

На правах рукописи
УДК 621.315.592

НАЗАРОВ ЖАМОЛИДИН ТАШКУЛОВИЧ

**ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ В ОДНОБАЗОВЫХ
АРСЕНИДГАЛЛИЕВЫХ СТРУКТУРАХ С ПРЯМО И ОБРАТНО
ВКЛЮЧЕННЫМИ БАРЬЕРАМИ**

01.04.10 – Физика полупроводников

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Научный руководитель:
кандидат физ.-мат. наук старший
научный сотрудник Ёдгорова Д.М.

ТАШКЕНТ -2010

Работа выполнена на кафедре “Общая физика и основы электротехники”
Навоийского государственного горного института и в Физико-техническом
институте им. С.В. Стародубцева НПО “Физика-Солнце” им. С.А. Азимова
АН Республики Узбекистан

Научный руководитель: Кандидат физико-математических наук,
старший научный сотрудник
Ёдгорова Дилбара Мустафаевна

Официальные оппоненты: Доктор физико-математических наук,
проф. **Арипов Хайрулла Кабилович**

Доктор технических наук,
проф. **Алиев Райимжон Усманович**

Ведущая организация: Национальный университет
Узбекистана

Защита состоится “_____” _____ 2010 года в _____ часов на
заседании Специализированного совета Д.015.08.01 при Физико-техническом инс-
титуте НПО “Физика-Солнце” АН РУз по адресу: 100084, Ташкент, ул. Бодомзор
йули, 26. Тел. (8-10-99-871) - 233-12-71; Факс: (8-10-99-871) - 235-42-91;
E-mail: karimov@uzsci.net

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Физико-технического
института НПО “Физика-Солнце” им. С.А.Азимова АН РУз

Автореферат разослан “_____” _____ 2010 г.

Отзыв на автореферат заверенный печатью в двух экземплярах просим отпра-
вить по вышеуказанному адресу на имя ученого секретаря Специализированного
совета

Ученый секретарь Специализированного
совета, Д015.08.01. д.ф.-м.н., профессор

Каримов А. В.

1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДИССЕРТАЦИИ

Актуальность работы. Известно, что проблема передачи светового сигнала на заданные дальние расстояния решается разработкой оптического волокна и согласованных с ним по длине волны излучателей и приемников. В то же время создание высокоскоростных устройств, т.е. основанных на оптических принципах хранения и транспортировки требует изыскания новых механизмов динамической модуляции потоков света и физико-технологических принципов изготовления используемых в них фотоэлектрических приборов [1]. Так как, известные фотодиодные или транзисторные структуры с тонким переходом (базой) [2] не в полной мере являются пригодными для этих целей. Например, для модуляции оптического сигнала можно использовать структуры с р-п-переходом и барьером Шоттки, в которых за счет сильных электрических полей можно изменить коэффициент поглощения фотонов [3]. В качестве приемника излучения можно использовать гетеробарьерный фототранзистор [4] или фотопреобразователь с усилением [5]. Однако структуры с одним р-п-переходом или барьером Шоттки имеют ограниченный диапазон, из-за низких пробойных напряжений, сравнительно большой емкости и тонкой базы. Что касается гетеробарьерной структуры, то оказалось, что в ней из-за больших темновых токов по сравнению с гомопереходной структурой оптический сигнал необходимо предварительно усилить, а в фотопреобразователе с усилением параметры усиленного сигнала и частотный диапазон зависят от параметров биполярного транзистора, не всякий из которых может быть состыкован с фотопреобразователем.

В связи с этим для выяснения механизмов динамической модуляции потоков света исследование физико-технологических путей создания п-р-перехода с протяженной градиентной переходной областью с последовательно соединенным к нему, модулирующей базу электрическими полями, выпрямляющим переходом металл-полупроводник является актуальной задачей.

Степень изученности проблемы. Как известно, что для обеспечения управления коэффициентом поглощения фотонов в базовой области полупроводниковой структуры необходимо создать потенциальные барьеры с сильными электрическими полями, которые обеспечивают электрическую модуляцию оптического сигнала. Так как создание потенциальных барьеров зависит от выбора параметров полупроводниковых областей и от свойств металлических контактов, то путем интегрирования полупроводникового и металлополупроводникового переходов можно реализовать область объемного заряда управляемый электрическими полями. К изучению этой проблемы исследователи подходили в соответствии с поставленной целью.

Авторы работ [6,7] за счет ограничения инжекционных процессов в арсенид-галлиевой трехбарьерной фотодиодной структуре получили малые темновые токи и работоспособность при обеих полярностях рабочего напряжения. В этих структурах хотя фоточувствительность по сравнению с обычными диодами на порядок больше, но сильные электрические поля ($\sim 10^{4-5}$ В/см) приводящие к изменению коэффициента поглощения фотонов создаются при больших напряжениях (70 вольт), что

является невыгодным с энергетической точки зрения. Авторы работы [8] путем создания структуры с варизонной базой обеспечили градиентное электрическое поле и уменьшили время пролета носителей, что должно повысить быстродействие фотодиода, но темновые токи оказались большими по сравнению с гомопереходными структурами приводя к снижению фоточувствительности.

Устранение указанных недостатков может быть обеспечено в полупроводниковой структуре с обратно включенными p-p и металл-полупроводник переходами с градиентной базовой областью в зависимости от технологических условий.

Связь диссертационной работы с тематическими планами НИР. Работа выполнена в Физико-техническом институте НПО «Физика-Солнце» АН РУз и на кафедре «Общая физика и основы электротехники» Навоийского Государственного Горного института в рамках Государственной программы научно исследовательских работ РУз № А-6-049 на тему: “Разработка технологии изготовления полупроводниковых фотоэлектротребразователей с избирательной фоточувствительностью” (2006-2008 гг.).

Целью исследования является изучение физических особенностей расширения области объемного заряда и создания градиентного поля с полевым управлением оптическими параметрами базовой области двухбарьерной арсенидгаллиевой структуры с гомопереходом.

Задачи исследования. Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

1. Разработать технологию получения эпитаксиальных слоев с p-n- и n-p-переходами интегрированными с металлополупроводниковыми переходами, обеспечивающие градиентное распределение примесей в базе и протяженную переходную область в n-p-переходе.
2. На основе исследования вольтамперной и вольтемкостной характеристик выявить особенности последовательно соединенных плавного и резкого переходов.
3. Изучить характеристические параметры фронтальных и активных слоев nGaAs-pGaAs-Ag-структуры для выявления физических процессов в потенциальных барьерах и в базовой области.
4. Исследовать спектральные характеристики nGaAs-pGaAs-Ag-структуры при различных рабочих напряжениях и полярностях включения.
5. Изучить люксамперные характеристики nGaAs-pGaAs-Ag-структуры в вентильном режиме.

Объект и предмет исследования. Объектом исследования являются модифицированные арсенидгаллиевые структуры с обратно nGaAs-pGaAs-Ag и прямо pGaAs-nGaAs-Ag включенными потенциальными барьерами. Предметом исследования являются механизмы полевого управления оптическими параметрами nGaAs-pGaAs-Ag-структуры.

Методы исследований: экспериментальные методы снятия вольтамперных, вольтемкостных и спектральных характеристик. Сопоставление полученных данных с расчетными, построение качественных энергетических зонных диаграмм.

Гипотеза исследования: путем подбора параметров базовой и эмиттерной областей, а также задавая свойства барьеров можно обеспечить модуляцию эмиттерной области и электрическое управление оптическими параметрами nGaAs-

pGaAs-Ag-структуры, прием слабых оптических сигналов и их электрооптическую модуляцию.

Основные положения, выносимые на защиту:

-арсенидгаллиевый генерационно-вольтаический фотодиод-транзистор на основе структуры с расширенной областью объемного заряда n-p-перехода и градиентной концентрацией базы.

-физическая модель объясняющая аномальный эффект смены знака спектрального фототока в арсенидгаллиевой n-p-m-структуре с обратными переходами в режиме запирающего р-м-перехода, обусловленный компенсацией фотогальванической ЭДС носителями генерируемыми n-p-переходом.

-механизм туннелирования генерированных электронов из области объемного заряда в зону проводимости при энергиях меньших собственного объясняющий полевого управления оптическими параметрами базовой области n-p-m-структуры на запираемом переходе металл-полупроводник.

-предложенная биполярная фототранзисторная гомопереходная структура с плавающей базой на основе арсенида галлия с поверхностным барьером металл-полупроводник обеспечивающий фототранзисторный эффект управляемый световым сигналом в режиме запирающего n-p-перехода.

Научная новизна:

-впервые реализованы физико-технологические критерии, обеспечивающие фотогальванический и фотодиодный режимы при получении двухпереходной арсенида галлиевой n-p-m-структуры жидкофазной эпитаксией на основе образование диффузионного поля и прямого проникновения светового излучения к границе n-p-перехода.

-установлено, что механизмы токопереноса в двухпереходной n-p-m-структуре определяются термоэлектронной эмиссией через переход металл-полупроводник, с одновременными генерационными процессами в областях объемного заряда n-p-перехода в зависимости от режима включения.

-впервые экспериментально показана взаимосвязь внутреннего усиления фототока с фототранзисторным эффектом, обнаруживаемым при смене полярности рабочего напряжения.

-экспериментально обнаружено аномальное явление спектральной фоточувствительности обусловленное электрическими полями, приводящими к сужению ширины запрещенной зоны базовой области в режиме запирающего р-м-перехода.

Научная и практическая значимость результатов исследования. Научная значимость результатов исследования состоит в реализации физических условий обеспечивающих генерационные процессы и электрическое управление процессом туннелирования генерированных электронов из области объемного заряда в зону проводимости при энергиях меньших собственного. Предложенная конструкция обратно включенной двухпереходной структуры позволяет использовать его для приема и модуляции оптических сигналов в оптоэлектронных устройствах.

