

2377

с/к

АКАДЕМИЯ НАУК РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН
НПО "ФИЗИКА-СОЛНЦЕ" им. С.А. Давлатова
ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ им. С.В. Стародубцова

На правах рукописи
УДК 621.315.592

НАВИЕВ ГУЛАМЖАН АБДУКУНЛИДЗИВИЧ

**ЭФФЕКТЫ АНОМАЛЬНО-БОЛЬШИХ ФОТОПАПРЯЖЕНИЙ И
ФОТОЭЛЕКТРЕТНЫХ СОСТОЯНИЙ БЕЗ ВНЕШНЕГО
ПОДПРИЗВУЮЩЕГО ПОЛЯ В ПЛЕНКАХ Si и CdTe**

01.04.10 - Физика полупроводников

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени
доктора физико-математических наук

Работа выполнена в Физическом политехническом институте
Министерства высшего и среднего специального образования
Республики Узбекистан

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук, профессор
Шахирзаде Сазим Хайбодуллаевич
доктор физико-математических наук, профессор
Зайнабшинон Сирожиддин Зайнабшинович
доктор физико-математических наук, профессор
Сафиров Абдуназар Сафарович

Ведущая организация: Национальный Университет Узбекистана

Защита состоится « 30.09 » 2009 года в 11:00 часо в на заседании
Специализированного совета Д.015.08.01 при Физико-техническом институте
НПО «Физика-Солнце» АН РУз по адресу: Узбекистан, 100084, г.Ташкент,
ул.Мавлянов ва, 26.
Тел.: (8-10-99-871) -233-12-71 факс:(8-10-99-871) -233-42-91
E-mail: Kaf@npo.fizika.uz

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Физико-технического
института НПО «Физика-Солнце» АН РУз.

Автореферат размещен « 28 » августа 2009 г.

Отзывы на автореферат диссертации в двух экземплярах, заверенной печатью
организации, просим направлять по вышеуказанному адресу на имя ученого
секретаря Специализированного совета

Ученый секретарь
Специализированного совета,
д.ф.-м.т., профессор

Каримов А.В.

1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДИССЕРТАЦИИ

Актуальность работы. Развитие полупроводниковой оптоэлектроники во многом связано исследованием полупроводниковых структур в виде тонких пленок, в особенности тонкопленочных многоэлементных прикладных излучений. К числу таких элементов относятся и полупроводниковые пленки, генерирующие anomalно-большие фотонапряжения (АФН) [1-10], величина которой, вопреки зонной теории, превышает значение ширины запрещенной зоны соответствующего полупроводника.

К настоящему времени получены АФН-пленки как из элементных полупроводников, так и из полупроводниковых соединений A_2B , A_3B и др.; исследованы электрические, фотоэлектрические и оптические свойства; показана возможность использования АФН-пленок как датчиков магнитного поля, нонлинейного излучения, построены преобразователи оптического излучения в электрический потенциалы рельеф, оптоэлектронный трансформатор напряжения [1, 6].

Но, к сожалению, нет теории АФН-эффекта с учетом конкретной конфигурационной модели, микроскопическими параметрами, условиями освещения, фотоэлектричного состояния без внешнего полемизуемого поля, объясняющие экспериментальные данные и позволяющие определения параметров этих пленок. Не исследовано также влияние легирования на эффект anomalно-больших фотоматитных напряжений (АФМН) в таких пленках. Исследование этих вопросов дает существенные результаты, проясняющие механизм возникновения АФН-эффекта, объясняющие экспериментальные характеристики АФН-пленок (ЛВХ, угловая зависимость, зависимость АФН от толщины, ВАХ, спектральные) позволяет находить новые решения их практического применения. Все это определяет актуальность данной работы.

Степень изученности проблемы. Целый ряд важных вопросов, касающихся физики этого явления, несмотря на большое число работ, остаются недостаточно выясненными или дискуссионными. К ним относятся такие вопросы как метод определения механизма АФН-эффекта, определение характеристикных параметров АФН-пленок, расширенные координатных пленок по толщине, теория АФН-эффекта в полупроводниковых пленках с отнородными микрорегионами, с р-п-р-переходами в связи с конформными конфигурационными моделями, теория фотополупроводников в полупроводниках с дельтазонным механизмом фотонапряжения, разработка технологии получения и экспериментальное

изучение фотоэлектричного состояния в таких пленках, теория фотоэлектричного состояния в р-п — переходных структурах с двумя глубокими уровнями, определение параметров уровней приписания ответственности за фотоэлектричное состояние, фотоэлектрический эффект в активированных АФН-пленках. Кроме этого, пути практического применения и использования пленок с АФН-эффектом требуют своей дальнейшей разработки.

Связь диссертационной работы с тематическими планами НИР.
Работа выполнена в Ферганском политехническом институте в рамках Государственной НИР кафедры «Физика».

Цель исследования заключается в разработке технологий получения легированных и активации АФН-пленок, исследования их свойств с помощью фотоэлектрических методов, построении теории, а также в создании на основе АФН-пленок элементов оптоэлектронных приборов структур.

Для достижения этой цели были сформулированы следующие основные задачи исследования:

- разработка технологии получения полупроводниковых пленок с АФН-эффектом, однородных по толщине, обладающих фотоэлектричным состоянием, выходящей магниточувствительностью;

- создание методов определения механизма АФН-эффекта, определение характеристикских микроразмеров, изучение основных характеристик АФН-пленок

- создание теории АФН-эффекта в полупроводниковых пленках с дебафровскими, р-п-р — переходными механизмами в связи с конформными конфигурационными моделями при различных освещениях;

- создание теории фотоэлектричного состояния без внешнего поля в однородных полупроводниках, в р-п — переходных структурах с двумя глубокими уровнями;

- определение параметров глубоких уровней, ответственность за фотоэлектричное состояние;

- расширение путей возможного применения АФН-, АФМН- и фотоэлектричных пленок.

Объект и предмет исследования. Объектом теоретических исследований фотоэлектрических, фотоэлектричных свойств являются полупроводники с однородными областями, р-п-р — и р-п — переходами. Технологические и экспериментальные исследования проводились в пленках Si и CdTe как на представителем, для которых приняты фотодиффузионная и барьерная модели АФН-эффекта, соответственно. Фотоэлектричное

состояние исследовано в пленках Si:Ag, CdTe: Ag, фотомагнитный эффект в CdTe:Si.

Методы исследований. Исследования влияния разорванных технологических процессов на фотоэлектрические, фотоэлектрические свойства пленок, экспериментальные методы снятия уровней Ливарам, спектральных, эрстед-вольтов, люкс-вольтов и релаксационных характеристик, решение уравнения непрерывности, кинетического уравнения, проверка выполнимости закона взаимозаместимости.

Основные положения, выношенные на защиту:

1. Механизм аномально-больших фотонапряжений в полупроводниковых пленках и выбор модели может быть произведен на основе анализа спектральных зависимостей наблюдаемых явлений.
2. Теория АФН-эффекта с дебафровским механизмом в полупроводниковых пленках в связи с конфигурационными моделями, микроскопическими параметрами, условиями освещения.
3. Особенности фотоэлектрического эффекта в полупроводниках с р-п-р-переходами при неоднородном освещении.
4. Фотоэлектрическое состояние без внешнего поля в полупроводниках с однородными микроразмерами (АФН-пленки Si:Ag), р-п-переходами с двумя глубокими уровнями (АФН-пленки CdTe:Ag).

Научная новизна:

- предложены метод определения механизма АФН-эффекта, основанный на исследовании спектральных зависимостей коэффициента поглощения и АФН, в отличие от предыдущих, которые были применимы только в случае сильного поверхностного поглощения;

- найдено аналитическое выражение для распределения во всевозможных пленках по толщине, устанавливающее связь между толщиной и местонахождением рассматриваемой точки пленки. Показано, что распределение толщины осаждаемой пленки очень чувствительно к углу отпоянения поллюксы от нормати. С увеличением угла отпоянения увеличивается максимальное значение толщины максимум толщины сдвигается в сторону больших значений длины толлюкки; наблюдается симметрия относительно максимального значения толщины.

- показано, что на формирование АФН-эффекта в пленках CdTe вносят вклад как расщепление параметров р-п- и п-р-переходов, так и фактор асимметрии освещения, в отличие от известной работ, в которых АФН объяснялся либо первой, либо второй причиной;

- разработана теория АФН-эффекта с деброуевым механизмом в полупроводниковых пленках. Особое внимание уделено теории угловой зависимости АФН как основной характеристики АФН-эффекта, являющейся таковой в предыдущих работах, хотя имеются многочисленные экспериментальные данные. Получено общее аналитическое выражение, из которого как частный случай получаются нормальный, аномальный деброу-эффекты. Показано, что для реализации последнего при освещении светом слабого поглощения, генерации неравновесных носителей по всему объему ($nd \ll 1$, $nL \ll 1$) должно выполняться и условие $nD \ll S$, которое является более жестким и связанным от конкретных параметров пленки (k - коэффициент поглощения света, d - толщина пленки, L - длина диффузии, D - коэффициент диффузии, S - скорость поверхностной рекомбинации);

- показано, что при переходе к освещению сильно поглощаемым монохроматическим излучением аномальный деброу-эффект переходит в нормальный. Показано, что при этом должно выполняться не только $nd \gg 1$, $nL \gg 1$, которые ранее считались достаточными, но и $nD \gg S$, который является более жестким и связанным с конкретными параметрами пленки;

- показано, что в р-р-р-структуре и АФН-пленке с р-р-р-переходами наблюдается явление, аналогичное аномальному эффекту деброу в однородных полупроводниках, т.е. знак генерируемого фотонапряжения не зависит от угла освещения. Этот эффект назван аномальным фотоколлагическим эффектом в р-р-р-структуре и АФН-пленке;

- получено аналитическое выражение для фотонапряжения в р-р-р-структуре и АФН-пленке с р-р-р-переходами при неоднородном освещении, из которого в частном случае получаются нормальные, аномальные фотоколлагические эффекты и переход аномального фотоколлагического эффекта в нормальный в случае сильного поверхностного поглощения света, поверхностной генерации неравновесных носителей, объясняющей экспериментальные результаты (угловую зависимость АФН-эффекта, ДВХ, зависимость АФН от толщины) в CdTe, в отличие от других работ, в которых полностью отсутствовало теоретическое объяснение ДВХ в пленках;

- показана возможность наблюдения и разработки теории фотоэлектричного состояния без внешнего подзаряжающего поля в полупроводниках с однородными областями, где полужидкими фактором является разное подвешивание электронов и дырок, которая объясняет экспериментальные результаты в АФН-пленках кремния, легированных серфом;

- показано, что для наблюдения фотоэлектричного состояния, времени, затрачиваемое на любой процесс, приводящий к увеличению концентрации

электронов (дырок) на акцепторном (донорном) уровне, должно быть намного меньше времени любого процесса приводящего к рекомбинации;

- разработана теория фотоэлектричного состояния в полупроводниках с р-р-р-переходами с двумя глубокими уровнями, объясняющая экспериментальные результаты в АФН-пленках теллурида кадмия, легированных серфом, в котором показано, что фотоэлектрическое напряжение репаксирует с двумя характеристическими временами. Наибольший участок, где фотоэлектрическое напряжение падает существенно быстрее, соответствует более мелкому уровню. Далее концентрация неравновесных носителей зарядя, генерируемые теплом со второго уровня больше чем с первого и фотоэлектрическое напряжение определяется вторым - более глубоким уровнем; найдены критерии участка каждого уровня в создании фотоэлектричного напряжения; показано, что когда время жизни электрона на локальном уровне, больше времени жизни свободного электрона, определяемого рекомбинацией, уходом из р-р-области и когда эти величины (относительно катяте) превышают время захвата на уровень пригипания, то этот уровень участвует в создании фотоэлектричного состояния. Если это условие выполняется для обоих уровней двухуровневой системы, то в формировании фотоэлектричного состояния участвуют оба уровня. При выполнении этого условия только для одного уровня фотоэлектрично состояние обусловлено только одним уровнем, хотя система двухуровневая. Локализовавшиеся на пасивном уровне носители заряда практически не влияют на явление фотонапряжения и не приводят к фотоэлектричному состоянию;

- найдены технологические режимы получения АФН-пленок Si и CdTe, посредством легирования Ag достаточной концентрации ($\sim 10^{18} \text{ см}^{-3}$ Ag в Si, $\sim 10^{18}$, $\sim 10^{20} \text{ см}^{-3}$ Ag в CdTe), позволяющие реализовать фотоэлектричного состояние без внешнего подзаряжающего поля;

- предложен и разработан метод определения энергии нонизации, концентрации примесей глубоким уровнем, ответственных за фотоэлектрично состояние с помощью релаксационных кривых фотоэлектричного и аномального фотонапряжения. Таким образом, параметры уровней определяются именно с помощью эффекта, к которому эти уровни приводят. Это дает возможность, в данном случае, нонизация случаев притиски того или иного явления к уровням, за которые они ответственны.

