

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
**«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г.
ЧЕРНЫШЕВСКОГО»**
(СГУ)

Кафедра физики полупроводников

**Оптические, электрофизические, масс-спектрометрические исследования
нано- и микроструктур на основе сульфида свинца**

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

студента 4 курса 412 группы

направления 11.03.04 «Электроника и нанoeлектроника»

факультета нано- и биомедицинских технологий

Постнова Дениса Юрьевича

Научный руководитель

профессор, д.ф.-м.н., профессор

должность, ученая степень, ученое звание

подпись, дата

Роках А.Г.

фамилия, инициалы

Консультант

доцент, к.ф.-м.н., доцент

должность, ученая степень, ученое звание

подпись, дата

Сердобинцев А.А.

фамилия, инициалы

Зав. кафедрой

д.ф.-м.н., профессор

должность, ученая степень, ученое звание

подпись, дата

Михайлов А.И.

фамилия, инициалы

Саратов 2020

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность. Использование инфракрасного (ИК) диапазона позволяет расширить количество получаемой полезной информации, которая может быть использована для научных исследований, неразрушающего контроля, создания датчиков возгорания и приборов ночного видения. Детекторы ИК-диапазона по принципу работы разделяют на фотонные и тепловые. В основе фотонных детекторов лежат полупроводники, изменяющие свои электрофизические параметры при поглощении квантов света кристаллической решеткой или носителями заряда. В качестве материалов ИК-приемников в настоящее время используют кремний, германий, халькогениды свинца, антимонид индия. Традиционным материалом полупроводниковых фотоприемников является, в частности, PbS. К тому же, интерес к халькогенидам свинца возрос в связи с возможностями, которые открываются при переходе в область нанометровых размеров, что связано с простотой получения коллоидных квантовых точек PbS и сравнительно большими размерами зерен, проявляющих квантоворазмерные эффекты (30-50 нм). Работа посвящена сравнительному изучению пленок сульфида свинца разной размерности.

Целью выпускной работы является сравнительное изучение свойств пленок, полученных гидрохимическим осаждением (ГХО), и нанокристаллических пленок, полученных высаживанием на диэлектрическую подложку коллоидных квантовых точек сульфида свинца.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- оптические исследования спектров пропускания и отражения на предмет экситонных серий.
- исследование вольт-амперных характеристик,
- масс-спектрометрические исследования состава
- электронно-микроскопические исследования формы и состава

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении описана актуальность исследований материала, сформулирована цель работы и задачи

В первой главе приведен литературный обзор, описаны применения фотоприемников и спектральный диапазоны их работы, основные полупроводниковые материалы, используемые при изготовлении, физические свойства сульфида свинца, описание квантовых точек (КТ) сульфида свинца и применявшихся методов исследования: сканирующей электронной микроскопии, инфракрасной спектроскопии, зондового метода определения проводимости и вторично-ионной масс-спектрометрии.

Сульфид свинца является узкозонным полупроводником типа $A^{IV}B^V$ с шириной запрещенной зоны $E_g=0,41$ эВ, проявляющим фоточувствительность в спектральном диапазоне 0,4–3,5 мкм с максимумом в области 2,3–2,5 мкм. При уменьшении размера зерен сульфида свинца до нескольких десятков нанометров и менее происходит значительное изменение его свойств, благодаря чему КТ PbS могут использоваться для расширения спектрального диапазона инфракрасных детекторов, улучшения существующих приборов и открывают перспективу создания более чувствительных детекторов.

Во второй главе приведено описание образцов, полученных методом ГХО, приведены их вольтамперные характеристики (ВАХ) в темноте и при освещении, результаты энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии, спектры отражения и пропускания и микрофотографии поверхности. Также, приведены ВАХ и масс-спектры образцов с КТ PbS.

Пленки получены ГХО 3 составов, различавшихся атомарной долей раствора Cd, использованного при синтезе. Составы были нанесены на 3 типа подложек: стекло, стекло с напылением слоя титана и стекло с напылением ИТО (оксид индия-олова). На образцы со слоем металлизации сверху был напылен гребенчатый алюминиевый электрод.