Реализация результатов. Основные научные результаты и методы, представленные в диссертации являются полезными при разработке оптических трансфор-

маторов и электрооптических модуляторов оптического сигнала в соответствующих производственных объединениях и других приборостроительных организациях.

Апробация работы. Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на лабораторном семинаре Физико-технического института и на объединенном семинаре при Специализированном совете Физико-технического института НПО «Физика-Солнце» АН РУз, а также на международных и республиканских конференциях: «Фундаментальные и прикладные вопросы физики» (Ташкент 2010); «Современные техника и технологии горно-металлургической отрасли и пути их развития» (Навои 2010); «Современные информационные и электронные технологии» (Одесса 2009); «Неравновесные процессы в полупроводниках и в полупроводниковых структурах» (Ташкент 2009); «ISTIQLOL» (Москва-Навои 2007).

Опубликованность результатов. Полученные результаты отражены в 10 научных трудах, из них 4 статьи опубликованы в реферируемых зарубежных международных и республиканских журналах, а остальные в трудах международных и республиканских конференций. Список опубликованных работ приведён в конце автореферата.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырёх глав, выводов, приложений и списка из 125 наименований цитированной литературы. Текстовый материал диссертации изложен на 111 страницах, содержит 48 рисунков, 10 таблиц.

2. ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснована актуальность проблемы и темы диссертационной работы, сформулированы цели и задачи, научная новизна и практическая значимость работы, приведены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе с целью выяснения функциональных возможностей полупроводниковых приборов в зависимости от области его применения проведен обзор литературных данных по анализу конструктивных и технологических параметров полупроводниковых фотоэлектрических приборов. Проанализированы известные механизмы оптической модуляции потоков света и путей увеличения фоточувствительности фотоэлектрических полупроводниковых структур, а также физико-технологические критерии изготовления полупроводниковых приборов с р-п и р(n)-n-переходами.

Рассмотрены физические принципы создания эффективных фотоэлектрических приборов на основе трехбарьерных арсенидгаллиевых структур. Показаны преимущества трехбарьерной структуры по частотным и усилительным свойствам первичного фототока [6] основанной на генерационных процессах в области объемного заряда запираемых переходов, в отличие от р-і-n-диодов и биполярных транзисторов, создающих эффекты усиления за счет инжекции носителей в прямосмещаемых переходах. Далее сделан вывод о том, что создание структуры с модулируемой под действием электрических полей областями, с градиентной концентрацией и без накопления зарядов представляется целесообразным для обеспечения динамической модуляции потоков света.

Во второй главе приведены особенности технологических аспектов изготовления pGaAs-nGaAs-Ag-структуры с прямовключенными переходами (образец № Ж6), а также nGaAs-pGaAs-Ag-структуры с обратновключенными переходами (образец № Ж15) с целью изучения механизмов динамической модуляции потоков света в зависимости от типа базовой области. Отметим, что сопоставляемые структуры с прямо p⁺GaAs-nGaAs-Ag и обратно nGaAs-pGaAs-Ag включенными переходами имеют толщину базовой области порядка 2 и 1 мкм, соответственно и получены жидкостной эпитаксией. Их отличие состоит в том, что в структуре с прямовключенными переходами область p-типа сильнолегирована, по сравнению, чем в структуре с обратно включенными переходами. Области n-типа в обоих видах структур имеют одинаковую концентрацию носителей $2 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$.

Первый этап.

Процесс роста эпитаксиальных слоев арсенида галлия осуществляли из ограниченного объема раствора-расплава (Ga+GaAs) принудительным охлаждением. Начальная температура процесса роста равнялась 830°C. Рост эпитаксиальных слоев осуществляли в течение 2÷3 минут. Эпитаксиальные слое n- типа арсенида галлия для изготовления p-n-m-структуры выращивали в сдвиговой графитовой кассете при охлаждении раствора-расплава с уменьшающейся скоростью от 3 до 1 град/минут, что обеспечивало получение резкого перехода (рис. 1а). При этом для выращивания эпитаксиального слоя n-типа в растворе-расплаве (Ga+GaAs) использовали арсенид галлия легированный теллуrom с исходной концентрацией носителей $2 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$, а в качестве подложки выбрали p⁺GaAs с концентрацией носителей $2 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$ и толщиной 350÷400 мкм. В результате были получены структуры с резким p⁺-n-гомопереходом и изготовлены p⁺GaAs-nGaAs-Ag-структуры путем формирования потенциального барьера из Ag к эпитаксиальному слою и омического контакта к подложке из Ni площадью 4÷6 мм² (рис. 1б).



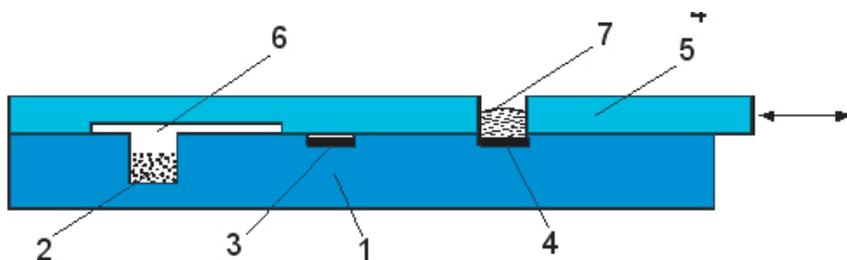
Рис. 1. Физико-технологические аспекты изготовления p-n-m-структуры

На основе исследования вольтемкостных характеристик p⁺GaAs-nGaAs-Ag-структуры было выяснено, что их зависимости от напряжения в обоих направлениях прилагаемого напряжения описываются квадратичной зависимостью и дают прямую линию в координатах $C^{1/2} \sim U$, подтверждая резкость p⁺GaAs-nGaAs-пере-

хода. Следует отметить, что в интервале напряжений от 1 до 5 вольт в режиме прямого смещения $p^+ - n$ -перехода (+) $p - n - m(-)$ изменение толщины слоя области объемного заряда (ООЗ) меньше, чем в режиме (-) $p - n - m(+)$ запираания $n - m$ -перехода, рис.1в. Физически в $p^+ GaAs - nGaAs - Ag$ -структуре в обоих режимах слои объемного заряда $p^+ - n$ и $n - m$ -переходов от запираемых напряжений расширяются в тонкую базу из $nGaAs$. Соответственно, за счет инжекции носителей через прямосмещаемый $p^+ - n$ -переход и токов термоэлектронной эмиссии через барьер металл-полупроводник токи будут возрастать с напряжением и иметь большее значение, чем в режиме запираания $p^+ - n$ -перехода. На основе проведенного анализа можно заключить, что $p^+ GaAs - nGaAs - Ag$ -структура с прямо включенными переходами как в качестве фотодиода, так фототранзистора является непригодной для телекоммуникационных систем. То есть, будут приводить к уменьшению генерируемого фототока с напряжением. Вместе с тем, низкая подвижность носителей дырок возбуждаемых в $nGaAs$ делает выгодным создание выпрямляющего барьера к p -области и полностью перейти на $n - p - m$ -структуру.

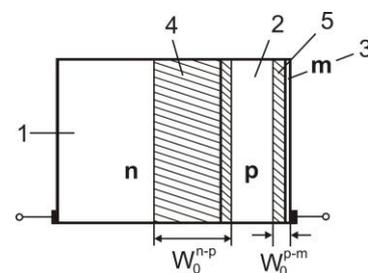
Второй этап.

Эпитаксиальные слои p -типа арсенида галлия для $n - p - m$ -структур получали в комбинированном графитовом устройстве (рис. 2а) [9] при скорости охлаждения раствора-расплава 1.4 град/минут. Для получения эпитаксиального слоя p -типа в растворе-расплаве ($Ga + GaAs$) использовали измельченный арсенид галлия легированный цинком до концентрации носителей $7 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$, а в качестве подложки выбрали $nGaAs$ с концентрацией носителей $2 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$ и толщиной $350 \div 400 \text{ мкм}$. Здесь отметим, что по завершению процесса роста эпитаксиального слоя, то есть после удаления раствора-расплава с поверхности подложки при 826°C устройство приводили в режим диффузии (рис. 2а подвижная линейка-5 выдвигается в правое положение) из сухого источника Zn на поверхности эпитаксиального слоя в течение $15 \div 20$ минут. Далее подвижная линейка приводилась в исходное положение, и включали охлаждение системы с большей скоростью. В результате на поверхности получили большую концентрация цинка, значение которого убывает вглубь к границе $n - p$ -перехода, создавая плавный переход.



1-основание кассеты; 2-источник диффузии Zn; 3- подложка; 4- подпитка для раствора-расплава; 5-подвижная линейка; 6-канал для диффузии; 7-раствор-расплав для получения эпитаксиального слоя.

а) графитовая кассета [9]



1-подложка; 2-эпитаксиальный слой; 3-барьер Ag; 4-ООЗ $n - p$ -перехода; 5- ООЗ $p - m$ -перехода.

б) $nGaAs - pGaAs - Ag$ -структура

Рис. 2. Разрез комбинированного графитового устройства и исследуемого объекта $n - p - m$ -структуры

В полученных эпитаксиальных слоях рGaAs толщиной 1.0 мкм концентрация носителей составила $2 \div 5 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$. На основе полученных эпитаксиальных плавных п-р-переходов с дополнительным диффузионным легированием были изготовлены экспериментальные образцы напылением с тыльной стороны подложки nGaAs омического контакта на основе сплава In+Sn, а на поверхности эпитаксиального слоя рGaAs формировали выпрямляющий потенциальный барьер из полупрозрачного Ag. Площадь nGaAs-рGaAs-Ag-структуры равна 21 мм^2 (рис.2б).