Научная и практическая значимость результатов исследования. Полученные экспериментальные результаты и технологические приемы легирования, легирования, активации пленок с АФН-эффектом.

фотоэлектрическим состоянием могут быть использованы для построения ряда датчиков и оптических их характеристикических микропараметров. Созданию устройств для измерения переключений. Датчик магнитного поля на основе полупроводников имеет высокую магниточувствительность и линейную зависимость от температуры.

Технология получения и модификация исследованных фотоэлектрического состояния без внешнего подмагнивающего поля может быть применена для разработки технологий и исследования этого эффекта в других полупроводниковых и построенных элементов памяти.

Методы определения характеристикических микропараметров могут быть использованы для определения параметров не только CdTe, но и других полупроводниковых пленок (CdSe, CdS, Bi₂Te+Sb₂Te), в которых наблюдается АФН-и АФН-эффекты.

Метод определения параметров глубоких уровней, предложенный в работе, может быть применен не только для изучения параметров глубоких уровней в полупроводниках с фотоэлектрическим состоянием, но и в полупроводниках в которых глубокие уровни влияют на релаксационные процессы.

Материалы диссертации могут быть использованы в курсах физики полупроводников (особенности фотоэлектрического эффекта в р-п-структуре при различных освещенностях, особенности дебаэр-эффекта, фотомагнитный эффект в легированных пленках CdTe). Микро- и нанозащитники (вопросы распределения осаждаемых пленок по толщине, учет конфигурации микрофотоэлементов пленки).

Результаты, полученные в диссертации, развивают новое научное направление «Фотоэлектрические и фотоэлектрические эффекты без внешнего поля в полупроводниках».

Реализация результатов. Полученные результаты являются основой для разработки фотоэлектрических устройств в научно-производственных объединениях АН РУз и других приборостроительных организациях.

Апробация работы. Основные результаты данной диссертационной работы докладывались на шестом Международном совещании по фотоэлектрическим и оптическим явлениям в твердом теле (Варна, 1980), на Международной конференции по аморфным полупроводникам (Габрово, 1984), на втором Международном семинаре по глубоким уровням в полупроводниках (Ташкент, 1980), на VI-республиканской конференции молодых физиков (Ташкент, 1981), на Республиканской школе молодых ученых и специалистов «Актуальные проблемы физики полупроводников» (Фергана, 1982), на Международном школе – семинаре молодых ученых

«Физика и материаловедение полупроводников с глубокими уровнями» (Ташкент, 1984), на Международном совещании по фотоэлектрическим и оптическим явлениям в твердом теле (Варна, 1989), на Республиканской научно-практической конференции по шестнадцатой 600-летию Мирзо Улугбека (Ташкент, 1994), на Международной конференции «Материаловедение алмазоподобных и халькогенидных полупроводников» (Черновцы, 1994), на Международной конференции «Твердотельная электроника» (Наманган, 1994), на Международной конференции «Современные проблемы физики полупроводников и диэлектриков» (Ташкент, 1995), на Международной конференции «Проблемы теоретической физики и физики твердого тела» (Бухара, 1997), на научно-теоретической конференции посвященной 8-летию независимости Республики Узбекистан (Фергана, 1999), на Республиканской научно-практической конференции «Использование недрациональных методов техники и технологий» (Фергана, 1999), на Международной конференции «Фото-, термо- и термоэлектрические явления в полупроводниковых пленках» (Фергана, 1999), на научно-практическом семинаре-совещании «Проблемы полупроводникового материаловедения» (Анжиян, 1999), на Международной конференции «Итоги науки-2000» (Бухара, 2000), на Международной конференции «Проблемы производства поли- и монокристаллов кремния для микроэлектроники и солитонной электроники» (Анжиян, 2000), на Республиканской научно-практической конференции профессоров и преподавателей (Ташкент, 2001), на Международной конференции «Взаимодействие новых с поверхностью ВПН-2001» (Узбекистан, 2001), на Республиканской конференции «Фундаментальные и прикладные вопросы физики» (Ташкент, 2003), на Республиканской научно-технической конференции «Применение передовых методов техники и технологии производства и информатики» (Фергана, 2003), на Международной конференции по «Фотоэлектронике и приборам ночного видения» (Узбекистан, 2004), на международной конференции «Проблемы фундаментальной и прикладной физики полупроводников» (Анжиян, 2005), на XIX международной научно-технической конференции по фотоэлектронике и приборам ночного видения (Узбекистан, 2006), на республиканской научно-технической конференции «Оптические, акустические и радиоэлектронные методы и средства контроля природной среды, недр, материялов и изделий» (Фергана, 2006), на международной конференции по фотоэлектрическим и оптическим явлениям в полупроводниковых структурах (Фергана, 2006), на 9 международной конференции по электронике и информатическим и коммуникационным технологиям (Корея-Узбекистан, 2008).

Объемно-результатов. По материалам диссертации опубликовано 68 работ, из них 41 в научных журналах.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, восьми глав, заключения и списка литературы из 285 наименований. Она содержит 302 страницы машинописного текста, включая 90 рисунков и 11 таблиц.

2. ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснована актуальность работы, формулируется цель и основные задачи, научная новизна и практическая ценность, основные положения, выносимые на защиту, апробация.

Первая глава диссертации посвящена обзору литературы. Основное внимание уделено работам, в которых исследуются технологические процессы получения АФН- пленок, структурным исследованиям, вольт-амперным характеристикам, фотомагнитному эффекту, фотоэлектрическому эффекту в АФН- пленках. Степан критический обзор молельных представлений о природе АФН- эффекта и его угловой зависимости в полупроводниковых пленках.

Во второй главе описана технология получения и основные свойства АФН- пленок кристлина и теллурида кадмия. Определены их характеристические микрорадиометрические пленки.

При получении пленок термическим осаждением вещества на подложку важными характеристиками являются толщина пленки и распределение этой толщины по длине пленки. Здесь проведен расчет распределения толщины по длине пленки для общего случая, когда плоскость подложки неоднородно нагрета. Для плоскости испарителя. Эта задача представляет самое трудный интерес не только для АФН- пленок, но и для ферромагнитных пленок, пленок широко применяемых для ориентации жидких кристаллов и др., которые получают специально на подложках осаднением исходного вещества.

Обозначив через θ угол наклона подложки относительно нормали, и проведя соответствующие вычисления, получаем распределение толщины по длине пленки для случая испарителя с малой поверхностью

$$d/d_0 = \left[1 + \left(\frac{l}{h} \right) \sin \theta \right] \cos^2 \theta \left[1 + \left(\frac{l}{h} \right) + 2 \left(\frac{l}{h} \right) \sin \theta \right]^{-1/2} \quad (1)$$

где

$$d_0 = M(4\rho_0)^{-1} h^{-2} \quad (2)$$

— толщина пленки в точке над испарителем, h — расстояние от испарителя до этой точки, l — расстояние от точки в подложке над испарителем до рассматриваемой точки; M , ρ — масса и плотность материала конденсированного вещества.

Максимум выражения (1) наблюдается при значениях $\frac{l}{h}$ равных

$$l/h = -\sin^{-1} \theta \left\{ 1 - \left(\frac{\cos \theta}{3} \right) \left[\cos \theta + (3 + \cos^2 \theta)^{1/2} \right] \right\}. \quad (3)$$

Аналогично для случая точечного испарителя

$$d/d_0 = \cos \theta \left[1 + \left(\frac{l}{h} \right)^2 + 2 \left(\frac{l}{h} \right) \sin \theta \right]^{-1/2} \quad (4)$$

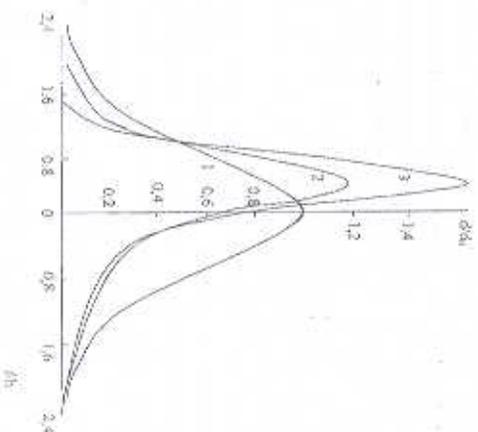


Рис. 1. Распределение толщины при испарении из испарителя с малой поверхностью

Из этих выражений следует, что распределение толщины очень чувствительно к углу отклонения (θ) подложки от нормали. С увеличением угла θ увеличивается максимальное значение толщины; максимум толщины сдвигается в сторону больших значений длины подложки; нарушается симметрия относительно максимального значения толщины (рис. 1).

Описывается способ устранения неоднородности толщины по длине АФН-пленки, при координатном осаждении, путем дополнительного допыления. Этот вопрос является решающим для получения пленок с оптимальной толщиной.

Для получения пленок равномерной толщины прибегают к нескольким приемам. В одном из них применяют ряд небольших испарителей, расположенных по кругу параллельно подложке или одного испарителя, вращаемого во круг оси, перпендикулярной к плоскости подложки.

В другой методике получения пленок равномерной толщины подложку вращают во круг оси, перпендикулярной её плоскости.

Эти приемы не применимы для случая АФН-пленок т.к. при испарении вышедшие в газовую фазу молекулы испарителя сфокусируются в направлении вылета испарителя, которая возникает при координатном осаждении нарушается и АФН не осаждается.

Другим недостатком этих методов, вообще, является применение многих испарителей, что технически не всегда возможно а тем более увеличение испарителя или подложки с токопроводами.

Наши разработки способ устранения неоднородности толщины по длине АФН-пленки, при координатном осаждении. Для этого между испарителем и подложками в вакуумной камере устанавливаем металлическую штору, которую можно передвигать с помощью магнита направленно поверхности источника. По достижении близлежащего к испарителю конца пленки оптимальной толщины начинаем двигать штору со скоростью в зависимости от скорости осаждения вещества, закрывая тем самым ход поступления молекул/атомов вещества к этой части подложки.

Таким образом, в оставшая часть пленки постепенно достигнет оптимальной толщины. Например, в одном из наших экспериментов в при осаждении пленки под углом 60° , и расстояния от подложки до испарителя 5 см, и длине слоя 1,7 см и при выборе оптимальной толщины как 1 мкм и росте близлежащего к испарителю конца пленки со скоростью 0,04 мкм/мин, и отдаленного конца 0,02 мкм/мин, скорость перемещения шторы была равной 1 мм/мин.

Результаты проведенных экспериментов по дополнительному допылению для 6 образцов CdTe приведены в таблице (длина образцов 1,7 см).

