

Министерство образования и науки Российской Федерации

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г.
ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра физики полупроводников

**ОПТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ, ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ
ОСОБЕННОСТИ И ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ В
МАТЕРИАЛАХ, НА ОСНОВЕ ПЛЁНОК ТВЁРДЫХ ОГРАНИЧЕННЫХ
РАСТВОРОВ CdS-PbS, СОДЕРЖАЩИХ КВАНТО-РАЗМЕРНЫЕ
ВКЛЮЧЕНИЯ**

АВТОРЕФЕРАТ МАГИСТЕРСКОЙ РАБОТЫ

студента 2 курса 204 группы

направления 22.04.01 «Материаловедение и технологии материалов»

факультета нано - и биомедицинских технологий

Дрейлиха Павла Павловича

Научный руководитель,
ассистент, к.ф.-м.н.

должность, уч. ст., уч. зв.

личная подпись, дата

М.Д. Матасов

инициалы, фамилия

Зав. кафедрой
профессор, д.ф.-м.н.

должность, уч. степень, уч. звание

подпись, дата

А.И. Михайлов

инициалы, фамилия

Саратов, 2016

Введение

С течением времени вектор развития промышленных и индустриальных технологий всё больше поворачивается в сторону устройств и приборов, сконструированных на основе квантово-размерных эффектов.

Изучение оптических, фотоэлектрических и люминесцентных свойств образцов твердых ограниченных растворов. Описание взаимосвязи между электронными процессами, участвующими во взаимодействии фотонов света с веществом, и процессами, приводящими к ионному распылению. Теоретический расчет влияния фазового состава образца на полный спектр его фотолюминесценции. Установление корреляции между оптическими и фотоэлектрическими свойствами образца, с одной стороны, и изменением выхода вторичных ионов элементов, входящих в его состав, при освещении образца во время его распыления, с другой стороны.

Поэтому **целью** данной работы стало проследить изменения состава поверхности исследуемых образцов при воздействии высокотемпературного отжига. Сравнить состав поверхности образца с расчётным идеальным среднеобъёмным содержанием исследуемых элементов. Исследовать взаимосвязь режима отжига с полученным химическим составом. Получить спектры коэффициента поглощения, люминесценции и спектральной чувствительности фотопроводимости, а также установить корреляцию между ними.

Для достижения поставленной цели были выдвинуты следующие **задачи**:

1. Предварительная классификация исследуемых объектов по электрическим и оптическим свойствам. Изучение морфологии поверхности и элементного состава распыляемых мишеней.
2. Изучение оптических, фотоэлектрических и люминесцентных свойств образцов твердых ограниченных растворов. Описание взаимосвязи между электронными процессами протекающими как при явлениях

фотопроводимости, так и при люминесценции. Установление корреляции между оптическими и фотоэлектрическими свойствами образца

Научная новизна:

1. Построена модель фотолюминесценции при накачки лазерным излучением различной мощности твёрдых ограниченных растворов .
2. Построена математическая модель, описывающая фотопроводимость сильно рассеивающих свет образцов, включающая математическое описание взаимодействия оптического излучения с квазисвободными носителями заряда, связывающая оптические параметры образца со спектром фототока. Дано объяснение спектра фототока, возникающего при облучении светом разных длин волн включенного в цепь фотосопротивления на основе твердого ограниченного раствора CdS-PbS.

Практическая значимость:

1. Показана возможность создания прецизионных фотоприёмников с очень высоким порогом чувствительности и широким диапазоном длин волн, детектируемого излучения.
2. Предложен способ конструктивного изменения фотоприёмников на основе твёрдых ограниченных растворов, включающих в себя квантово-размерные эффекты, для задеирования явлений, возникающих в фотопроводниках, основанных на низко размерных эффектах.
3. На основании теоретических выводов показана возможность написания алгоритма программы, детально описывающей нюансы фотоотклика, которыми ранее пренебрегали при расчётах.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Сравнивая, экспериментально определённые относительные атомные концентрации элементов на поверхности с предварительно рассчитанными

величинами относительных концентраций, можно сделать вывод, что поверхность обогащена свинцом и оксидами основных элементов.