Таким образом, путем использования комбинированного способа получения активных слоев полупроводниковых соединений арсенида галлия получены структуры с обратно выключенными переходами с целью исследования характера полученных переходов и влияния процесса модуляции протяженной области р-п-перехода на функциональные возможности экспериментальных образцов.

Исследования свойств полученных п-р и р-т переходов показали, что полупроводниковый переход является плавным и подтверждается кубической зависимостью его емкости от напряжения (рис. 3а), а переход металл-полупроводник является резким (рис. 3б) с высотой потенциального барьера 0.62 эВ, (рис.3в). Градиент примеси (a) по толщине эпитаксиального слоя р-типа в п-р- переходе определенный из соотношения [10] $a = \frac{12\Delta U}{q\varepsilon^2\varepsilon_0^2\Delta(1/C^3)}$ оказался равным $2.82 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-4}$.

На основе качественного анализа перераспределения напряжений в отдельно взятых переходах п-р-т-структуры показано, что прилагаемые общие напряжения в зависимости от режима включения имеют большие значения в запираемых переходах.

В режиме прямого смещения п-р-перехода основная часть напряжения падает на р-т-переходе, то есть $U^{p-m} \gg U^{n-p}$. Толщина слоя объемного заряда от напряжения в п-р-переходе изменяется незначительно от 6,58 мкм до 6,75 мкм, а на р-т-переходе изменение составляет от 0,0597 до 0,22 мкм, что указывает на сильную модуляцию базовой области рGaAs.

В режиме запираения п-р-перехода слой объемного заряда п-р-перехода увеличивается от 6,69 мкм до 13,4 мкм, а на переходе металл-полупроводник от 0,0563 мкм до 0,0643 мкм. Соответственно запираемые переходы являются опреде-

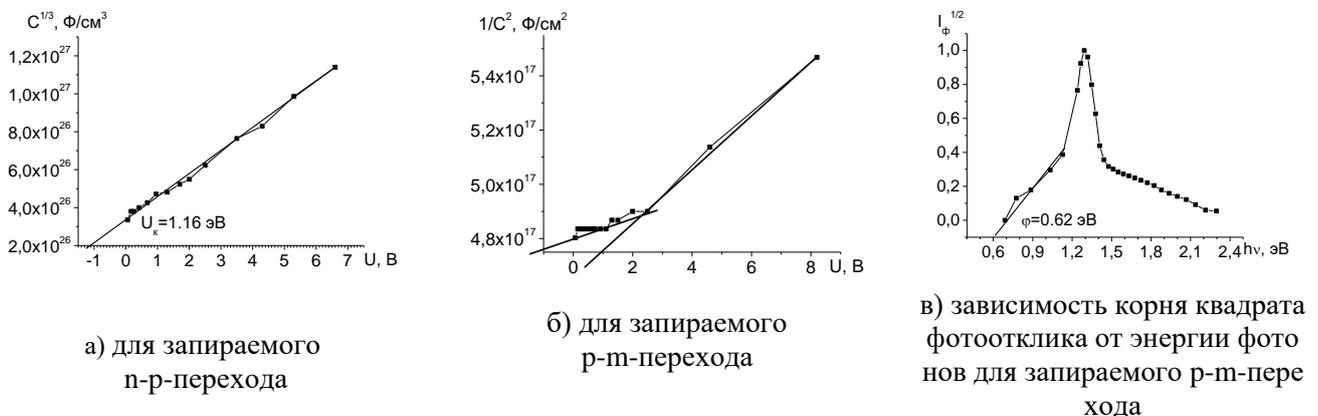


Рис. 3. Закономерности зависимости емкостей от напряжения и спектральный отклик фототока

ляющими в электронных процессах характеризующих механизмы токопереноса и формирования фототока.

В третьей главе сделан сопоставительный анализ механизмов токопереноса исследуемых $p^+GaAs-nGaAs-Ag$ и $nGaAs-pGaAs-Ag$ -структур на основе исследования их электрофизических характеристик. На основе исследования процессов формирования фототоков подтверждена целесообразность выбора базы из $pGaAs$. Предложены возможные механизмы фотодиодного и фототранзисторного усиления фототока в $nGaAs-pGaAs-Ag$ -структуре.

На основе исследования вольтамперных характеристик показано, что в $p^+GaAs-nGaAs-Ag$ -структуре с прямовключенными переходами, ток от напряжения в обоих направлениях монотонно возрастает со степенной зависимостью $I \sim U^\gamma$, так как в обоих направлениях один из переходов находится в запирающем режиме, где падает основная часть приложенного напряжения. Из рис 4 видно, что в режиме $(+)p^+-n-m(-)$ наблюдается два участка линейной зависимости. На первом участке показатель степени равен $\gamma_1=1.25$, а затем следует $\gamma_2=1.5$, что можно связать с инжекцией носителей в p^+-n -переходе и термоэлектронной эмиссией через барьер Шоттки. Наличие инжекции носителей приводит к наблюдаемой на рис.4в нелинейной зависимости сопротивления от напряжения. При смене полярности на $(-)p^+-n-m(+)$ наблюдается один участок с $\gamma_1=1.66$ связанный с большими значениями тока, вызываемого возрастанием напряженности электрического поля от напряжения. При этом сопротивление структуры от напряжения уменьшается близко к линейному, что вытекает из наблюдаемой в данном режиме токовой зависимости (рис.4в).

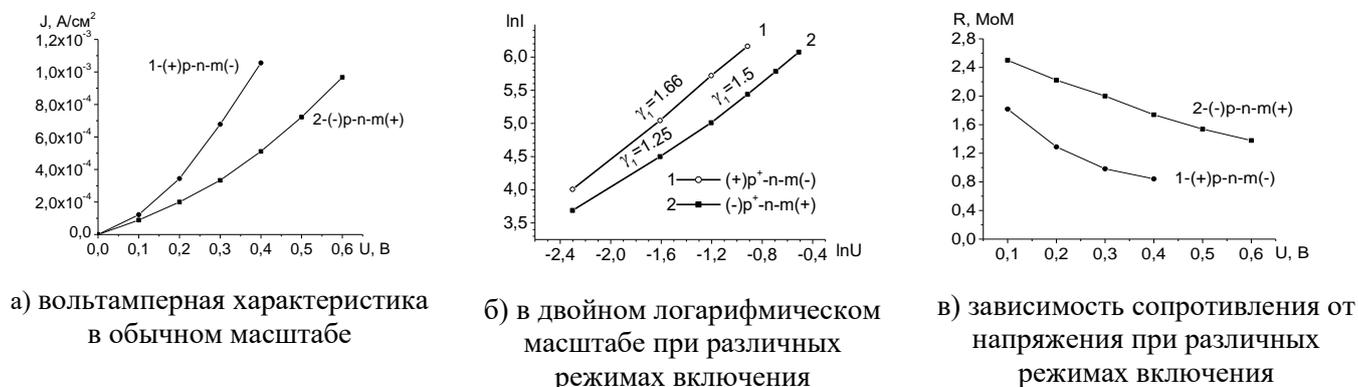


Рис. 4. Электрофизические характеристики $p^+GaAs-nGaAs-Ag$ -структуры

В $nGaAs-pGaAs-Ag$ -структуре с обратно-включенными переходами плотности тока являются на два порядка низкими по сравнению, чем в $p^+GaAs-nGaAs-Ag$ -структуре (рис. 5а). Зависимости тока от напряжения в обоих направлениях подчиняются степенному закону $I \sim U^\gamma$ (рис. 5б,в). В режиме прямого смещения $n-p$ -перехода переход $pGaAs-Ag$ включен в обратном направлении и протекающий ток определяется переходом металл-полупроводник. В области напряжений до одного вольта показатель степени равен 0.34, что можно объяснить генерационными процессами в области объемного заряда. Далее в области напряжений от одного до пяти вольт имеем термоэлектронную эмиссию, сменяющуюся полевой эмиссией.

Затем в области напряжений свыше 10 вольт обнаруживаются генерационные процессы за счет сужения объемного заряда прямосмещаемого n-p-перехода. В другом направлении в режиме (+)n-p-m(-) с увеличением напряжения создаваемые генерационными процессами (показатель степени $\gamma_1=0.27$ и 0.88) низкие значения токов сменяются их последовательным ростом, связанным с увеличением напряженности электрического поля и наступлением предпробойного режима в n-p-переходе.

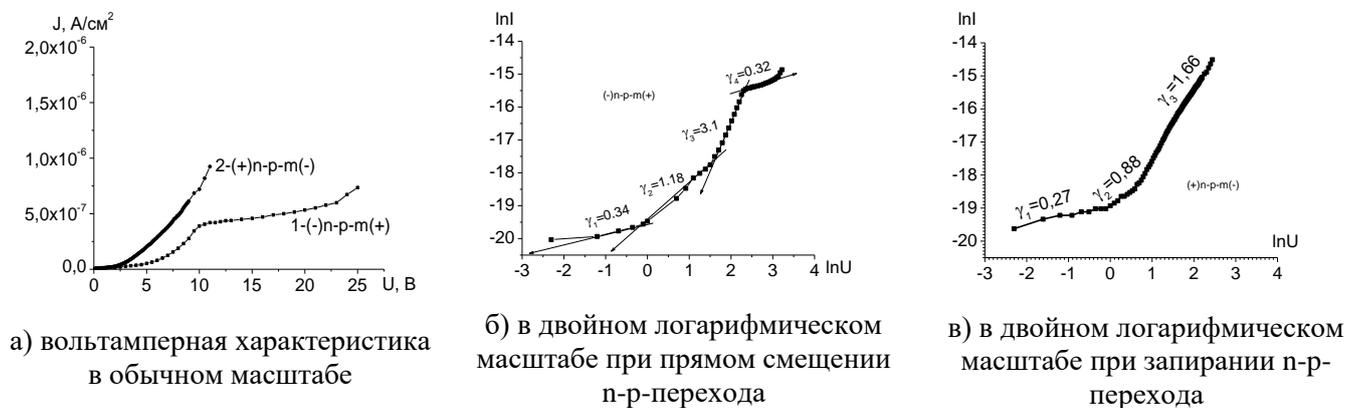


Рис. 5. Зависимости тока от напряжения nGaAs-pGaAs-Ag-структуры

На основе исследования зависимостей емкости от напряжения определены ходы изменения толщин слоев объемного заряда при различных режимах рабочего напряжения. Так, в режиме (-)n-p-m(+) расширение области объемного заряда p-m-барьера приводит к уменьшению емкости от напряжения, а в интервале напряжений от 8 до 14.5 вольт область объемного заряда принимает неизменное значение. В дальнейшем увеличение емкости можно объяснить значительным сужением объемного заряда на n-p-переходе, приводящим к увеличению суммарной емкости последовательно соединенных n-p и p-m-переходов. При смене режима включения (+)n-p-m(-) толщина слоя объемного заряда запираемого n-p-перехода монотонно увеличивается приводя к уменьшению емкости от напряжения (рис. 6,а,б).