Видно, что при применении разработанного способа удлинение АФН достигает 30%. Снятием зависимости $V_{\text{дп}}$ от длины пленки показано, что в пленках с предельным толщиной $V_{\text{дп}}$ распространяется неравномерно, а в пленках, полученных выполнением технологией равномерно.

Таблица
Влияние дополнительного допыления на АФН в пленках CdTe.

Номер образца	$V_{\text{дп}}$, В	до допыления	$V_{\text{дп}}$, В	Дополнительное $V_{\text{дп}}$, В	
				В	%
9	84		101	17	16,8
11	95		137	42	30,7
12	103		152	48	31,8
14	110		143	33	23
16	120		165	45	27,5
19	115		168	53	31,6

Знание характеристикских микропараметров АФН-пленок позволяет уточнить представления о природе генерации фотонапряжений в микрофотоэлементах и по ним в частности АФН-пленка оценивается как прибор и определяется область её применения. Обычно при определении характеристикских микропараметров для нахождения подлинности прибегают к фотохолл-эффекту, расшифровка результатов которого в пленочных образцах связаны большими трудностями. В работе показано, что не обращаясь к фотохолловским измерениям, с помощью спектральных зависимостей АФМН- и АФН-эффектов есть возможность определения характеристикских микропараметров таких как подвижность носителей, длина диффузии, число микрофотоэлементов, скорость поверхностной рекомбинации.

Третья глава посвящена методам определения механизмов АФН-эффекта, исследованию физической природы АФН-эффекта в пленках Si и CdTe, вопросу влияния тока в поверхностной утечки зарядов на ВАХ АФН-пленок, кинетическим процессам в пленках CdTe и Si, разделение механизмов АФН-эффекта на р-п - переходной и автоматный деибер-эффект и механизмам АФН-эффекта в пленках CdTe.

Появление аномально-большого фотонапряжения складывается из трех процессов: 1) генерация неравновесных носителей заряда в полупроводнике; 2) преобладающее разделение электронов и дырок; 3) суммарное фотоиндуцированное образование микрофотоэлементов. Первый процесс осуществляется как правило, воздействием света. Третий процесс осуществляется в естественным образом возникающей в процессе роста, характерной для АФН-пленки, батарее последовательно включенных микрофотоэлементов. Второй процесс может быть осуществлен на

различного рода барьеры или с помощью фотодиффузионного эффекта (эффект Девиэра) в однородных микрофотоэлементах.

Известованные зависимости $V_{\text{фдн}}(\alpha)$ для свежесплавленных пленок равны при различных углах поступления молекулного пучка на подложку показали, что на всех пленках аномальное фотонапряжение имеет инверсию знака фотонапряжения в пределах $0-180^\circ$, причем угол инверсии практически соответствует углу освещения пленки.

Установлено, что термообработка пленок, полученных при $\alpha_{\text{ин}}=60^\circ$ при температуре 400°C приводит к сдвигу угла инверсии знака АФН в сторону больших углов освещения. Такой сдвиг наблюдается в пленках с $\alpha_{\text{ин}}=45^\circ$ при 300°C . Термическая обработка пленок с $\alpha_{\text{ин}}=30^\circ$ уже 200°C приводит к сдвигу угла инверсии знака АФН, причем величина этого сдвига больше, чем в пленках с $\alpha_{\text{ин}}=45^\circ, 60^\circ$. Обработка при температуре 300°C показала, что в отличие от предыдущих случаев инверсия отсутствует. В углах диаграмм $V_{\text{фдн}}(\alpha)$ пленок обработанных при 400°C также не наблюдается инверсия. При снятии зависимости $V_{\text{фдн}}(\alpha)$ при освещении этих пленок монохроматическим светом из области $\lambda \gg 1$ опять выявлено инверсию знака фотонапряжения.

Таким образом, меняя угол падения молекулного пучка и режим оптической термообработки получены пленки, проявляющие как инверсию знака фотонапряжения, так и без инверсии в белом свете, но имеющие инверсию в сильнопотошаском монохроматическом свете.

Известованная зависимость $V_{\text{фдн}}(\alpha)$ для свежесплавленных и термообработанных пленок CdTe показала, что в этих пленках инверсия знака АФН не наблюдается. При термообработке имевшейся для максимумма сдвигается в сторону так, что углы при вращении наблюдаются $V_{\text{фдн}}$ имеют другие значения, что является существенным для термообработки при поиске наилучшего значения $V_{\text{фдн}}$. Таким образом, в таких случаях термообработку нужно проводить совместно с углами и следствием.

При определении механизма генерации АФН методом снятия $V_{\text{фдн}}(\alpha)$ необходимым условием является $\lambda \gg 1$. Но это условие выполняется не для всех пленок. Оценка значения величины λ с привлечением спектральной зависимости $V_{\text{фдн}}$ и коэффициента поглощения показала, что АФН выявляется широкой областью значений.

АФН с фотодиффузионным эффектом на барьере и фотодиффузионном эффекте в однородных по типу микрообластях должны по-разному зависеть от длины волны падающего излучения.

Фотонапряжение, генерируемое на барьере во вращает по мере приближения пучка, проявляющего монохроматического света к плуэине

затенения барьера. В коротко волновой области длин волн коэффициент поглощения света велик; генерация происходит в поверхностной области пленки, поэтому часть возбужденных носителей рекомбинируют, не успевая дойти до барьера. С переходом в длинноволновую область коэффициент поглощения уменьшается; поглощение света и соответственно генерация неравномерно носители проникает по всей толще полупроводника равномерно и фотонапряжение падает. Поэтому спектр АФН-эффекта в таких пленках должен иметь максимум. Спектральная зависимость АФН-эффекта в пленках CdTe имеет именно такую закономерность, что свидетельствует о барьерной природе АФН-эффекта в этих пленках.

Из самого определения фотодиффузионного эффекта как эффекта возникновения фотонапряжения при неоднородном освещении ясно, что она максимална при освещении сильнопотошаским светом. Именно в этом случае создается максимальный градиент концентрации, необходимый для диффузионного процесса. С увеличением длины волны увеличивается толщина проникновения света, оставая при этом меньше пространство для развития диффузии. Спектр АФН-эффекта в таких пленках имеет монотонно спадающий характер, имея при этом небольшие значения при относительно коротких длинах волн. Спектр АФН-эффекта в пленках Si имеет вид монотонно спадающей кривой с переходом в длинноволновую область, что свидетельствует о фотодиффузионной модели АФН-эффекта в этих пленках.

При выполнении условия $\lambda \gg 1$ работает только та часть пленки, которая возбуждена монохроматическим светом, остальная часть пленки остается пассивной, ввиду непрозрачности фотоактивного света. Более надежные результаты должны получаться при работе всей толщины в целом, т.е. при $\lambda < 1$. Для этого случая в области спада фотонапряжения, показано, что определение механизма может быть произведено на основе определения функции $dV_{\text{фдн}}/dV$.

Показано, что для барьерной модели

$$dV_{\text{фдн}}/dV = A_2 + B_2 \lambda^{-1} \quad (5)$$

а для фотодиффузионной модели

$$dV_{\text{фдн}}/dV = A_0 + B_0 \lambda^{-2} \quad (6)$$

где A_0, B_0, A_2, B_2 — постоянные не зависящие от коэффициента поглощения.

Линейная зависимость d ($\mu\text{к}/\text{дВ}$) от k^2 в пленках CdTe свидетельствует о барьерной модели АФН-эффекта в этих пленках (рис.2).

Параболическая зависимость этой функции для пленок Si приводит к фотодиффузионной модели (рис.3).

Для более полной и подробной информации данной методикой рассматривались также виды этой функции для пленок Ge и $\text{V}_2\text{Te}_3 + \text{Sb}_2\text{Te}_3$. Обработка данных показывает, что вид этой функции для пленок Ge параболический (фотодиффузионная модель), а для пленок $\text{V}_2\text{Te}_3 + \text{Sb}_2\text{Te}_3$ линейный (барьерная модель).

ВАХ АФН-пленок ряда полупроводников имеют линейный участок с последующим переходом на суперлинейную зависимость. Из диффузионных областей распространение носителей по всем направлениям равновероятно и следовательно в таких областях имеет место утечка через поверхность. Учет этого ток в одном (в частности в измеряемом диаметром) направлении уменьшается. Показано, что утечка влияет и на вид ВАХ р-п-перехода, хотя р-п-переход является абсолютно сильных внутренних электрических полей.

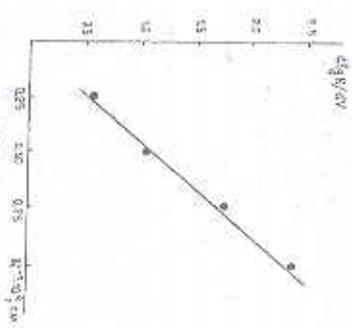


Рис.2.Зависимость d ($\mu\text{к}/\text{дВ}$) от k^2 для пленок CdTe

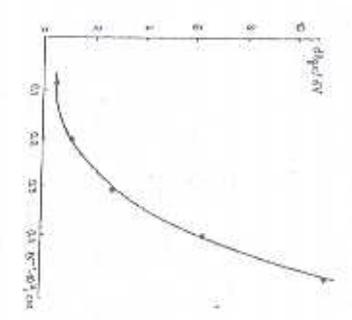


Рис.3.Зависимость d ($\mu\text{к}/\text{дВ}$) от k^2 для пленок Si

Таким образом, показано, что суперлинейность ВАХ нельзя связывать с порожистыми утечками тока.

Обозначив коэффициентом и величину АФН, в начальной момент ($t=0$) распада через Δn_0 , $V_{\text{диф}}$ и в произвольное время t через Δn , $V_{\text{диф}}$ получено аналитическое выражение для зависимости $V_{\text{диф}}(t)$ в полупроводниках с р-п-переходом

$$V_{\text{диф}} = V_{\text{диф}0} \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right), \quad (7)$$

где

$$V_{\text{диф}0} = N \frac{kT}{q} \frac{\Delta n_0}{n_0}, \quad (8)$$

и определено время жизни неравновесных носителей в пленках тсдуррида кадмия ($\tau=13 \times 20$ с).

Применяя также результаты исследования кинетики анодного фотонапряжения в полупроводниках с однородными микрорегионами. Обозначая концентрацию неравновесных носителей при $t \rightarrow \infty$ в $x=0$ через $\Delta n_{0\infty}$ в $x=d$ $\Delta n_{d\infty}$ получим

$$V = V_0 \left(1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right)\right) \quad (9)$$

где

$$V_0 = N \frac{b-1}{b+1} \frac{kT}{q} \frac{1}{n_0} \left(\Delta n_{0\infty} - \Delta n_{d\infty} \right) \quad (10)$$

N – число однородных микрорегионов, k – постоянная Больцмана, q – заряд электрона, n_0 – концентрация равновесных носителей. Обозначая концентрацию неравновесных носителей в начальный момент ($t=0$) рассматривая в $x=0$ через Δn_{∞} в $x=d$ $\Delta n_{d\infty}$ для релаксации фотонапряжения получим аналитическое выражение (7), где

$$V_0 = N \frac{b-1}{b+1} \frac{kT}{q} \frac{1}{n_0} \left(\Delta n_{0,0} - \Delta n_{d,0} \right) \quad (11)$$

Видно, что отличие состоит лишь в абсолютных значениях фотонапряжения. Априори введена для пленок Si. На рис.4 приведено сравнение и след фотонапряжения при АФН-эффекте для пленок Si в координатах $\ln \frac{V_0}{V_0 - V}$ и

$\ln \frac{V_0}{V}$ соответственно. Видно, что теория, в основном, правильно описывает экспериментальные данные и что $\tau \approx 8 \cdot 10^{-6}$ с.