2. Значительная интенсивность люминесценции длинноволновой области может иметь ещё одно объяснение. Если в образце встречается такое сочетание фаз, при котором широкозонная фаза, присутствующая в большом количестве, граничит с узкозонной фазой, то механизм возникновения длинноволновой люминесценции может заключаться в стоке возбуждений из широкозонной фазы в узкозонную. В узкозонной фазе происходит рекомбинация накопленных носителей с последующей люминесценцией.

3. Из формулы, описывающей спектральную чувствительность фотопроводимости, следует, что форма спектральной кривой интегрального коэффициента поглощения должна совпадать с формой спектральной чувствительности изоквантовой фотопроводимости. Что и наблюдается на опыте

Личный вклад состоит в изучении литературных источников. Кроме того, заключается в проведении всех опытов и экспериментов, описанных в работе, построении математических моделей, описывающих основные результаты исследований, проведении числового расчета всех параметров, необходимых для формулирования защищаемых положений и написания выводов, выявлении закономерностей, связывающих результаты работы с уже известными фактами.

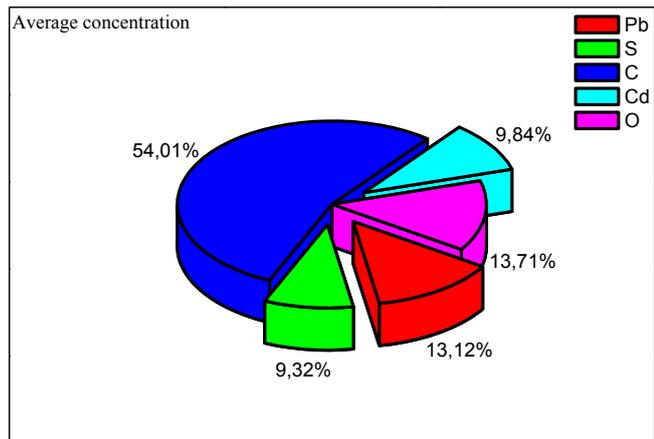
Структура и объем работы. Магистерская выпускная квалификационная работа состоит из введения, 6 глав, заключения, списка литературы и приложения. Общий объем выпускной квалификационной работы диссертации составляет 45 страниц машинописного текста, включая 17 рисунков, 2 таблицы,. Список литературы содержит 21 наименований и изложен на 3 страницах..

Основное содержание работы

Во введении обоснована актуальность темы выпускной квалификационной работы. Рассмотрено историческое развитие проблемы, исследуемой в работе. Сформулирована цель выпускной работы, определена новизна исследований, описана практическая значимость полученных результатов, представлены основные положения, выносимые на защиту, изложено ее краткое содержание.

В первой главе проведен литературный обзор по фотоэлектрическим и люминесцентным явлениям в полупроводниках, применительно к основной проблеме данной работы. Рассмотрена классификация типов люминесценции.

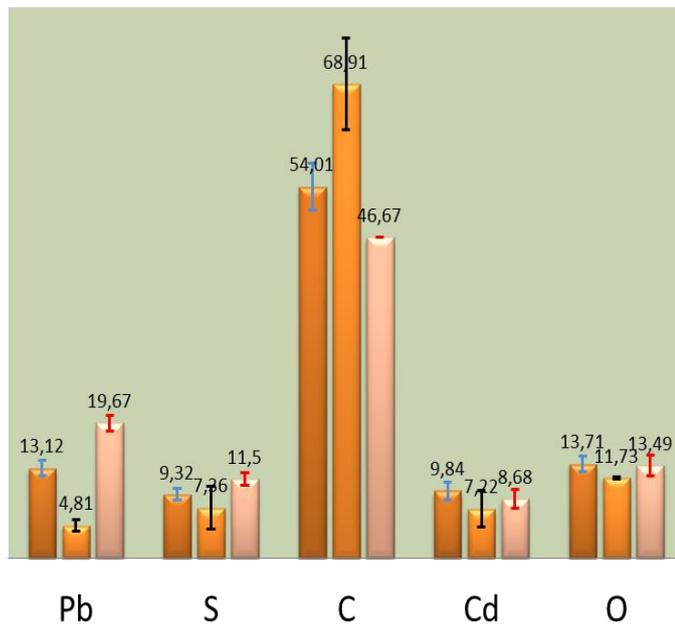
Во второй главе рассмотрены морфологические и структурные особенности модельного вещества — гетерофазного полупроводника на основе сульфидов кадмия и свинца. Анализ химического состава поверхности проводился в нескольких точках для набора статистики, и расчёта средних значений концентраций элементов приповерхностной области. Сопоставляя визуальные особенности точки на поверхности (по SEM изображению) с составом, определённым в этих точках, можно заключить, что некоторые точки нельзя учитывать при усреднении, в силу того, что их состав принципиально отличался от состава основной поверхности образца. Очевидно, в этих местах электронный пучок попадал в скопление одной из фаз, вышедшей на поверхность в результате интенсивного отжига, что является интересной отличительной особенностью этого образца от того, что получается при меньшей температуре отжига.