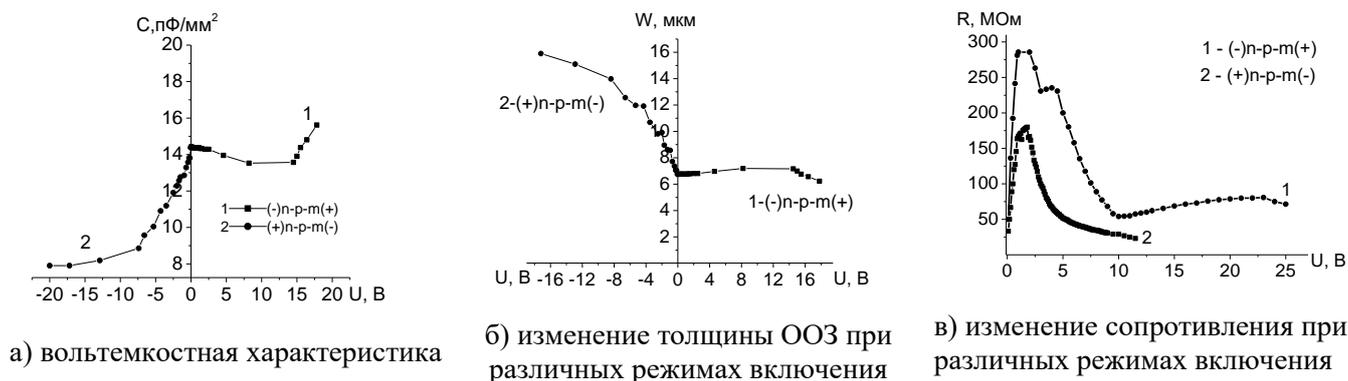


Рис. 6. Электрофизические характеристики nGaAs-pGaAs-Ag-структуры

Наблюдаемые зависимости емкости от напряжения вызываемые изменениями толщин слоев объемного заряда барьеров согласуются с характерными зависимостями сопротивления nGaAs-pGaAs-Ag-структуры от режима включения (рис. 6в). При этом высокие значения сопротивления получаются при запираии n-

p-перехода, что предотвращает снижение входного полезного сигнала в отличие от $p^+ GaAs-nGaAs-Ag$ -структуры.

На основании сопоставительного анализа световых характеристик $nGaAs-pGaAs-Ag$ -структуры в зависимости от режима включения экспериментально показано, изменение ее фотоэлектрических свойств.

В режиме прямого смещения n-p-перехода при возбуждении $nGaAs-pGaAs-Ag$ -структуры интегральным световым излучением со стороны p-m-перехода в области объемного заряда n-p-перехода создаются электронно-дырочные пары. По мере увеличения рабочего напряжения и интенсивности освещения световые токи возрастают за счет увеличения количества генерируемых носителей в запираемом p-m-переходе, что соответствует фотодиодному режиму (рис. 7а).

При смене полярности рабочего напряжения (+)n-p-m(-), когда имеет место запирающее полупроводникового n-p-перехода, световой ток практически перестает зависеть от величины рабочего напряжения и увеличивается с повышением интенсивности светового сигнала (рис. 7,б). При возбуждении структуры интегральным светом в запираемом n-p-переходе генерируются электронно-дырочные пары. Электроны переносятся к омическому контакту, а дырки частично скапливаются у потенциального барьера металл-полупроводник смещая его в прямом направлении. С увеличением напряжения количество носителей генерируемых в области сильного поля вблизи квазинейтральной p-области остается неизменным. По мере увеличения интенсивности освещения за счет понижения барьера металл-полупроводник фототок увеличивается, приводя к увеличению прямосмещающего напряжения, что характерно фототранзисторному эффекту. В данном режиме световое излучение выполняет роль базового вывода приводящего к прямому смещению p-m-перехода.

В режиме запирающего n-p-перехода n-p-m-структуры за счет генерации фотоносителей из базовой (pGaAs) области, так и из области объемного заряда n-p-перехода фототок почти на порядок больше, чем в режиме прямого смещения n-p-перехода, когда генерация фотоносителей осуществляется лишь из области объемного заряда барьера металл-полупроводник, рис. 7в.

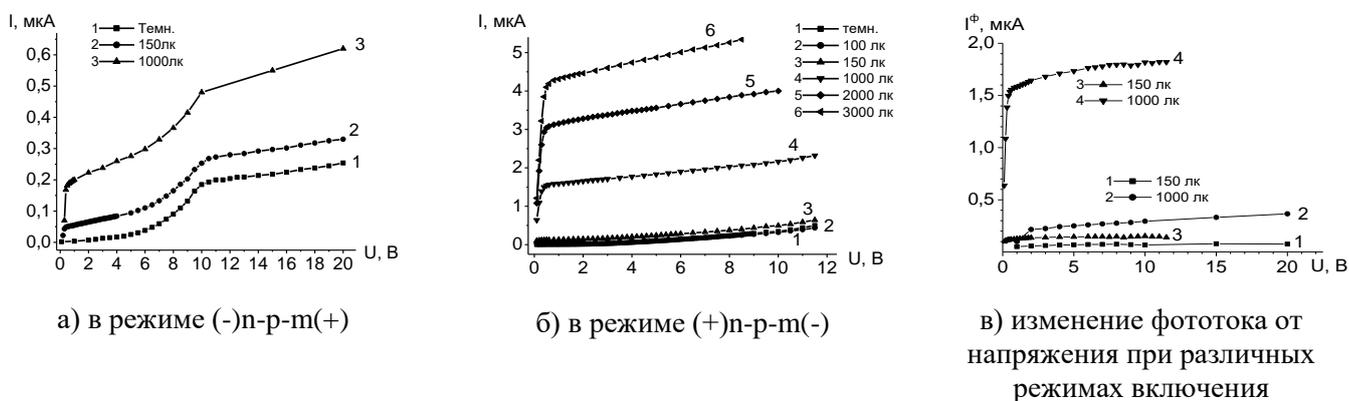


Рис. 7. Фотоэлектрические характеристики $nGaAs-pGaAs-Ag$ -структуры

На основе данных времени пролета фотовозбужденных носителей и постоянной времени RC -цепочки $\tau_{RC} = (R_{\text{посл}} + R_{\text{н}})C_{\text{ф}}$, (где $R_{\text{посл}}$ – последовательное

сопротивление фотодиода, R_H - сопротивление нагрузки, C_f - емкость фотодиода) оцененная предельная частота [11] $f_c = \frac{1}{2\pi RC}$ составляет 90-100 МГц (таблица 1), что открывает возможность для их использования в оптических системах связи.

Таблица 1

Характеристические параметры nGaAs-pGaAs-Ag-структуры					
U, В	C, Ф	$R_{носл}$, Ом	R_H , Ом	τ_{RC} , сек	f_c , Гц
0	$14.5 \cdot 10^{-12}$	10	100	$1.6 \cdot 10^{-9}$	$9 \cdot 10^7$
1.0	$12.9 \cdot 10^{-12}$	10	100	$1.4 \cdot 10^{-9}$	$1 \cdot 10^8$

Четвертая глава посвящена анализу фотгенерационных процессов в областях объемного заряда последовательно соединенных n-p и p-m-переходов, сформированных в едином кристалле арсенида галлия во взаимосвязи с механизмами динамической модуляции потоков света в зависимости от режима включения, а также изучению спектральных характеристик nGaAs-pGaAs-Ag-структуры.

На основе известных физических представлений формирования квазиуровней Ферми [10,12], с использованием качественных зонных диаграмм показаны смещения квазиуровней Ферми в зависимости от интенсивности света и падающих напряжений на запираемых переходах, объясняющие фототранзисторный, фотодиодный и фотовольтаический эффекты обнаруженные в nGaAs-pGaAs-Ag-структуре при различных режимах включения.