Необходимым условием снятия уловых диарам освещенных коротковолновым монохроматическим светом является условие сильного поглощения $kd \gg 1$. Пленки новаторок полупроводников генерируют значительные фотонапряжения при $kd \ll 1$. Поэтому определение механизма в АФН-эффекта методом угловых диарам в этом случае нельзя провести.

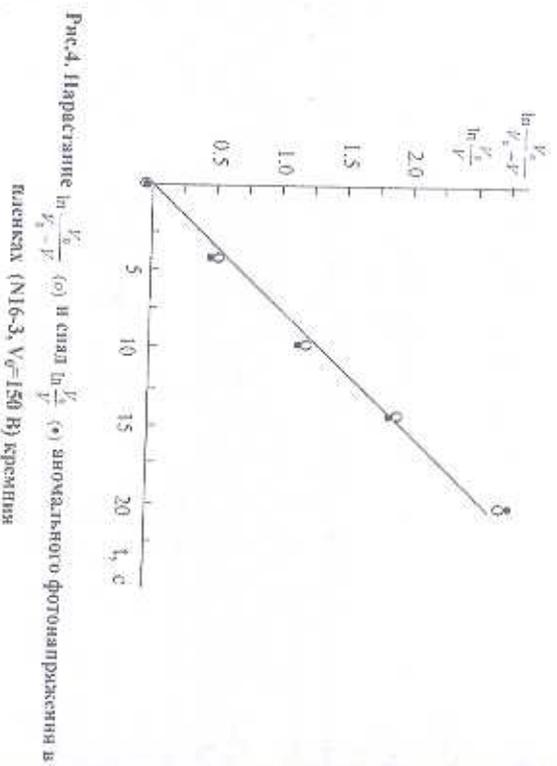


Рис. 4. Повышение $\ln \frac{I_p}{I_n}$ (○) и $\ln \frac{I_p}{I_n}$ (□) амплитудного фотонапряжения в пленках (N16-3, $V_p=150$ В) кремния

Обосновывая и опровергая соотношение скоростей поверхностной рекомбинации с помощью отношения фотоматричных напряжений при освещении фронтальной и тыльной поверхностей показана возможность различения механизмов АФН-эффекта на р-п-переходной и амплитудный дебор-эффект. Аprobания методики проведения для пленок SiTe.

Причиной приводящей к АФН-эффекту в пленках с перпендикулярными р-п-р-переходами является сложение нескольких фотонапряжений в р-п- и п-р-переходах. Считается, что различие в значениях генерируемого фотонапряжения возникает либо из-за асимметричного освещения р-п- и п-р-переходов, либо из-за различия параметров этих переходов.

Изучая зависимость $V_{\text{фн}}$ от угла падения света для пленок SiTe, полученные под различными углами освещения (рис. 5) показано, что на формирование АФН-эффекта вносит вклад как различие параметров р-п- и п-р-переходов, так и фактор асимметрии освещения.

В четвертой главе в рамках двухсторонней модели АФН-эффекта рассматривается вопрос о функциях генерации, АФН-эффект в полупроводниках пленках с р-п-переходами и дебор-эффект модели АФН-эффекта.

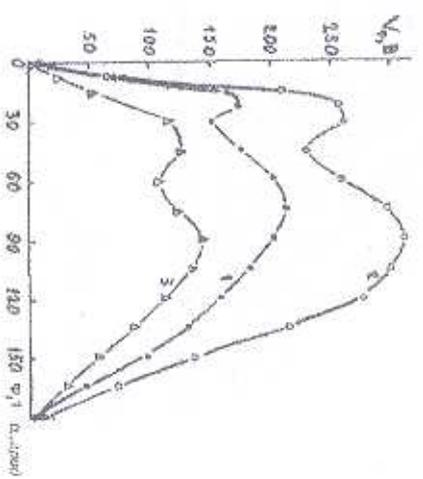


Рис. 5. Угловая зависимость АФН-эффекта для пленок SiTe, полученные при различных углах

Развитая в этой главе теория АФН-эффекта является теорией фотovoltaического эффекта в полупроводниковых многослойных структурах с учетом конкретной конфигурационной модели АФН-пленки.

Введение понятия эффективного микрофотоэлемента дает возможность перейти от системы уравнений напряженности к двум уравнениям при р-п-переходной, к одному при дебор-эффекту и к трем уравнениям при р-п-р-переходной модели и в соответствующих выражениях перейти от суммирования фотонапряжений по всем элементам к произведению генерируемого фотонапряжения эффективным микрофотоэлементом на их число.

Развита теория АФН-эффекта в полупроводниках с р-п-переходами (рис. 6). Особое внимание уделено угловой зависимости и показано, что в этом случае не наблюдается инверсия знака фотонапряжения (рис. 7).

Дебор-эффект механизм АФН-эффекта был привлечен потому, что направление диффузионного потока неравномерных носителей заряда определяет знак АФН и поэтому при переходе от освещения одной грани дебор-эффект вступает в двустороннее фотонапряжение меняет знак. Но аналитически эти предположения не были разработаны.

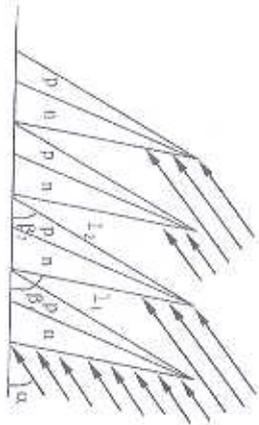


Рис. 6. Освещение штенки с р-п-переходами

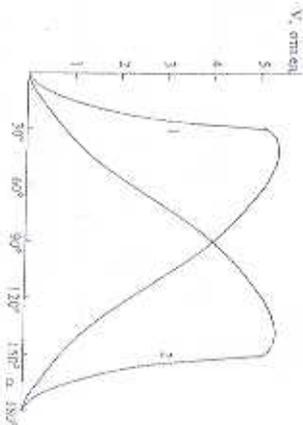


Рис. 7. Угловая зависимость АФДИ-эффекта в подуправляющих пленках с р-п-переходами

— переходы

Получено аналитическое выражение для АФДИ-эффекта с деобро-визмом (в зависимости от подвижностей носителей заряда (b), скорости поверхностных рекомбинации на освещаемой и тыльной гранях диэдрита (S_1, S_2), длины диффузии (L), времени жизни (τ), коэффициента диффузии (D), скорости генерации (g) неравновесных носителей заряда, числа микрофотоэлементов (N), угла освещения пленки (α):

$$V = (N-1) \frac{KT h-1}{q b+1} \ln \frac{\left[S_1 S_2 + \frac{D}{\tau} \right] \frac{D}{L} \text{sh} \frac{D}{L} + (S_1 + S_2) \frac{D}{L} \text{ch} \frac{D}{L} \cdot \left[\text{th} \alpha + \rho_0 + g \tau (\theta + 1) \right] - \frac{g \tau (\theta + 1) \left[(S_1 + \kappa D) \frac{D}{L} \text{ch} \frac{D}{L} + S_1 \text{sh} \frac{D}{L} \right] - D (S_2 - \kappa D)}{\left[S_1 S_2 + \frac{D}{\tau} \right] \frac{D}{L} \text{sh} \frac{D}{L} + (S_1 + S_2) \frac{D}{L} \text{ch} \frac{D}{L} \cdot \left[\text{th} \alpha + \rho_0 + g \tau (\theta + 1) \right] - \frac{g \tau (\theta + 1) \left[(S_1 + \kappa D) \frac{D}{L} \text{ch} \frac{D}{L} + S_1 \text{sh} \frac{D}{L} \right] - D (S_2 - \kappa D)}{\left[S_1 S_2 + \frac{D}{\tau} \right] \frac{D}{L} \text{ch} \frac{D}{L} + (S_1 - \kappa D) \frac{D}{L} \text{sh} \frac{D}{L} - S_1 \text{sh} \frac{D}{L}} \times$$

$$\begin{aligned} & \frac{KT h-1}{q b+1} \ln \frac{\left[S_1 S_2 + \frac{D}{\tau} \right] \frac{D}{L} \text{sh} \frac{D}{L} + (S_1 + S_2) \frac{D}{L} \text{ch} \frac{D}{L} \cdot \left[\text{th} \alpha + \rho_0 + g \tau (\theta + 1) \right] - \frac{g \tau (\theta + 1) \left[(S_1 + \kappa D) \frac{D}{L} \text{ch} \frac{D}{L} + S_1 \text{sh} \frac{D}{L} \right] - D (S_2 - \kappa D)}{\left[S_1 S_2 + \frac{D}{\tau} \right] \frac{D}{L} \text{sh} \frac{D}{L} + (S_1 + S_2) \frac{D}{L} \text{ch} \frac{D}{L} \cdot \left[\text{th} \alpha + \rho_0 + g \tau (\theta + 1) \right] - \frac{g \tau (\theta + 1) \left[(S_1 + \kappa D) \frac{D}{L} \text{ch} \frac{D}{L} + S_1 \text{sh} \frac{D}{L} \right] - D (S_2 - \kappa D)}{\left[S_1 S_2 + \frac{D}{\tau} \right] \frac{D}{L} \text{ch} \frac{D}{L} + (S_1 - \kappa D) \frac{D}{L} \text{sh} \frac{D}{L} - S_1 \text{sh} \frac{D}{L}} \times \\ & - g \tau (\theta + 1) \left[(S_1 + \kappa D) \frac{D}{L} \text{ch} \frac{D}{L} + S_1 \text{sh} \frac{D}{L} \right] + \frac{D}{L} (S_2 - \kappa D) \\ & \times \left[\text{th} \alpha + \rho_0 + g \tau (\theta + 1) \right] \end{aligned} \quad (12)$$

$$g_1 = g_0 \frac{\text{Sh}^2(\beta_1 - \beta_2)}{\text{Sh}^2 \beta_1} \frac{\text{Sh}^2 \alpha}{\text{Sh}^2(\beta_1 - \alpha)} \quad \text{при} \quad 0 \leq \alpha \leq \beta_2 \quad (12 a)$$

$$g_2 = g_0 \frac{\text{Sh}^2(\beta_1 - \beta_2)}{\text{Sh}^2 \beta_2} \frac{\text{Sh}^2 \alpha}{\text{Sh}^2(\alpha - \beta_1)} \quad \text{при} \quad \beta_1 \leq \alpha \leq \pi \quad (12 б)$$

$$g_3 = g_0 \text{Sh}(\beta_1 - \alpha) \quad \text{при} \quad \beta_2 \leq \alpha \leq \beta_1 \quad (12 в)$$

$$g_4 = g_0 \text{Sh}(\alpha - \beta_2) \quad (12 г)$$

Из полученного выражения следует, что при равенстве скоростей поверхностных рекомбинаций, когда пленка освещается слабо поглощаемым светом ($\kappa d \ll 1$), т.е. когда генерация происходит по всей толщине и при любом соотношении между κd и $S_{1,2}$ аномальное фотоупражнение имеет инверсию знака (нормальный деобро-эффект) (рис.8 а).

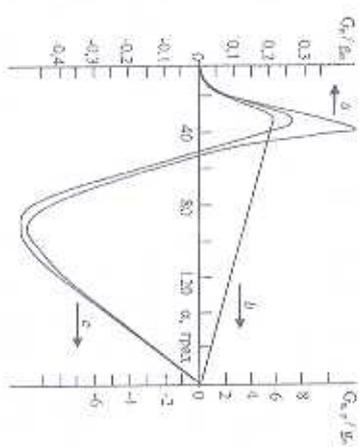


Рис. 8. Угловая зависимость, нормированного (а), аномального (б) и при переходе от аномального к нормальному (в) АФДИ-эффекту.