a)

Химический состав поверхности

- Поверхность
- Загрязнение
- Выход фазы свинца

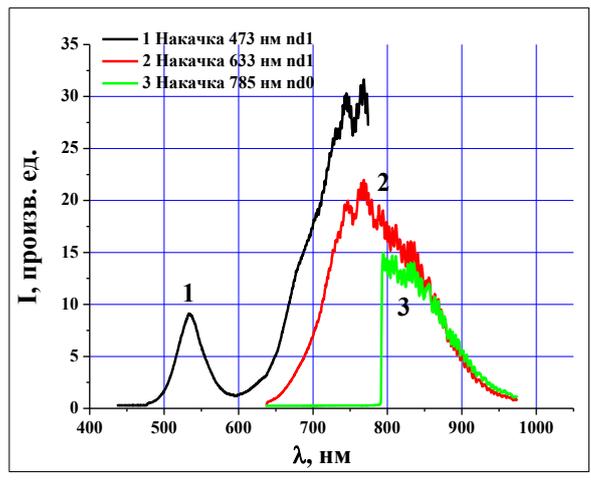


б)

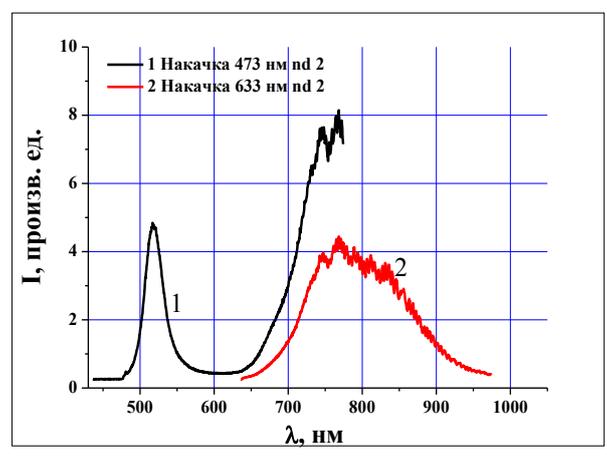
Рис. 1. а) Круговая диаграмма средней приповерхностной концентрации элементов. б) Гистограмма химического состава с наложенными интервалами погрешностей

В итоге после проведения исследований состава поверхности образцов, полученных при 25 минутном 550С отжиге, мы определили во-первых, что поверхность была очень загрязнена содержание углерода составило 54,01% в среднем по поверхности. Сравнивая, экспериментально определённые относительные атомные концентрации элементов на поверхности с предварительно рассчитанными величинами относительных концентраций, можно сделать вывод, что поверхность обогащена свинцом и оксидами основных элементов.

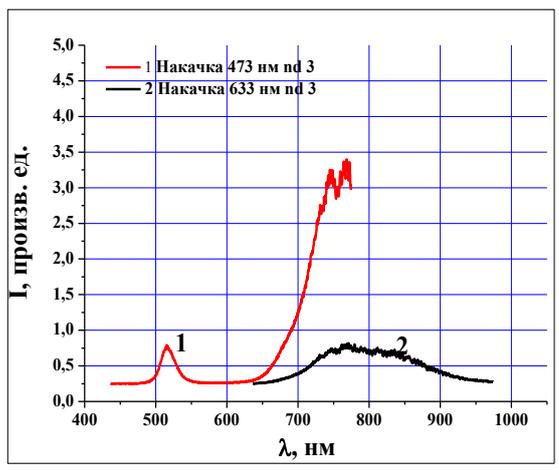
В третьей главе изучение фотолюминесценции проводилось на установке «Зондовая нанолaborатория Ntegra spectra» производства фирмы NT-MDT с лазерной накачкой. Изучалась стоксова люминесценция при непрерывной накачке образца лазерами с длиной волны 473 нм и 633 нм. Результаты, приведенные на рисунках 2.а - 2.в, свидетельствуют о наличии двух максимумов люминесценции: «собственного» (в области ~530 нм) и «примесного» (в области ~760 нм). Характерно, что площадь «примесного» пика на порядок превышает площадь «собственного».