Для исследования фоточувствительности производилось снятие ВАХ на зондовой станции. Наличие 2х металлических слоев позволило использовать 2 расположения электродов: продольное – оба зонда располагаются на гребенке – и поперечное, при котором один из контактов расположен на гребенке, а второй – на подслое. Снимались световая характеристика и темновые до и после освещения. Только для одного образца при продольном расположении контактов было обнаружено отличие световой характеристики от темновых (рисунок 1). Были произведены повторные измерения с двумя переключениями света и изменением его интенсивности, фоточувствительность не подтвердилась (рисунок 2).

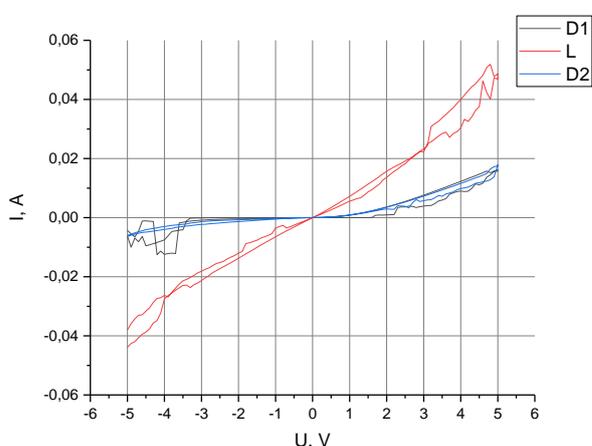


Рисунок 1 – ВАХ образца, показавшего фоточувствительность

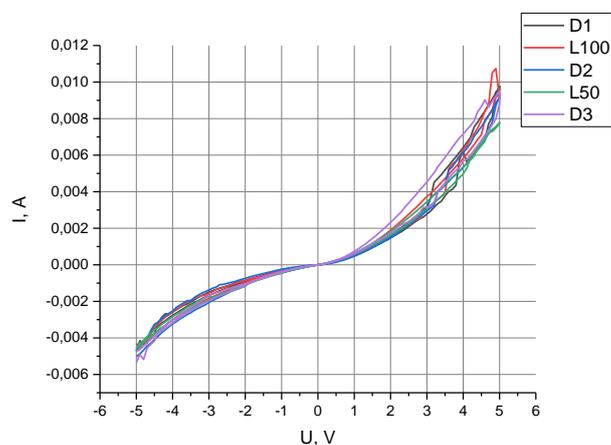


Рисунок 2 – Контрольные ВАХ образца, не подтверждающие фоточувствительность

Приведены результаты анализа химического состава пленок (таблица 1). В образцах, полученных из раствора с наибольшей атомарной долей Cd, наибольшее процентное содержание Cd.

Таблица 1 – Состав образцов

| Номер образца | Атомарная доля Cd при синтезе, М | Cd, ат.% | Pb, ат.% | S, ат.% |
|---------------|----------------------------------|----------|----------|---------|
| 1 | 0,06 | 9,57 | 38,52 | 51,92 |
| 2 | 0,08 | 6,37 | 40,05 | 53,57 |
| 3 | 0,1 | 22,81 | 24,59 | 52,6 |
| 4 | 0,06 | 8,33 | 38,35 | 53,33 |
| 5 | 0,08 | 5,8 | 41,17 | 53,03 |
| 6 | 0,1 | 30,27 | 15,01 | 54,72 |

Получены оптические спектры отражения и пропускания в области 2-5 мкм. В образце, полученном из раствора с наибольшей атомарной долей Cd, наблюдаются экстремумы в оптических спектрах, которые можно объяснить экситонными линиями (рисунки 3, 4).