Так как nGaAs-pGaAs-Ag-структура имеет потенциальный барьер металл-полупроводник последовательно соединенный к n-p-переходу, то она в режиме прямого смещения полупроводникового перехода приобретает свойства фотодиода, то есть работает в режиме прямого смещения n-p-перехода за счет запираемого перехода металл-полупроводник. Далее по мере увеличения прикладываемого напряжения толщина слоя объемного заряда p-m-перехода увеличивается, что также приводит к увеличению фототока генерируемого в области объемного заряда запираемого барьера. При этом квазиуровень Ферми наиболее сильно изменяется у границы с металлом включая определенную глубину квазинейтральной области pGaAs. Освещение структуры интегральным светом приводит к одновременной генерации фотоносителей в обоих переходах, что при малых напряжениях (<0.45 В) определяющим является гальванический фототок, направление которого противоположно темновому току (рис. 8а), и по мере увеличения рабочего напряжения слой объемного заряда p-m-перехода начинает расширяться, приводя к увеличению фототока добавляемого к темновому. При этом в запираемом p-m-переходе возрастает напряженность электрического поля (табл. 2) до уровня доста-

Таблица 2

Экспериментально расчетные данные толщины ООЗ и напряженности электрического поля

(-)n-p-m(+)								
U, В	0,068	1,1	1,3	2	8,2	14,5	15	17,8
W, мкм	6,7	6,7	6,7	6,8	7,2	7,1	6,9	6,2
E, В/см	$1 \cdot 10^2$	$1,6 \cdot 10^2$	$1,9 \cdot 10^3$	$2,9 \cdot 10^3$	$1,1 \cdot 10^4$	$2 \cdot 10^4$	$2,2 \cdot 10^4$	$2,8 \cdot 10^4$

точного для переброса генерированного электрона в виртуальное состояние и туннелирования в зону проводимости при энергиях меньших ширины запрещенной зоны, 8б. Это подтверждается зависимостью смещения квазиуровня Ферми по толщине области объемного заряда p-m-перехода (рис.9).

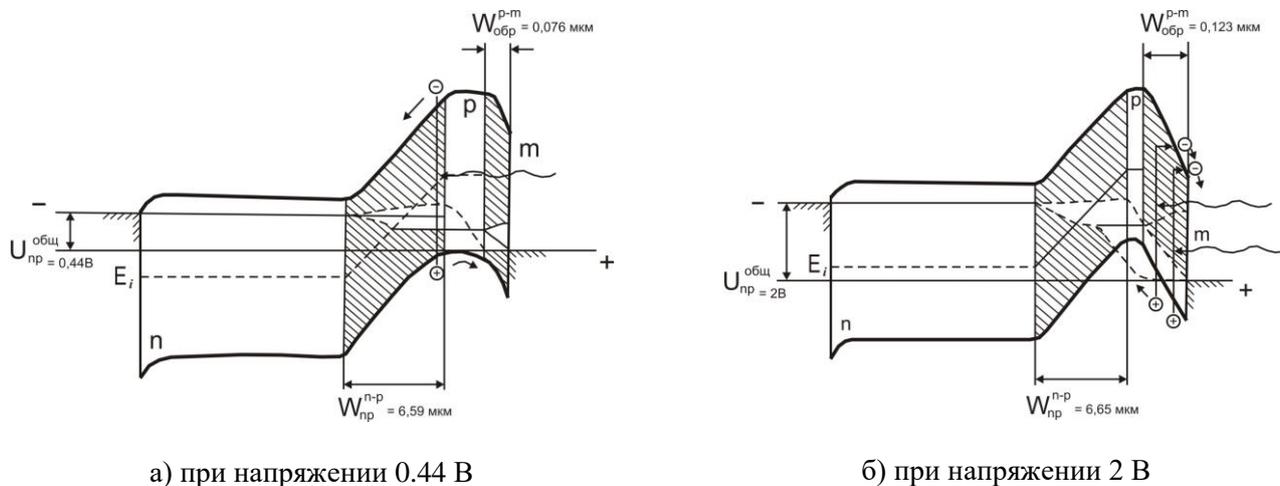


Рис. 8. Качественная энергетическая зонная диаграмма nGaAs-pGaAs-Ag-структуры в режиме запирания p-m-перехода

При освещении монохроматическим светом запираемого перехода металл-полупроводник со стороны металла наблюдается смена знака фототока с увеличением рабочего напряжения, а также сдвиг пика спектрального фототока в область длинных волн, как показано на рис. 10. Этот сдвиг обусловлен выбросом фотогенерированных носителей при энергиях меньших ширины запрещенной зоны, то есть эффектом Франца-Келдыша и объясняется уменьшением ширины запрещенной зоны от электрического поля ($E_{поле}$): $\Delta E_g = 3/2(m^*)^{-1/3}(qhE_{поле})^{2/3}$ являясь индикатором качества перехода металл-полупроводник[3].

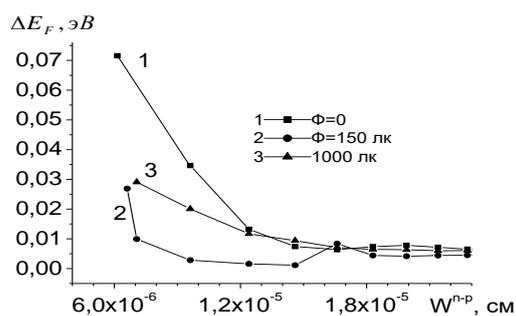


Рис. 9. Смещение квазиуровня Ферми nGaAs-pGaAs-Ag-структуры в режиме запираемого pGaAs-Ag-перехода при различных интенсивностях света

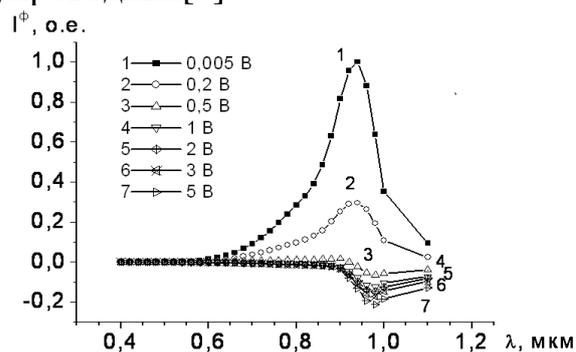


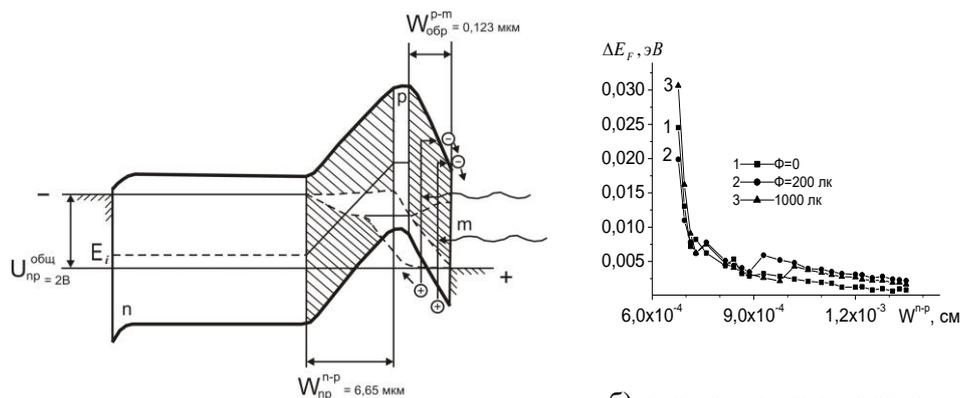
Рис. 10. Спектральная характеристика nGaAs-pGaAs-Ag-структуры в режиме запирания pGaAs-Ag-перехода при различных напряжениях

Таким образом, в nGaAs-pGaAs-Ag-структуре возбуждаемой со стороны полупрозрачного поверхностного барьера можно реализовать фотогальванический и фотодиодный режимы. При этом в фотодиодном режиме по мере увеличения

напряжения, запирающего р-т-барьер, в области собственного поглощения обнаруживается смена знака спектрального фототока обусловленного переносом области фотогенерации из полупроводникового п-р-перехода в рGaAs-Ag-переход. Соответственно, за счет увеличения толщины области объемного заряда барьера металл-полупроводник и увеличения напряженности электрического поля фототок генерируемый в п-р-переходе компенсируется фототоком генерируемым р-т-переходом.

В режиме запираания п-р-перехода по мере увеличения интенсивности освещения квазиуровни Ферми начинают сближаться к зоне проводимости, как показано в зонной диаграмме, рис. 11а. Как видно из зонной диаграммы в связи с прямым направлением последовательно соединенного р-т-перехода появляется возможность прохождения фотогенерированных дырок без потерь через р-т-барьер. Наибольшее изменение квазиуровня Ферми запираемого п-р-перехода (рис.11б) обеспечивается за счет увеличения фототока с интенсивностью интегрального освещения, а от запирающего напряжения фототок практически не зависит, что создает условия для фототранзисторного эффекта. При возбуждении структуры монохроматическим излучением наибольшие значения спектрального фототока создаются в области собственного поглощения (рис. 12). Соответственно, увеличение рабочего напряжения приводит к возрастанию фототока за счет генерации носителей, как с области объемного заряда так и с прилегающей к объемному заряду базы. В результате квазиуровень Ферми изменяется и в самой базовой области.

Кроме того, в связи с тем, что толщины области объемного заряда п-р-перехода являются протяженными, то напряженности электрических полей оказываются недостаточными для образования полевых эффектов, табл. 3. Поэтому наблюдаемые в биполярных транзисторах эффекты вторичного пробоя и обратной связи в предлагаемой структуре отсутствуют.