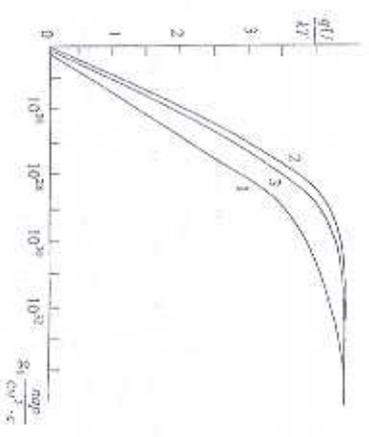


Рис. 11. ДВХ нормального фотогальванического эффекта в батарее р-п-р — переходе

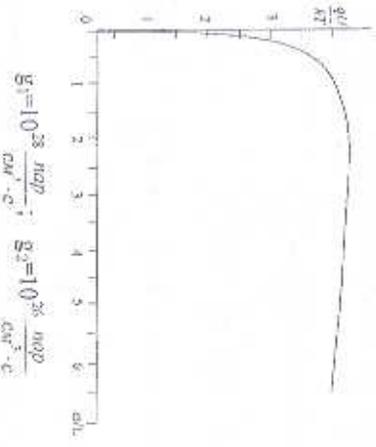


Рис. 12. Зависимость нормального фотогальванического эффекта в батарее р-п-р — переходе от толщины пленки

В случае, когда $L_{11}h^{(0)} \ll L_{21}h^{(0)}$ фотонапряжение не равно нулю. Из полученного выражения следует также, что фотонапряжение не имеет инверсии знака, причем при $L_{11}h^{(0)} > L_{21}h^{(0)}$ $U_1 > U_2$ при $L_{11}h^{(0)} < L_{21}h^{(0)}$ $U_1 < U_2$ и возникает АФН с другим — противоположным знаком.

Такой образод. в р-п-р-структуре и соответственно в АФН-пленке наблюдается явление аналогичное аномальному эффекту Лехнера в однородных

полупроводниках, т.е. знак генерируемого фотонапряжения не зависит от угла освещения. Этот эффект назван аномальным фотогальваническим эффектом в р-п-р-структуре (рис. 8 е).

Далее показано, что переход к освещению сплошнопоточным монохроматическим светом приводит к инверсии знака фотонапряжения в угловой зависимости АФН-эффекта:

$$V = N \frac{kT}{q} \ln \left(1 + \frac{S L_{21}}{kD_1 n^{(0)}} \right) \quad (14)$$

(рис. 8 е), т.е. аномальный фотогальванический эффект в р-п-р-структуре становится нормальным.

Как пример рассчитаны ДВХ и зависимость АФН эффекта от толщины пленки для этого случая (рис. 11, 12).

Сопоставление расчетных характеристик с экспериментальными данными показывает, что на практике реализуется случай нормального фотогальванического эффекта в р-п-р-структуре.

В шестой главе развита теория фотоэлектричного состояния в однородных полупроводниках, технологии получения и экспериментальные исследования фотоэлектричного состояния в АФН-пленках карбония, легирующим сорбром, преложена и апробирована методика определения параметров уровня прилипания.

Показана возможность и создана теория фотоэлектричного состояния в однородных полупроводниках с дельбровским механизмом генерации фотонапряжения. Фотоэлектрик такого типа может быть создан, в отличие от традиционных, без внешнего поля, в результате одного лишь освещения. Потери энергии фактором, в данном случае, является подвздожание электронов дьерок

Фотоэлектрическое состояние в однородных микрофотоэлементах на основе эффекта Дембфера наблюдается при неоднородной биполярной генерации электронно-дырочных пар, последующего их разделения за счет различия подвижностей электронов и дырок и прилипания неравновесных носителей заряда на глубокие уровни. Суммирование фотоэлектрических напряжений в многослойной структуре приводит к их существенным значениям.

Решая кинетическое уравнение и находя дельбровское напряжение интегрированием напряженности поля Дембфера, получен закон захватывания, который в простейшем случае имеет экспоненциальный вид:

$$V = N \frac{kT}{q} \frac{b-1}{b+1} \Delta n \exp(-\tau_1 / \tau_1^*), \quad (15)$$

где τ_1^* — время жизни свободного носителя, τ_1 — время жизни носителя на

локим уровнем, т.е. время заката на уровень приливания.

Показано, что для наблюдения фотоэлектрического состояния, время записываемое на лентой процесс, приводящий к увеличению концентрации носителей на уровне приливания должно быть намного меньше времени полупроводника нескольких канатов убывания концентрации полное время жизни свободного носителя меньше наименьшего из времени жизни, соответствующего каждому каналу.

Приведена технология получения пленок с фотоэлектрическим состоянием: термическим испарением Ag из аугулового и Si из тигля ВСО в вакууме 10^{-5} мм рт.ст., преимущественно на стеклянные подложки, предварительно обработанные в дистиллированной воде, ацетоне, спирте и промывные на воздухе и протертые в вакууме до 300°C . Тигель нагревался джонувым телом. Подложки нагреваются печкой емонированной в подложкодержател. В подложкодержателе установленным напротив тигля помещается 7,8 подложек, и он вращается от одного тигля к другому специальной ручкой.

На стеклянную подложку, нахолоющуюся под углом 45° относительно нормали размером 5×10 мм² при температуре кипения который находится в прелетак $100 \rightarrow 400^{\circ}\text{C}$ напылили Ag в течение 5-10 с. Масса напыляемой пленки при поиске оптимальной массы пепиронной пленки находилось в прелетак $0.01 \rightarrow 0.20$ от массы основного вещества. Далее температуру подложки и соответственно пленки подымали до оптимальной температуры, и при этом происходила диффузия Ag в Si. Наиболее оптимальной температурой оказалась 350°C . Оптимальное время проветвления диффузии при 350°C оказалось равным 5 мин.

Для проведения измерений полученным пленкам нанесли омические контакты: обычно это Au или Sn, нанесенные в сравнительно низком вакууме или серебряная паста; в основном в качестве контактов в используют акадвал.

При этом, в силу больших значений фотоэлектрических напряжений контакты не влияли на характеристики пленок. Пленка подключается к электрометру и освещается белым светом в течение нескольких минут. После такой фотополаризации заскродами заворачивались на землю, и пленка несколько минут находилась в темноте. Когда один из электродов подключается к электростатическому вольтметру, в нем появлялась фотоэлектрическое напряжение, значение которого, увеличиваясь со временем, достигает максимума и далее нгиднается медленная релаксация этого напряжения.

Величинами, характеризующими, фотоэлектрическое состояние являются, для физики этого эффекта, значение фотоэлектрического напряжения и характеристическое время жизни неравновесных носителей заряд; в пленке волюжых приложенной опти- така максимумное значение фотоэлектрического напряжения и время релаксации этого напряжения.

Для пленок Si:Ag максимумное значение $V_{\text{вн}} \approx 250$ В, время релаксации ~ 220 мин, время жизни неравно весных носителей $40 \rightarrow 47$ с (рис.13).

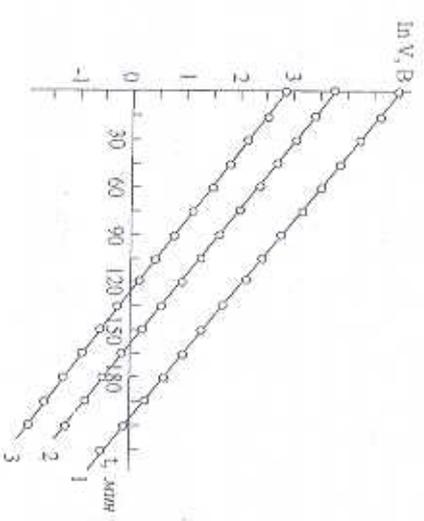


Рис. 13. Зависимость фотоэлектрического напряжения в пленках Si:Ag

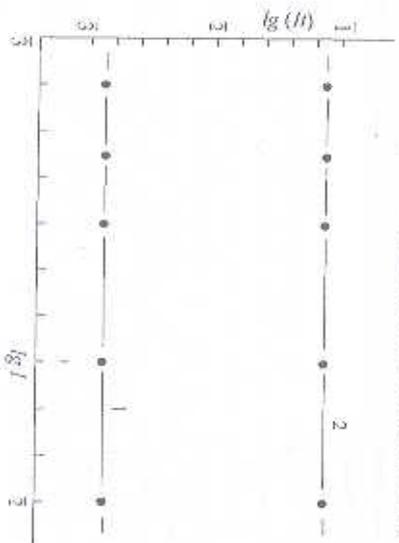


Рис. 14. Изобавки фотополаризации пленок Si:Ag

Изучение зависимости $lg(V)$ от $lg(t)$ показывает, что закон взаимозаместимости для пленок Si, деприванных средойм пражически влбоднается в исследованных областях интенсивностей света (I) и времени (t) (рис.14).

При освещении в пленках времени волюжашются неравно весные носители заряд, и часть из них оседает на оубоких уровнях, создаваясь

примесью серебра. После выключения света происходит тепловая генерация носителей, локализованных на этих уровнях.

Показано, что по температурной зависимости времени релаксации фотоэлектричного напряжения, характерной для времени релаксации атомного фотонапряжения в неупорядоченных пленках сетчатых, как минимум, при двух различных температурах можно определить энергию активации и концентриацию примесей.

Этим методом, по-видимому, можно также определить параметры уровней прилипания в образцах, в которых отсутствует фотоэлектрическое состояние, но ошутными влияниями глубинных уровней на релаксационный процесс.

Таким образом, параметры уровней определяются именно с помощью эффекта, к которому эти уровни приводят. Это дает возможность, в данном случае, исключенная случаев приписки того или иного влияния к уровням, за которые они не ответственны.

Установлено, что в пленках времени фотоэлектричного состояния создается примесью серебра энергетиками активации $E_a \approx 0,3 \text{ эВ}$ и концентриацией 10^{22} м^{-3} .

В седьмой главе релятивистская теория фотоэлектричного состояния в р-п-переходных структурах с двумя глубинными уровнями, технологически полученными, экспериментально исследованы фотоэлектричного состояния, методики определения параметров уровней прилипания АФН-племно к теллурида кадмия, дисперсионных серебром.

Фотоэлектрическое состояние без внешнего поляризованного поля наблюдается в пленках ряда полупроводников гетероупорядоченных аномально-большой фотонапряжения, причем в пленках разных полупроводников релаксация фотонапряжения происходит с одним характерным временем временем релаксации, в других два [11-14]. Для объяснения этих экспериментальных результатов, а также для дальнейшего развития теории [11] показана возможность и разработана теория фотоэлектричного состояния в р-п-переходных структурах с двумя глубинными уровнями.

Решая систему дифференциальных уравнений, получен закон затухания. Показано, что в частном случае зависимость фотонапряжения от времени, в основном, описывается выражением

$$V = V_{01} \exp(-Vt^{\tau_1}) + V_{02} \exp(-Vt^{\tau_2}) \quad (16)$$

где V_{01} , τ_1 , V_{02} , τ_2 - максимальные фотоэлектрические напряжения и времена релаксации связанные с первыми и вторыми уровнями. Разработана и апробирована методика определения этих величин по релаксационным кривым.

Определены условия, при которых в формировании фотоэлектричного напряжения участвуют оба уровня и условия, при которых фотоэлектрическое состояние обусловлено только одним уровнем. Когда связь между электрона на локализованном уровне, больше времени жизни свободного экситона,

определяемого рекомбинацией, уходит из р-п - области и когда эти величины (отлично кватер) превращаются в время захвата на уровень прилипания, то этот уровень участвует в создании фотоэлектричного состояния. Если это условие выполняется для обоих уровней двухуровневой системы, то в формировании фотоэлектричного состояния участвуют оба уровня. При выполнении этого условия только для одного уровня фотоэлектрическое состояние обусловлено только одним уровнем, хотя система двухуровневая. Локализованные на пасивном уровне носители заряда практически не влияют на кинетику фотонапряжения и не приводят к фотоэлектричному состоянию.

