

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу 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

Работа Шишкина М.И. анализирует свойства полупроводников, проявляющих «вторично-ионный фотоэффект», представляющего собой влияние неравновесного состояния в распыляемой мишени, вызванного освещением, на сам процесс распыления. Образцами для исследования, в основном, являются поликристаллические пленки твердых растворов CdS-PbS. Само понятие «вторично-ионный фотоэффект» было введено именно в результате исследования особенностей распыления на свету этих пленок, в ходе которого ионы кадмия и свинца проявляли разную зависимость от характера освещения. Пленки CdS-PbS используются в солнечных элементах, а также могут использоваться в фотоприемниках с высокой стойкостью к деградации. Это обуславливает **актуальность** исследований представленных в диссертации. Дополнительно для лучшего понимания механизма вторично-ионного фотоэффекта автор использует фотопроводящие монокристаллы GaAs и CdTe. Предложенный механизм описания вторично-ионного фотоэффекта с точки зрения анализа фотоэлектрических и оптических свойств образцов является нестандартным и обуславливает **научную новизну** работы.

При рассмотрении особенностей вторично-ионного фотоэффекта автор использует как поперечный режим протекания тока, наведенного падающим ионным пучком (вовлекающий тонкий поверхностный слой), так и продольный, позволяющий задействовать всю толщину образца.

Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения. Во введении Шишкин М.И. обосновывает актуальность темы своей диссертации, формулирует положения, выносимые на защиту, указывает на научную новизну и значимость работы в области практических применений.

В **первой** главе автор приводит общие сведения о таких важных свойствах широкозонных полупроводников GaAs и CdTe, обладающих фотопроводимостью, как эффект фотопамяти, активация фоточувствительности в процессе их изготовления. В монокристаллических полупроводниках лучше применима уже опробованная теория описания процессов, связанных с образованием фотоносителей. Более сложными являются процессы фотопроводимости в твердых растворах и гетероструктурах на основе широкозонных полупроводников, которые в экспериментальной части данной работы представлены поликристаллическими пленками твердых растворов CdS-PbS и монокристаллической гетероструктурой AlGaAs-GaAs покрытой слоем SiO.

В этой главе дается описание процесса распыления в монокристаллических образцах, демонстрирующее некоторые особенности распыления GaAs и CdTe. В конце главы для сравнения приводится подробное описание вторично-ионного фотоэффекта, изученного в пленках CdS-PbS разного состава.

Во **второй** главе диссертации, посвящённой исследованию вторично-ионного фотоэффекта в структуре SiO-AlGaAs-GaAs, обнаружено наличие примесной фотопроводимости и гашения темновой проводимости в образце монокристаллического GaAs, связанное с захватом носителей на глубоких уровнях, и отсутствие выраженной примесной проводимости и гашения в образце CdTe. С помощью фотоэлектрических измерений (фототока) и оптических (в области края собственного поглощения) оценивается распределение времени жизни фотоносителей в зависимости от расстояния от поверхности. Эти исследования дают возможность интерпретировать увеличение выхода вторичных ионов для GaAs и уменьшения для CdTe при

распылении их ионами кислорода и дополнительным воздействием освещения. Выраженное изменение выхода вторичных ионов в зависимости от реакции на освещение в GaAs позволило исследовать вторично-ионный фотоэффект в продольном направлении на структуре SiO-AlGaAs-GaAs.

В **третьей** главе Шишкин М.И. связывает особенности фотопроводимости, влияющие на вторично-ионный фотоэффект в монокристалле GaAs и CdTe с особенностями фотопроводимости в пленках твердых растворов CdS-PbS. Фазовая неоднородность пленок CdS-PbS, которая проявлялась, совокупностью четко выраженных кристаллитов, влияла на расширение спектральной чувствительности по сравнению со сравнительно чистым монокристаллом CdS. Кроме того, фазовая неоднородность способствовала образованию рекомбинационных «стоков», ответственных за быстрое исчезновение носителей заряда, генерируемых светом. Обнаруженные с помощью электронной микроскопии кристаллиты на поверхности пленки имеют ярко выраженную огранку и преимущественно состоят из узкозонной фазы PbS. Далее приводятся спектры фотолюминесценции, снятые с участков пленки в местах скопления кристаллитов, на которых максимумы длины волны фотолюминесценции близки к известным данным, описанным в литературе.