а) качественная энергетическая зонная диаграмма в режиме запираания п-р-перехода

б) смещение квазиуровня Ферми в режиме запираания п-р-перехода

Рис. 11. Изменение положения квазиуровня Ферми для пGaAs-рGaAs-Ag-структуры при различных интенсивностях света

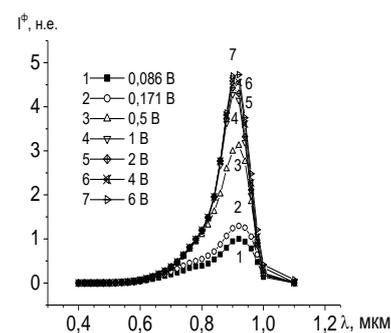


Рис. 12. Спектральная характеристика пGaAs-рGaAs-Ag-структуры в режиме запираания п-р -перехода при различных напряжениях

На основе формирования градиента ($\sim 10^{17} \text{ см}^{-4}$) примесей в базовой pGaAs-области nGaAs-pGaAs-Ag-структуры с протяженной ($\sim 6 \text{ мкм}$) переходной областью

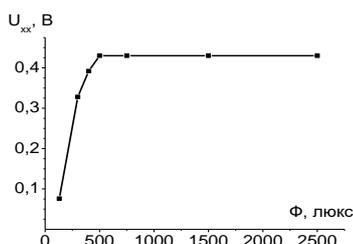
Таблица 3

Экспериментально расчетные данные толщины ООЗ и напряженности электрического поля

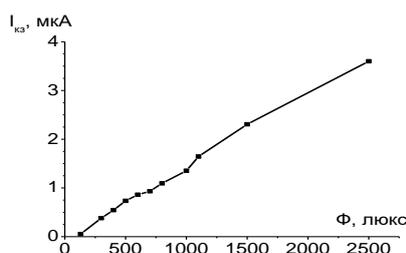
(+)n-p-m(-)							
U, В	0,059	0,068	1,3	1,7	4,3	6,6	12,9
W, мкм	6,7	7,3	7,6	7,7	8,9	10,1	11,8
E, В/см	$0,88 \cdot 10^2$	$0,9 \cdot 10^2$	$1,7 \cdot 10^3$	$2,2 \cdot 10^3$	$4,8 \cdot 10^3$	$6,6 \cdot 10^3$	$1 \cdot 10^4$

n-p-перехода обнаружен фотовольтаический эффект, указывающий на возможность его использования в режиме генератора тока и напряжения, рис. 13а,б.

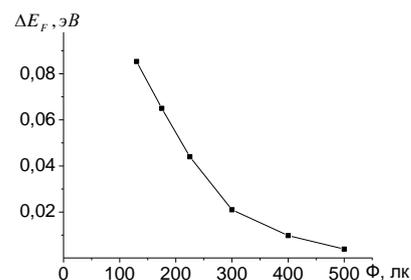
Фотовольтаический эффект обусловлен тем, что при освещении структуры со стороны барьера металл-полупроводник в области объемного заряда и прилегающей к нему квазинейтральной области pGaAs создаются электронно-дырочные пары приводящие к смещению квазиуровня Ферми (рис.13в). По мере увеличения интенсивности освещения за счет увеличения генерируемых фотоносителей как n-p-переход, так и p-m-переходы смещаются в прямом направлении. В результате p-m-барьер для генерированных фотодырок уменьшается.



а) изменение напряжения холостого хода



б) изменение тока короткого замыкания



в) смещения квазиуровня Ферми в фотовольтаическом режиме

Рис. 13. Зависимости фотовольтаических параметров от интенсивности освещения nGaAs-pGaAs-Ag-структуры

В равновесном состоянии уровни Ферми для электронов и дырок совпадают, рис. 14 а. На границе n и p областей создается контактная разность потенциалов (диффузионный потенциал) за счет образованных зарядов неподвижных носителей с толщиной W_0^{n-p} . В режиме фотовольтаического эффекта при возбуждении структуры фотонами с энергией большей ширины запрещенной зоны в области объемного заряда n-p-перехода и прилегающей к ней квазинейтральной области разделяются электронно-дырочные пары. Электроны без препятствий доходят до омического контакта n-области, а дырки смещают p-m-переход в прямом направлении. В этой структуре диффузионные потенциалы U_K^{n-p} и U_K^{p-m} направлены друг против друга. В результате часть напряжения вырабатываемого n-p-переходом падает на p-m-переход и компенсируется. Увеличение количества дырок в p-области приводит к уменьшению носителей электронов на границе n-p-перехода, что приводит к сближению квазиуровня Ферми к зоне проводимости и тем ближе, чем больше будет интенсивность излучения. При этом контактная разность потенциалов

барьера металл-полупроводник будет уменьшаться, облегчая перенос дырок из р-области к контакту барьера, создавая положительный потенциал.

Создание n-p-перехода с протяженной областью объемного заряда способствуют получению большого количества генерированных носителей с n-p-перехода со знаком противоположным току p-m-перехода. Наличие градиента примесей в р-области уменьшающейся в направлении подложки n-области противодействует генерированным электронам двигаться в направлении потенциального барьера, и исключают рекомбинацию генерированных носителей, создавая условия для фотовольтаического эффекта.

Создание барьера металл-полупроводник способствует уменьшению поверхностной рекомбинации и влияния поверхностных состояний на частотные свойства, то есть исключается захват фотогенерированных носителей. При подсветке от вольфрамовой лампы интенсивностью 300 лк на выводах структуры создается напряжение холостого хода 0.32 В. Как показано в качественной зонной диаграмме от светового излучения как n-p так и p-m-переходы как бы смещаются в прямом направлении и за счет фотогенерированных носителей перемещаются уровни Ферми в области объемного заряда, рис. 14б. По мере увеличения интенсивности освещения разница квазиуровней Ферми для электронов и дырок увеличивается (рис. 14в). В результате диффузионный потенциал на переходе металл-полупроводник уменьшится, облегчая переход генерированных дырок через барьер pGaAs-Ag, чем больше будет интенсивность излучения, тем больше будет фототок.

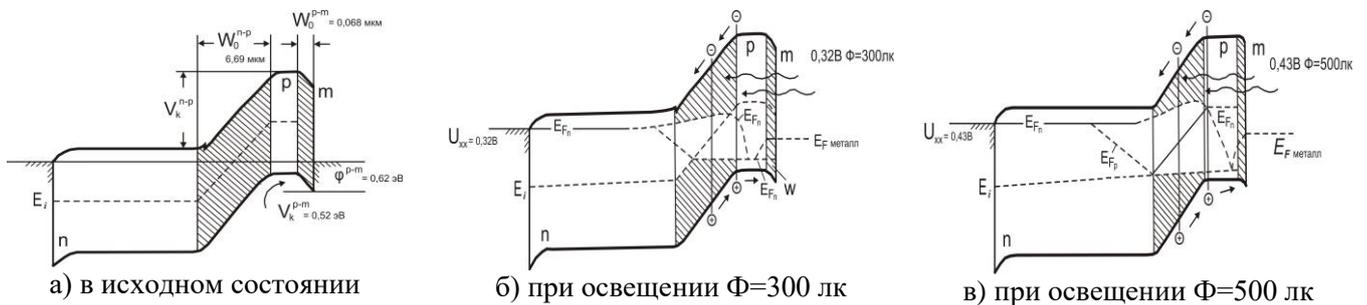


Рис. 14. Качественная зонная диаграмма nGaAs-pGaAs-Ag-структуры в равновесном состоянии

В предлагаемой nGaAs-pGaAs-Ag-структуре реализация фотогенерационных процессов обеспечена подбором параметров и конструктивных изменений. В ней в отличие от p-i-n-диода и n-p-n-транзистора (рис. 15а,б), с целью повышения стабильности параметров и глубины модуляции запираемых областей, переходная область сформирована в виде $n^0 p^0$ слоев с градиентным распределением примесей, а контакт к р-области сформирован выпрямляющим, концентрация носителей в n-области на порядок меньше, чем в р-области. Выполнение переходной области в виде $n^0 p^0$ слоев с градиентным распределением примесей в отличие от i-области создает тянущие электрические поля для фотогенерированных носителей (рис. 15в).

Формирование выпрямляющего контакта к р-области исключает инжекцию носителей в р-область и рекомбинацию основных носителей в i-области, то есть исключает образование S-образной вольтамперной характеристики свойственной p-i-n-диодам. В сравнении с биполярной n-p-n-структурой исключает накопление

зарядов. Предлагаемый выбор концентрации носителей в n-области на порядок меньше, чем в p-области со сформированным к ней выпрямляющим контактом обеспечивает расширение слоя объемного заряда в ее глубь от запирающего напряжения и увеличение фототока с интенсивностью освещения за счет уменьшения диффузионного потенциала барьера металл-полупроводник фотогенерированными носителями. Эти положения основаны на законах распределения неравновесных носителей в областях объемного заряда и в квазинейтральных областях, которые отличаются от равновесной. При этом на границе области пространственного заряда, где $F_p - F_n = qU$, выражение для концентрации n_n, p_p , будет: $n_n p_n = n_i^2 e^{\frac{F_n - F_0}{kT}} = n_i^2 e^{\beta U}$. В условиях низкого уровня инжекции концентрация основных носителей не меняется, поэтому $n_n = n_{n0}$; $p_n = \frac{n_i^2}{n_{n0}} e^{\beta U} = p_{n0} e^{\beta U}$ [10]. Следует отметить, что в предлагаемой нами pn^0-p^0 p-m-структуре в зависимости от полярности падающих напряжений концентрация неосновных носителей (увеличивается в прямо смещаемых переходах и уменьшается в запираемых переходах) изменяется в соответствии с величиной рабочего напряжения и интенсивности освещения.

