работы проводилось сопоставление спектров гашения проводимости в этих монокристаллах и пленке $CdS(0,9)-PbS(0,1)$. В указанной пленке неоднородного фазового состава анализировались также оптические свойства в видимом и инфракрасном

диапазоне. Данные исследования позволяют получить единую картину распыления структуры со сложными электронными процессами, происходящими в образцах, что важно для проектирования устройств микросистемной техники и разработки методов селективного ионного травления. Этим объясняется **актуальность** выбранной темы для диссертационной работы.

Диссертация Шишкина М.И. состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы (94 ссылки). В первой главе рассматриваются основные свойства полупроводников CdTe и GaAs, связанные с фотопроводимостью, дается представление о твердых растворах $Cd_xPb_{1-x}S$ и их ионном распылении при наличии подсветки. Во второй главе профили выхода ионов из GaAs и CdTe сопровождаются спектрами фотопроводимости, характеризующими наличие или отсутствие гашения проводимости в указанных полупроводниках. Продемонстрировано различие в выходе ионов в GaAs и CdTe, связанное с создаваемым на поверхности этих полупроводников слоем с повышенной концентрацией кислорода. В этой же главе показано поведение на свету структуры SiO-AlGaAs-GaAs с различными вариантами заземления контактов, которые моделируются на воздухе с помощью напряжения, приложенного к разным контактам. В третьей главе показаны особенности механизма рекомбинации в пленке $CdS(0,9)-PbS(0,1)$, в частности, проанализировано отсутствие гашения проводимости. Сложный фазовый состав пленок $CdS(0,9)-PbS(0,1)$ с точки зрения рекомбинационных процессов хорошо проявляется на спектрах фотопроводимости и фотолюминесценции, также исследовался состав пленки и ее морфология, в результате чего пленку предлагалось рассматривать как композит, состоящий из широкозонной матрицы CdS и узкозонных включений PbS на поверхности, что позволило оценить длину Дебая в этом веществе. В четвертой главе описывались оптические свойства пленки $CdS(0,9)-PbS(0,1)$ в инфракрасном диапазоне, где могут проявляться участки зерен с высокой концентрацией носителей заряда. Проводилось

сравнение экспериментальных спектров отражения и рассчитанных в предположении плазменного резонанса в пленке на основе CdS с учетом подложки из слюды, а также с учетом узкозонных, низкоомных включений PbS. В заключении приведены основные результаты и выводы диссертационной работы.

В работе получены следующие **новые** научные результаты:

- обнаружено отсутствие оптического гашения в пленках CdS, содержащих компоненту PbS;
- показано, что примеси могут влиять на фотоиндуцированное распыление в монокристаллах арсенида галлия;
- исследование спектров инфракрасного отражения в средней инфракрасной области спектра выявило минимум, связанный с плазменным резонансом в пленке CdS(0,9)-PbS(0,1), что соответствует повышенной концентрации носителей заряда в зернах поликристаллической мишени.

Научно-практическая значимость работы состоит в использовании количественной оценки причин радиационной стойкости пленок CdS-PbS. Полученные в работе результаты могут стать важным шагом в разработке методов селективного ионного травления в структурах с заданным рельефом поверхности. Само изучение модели изменения выхода ионов под действием света может помочь в установлении связи с другим перспективным направлением – влиянием плазменного резонанса на процессы электронного фотоэффекта за пределами красной границы.

Поэтому очевиден **вклад** данной работы в изучение физики поверхности наиболее часто используемых в оптоэлектронике полупроводников $A^{III}B^V$ и $A^{II}B^{VI}$. Особого внимания в данной работе заслуживает рассмотрение возможных элементов оптоионной технологии (по аналогии с оптоэлектронной), например, вторично-ионного фототранзистора. В композитных пленках на основе CdS с определенным содержанием узкозонной компоненты PbS показаны минимумы отражения, связанные с плазменным резонансом носителей заряда матрицы и включений, что может

представлять интерес с точки зрения управления эмиссией электронов светом разной длины волны в композитах с разным содержанием PbS.

Достоверность результатов, полученных Шишкиным М.И., обусловлена простыми и доступными методами исследования и подтверждается отсутствием противоречий с известными ранее теоретическими и экспериментальными данными.

По результатам исследования опубликовано 17 научных работ, в том числе 4 статьи, из которых 3 относятся к списку рецензированных журналов, рекомендованных ВАК для опубликования основных результатов диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук.

К замечаниям по представленной диссертации считаю необходимым отнести следующее:

- 1) В диссертации отсутствует анализ инструментальных и методических погрешностей измерений и оценки расчетных величин, что несколько снижает достоверность полученных данных.
- 2) При снятии спектров фотопроводимости в монокристаллах GaAs, CdTe и CdS-PbS отсутствуют сведения об условиях облучения (изофотонный или изоэнергетический поток излучения), не указана скорость развертки спектра.
- 3) Не описано, как слой диэлектрика SiO в гетероструктуре SiO-AlGaAs-GaAs влияет на вольт-амперные характеристики.
- 4) В п. 3.3 не отмечено, что максимумы фотолуминесценции могут быть также связаны с вкладом фононов или экситонов.
- 5) В п. 4.4 не показано, как влияет подложка на спектр отражения структуры пленка CdS-PbS – подложка слюда мусковит.

Однако указанные замечания не снижают общей ценности диссертации, которая является законченной квалификационной работой и заслуживает высокой оценки.

Диссертационная работа Шишкина М.И. является законченной самостоятельным научным исследованием. Диссертация выполнена на

современном научно-техническом уровне, отличается целостностью и оригинальностью подхода. Работа соответствует паспорту специальности 05.27.01 – Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и нанoeлектроника, приборы на квантовых эффектах. Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации.

По объему и качеству выполненных исследований, новизне, обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций, практической значимости диссертационная работа полностью удовлетворяет требованиям пп. 9-14 « Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 года, № 842 предъявляемых к кандидатским диссертациям, а сам диссертант заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.27.01 – Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и нанoeлектроника, приборы на квантовых эффектах.

Зав. кафедрой проектирования и
технологии электронных средств

УлГТУ, д.ф.-м.н., профессор

М.К.Самохвалов

Самохвалов Михаил Константинович, Заведующий кафедрой «Проектирование и технология электронных средств» ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный технический университет» 432027, г. Ульяновск, ул. Северный Венец, д.32, Тел: 8(8422)778-101,
E-mail: sam@ulstu.ru

Подпись заверяю

Начальник управления кадров



З.В. Белянчикова