a)



б)



в)

Рисунок 2. Спектры люминесценции твёрдого ограниченного раствора $CdS(0,9)-PbS(0,1)$ при разных интенсивности накачки.

Интенсивность рекомбинационной люминесценции пропорциональна произведению концентрации подвижных носителей, например электронов (N), и концентрации центров излучательной рекомбинации или центров свечения (n). Выражение, описывающее интенсивность длинноволновой люминесценции, происходящей по рекомбинационному механизму, можно представить как:

$$I_a = \frac{1}{S} A_1 N n. \quad (1)$$

где A_1 - коэффициент излучательной рекомбинации, S - площадь на которую приходится единица количества вещества светосостава. В последующем рассмотрении также будем использовать обозначения, введённые Адировичем для описания генерационно- рекомбинационных процессов такого типа.

В четвертой главе коэффициенты отражения и пропускания исследуемых образцов $CdS(0,9)$ - $PbS(0,1)$ были измерены (с последующим расчетом) при помощи спектрофотометра «Lambda 950». Спектральный диапазон 2,5 мкм – 250 нм.

Спектральные зависимости коэффициентов диффузного пропускания и отражения измерялись для дальнейшего определения коэффициентов поглощения и рассеяния. Все измерения проводились со стороны матированной подложки из слюды. Это было обусловлено тем, что, что используемая компьютерная программа (см. ниже) позволяет рассчитывать параметры образца, как при освещении со стороны плёнки, так и со стороны подложки при определении параметров со стороны плёнки возникли технические трудности, не позволившие провести расчёт. При определении оптических характеристик образца влияние подложки исключалось путем учета граничных условий согласно формулам Френеля.

Основываясь на экспериментальных данных можно рассчитать спектральную характеристику интегрального коэффициента поглощения по формуле. Полученный спектр представлен на (рис. 3)

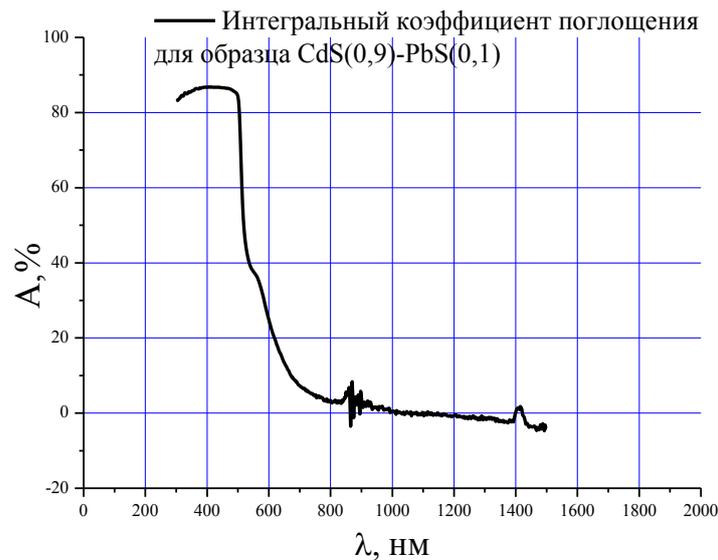


Рисунок 3. Зависимость интегрального коэффициента поглощения от длины волны $CdS(0,9)-PbS(0,1)$

В пятой главе изучаются оптические и фотоэлектрические свойства исследуемых образцов. Спектральная изоквантовая чувствительность S_φ описывается следующим выражением.

$$S_\varphi = \frac{q\beta}{T_r} \tau_{tot} A(\lambda), \quad (2)$$

где β — квантовый выход, T_r — время пролета между электродами фотоносителей, возбужденных светом, τ_{tot} — время жизни фотоносителей, $A(\lambda)$ — интегральный коэффициент поглощения (рис. 5а). Форма кривой спектральной чувствительности фотопроводимости пропорциональна физической величине, равной $\tau_{tot} A(\lambda)$.