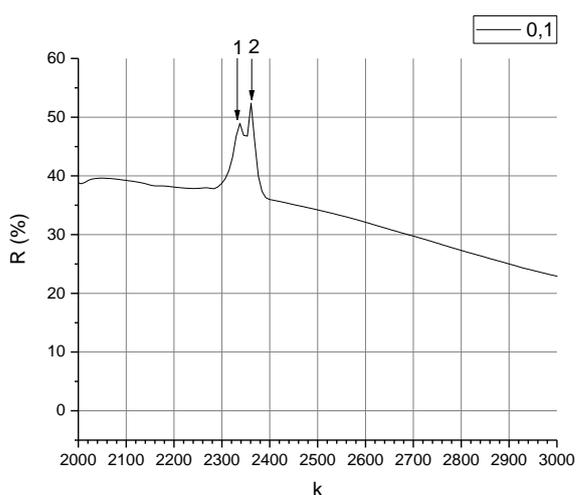


Рисунок 3 – Экситонные линии в спектре отражения

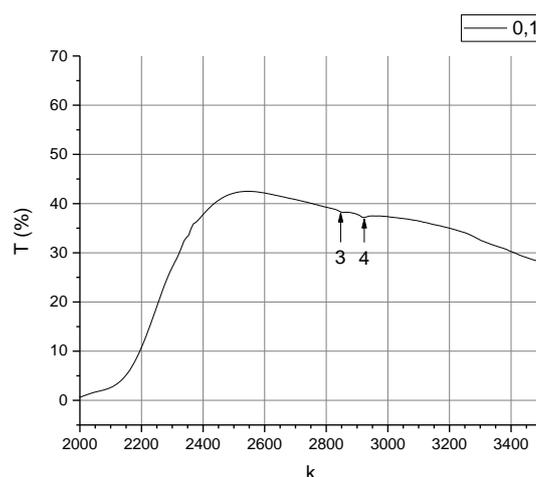


Рисунок 4 – Экситонные линии в спектре пропускания

Для образцов, полученных переносом КТ на стеклянную подложку с напылением встречно – штыревой никелевой гребенки исследованы темновая и световая ВАХ. Фоточувствительность наблюдается при приложении напряжения выше 20 В.

Также проведена вторично-ионная масс-спектрометрия квантовых точек при освещении. Получены положительный и отрицательный световой и темновой профили (рисунки 5, 6).