Выбор матрициала исследованна обусловлен тем, что для пленок теллурида кадмия принят р-п-переходной механизм АФН-эффекта и то, что в системе CdTe:Ag было обнаружено фотоэлектрическое состояние [13, 14], которое хорошо объясняется развитой здесь теорией фотоэлектричного состояния в р-п-переходных структурах с двумя глубинными уровнями. Но, отупление, к сожалению, некоторые экспериментальных данных, не позволило обойтись без воспроизведения и разработки технологичи получения пленок CdTe:Ag с фотоэлектричным состоянием, проведения измерений релаксационных характеристик при различных температурах и концентрации примесей. Приведена технология получения пленок CdTe и теллурида кадмия серебром. Определены оптимальные режимы, при которых добываются поставленные цели.

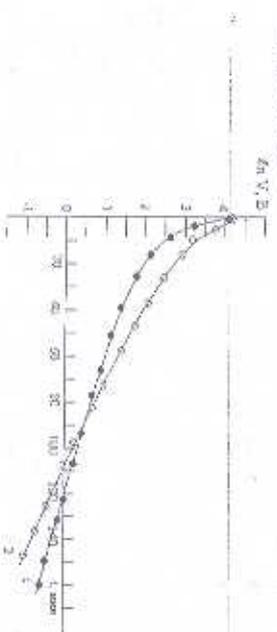


Рис. 15. Зависимость фотонапряжения от времени в пленках CdTe:Ag

Методика измерения такая же, как и в случае исследования пленок Si:Ag. На основе построенных изохрон можно заключить, что закон взаимозаместимости, необходимый и достаточное для фотоэлектричного состояния в пленках CdTe:Ag выполняется.

Релаксационная кривая, приведенная в подполугарифмических координатах состоит из двух линейных участков (рис. 15). Начальный участок, где фотоэлектрическое напряжение падает сравнительно быстро, соответствует более высокому уровню и описывается, в основном, первым слагаемым

выражения (16), хотя в релаксационном процессе участвует и второй уровень его вклад в общее фотоэлектрическое напряжение сравнительно меньше первого. Такая ситуация продолжается до $t = \tau_1$, начиная с которого вклад обоих уровней одного порядка (переходная область). Далее концентрация неравновесных носителей зарядов, генерируемых теплом со второго уровня больше, чем с первого; кризис происходит на второе правило и V определяется вторым слагаемым выражения (16).

Определяется основное значение характеристики релаксационного процесса: $V_{01} = 54 \text{ В}$, $V_{02} = 16 \text{ В}$, $\tau_1 \approx 12 \text{ мин}$, $\tau_2 \approx 42 \text{ мин}$.

Далее предлагается методика определения параметров уровней приложения на основе изучения релаксационных характеристик АФН-эффекта и фотоэлектрического напряжения, как минимум при двух температурах в р-р-переходник струн курак с двумя глубокими уровнями.

Так, найденное значение энергии активации первого уровня равно $E_a = 1,18 \text{ эВ}$, а концентрация примесей $M_1 = 3,5 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$. Энергия активации второго уровня оказалась равной $E_a = 1,35 \text{ эВ}$, а концентрация примесей $M_2 = 2 \cdot 10^{20} \text{ см}^{-3}$.

В восьмой главе рассматриваются вопросы расширения возможных применений АФН-плёнок.

Задача создания датчика магнитного поля привела к разработке технологии получения, активации АФН-плёнок и экспериментальному исследованию характеристик АФН-эффекта в этих плёнках.

Для уменьшения скорости поверхностной рекомбинации, а значит и потерь на рекомбинацию, проводилась активация приповерхностных областей осужженных зёрна плёнок CdTe, литровываем кремнием, используя то обстоятельство, что коэффициент диффузии примесных атомов по границам зёрен намного больше чем по объёму. В вакууме для напыления теллурида кадмия и кремния установлены два пистолета. Сначала на подложку осаждался кремний, а затем в течение 40 мин. CdTe. После этого температура подложки поднималась до 240°C (оптимален температурный интервал) и держалась ~ 20 мин. для осуществления диффузии кремния в плёнку теллурида кадмия. Выяснено, что наиболее оптимальным является $0,2 < 0,5\%$ массы литрующей примеси кремния от массы теллурида кадмия. Активированные АФН-плёнки CdTe генерируют фотомагнитные напряжения как линейно зависящие от интенсивности света, так и имеющие сугубительно область и область насыщения. Электрон-вольтовые характеристики активированных АФН-плёнок CdTe имеют линейный характер. Магниточувствительность АФН-плёнок CdTe доходила до 6 мВ/Тл .

Таким образом, с помощью активации основной на особенностях диффузии в полупроводниковых струн курак можно увеличить магниточувствительность АФН-плёнок CdTe.

Высокая чувствительность, линейность эрстед-вольтовых характеристик позволяют построить датчик магнитного поля на основе полученных плёнок. При этом были использованы пленки, люмос-вольтовые характеристики которых

быстро выходят на насыщение, что обуславливает высокую чувствительность этих датчиков к изменению освещённости.

Был построен также датчик перемещений. В рамках этой задачи основное усилие было направлено не только на получение плёнок с высоким АФН, но и на то, чтобы он был равномерно распределён на всем участке межэлектродного расстояния. Технология получения плёнок с равномерной толщиной описана в гл. II. Построенный датчик имеет линейный сигнал на входе, чувствительность 25 В/мм и проста по конструкции.

На основе изучения фотоэлектрических свойств плёнок кремния и теллурида кадмия, литровываем сербром построены два типа элементов памяти: элемент памяти света и элемент памяти электрического поля.

Показана возможность определения уровня жизни с помощью АФН-плёнок.

3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Исследования и апробированные технологические методы создания полупроводниковых плёнок, обладающих АФН-эффектом, позволяющие получать струн куры с высокой однородностью по толщине, воспроизводимые по своим характеристикам и обладающие высокой магниточувствительностью.
2. Проведены и апробированы методы определения характеристикных микропараметров плёнок с помощью спектральных зависимостей АФН- и АФМ1-эффектов.
3. Найдено аналитическое выражение для распределения коосажаемых плёнок по толщине, устанавливающее связь между толщиной и местонахождением рассматриваемой точки плёнки. Показано, что распределение толщины осаждаемой плёнки очень чувствительно к углу отклонения подложки от нормали. С увеличением угла отклонения увеличивается максимальное значение толщины; максимум толщины сдвигается в сторону больших значений длины подложки; нарушается симметрия относительно максимального значения толщины.
4. Исследования спектральных зависимостей АФН-эффекта позволяют определить механизмы и выбор модели для описания наблюдаемых явлений.
5. Показано, что определение соотношения скоростей поверхностной рекомбинации освещаемой и тёмных поверхностей с помощью АФН-эффекта в области $\lambda \ll \lambda_{\text{Д}}^{\text{Д}} \ll \lambda_{\text{Д}}^{\text{Д}}$ даёт возможность разделения механизма АФН-эффекта на р-р-переходной и аномальный дебор-эффект.

6. Показано, что на формирование АФН-эффекта в плёнках CdTe влияют как различные параметры р-р- и р-р-переходов, так и фактор

асимметрия освещения, в отличие от известных работ, в которых АФН объясняется либо первой, либо второй причиной;

7. Установлено, что кинетика нарастания и спада anomального фотонапряжения в полупроводниках с однородными микрообластями описывается выражениями, идентичными выражениями для $r-n$ -перехода, отпавшая лишь абсолютными значениями.

8. Получено аналитическое выражение для генерируемого anomального фотонапряжения с $r-n$ -переходным механизмом, из которого, в частности, следует, что в угловой зависимости АФН-эффекта отсутствует инверсия знака как при освещении белым, так и при монохроматическим светом из области сильного поверхностного поглощения.

9. Разработана теория АФН-эффекта с дебаевским механизмом в полупроводниковых пленках. Особое внимание уделено теории угловой зависимости АФН как основной характеристики АФН-эффекта, являющейся таковой в предыдущих работах, хотя имеются многочисленные экспериментальные данные. Получено общее аналитическое выражение, из которого как частный случай получается нормальный, anomальный дебаев-эффекты. Показано, что для реализации последнего при освещении светом слабого поглощения, генерации неравновесных носителей по всему объему ($nd \ll 1$, $kd \ll 1$) должно выполняться и условие $kd \ll S$, которое является более жестким и связанным от конкретных параметров пленки. Показано, что при переходе к освещению сильно поглощаемым монохроматическим излучением ано малый дебаев-эффект переходит в нормальный. Показано, что при этом должно выполняться не только $nd \gg 1$, $kd \gg 1$, которые ранее считались достаточными, но и $nd \gg S$, который является более жестким и связанным с конкретными параметрами пленки.

10. Показано, что в $r-n$ -структуре и АФН-пленке с $r-n$ -переходами наблюдается явление, аналогичное anomальному эффекту дебаера в однородных полупроводниках, т.е. знак генерируемого фотонапряжения не зависит от угла освещения. Этот эффект назван anomальным фотovoltaическим эффектом в $r-n$ -структуре и АФН-пленке. Получено аналитическое выражение для фотонапряжения в $r-n$ -структуре и АФН-пленке с $r-n$ -переходами при неоднородном освещении, из которого в частном случае получается нормальное, аномальное фотovoltaическое эффекты и переход anomального фотovoltaического эффекта в нормальный в случае сильного поверхностного поглощения света, но поверхностной генерации неравновесных носителей, объясняющая экспериментальные результаты (угловую зависимость АФН-эффекта, ЛВХ, зависимость АФН от толщины) в CdTe, в отличие от других работ, в которых полностью отсутствует теория угловой зависимости АФН-эффекта; ЛВХ была линейной.

11. Показана возможность обрзоования и создана теория фотозлектроного состояния в полупроводниках с дебаевским механизмом генерации фотонапряжения, где полужонущим фактором является различные подъяюстей электронов и дырок, и в $r-n$ -переходных структурах с двумя глубокими уровнями. Выяснена роль каждого уровня в формировании фотозлектроного напряжения. Показано, что фотозлектроное напряжение регистрируется двумя характеристическими временами. Начальный участок, где фотозлектроное напряжение падает чрезвычайно быстро, соответствует более мелкому уровню. Далее концентрируется неравновесных носителей заряд генерируемые теллом со второго уровня больше чем с первого и фотозлектроное напряжение определяется вторым - более глубоким уровнем; найдены критерии участка каждого уровня в создании фотозлектроного напряжения; показано, что когда время жизни электронов на локальном уровне, больше времени жизни свободного электрона, определяется рекомбинацией, уходом из $r-n$ -области и когда эти величины (отдельно взяты) превышают время захвата на уровень прилипания, то этот уровень участвует в создании фотозлектроного состояния. Если это условие выполняется для обоих уровней двухуровневой системы, то в формировании фотозлектроного состояния участвуют оба уровня. При выполнении этого условия только для одного уровня фотозлектроное состояние обусловлено только одним уровнем, хотя система двухуровневая. Любопытные на пасивном уровне носители заряда практически не влияют на кинетику фотонапряжения и не приводят к фотозлектроному состоянию.

Показано, что время, затрачиваемое на любой процесс, приводящий к увеличению концентрации электронов (дырок) на акцепторном (донорном) уровне, должно быть намного меньше времени любого процесса приводящего к рекомбинации.

12. Найдены технологические режимы получения АФН-пленок Si и CdTe, посредством легирования Ag достаточной концентрации ($\sim 10^{16}$ см⁻³ Ag в Si, $\sim 10^{18}$, $\sim 10^{20}$ см⁻³ Ag в CdTe), позволяющие реализации фотозлектроного состояния без внешнего полужонущего поля.