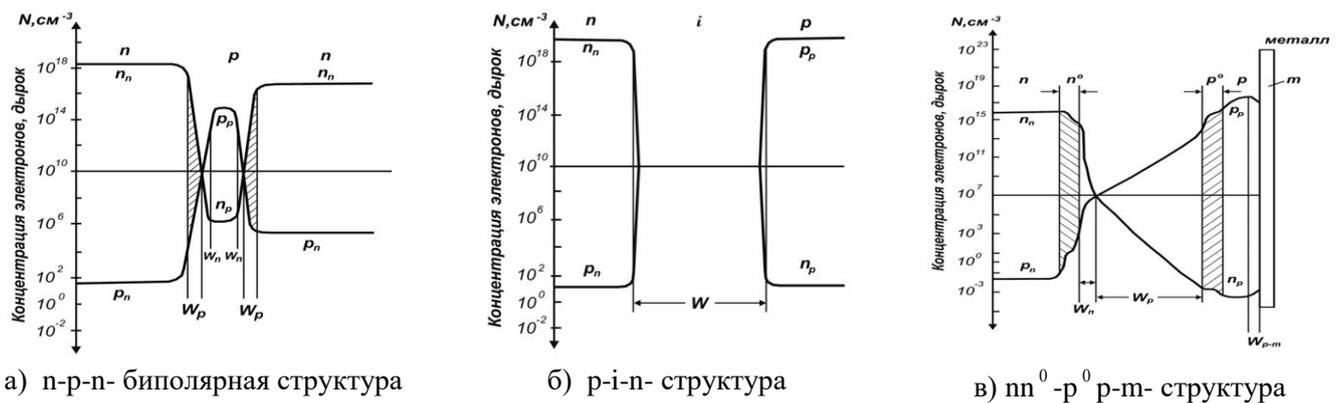


Рис. 15. Распределение основных n, p и неосновных p_n, n_p носителей в многпереходных структурах

Таким образом, в фотовольтаическом режиме изменения квазиуровней Ферми обусловлены зависимостью фотогенерированных носителей от интенсивности освещения. В заключении можно отметить, что процессы фотогенерации носителей определяются изменениями квазиуровней Ферми при повышении интенсивности освещения и рабочего напряжения, что обусловлено перераспределением концентрации носителей в приграничной области квазинейтральных n и p-областей.

3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Изучены технологические критерии выращивания эпитаксиального слоя арсенида галлия p-типа проводимости на подложке nGaAs с одновременным диффузионным легированием из твердофазного источника - цинка в специальном устройстве.

2. В $n\text{GaAs-pGaAs-Ag}$ -структуре выполнение эмиттерной области с концентрацией носителей на порядок меньшей, чем в базовой области обеспечивает возможность работы структуры в обоих режимах включения за счет обеспечения поочередного модулирования каждого из n и p -областей.

3. Проанализированы основные физико-технологические критерии, обеспечивающие фототранзисторный эффект в структуре с обратно включенными переходами, который задается подбором параметров соответствующих областей n - p - m -структуры.

4. С учетом особенностей получения фототока в двухпереходной n - p - m -структуре в отличие от традиционных биполярных транзисторов изготовлены двухбазовые фотодиодные $n\text{GaAs-pGaAs-Ag}$ -структуры на основе эпитаксиальных слоев арсенида галлия.

5. Установлены механизмы токопрохождения в $p\text{GaAs-nGaAs-Ag}$ - и $n\text{GaAs-pGaAs-Ag}$ -структуре при различных режимах включения. Экспериментально установлено, что в $p\text{GaAs-nGaAs-Ag}$ -структуре механизмы токопереноса определяются термоэлектронной эмиссией, а в $n\text{GaAs-pGaAs-Ag}$ -структуре сменой генерационных процессов термоэлектронной эмиссией.

6. В $n\text{GaAs-pGaAs-Ag}$ -структуре в режиме запираания n - p -перехода, обнаружен фототранзисторный эффект приводящий к пропорциональному увеличению фототока от интенсивности светового сигнала, как и в биполярном транзисторе с плавающей базой.

7. Обнаруженный в n - p - m -структуре транзисторный эффект объясняется тем, что при освещении $n\text{GaAs-pGaAs-Ag}$ -структуры со стороны поверхностного потенциального $p\text{GaAs-Ag}$ -барьера в режиме $(+)n$ - p - $m(-)$ в p -области за счет собственного поглощения образуются электронно-дырочные пары. Дырки, неосновные носители вначале скапливаются в базовой области $p\text{GaAs}$, увеличивая положительный заряд. В результате уменьшается потенциальный барьер и дырки, преодолевая его, попадают в коллектор, в то время как электроны беспрепятственно достигают омического контакта $n\text{GaAs}$. При этом уменьшение сопротивления потенциального барьера приводит к перераспределению приложенного к структуре напряжения и увеличению темнового тока обуславливающего транзисторный эффект.

8. Экспериментально показано, что в $n\text{GaAs-pGaAs-Ag}$ -структуре возбуждаемой со стороны полупрозрачного поверхностного барьера можно реализовать фотогальванический и фотодиодный режимы. При этом в фотодиодном режиме по мере увеличения напряжения, запирающего $p\text{GaAs-Ag}$ -барьер, в области собственного поглощения обнаруживается смена знака спектрального фототока обусловленного переносом области фотогенерации из полупроводникового $n\text{GaAs-pGaAs}$ -перехода в металлополупроводниковый $p\text{GaAs-Ag}$ -переход. В режиме запираания $p\text{GaAs-Ag}$ -перехода обнаруживается эффект Франца-Келдыша вызываемый сильными электрическими полями на переходе металл-полупроводник $p\text{GaAs-Ag}$.

9. Приведены конструктивно-технологические параметры полученной жидкостной эпитаксией двухпереходной n - p - m -структуры на основе арсенида галлия, и раскрыты его функциональные возможности. Проанализированы процессы фотогенерации носителей в базе и в областях объемного заряда полупровод-

никового и металлополупроводникового переходов в зависимости от режима включения. Такое совместное обеспечение процесса модуляции базовой области и генерации фотоносителей из области объемного заряда p-p-перехода, а также реализация условий генерации фотоносителей барьером Шоттки обуславливает многофункциональность предложенной гомопереходной nGaAs-pGaAs-Ag-структуры.

Список использованной литературы

1. Шахнович И. Твердотельные СВЧ приборы и технологии. Невоспетые герои беспроводной революции // Электроника. –Москва, 2005. -№4. -С.12-18.
2. Блихер А. Физика силовых биполярных и полевых транзисторов. Пер. с англ. – Санкт-Петербург: Энергоатомиздат, 1986. -248 с.
3. Хансперджер Р. Интегральная оптика. Пер. с англ. –М.: Мир, 1985. -384 с.
4. Sakai A., Naitoh M., Kobayashi M., Umeno M. InGaAsP/InP phototransistor-based detectors, USA. IEEE Trans. Electron Devices, ED-30, (4) (1983), -pp. 404–408.
5. Агабекова З.Е., Арипов Х.Х., Бустанов Х.Х., Касимов С.С., Насырходжаев Ф.Р., Объедков Е.В. Фотопреобразователь с усилением, патент № IAP 03365 от 12.04.2007.
6. Karimov A.V., Karimova D.A. Three-junction Au/AlGaAs(n)-GaAs(p)/Ag photodiode // Materials Science in Semiconductor Processing. – JPY,USD, EUR, February-June 2003. – Vol. 6. – Issues 1-3. –pp 137-142.
7. Каримов А.В., Ёдгорова Д.М. Некоторые особенности получения фототока в одно- и многобарьерных фотодиодных структурах // -Санкт-Петербург: ФТП, 2010. -Т. 44. -№ 5. -С. 674-679.
8. Дапкус Л., Пожела К., Пожела Ю., Шиленас А., Юцене В. Варизонный фотоэлектрический детектор ионизирующих излучений // ФТП. -Санкт-Петербург, 2005. -Т. 39. -вып. 2. -С. 281-284.
9. Патент РУз №IAP03930. Устройство для получения диффузионных и эпитаксиальных слоев полупроводниковых соединений A^3B^5 / Ёдгорова Д.М., Каримов А.В., Бузруков У.М., Бахранов Х.Н., Юлдашев Ш.Ш., Абдулхаев О.А. // Расмий ахборотнома. -2009. -№ 5.
10. Зи С.М. Физика полупроводниковых приборов. Кн. 1. –М.: Мир, 1984. –С. 80-91.
11. П.К.Чео. Волоконная оптика. Пер. с англ. / Под ред Г.И. Литвиновой и Ю.Т. Лариной. -М.: Энергоатомиздат, 1988. 280 с.
12. Корнилов В.М., Лачинов А.Н., Загуренко Т.Г: Динамика ловушечных состояний в полимерной пленке вблизи порога переключения. Материалы докладов VII Всероссийской конференции "Структура и динамика молекулярных систем". Химия и компьютерное моделирование. Бутлеровские сообщения. 2001, Том 1. № 4. С.3-5.

4. СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

1. Каримов А.В., Ёдгорова Д.М., Абдулхаев О.А., Гиясова Ф.А., Назаров Ж.Т. Фотоэлектрические характеристики двухбарьерной гомо-переходной