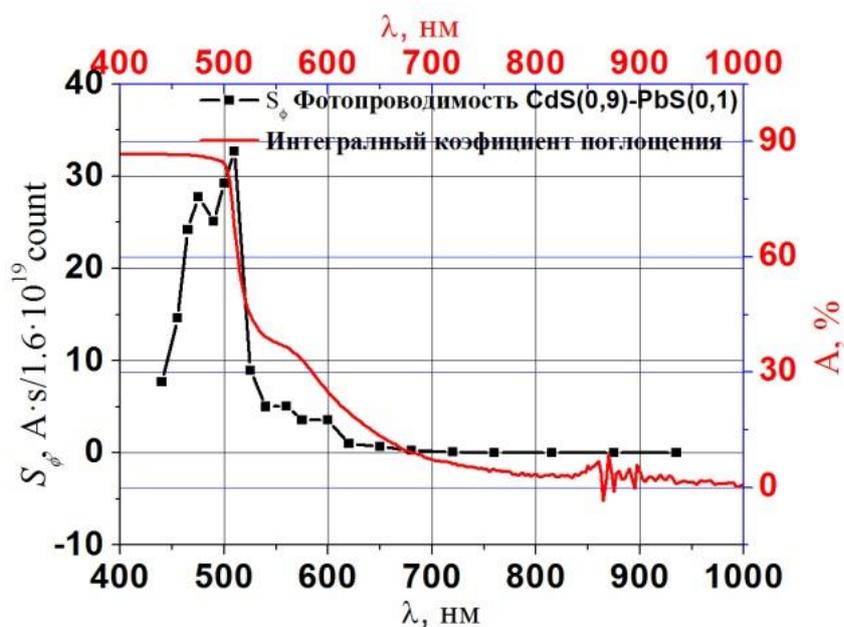


Рисунок 4. Зависимость фотопроводимости от длины волны: а) сравнение спектральных кривых фотопроводимости и коэффициента поглощения плёнок твердых ограниченных растворов $CdS(0,9)-PbS(0,1)$, полученных при температуре отжига $550\text{ }^{\circ}\text{C}$

Из формулы (2) следует, что форма спектральной кривой интегрального коэффициента поглощения должна совпадать с формой спектральной чувствительности изоквантовой фотопроводимости. Построив на одном чертеже оба графика, получим, что формы действительно практически совпали.

В шестой главе полученная система уравнений позволяет теоретически рассмотреть несколько разных случаев фотопроводимости, в зависимости от значения начальной концентрации уровней рекомбинации и наличие уровней прилипания.

Заключение

Разработан алгоритм вычисления спектра люминесценции образцов твердых ограниченных растворов, отличающийся выполнением действий по учету наличия распределения фаз, и сделан аналитический вывод соответствующего выражения с учетом распределения фаз и агрегатных состояний с разной шириной запрещенной зоны.

Построена математическая модель, описывающая фотопроводимость сильно рассеивающих свет образцов, включающая математическое описание взаимодействия оптического излучения с квазисвободными носителями заряда, связывающая оптические параметры образца со спектром фототока. Дано объяснение спектра фототока, возникающего при облучении светом разных длин волн включенного в цепь фотосопротивления на основе твердого ограниченного раствора *CdS-PbS*.

В основном, широкозонной фазой является фаза сульфида кадмия с растворённым в нём сульфидом свинца, узкозонной фазой является фаза сульфида свинца с растворённым в нём сульфидом кадмия, поэтому люминесценция будет наблюдаться в ближнем ИК диапазоне, соответствующем ширине запрещенной зоны узкозонной фазы. Если в качестве узкозонной фазы будет выступать твердый раствор, содержащий центры свечения, к примеру ионы меди, то широкозонная фаза будет накапливать носителями заряда разрешённые зоны узкозонной фазы и возможна интенсивная излучательная рекомбинация по типу зона - центр свечения