Показано, что в легированных АФН-пленках ярсиния и температурная вынопливается обязательный для фотозлектроного состояния закон взаимозаместимости.

13. Предложена методика определения энергии активации и концентрации примесей в АФН-пленках с дебаевским механизмом и в $r-n$ -переходных структурах с двумя глубокими уровнями, ответственными за фотозлектроное состояние с помощью релаксационных явлений.

Таким образом, параметры уровней определяются именно с помощью эффекта, к которому эти уровни принадлежат. Это дает возможность, в данном

4. СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

- В журналах:**
- Найиев Г.А. О механизмах эффекта аномально-больших фотонвзрывчатий в пленках CdTe//ФТП. – Санкт-Петербург, 2009. -№7(43). –С.926-927.
 - Найиев Г.А. Определение механизма генерации фотонвзрывчатий в полупроводниковых пленках с помощью спектровых зависимостей коэффициента поглощения и фотонвзрывчатий//ФТП. – Санкт-Петербург, 2009. -№7(43). –С.924-925.
 - Найиев Г.А. Фотоэлектрическое состояние без внешнего поляризуемого поля в термообработанных пленках кремния/у кремниевый физический журнал. – Киев, 2008. -№12(53). –С.1175-1177.
 - Найиев Г.А. Особенности фотоэлектрического эффекта в многослойных полупроводниках с р-п-переходами при неоднородном освещении//Физическая инженерия поверхности. – Харьков, 2008. -№3-4(6). -С.202-209.
 - Найиев Г.А. Об условиях квази стационарности для фотоэлектрического состояния// Естественные и технические науки. – Москва, 2008. –№4(36). –С.46-47.
 - Найиев Г.А. Кинетика АФН-эффекта в полупроводниковых пленках с однородными микрофотоэлементами// Естественные и технические науки. – Москва, 2008. –№4(36)–С.43-45.
 - Найиев Г.А. Технологии получения датчика магнитного поля на основе пленок CdTe// Fasten-Blotter Journal of Enterprise Technology. – Харьков, 2008. -4(6)(34). –С.45-47.
 - Найиев Г.А. Определение параметров уровня припайания, ответственных за фотоэлектрическое состояние в пленках теллурида кадмия// Физическая инженерия поверхности. – Харьков, 2008. -№1-2(6)–С.89-92.
 - Мирзаева З.И., Найиев Г.А., Фригатов К.М. Фотоэлектрическое состояние без внешнего поляризуемого поля в однородных полупроводниках// Физическая инженерия поверхности. – Харьков, 2008. -№1-2(6). –С.51-58.
 - Найиев Г.А. Фотоэлектрическое состояние без внешнего поляризуемого поля в пленках Si:Ag// Письма в ЖТФ. – Санкт-Петербург, 2007. –№20 (33). –С. 1-4.
 - Найиев Г.А. Determination of surface levels parameters responsible for photoelectric state in cadmium telluride films// Proceeding of SPIE. – Washingtbn, 2007. -V.6636. –P.321-324.
- Найиев Г.А. About mechanisms of anomalous photovoltage effect in CdTe films// Proceeding of SPIE. – Washingtbn, 2007. –V.6636. P.251-252.
 - Найиев Г.А. Аномальный фотоэлектрический эффект в р-п-р структуре//Естественные и технические науки. –Москва, 2006. -№5. –С.26-28.
 - Найиев Г.А. Аномальный фотоэлектрический эффект в р-п-р –структуре//Научно-технический журнал ФФТИ. –Фергана, 2006. -№2. –С.13-17.
 - Найиев Г.А. Определение параметров уровня припайания в пленках теллурида кадмия, легированных серобромом//Научно-технический журнал ФФТИ. –Фергана, 2005. -№2. –С.15-18.
 - Найиев Г.А. Определение параметров уровня припайания в пленках кремния, легированных серобромом//Научно-технический журнал ФФТИ. –Фергана, 2005. -№2. –С.10-13.
 - Найиев Г.А. Об условиях квази стационарности для фотоэлектрического состояния//Научно-технический журнал ФФТИ. –Фергана, 2005. -№1. –С.82-83.
 - Найиев Г.А. Фотоэлектрическое состояние в р-п-переходных структурах с двумя глубокими уровнями//Научно-технический журнал ФФТИ. –Фергана, 2004. -№4. –С.11-15.
 - Найиев Г.А. Фотоэлектрическое состояние в однородных полупроводниках//Научно-технический журнал ФФТИ. –Фергана, 2004. -№3. –С.11-15.
 - Найиев Г.А. Кинетика аномально фотонвзрывчатий в полупроводниках с однородными микрофотоэлементами//Научно-технический журнал ФФТИ. –Фергана, 2004. -№2. –С.131-132.
 - Найиев Г.А. Реакция аномально фотонвзрывчатий в пленках CdTe// Научно-технический журнал ФФТИ. –Фергана, 2004. -№1. –С.106-107.
 - Найиев Г.А. АФН-эффект в полупроводниковых пленках с потенциальными барьерами//Научно-технический журнал ФФТИ. –Фергана, 2002. -№4. –С.3-7.
 - Найиев Г.А. Устройство для измерения линейных перемещений и угловых наклонов на основе АФН-пленки//Научно-технический журнал ФФТИ. –Фергана, 2002. -№2. –С.96-97.
 - Найиев Г.А. Линейная механизмов АФН-эффекта в полупроводниковых пленках на р-п-переходной и аномальный деобсер-эффект// Научно-технический журнал ФФТИ. –Фергана, 2002. -№3. –С.106-107.
 - Найиев Г.А. Фотоэлектрический эффект без внешнего поляризуемого поля в пленках Si:Ag//Научно-технический журнал ФФТИ. –Фергана, 2001. –№2. –С.94-96.

27. Набиев Г.А. Ослепляющие характеристики АФН-эффекта в полупроводниковых пленках // Научно-технический журнал ФрПТИ. - Фергана, 2001. - №3. - С.17-23.
28. Набиев Г.А. Фотоэлектрический эффект без внешнего подзарядющего поля в пленках CdTe/Cd// Научно-технический журнал ФрПТИ. - Фергана, 2001. - №1. - С.83-84.
29. Набиев Г.А. О механизмах АФН-эффекта в пленках CdTe/Научно-технический журнал ФрПТИ. 2000. - Фергана. - №3/4. - С.110-111.
30. Набиев Г.А. Фотоэлектрическое состояние в термообработанных пленках кремния// Научно-технический журнал ФрПТИ. 2000. - Фергана. - №2. - С.112-114.
31. Набиев Г.А. Теория АФН-эффекта в полупроводниковых пленках с дебарьерскими механизмом// Научно-технический журнал ФрПТИ. - Фергана, 2000. - №1. - С.13-18.
32. Набиев Г.А. Технология получения пленок CdTe с уветинными и равноморно-распределенным фотопокрытием// Научно-технический журнал ФрПТИ. 1999. - Фергана. - №1. - С.98-100.
33. Набиев Г.А. К определению числа микрофотоэлементов в АФН-пленках// Научно-технический журнал ФрПТИ. - Фергана, 1998. - №3/4. - С.95-97.
34. Набиев Г.А. Распределение носителей заряда в пленках по толщине// Теплотехника. - Ташкент, 1998. - №3. - С.82-84.
35. Набиев Г.А. Определение уровня зарядов с помощью АФН-пленок. Научно-технический журнал ФрПТИ. - Фергана, 1998. - №1. - С.98-100.
36. Набиев Г.А. Влияние термообработки на угловую зависимость АФН-эффекта в пленках Si/Узбекский физический журнал. - Ташкент, 1995. - №4. - С.84-86.
37. Набиев Г.А. Угловая зависимость АФН-эффекта в полупроводниковых пленках с р-п-переходами// Узбекский физический журнал. - Ташкент, 1995. - №1. - С.38-40.
38. Набиев Г.А. Многослойные структуры на основе теллурида кадмия с высокой магниточувствительностью// Известия АН РУз, сер. ф.-м.н. - Ташкент, 1989. - №4. - С.79-81.
39. Ушинов Г., Набиев Г.А. Угловая зависимость АФН-эффекта в полупроводниковых пленках// Известия АН РУз, сер. ф.-м.н. - Ташкент, 1988. - №6. - С.59-63.
40. Набиев Г.А. Влияние поверхностной утечки зарядов на ВАХ полупроводниковых диодов// Известия АН РУз, сер. ф.-м.н. - Ташкент, 1988. - №5. - С.84-86.

41. Абулхазаров А., Набиев Г.А. АФН-эффект в гетероэпи-полупроводниковых пленках// Известия АН РУз, сер. ф.-м.н. - Ташкент, 1982. - №2. - С.68.

В трудах и сборниках тезисов, докладах международных конференций:

42. Naibev G.A. The photo-electric state in homopolycrystalline semiconductors// Proceedings of USEUS, Korea and Uzbekistan, 2008. - P.330-334.
43. Набиев Г.А. Определение параметров уровня прилипания, ответственного за фотоэлектрическое состояние в пленках CdTe. XIX международная научно-техническая конференция по фотоэлектронике и приборам ночного видения. Тезисы. - Москва, 2006. - С.210-211.
44. Набиев Г.А. О диссиминативном механизме АФН-эффекта в пленках CdTe. XIX международная научно-техническая конференция по фотоэлектронике и приборам ночного видения. Тезисы. - Москва, 2006. - С.214-215.
45. Набиев Г.А., Тешабоева А.Р. АФН-эффект в полупроводниковых пленках с барьерными и дебарьерными механизмами// Фотоэлектроника и приборам ночного видения: Тезисы международной конференции. ГИЦ РФ ФГУП «НПО "Орион"». - Москва, 2004. - С.170.
- Naibev G.A., Teshaboeva A.R. Features of APV Effect in Semiconductor Films with Barrier and Barrier Mechanisms// XVIII International Scientific and Engineering Conference on Photoelectronics and Night Vision Devices. - Moscow, 2004. - P.154-155.
46. Набиев Г.А. Фотоэлектрический эффект без внешнего подзарядющего поля в полупроводниковых пленках/фотоэлектроника и приборам ночного видения: Тезисы международной конференции. ГИЦ РФ ФГУП «НПО "Орион"». - Москва, 2004. - С.160-161.
- Naibev G.A. Photoelectric Effect without the External Polarizing Field in Semiconductor Films// XVIII International Scientific and Engineering Conference on Photoelectronics and Night Vision Devices. - Moscow, 2004. - P.147-148.
47. Naibev G.A. Photoelectric effect in homopolycrystalline semiconductors// International Conference Solid State Physics. - Almaty, 2004. - P.243-244.
48. Набиев Г.А. Влияние ионной бомбардировки на свойства АФН-пленок кремния// ВИП-2003. Материалы международной конф. - Москва, 2003. - С.83-85.
49. Набиев Г.А. Фотоэлектрическое состояние в пленках кремния с примесью серы// Намаган Давлат Университети налий ахборотлари. Наманган, 2001. - №3. - С.76.
50. Набиев Г.А. Угловая зависимость АФН-эффекта в пленках Si/Нанатан Давлат Университети налий ахборотлари. Наманган, 2001. - №3. - С.66.
51. Набиев Г.А. К теории фотоэлектрического состояния в пленках GaAs с имплантированными ионами лития// Взаимодействие ионов с поверхностью.