- структуры на основе GaAs. Петербургский журнал электроники. -Санкт-Петербург, 2009, -№ 2 (59). -С. 54-61.
2. А.В. Каримов А.В., Ёдгорова Д.М., Абдулхаев О.А., Гиясова Ф.А., Назаров Ж.Т. Многофункциональная гомопереходная арсенидгаллиевая n-p-m-структура. // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. -Одесса, 2009. - № 6 (84). -С. 31-34.
 3. Д.М. Ёдгорова, О.А. Абдулхаев, А.А. Каххоров, Ж.Т.Назаров. Характеристические параметры прямо и обратно-включенной двухпереходной арсенидгаллиевой структуры // Узбекский физический журнал. –Тошкент, 2009. –Т. 11. -№ 3. -С. 191-198.
 4. Д.М. Ёдгорова, О.А. Абдулхаев, А. В. Каримов, Ж.Т.Назаров. Фоточувствительность nGaAs-pGaAs-Ag-структуры. // Доклады Академии наук РУз. – Ташкент, 2010. -№ 3. -С. 34-36
 5. Абдулхаев О.А., Ёдгорова Д.М., Назаров Ж.Т. Исследование процессов модуляции базовых областей nGaAs-pGaAs-Ag-структуры. Фундаментальные и прикладные вопросы физики», 24-25 ноября 2010 г. –Ташкент. -С. 173-175
 6. Каримов А.В., Ёдгорова Д.М., Абдулхаев О.А., Назаров Ж.Т., Джураев Д.Р. Эффект Франца-Келдыша в nGaAs-pGaAs-Ag-структуре // Современные техника и технологии горно-металлургической отрасли и пути их развития: Материалы международной научно-технической конференции 12-14 мая 2010.-Навои-2010. -С.322-323.
 7. Каримов А.В., Ёдгорова Д.М., Абдулхаев О.А., Гиясова Ф.А., Назаров Ж.Т., Мирджалилова М. Исследование зависимости слоя объемного заряда от рабочего напряжения в nGaAs-pGaAs-Ag-структуре // Современные техника и технологии горно-металлургической отрасли и пути их развития: Материалы международной научно-технической конференции 12-14 мая 2010.-Навои-2010. -С.396-397.
 8. Ёдгорова Д.М., Назаров Ж.Т., Абдулхаев О.А. Джалилов Ж. А. Сравнительный анализ фотогенерационных процессов в арсенидгаллиевой n-p-m-структуре с противоположно направленными переходами в зависимости от режима включения // Современные информационные и электронные технологии: Труды десятой международной научно-практической конференции. 18-22 мая 2009. –Одесса, 2009. -Т. 2. –С. 117.
 9. Ёдгорова Д.М., Каримов А.В., Абдулхаев О.А., Саидова Р.А., Назаров Ж.Т. Фотоэлектрические характеристики nGaAs-pGaAs-Ag-структуры // Неравновесные процессы в полупроводниковых структурах: Материалы 2-международной конференции 12-14.11. 2009.–Тошкент, 2009 -С.60-63
 10. Каримов А.В., Ёдгорова Д.М., Гиясова Ф.А., Назаров Ж.Т., Юлдашев Ш.Ш. Регистратор оптических сигналов на основе модифицированной биполярной транзисторной структуры // Геотехнология: инновационные методы недропользования XXI веке: Материалы республиканской конференции «IS-TIQLOL» (с международным участием) 25-27 сентября 2007. -Москва-Навои, 2007. С. 151-152.

РЕЗЮМЕ

диссертации Назарова Жамолиддина Ташкуловича на тему:
“Фотоэлектрические явления в однобазовых арсенидгаллиевых структурах с прямо и обратно включенными барьерами” на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности
01.04.10 - Физика полупроводников

Ключевые слова: арсенид галлия, жидкостная эпитаксия, потенциальный барьер, область объемного заряда, фототок, фототранзистор, токоперенос.

Объекты исследования: pGaAs-nGaAs-Ag и nGaAs-pGaAs-Ag-структуры.

Цель работы: изучение физических особенностей расширения области объемного заряда и создания градиентного поля с полевым управлением оптическими параметрами базовой области двухбарьерной арсенидгаллиевой структуры с гомопереходом.

Методы исследования: экспериментальные методы снятия вольтамперных, вольтемкостных и спектральных характеристик. Сопоставление полученных данных с расчетными.

Полученные результаты и их новизна: впервые реализованы физико-технологические критерии, обеспечивающие фотогальванический и фотодиодный режимы при получении двухпереходной арсенидгаллиевой p-r-m-структуры жидкофазной эпитаксией на основе образование диффузионного поля и прямого проникновения светового излучения к границе p-r-перехода; установлено, что механизмы токопереноса в двухпереходной p-r-m-структуре определяются термоэлектронной эмиссией через переход металл-полупроводник, с одновременными генерационными процессами в областях объемного заряда p-r-перехода в зависимости от режима включения; впервые экспериментально показана взаимосвязь внутреннего усиления фототока с фототранзисторным эффектом, обнаруживаемым при смене полярности рабочего напряжения; экспериментально обнаружено аномальное явление спектральной фоточувствительности обусловленное электрическими полями, приводящими к сужению ширины запрещенной зоны базовой области в режиме запирающего p-m-перехода.

Практическая значимость: предложенная конструкция обратновключенной двухпереходной nGaAs-pGaAs-Ag-структуры может быть использована для приема и усиления оптических сигналов, в качестве модулятора света в оптоэлектронных устройствах различного назначения.

Степень внедрения и экономическая эффективность: основные научные результаты и методы, представленные в диссертации являются основой для разработки фотоприемных устройств приема и передачи оптического сигнала в научно-производственных объединениях АН РУз и других приборостроительных организациях.

Область применения: Оптоэлектронные и телекоммуникационные системы

Физика-математика фанлари номзоди илмий даражасига талабгор
Назаров Жамолиддин Тошқуловичнинг 01.04.10-Яримўтказгичлар физикаси
ихтисослиги бўйича «Тўғри ва тескари уланган икки тўсиқли бир асосли
арсенидгаллийли структураларда фотоэлектрик ходисалар» мавзудаги
диссертациясининг

РЕЗЮМЕСИ

Таянч сўзлар: арсенид галлий, суюқ эпитаксия, потенциал тўсиқ, ҳажмий заряд соҳаси, фототок, фототранзистор, ток ўтказиш.

Тадқиқот объектлари: pGaAs-nGaAs-Ag ва nGaAs-pGaAs-Ag-структуралар.

Ишнинг мақсади: ҳажмий заряд соҳаси кенгайишини ва икки тўсиқли гомоўтишли арсенидгаллийли структуранинг асос қисми оптик параметрларини электрик майдон орқали бошқариш, ҳамда градиент майдон ҳосил қилишнинг физикавий ўзига хосликларини тадқиқ қилиш.

Тадқиқот усули: вольт-ампер, вольт-сигим ва спектрал характеристикалар олишнинг экспериментал усуллари. Олинган натижаларни ҳисоблашлар билан таққослаш.

Олинган натижалар ва уларнинг янгилиги: арсенидгаллий асосидаги икки ўтишли n-p-m-структурани суюқ эпитаксия усулида олишда диффузион майдон ҳосил қилиш ва ёруғлик нуруни n-p-ўтиш чегарасига тўғридан-тўғри етиб бориши асосидаги фотогальваник ва фотодиод режимларини таъминловчи физика-техникавий мезонлар илк марта амалга оширилди; икки ўтишли n-p-m-структурада ток ўтказиш механизми металл-яримўтказгич ўтишда термоэлектрон эмиссия ва бир вақтнинг ўзида уланиш усулига боғлиқ ҳолда n-p-ўтиш ҳажмий заряд соҳасидаги генерацион жараёнлар билан бориши аниқланди; ишчи кучланиш кутбини алмаштиришда кўзатиладиган ички кучайтиришли фототокнинг фототранзистор эффекти билан ўзаро боғлиқлиги илк марта экспериментал кўрсатилди; p-m тескари ўтиш режимида электр майдони таъсирида асос қисми тақиқланган соҳасининг сиқилиши билан кечадиган аномал ходиса спектрал фотосезгирлик тажриба йўли билан кузатилди.

Амалий аҳамияти: таклиф этилган тескари уланган икки ўтишли nGaAs-pGaAs-Ag-структура турлича оптоэлектрон қурилмаларда ёруғлик сигналларини қабул қилувчи ва кучайтирувчи ёруғлик модулятори сифатида ишлатилиши мумкин.

Татбиқ этиш даражаси ва иқтисодий самарадорлиги: диссертацияда тақдим этилган асосий илмий натижа ва услублар ЎзРФА илмий-текшириш бирлашмалари ва бошқа асбобсозлик корхоналарида ёруғлик сигналларини қабул қилувчи ва узатувчи қурилмаларни қайта ишлашнинг асоси ҳисобланади.

Қўлланиш соҳаси: оптоэлектрон ва телекоммуникацион тизимлар.

RESUME

thesis of Nazarov Jamoliddin Tashkulovich on the theme “Photoelectrical phenomena in one base gallium arsenium structures with directly switched barriers and reverse switched ones” on the scientific degree competition of the doctor of philosophy in physical-mathematical sciences on specialty 01.04.10-physics of semiconductors.

Key words: gallium arsenium, liquid epitaxy, potential barrier, space charge’s past, photocurrent, phototransistor, current transport.

Subjects of research: pGaAs-nGaAs-Ag structure and nGaAs-pGaAs-Ag- structur

Purpose of work: research of physical features of widening of space charge’s past and creation of gradient field with field operation of optical parameters of the base two-barrier gallium arsenium structure with homojunction.

Methods of research: current-voltage characteristics, volt-capacity characteristics and spectral characteristics. Comparison of received data with calculated ones.

The results obtained and their novelty: For the first time physical-technological criteria providing photo galvanic conditions and photodiode ones at manufacture of two-junction gallium arsenium n-p-m-structure by liquid epitaxy on the basis of creation of diffusion field and direct penetration of light radiation to p-n-junction’s border are realized; it has been shown that mechanisms of current transport in two-junction n-p-m-structure are determined by thermo electron emission through metal-semiconductor junction with simultaneous generation processes in space charge past of p-n-junction depending on switching conditions; for the first time it has been experimentally shown interrelation of photocurrent’s internal amplification with phototransistor effect taking past at the change of work voltage’s polarity; it has been experimentally carried out abnormal phenomenon of spectral photosensitivity caused by electrical fields, resulting in narrowing width of base’s forbidden zone in conditions of p-m-junction’s blocking.

Practical value: The offered design of reverse switched two-junction nGaAs-pGaAs-Ag-structure can be used for reception and amplification of optical signals as well as the modulator of light in optical-electron devices of different types.

Degree of embed and economic effectivity: the basic scientific results and methods submitted in the dissertation are the basis for manufacture of devices for reception and communication of optical signal in scientific production associations of Academy of science of the Republic Uzbekistan and for other device-making organizations.

Field of application: Optical-electronical and telecommunication systems.