В **четвёртой** главе производилось исследование возможности возбуждения колебаний свободных электронов при воздействии светом. Это немаловажно в связи с тем, что в этом случае электроны начинают коллективные колебания, наиболее изученным из которых является плазменный резонанс. На спектрах зеркального отражения пленок обнаружен минимум, связанный с плазменным резонансом в кристаллитах с высокой концентрацией свободных носителей заряда. Эти кристаллиты окружены высокоомными прослойками, что обуславливает высокое сопротивление пленок при низкочастотных измерениях стационарной фотопроводимости. Вычисления и иллюстрации в этой главе позволяют обозначить возможность использования плазменного резонанса в объектах, сходных по структуре с

представленными в работе, по аналогии с механизмом аномального вторично-ионного фотоэффекта.

Заключение отражает основные результаты исследований, проведенных диссертантом.

Научные положения и выводы в работе вполне соответствуют поставленной цели. **Обоснованность** научных положений, выводов и заключений, полученных в диссертации, основывается на использовании точных, апробированных методов измерения, непротиворечивостью с известными теоретическими и экспериментальными результатами. Автореферат соответствует основному содержанию диссертационной работы.

К **основным результатам работы** следует отнести:

- установлена связь примесных уровней в монокристалле GaAs с увеличением выхода ионов галлия и мышьяка при освещении;
- предложена и обчислена модель управления выходом вторичных ионов с помощью светового воздействия и электрического поля для p-n гетероструктуры GaAs/GaAlAs;
- показана роль фазовой неоднородности пленок CdS-PbS в индуцированной примесной фотопроводимости, приводящей к расширению спектральной чувствительности и образованию рекомбинационных «стоков»;
- предложена эффективная модель представления оптических свойств пленок CdS-PbS для объяснения спектров инфракрасного отражения содержащих характерные для плазменного резонанса минимумы.

Практическая значимость результатов работы состоит в предложении моделей устройств с широкими фотоэмиссионными характеристиками, как электронного, так и ионного характера. При этом немаловажно отметить, что эти устройства можно получать доступными методами и описывать с помощью эмпирических формул.

Хотелось бы также указать на обнаруженные недостатки в работе, которые, тем не менее, не снижают научного уровня работы в целом:

- 1) Приводя графики спектральной зависимости кратности изменения сопротивления, автор не указывает мощность подсветки и некорректно указывает на увеличение чувствительности в 15 раз.
- 2) Некоторые формулы (1.5 – стр. 19, 1.19 – стр. 25, 1.26 – стр. 34) приведённые в тексте работы, автор не использует при анализе результатов.

Диссертационная работа Шишкина М.И. выглядит последовательной и грамотно выстроенной. Автор поставил ряд интересных задач и выполнил для их реализации комплекс экспериментов с помощью взаимодополняющих методов.

Диссертация «Фотоэлектрические и оптические свойства полупроводников, обнаруживающих влияние света на выход вторичных ионов» Шишкина Михаила Игоревича представленная на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук является полноценным научным трудом, в котором содержатся важные практические наработки. Считаю, что данная работа соответствует требованиям «Положения о присуждении ученых степеней» (п. 9-14), утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года, №842, предъявляемых к кандидатским диссертациям, а сам диссертант, Шишкин Михаил Игоревич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.27.01 – Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро – и наноэлектроника, приборы на квантовых эффектах.

Официальный оппонент

Генеральный директор ООО «НПП «Инжект»,

Д.ф.-м.н., профессор

410033, г. Саратов,

ул. Гвардейская, 2А,

тел.: +7 8452-748140

e-mail:gmt15@mail.ru



Микаелян Геворк Татевосович

«Подпись Г.Т. Микаеляна заверяю»

Начальник отдела кадров



К.И. Кашаева

28.10.2016 2