- Материалы пятнадцатой международной конференции. ВИПТ-2001. - Москва, 2001. - Т2. - С.159.
52. Набиев Г.А. О механизме генерации АФН в полупроводниковых пленках // Техника фотона в XXI век глобал муаммолари. Республика профессор-ушугу виларининг илмий-амалий анжумани тушгани. 3-июни. - Ташкент, ТДУ. 2001. - С.120.
53. Набиев Г.А. фотоэлектрический эффект без внешнего поляризующего поля в пленках CdTe:Si. Техника фотона в XXI век глобал муаммолари. Республика профессор-ушугу виларининг илмий-амалий анжумани тушгани. - Ташкент, ТДУ. 2001. 3-июни. - С.104-105.
54. Набиев Г.А. Элементы памяти на основе пленок Si. Проблемы производства полупроводниковых приборов для микроэлектроники и военной энергетики. Материалы международной конференции. - Англизон. 2000. - С.58.
55. Набиев Г.А. Датчик магнитного поля на основе пленок CdTe:Si // Инио вашир-2000 Халқаро илмий анжуман тезислари - Бухоро, 2000. - С.344-345
56. Набиев Г.А. О дисперсиматрици механизмов АФН-эффекта в полупроводниковых пленках // Фото-, тепло- и термоэлектрические явления в полупроводниковых пленках. Тез. докл. международной конференции. - Фортана. ФергУ. 1999. - С.14.
57. Набиев Г.А. О механизме АФН-эффекта в полупроводниковых фотопробозавателлах // Техника ва технологиянинг ноъанъалий ушугуларидан фойдаланиш: Республика илмий-амалий конференция материаллари. - Фортана. 1999. - С.112.
58. Набиев Г.А. Углова зависимость АФН-эффекта в термообработанных пленках кремния. Актуальные проблемы физики полупроводниковых приборов. Сб. трудов международной конференции. - Ташкент. 1997. - С.51-52.
59. Набиев Г.А. Теория АФН-эффекта в полупроводниковых пленках с р-п-переходами // Ярим уткагичлар ва диэлектриклар физикасининг хозирги замон муаммолари: Халқаро илмий анжуман тезислари. - Ташкент. 1995. - С.37.
60. Набиев Г.А. Теория АФН-эффекта в полупроводниковых пленках с р-п-переходами // Ушугу Ушугу таваддулининг 600 йиллигига бағишланган Республика илмий-амалий конференция доклады тезислари. - Гулстон. 1994. 1-июни. 94 б.
61. Набиев Г.А. Углова зависимость АФН-эффекта в полупроводниковых пленках // Международное совещание по фотоэлектрическим и оптическим явлениям в твердом теле. Тез. докл. - Варна. 1989. - С.79.
62. Набиев Г.А. Спектры фотоэлектрического эффекта в полупроводниковых пленках - Москва, 1988. - 22 с. - Дел. в ВИНИТИ 14.06.88 №4677-188.

63. Набиев Г.А. Влияние поверхностной утечи зарядов на электрические характеристики полупроводниковых приборов. - Москва. 1987. - 7 с. - Дел. в ВИНИТИ 10.11.87. №7879-187.
64. Набиев Г.А. АФН-пленки температуры катмий с высокой магниточувствительностью. - Москва. 1987. - 9 с. - Дел. в ВИНИТИ 23.09.87. №6822-887.
65. Набиев Г.А. К оптически характерных микронраметров АФН-пленок / Физика полупроводниковых приборов преобразователей и их применение для тепловизионных измерений. - Ташкент. 1984. - С.107-112.
66. Набиев Г.А. Дисперсионная механизмов АФН-эффекта в полупроводниковых пленках // Аморфные полупроводники-84: Материалы международной конф. - Таврово. 1984. - С.150-152.
67. Набиев Г.А. Спектры АФН-эффекта в пленках кремния // Аморфные полупроводники-84: Материалы международной конф. - Таврово 1984. - С.147-149.
68. Абдуназаров А., Иганбеков Г., Набиев Г.А. АФН-эффект в пленках теллурида кадмия // Полупроводники: Сб. науч. тр. ТашТИИ. - Ташкент, 1981. - С.131-135.

Физика-математика факультети доктори илмий даражасига таянбдор Набиев Гуламжон Абдукуловичнинг 01.04.10 - ярим ўтказгичлар физикаси институтининг бўйича "Si ва CdTe катлавларида аномаля-катла фотоқувчиллиги ва ташиқ кўчиролгани майдонсиз фотоэлектрет холлати ҳолисага"и назардан олинди диссертациясининг

РЕЗЮМЕ СИ

Тавнич сўзлар: АФК, демабер фотоқувчиллиги, катлавларнинг катлишлик бўйича тақсимоти, нонсимметрия фритиници, аномаля фотомагнитит ҳолиса, фотоэлектрет холлати, релаксация чизиқлари.

Талкино т объектлари: бир жинслик, р-п-, р-п-р - ўтказгич бўлган кўпқатламчи тузилмалар; Si, CdTe, Si:Ag, CdTe:Ag, CdTe:Si катлавлари.

Ишнинг мақсади: АФК-катлавлар олиш, уларнинг лентригад, фотоэлектретлиги, ҳурусиллиги айнақса, ташиқ кўчиролгани майдонсиз юзая қилинган фотоэлектрет холлатини фотоэлектретлиги ушлар билан ўрнатиш, навариясини яратиш, улар асосида оттоэлектрон қурилмани асбоблар яратиш.

Талкино т методлари: термик бузилиш, лентригад, фотоэлектретлиги, қўшимча ўтказишга асосланган технология ушлар, бурчак диарамалар ушлар, АФК-ҳолиса спектрлари ўрнатиш, релаксация чизиқларини ўрнатиш, ушлар кезиник ва кинестик тензиолапарни ечиш.

Олинган натижалар ва уларнинг аниқлиги: АФК-ҳолиса меҳанизмининг аниқлаш ушлар тақимоти этиган, бурчак остида ўтказгичлар катлавларнинг катлишлик бўйича тақсимотининг аниқлаш ифода қилинган; чиккариган; CdTe катлавларида АФК-ҳолиса меҳанизми аниқлашган; демабер, р-п-р - меҳанизми катлавларида АФК-ҳолиса назариясини ишлар чиккариган; бир жинслик ва икки ҳурусиллиги аниқлашган; р-п-р - ўтказгичларда фотоэлектрет холлати назариясини ишлар чиккариган, ташиқ кўчиролгани майдонсиз фотоэлектрет холлати қўзғалдишган Si ва CdTe катлавлари олиш технологиясини ишлар чиккариган, ҳурусиллигининг пафаметри аниқлаш ушлар тақимоти қилинган ва ишлар чиккариган.

Аввалий аҳамияти: АФК-ҳолиса катлавлар олиш, аниқлаш меҳанизми, фотоэлектретлиги ва икки технология жараянлар ва тақриб натижалари катор олтоэлектрон қурилмалар яратиш ва уларнинг микропараметрларини аниқлаш имконини берди.

Табик этиш даражаси ва иқтисодий самардорлиги: Олинган натижалар ўзр ФА илмий-ишлар чиккариш бирлашмаларида ва бошқа асбоб ҳолиса ташиқ кўчиролгани фруглик кабул қилиш қурилмаларини ишлар чиккариш учун асос бўлади.

Қўшимча ҳолиса: ярим ўтказгичлар физикаси, юзая катлавлар технологияси, ярим ўтказгичлар олтоэлектронлиқси, ярим ўтказгичларда ҳурусиллиги спектроеқлиқси, асбоб ҳолиса, бузмаган назарат қилиш.

РЕЗЮМЕ
диссертация Набиева Гуламжон Абдукуловича на тему: «Эффекты аномально-больших фотонапряжений и фотоэлектрических состояний без внешнего подприложного поля в пленках Si и CdTe» на основании ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.10 - физика полупроводников

Ключевые слова: АФК, демабер фотоэлектрет, фотоэлектрет, распределение плёнок по толщине, асимметрия освещения, аномаля фотоэлектрический эффект, фотоэлектретное состояние, релаксационные кривые.

Объекты исследования: многослойные структуры с односторонним полупроводниковым микрообъектами, р-п-, р-п-р - преводами; плёнки Si, CdTe, Si:Ag, CdTe:Ag, CdTe:Si.

Цель работы: разработка технологий получения, лентрирования и активации АФК-плёнок, исследование их свойств, особенно фотоэлектрического состояния без внешнего подприложного поля, с помощью фотоэлектрических методов, построения теории, а также в создании на основе АФК-плёнок оттоэлектронных приборных структур.

Методы исследования: технологические методы, основанные на термическом испарении, лентрировании, активации примесями, дополнительными допылением; метод углового диарам; изучение спектров АФК-эффекта; изучение релаксационных кривых; решение уравнения недрядности, минимизация уравнения.

Полученные результаты и их новизна: предложены методы определения меҳанизма АФК-эффекта; найдено аналитическое выражение для распределения носителей плёнок по толщине; определены механизмы АФК-эффекта в плёнках CdTe; разработана теория АФК-эффекта в плёнках с демаберовскими механизмом; в плёнках с р-п-р - переходным механизмом; разработана теория фотоэлектрического состояния в односторонних полупроводниках; в р-п-р - преводах с двумя плёнками уровнями; разработана технология получения плёнок Si и CdTe с фотоэлектрическим состоянием без внешнего подприложного поля; предложена методика определения параметров в глубоких уровнях.

Практическая значимость: полученные экспериментальные результаты и технологические приёмы изготовления, лентрирования, активации плёнок с АФК-эффектом, фотоэлектрических состояний могут быть использованы для построения ряда оттоэлектронных устройств и определения их характеристик в микропараметрах.

Степень внедрения и экономическая эффективность: полученные результаты являются основой для разработки фотоэлектрических устройств в научно-производственных объединениях АН РУз и других приборостроительных организациях.

Область применения: физика полупроводников, технология толстых плёнок, полупроводниковая оптоэлектроника, спектроскопия глубоких уровней в полупроводниках, приборостроение, неразрушающий контроль.

RESUME

Thesis of Nabiev Galnizjan Abdulkunduzovich

on the scientific degree competition of the doctor of sciences
in physics and mathematic on specialty 01.04.10 – semiconductor

physics subject:

“Effects of anomalous phototension and photoelectret statements without external
polarizing field in the Si and CdTe films”

Key words: APV, Demberov photoextension, film distribution for thickness, asymmetry lighting, anomalous photomagnetic effect, photoelectret state, relaxative curves.

Subjects of research: multilayers structures with similar semiconductors microareas, p-n-, p-n-p-transitions, Si, CdTe, SiAg, CdTe:Ag, CdTe:Si films.

Purpose of work: developing technology of obtaining, alloying and activation of APV-films, investigation their properties investigations, especially photoelectret state without external polarizing field, with the help of photoelectret methods, theory construction and creation of optical-electronic devices on the basis of APV-film.

Methods of research: technological methods based on thermal evaporation, alloying and impurities activation, additional predeposition, the method of angular diagrams; investigation of APV-effect spectrum, relaxative curves investigation; solving continuity equation and kinetic equation.

The results obtained and their novelty: the method of mechanisms discrimination of APV-effect is offered, the analytical expression for the distribution of film thickness at an angle deposited was found; the mechanisms of APV-effect in CdTe-films were defined, the theory of APV-effect in the films with Demberov mechanism was worked out in films with p-n-p-junction mechanism. It has been worked out the theory of photoelectret state in similar semiconductors, in p-n-transitions with two deep levels, the technology of getting Si and CdTe films with photoelectret state without external polarizing field and has been suggested the method of parameters definition in deep levels.

Practical value: it was obtained experimental results and technological ways of manufacturing, alloying and activation of films with APV-effect, photoelectret state can be used for making a number of photoelectronic sets and their characteristic microparameters definition.

Degree of embed and economic effectivity: the obtained results are the base for development of photoelectret devices in scientific – technical associations of Academy of Science of the Republic of Uzbekistan and other instrument making organizations.

Field of application: semiconductor physics, the technology of thin films, semiconductor optoelectronics, spectroscopy of deep levels in the semiconductors, instrument making industry and nondestructive check.