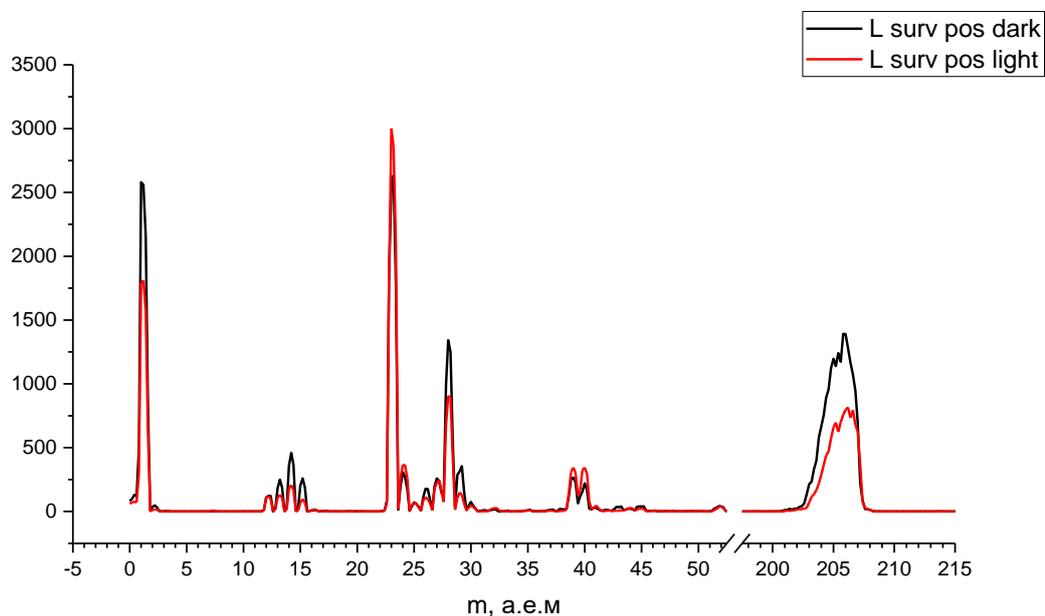


Рисунок 5 – Масс-спектры положительных ионов в темноте и при освещении

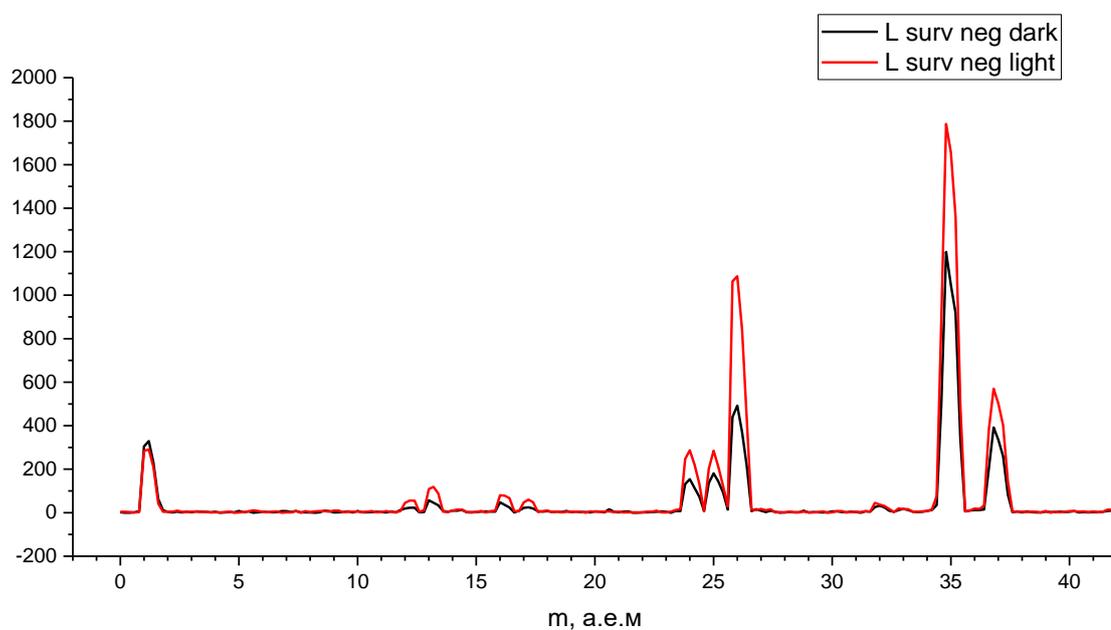


Рисунок 6 – Масс-спектры отрицательных ионов в темноте и при освещении

В третьей главе содержится обсуждение результатов.

Отсутствие фоточувствительности в пленках, полученных ГХО объясняется тем, что образцы не были отожджены, а содержание в осажденном слое кислорода или кислородосодержащих фаз считается определяющим в фоточувствительности сульфида свинца.

Из анализа химического состава можно сделать вывод, что образцы, полученные из раствора с наибольшей атомарной долей Cd представляют собой матрицу CdS с включениями PbS.

Наблюдение экситонных линий в спектрах отражения и пропускания при комнатной температуре оказывается возможно благодаря эффекту диэлектрического усиления: из-за большой разницы диэлектрических проницаемостей на границе фаз, что приводит к увеличению энергии связи экситона до значений, превышающих энергию теплового возбуждения kT .

На ВАХ пленок, полученных из КТ PbS, наблюдается заметная фоточувствительность при напряжении выше 20 В, что соответствует напряженности электрического поля выше 20000 В/см, что может быть объяснено искривлением электронных уровней, приводящем к уменьшению работы выхода электрона до величины, сравнимой с энергией кванта видимого света.

На масс-спектрах наблюдается изменение выхода вторичных ионов обоих знаков от освещения – вторично ионный фотоэффект; для положительных ионов – нормальный (уменьшение выхода), для отрицательных ионов - аномальный (увеличение выхода). Наличие эффекта может объясняться высоким значением поля при распылении, снижающим работу выхода электронов, в результате чего над поверхностью образца образуется управляемое светом электронное облако, снижающее количество попадающих в масс-анализатор положительных вторичных ионов в результате их нейтрализации и увеличивающее число отрицательных ионов в результате присоединения электронов к нейтральным распыленным атомам.

ВИФЭ в квантовых точках наблюдался, по-видимому, впервые.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В пленках, полученных методом гидрохимического осаждения (ГХО), могут наблюдаться экситонные линии при комнатной температуре. Наибольшее проявление экситонных эффектов наблюдается в образце с наименьшим содержанием PbS, что объясняется механизмом эффекта диэлектрического усиления.

В квантовых точках PbS может наблюдаться вторично-ионный фотоэффект: нормальный для отрицательных ионов и аномальный – для положительных, согласно принятой терминологии. При этом заметная фотопроводимость наблюдается при напряжении выше 20 В, что соответствует напряженности электрического поля выше 20000 В/см. Это может свидетельствовать о том, что во время ионного распыления такая напряженность электрического поля достигается.