

На правах рукописи

УДК 621.376.234

САЙМБЕТОВ АХМЕТ КУАНЫШБАЕВИЧ

**ОСОБЕННОСТИ ВЛИЯНИЯ ГРАНИЦЫ РАЗДЕЛА И ПРОТЯЖЕННОСТИ
ОБЛАСТИ ОБЪЕМНОГО ЗАРЯДА НА ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ
ХАРАКТЕРИСТИКИ ДЕТЕКТОРНЫХ СТРУКТУР**

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

ТАШКЕНТ –2010

Работа выполнена в Физико-техническом институте
им. С.В. Стародубцева НПО «Физика-Солнце» им. С.А. Азимова
АН Республики Узбекистан

Научный руководитель: доктор физико-математических наук, проф.
академик **Муминов Рамизулла Абдуллаевич**

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук, проф.
Бахадырханов Мухаммадкабир Саидхонович

кандидат физико-математических наук, с.н.с.
Дадамухаммедов Суннатулла

Ведущая организация: Ташкентский университет информационных
технологий.

Защита состоится «_____» _____ 2010 г. в _____ часов на заседании
Специализированного совета Д.015.08.01 при Физико-техническом институте
НПО «Физика-Солнце» АН РУз по адресу: 100084, г. Ташкент, ул. Бодомзор
йули 26. Тел: (8-10-99871)- 233-12-71. Факс: (8-10-99871)-233-42-91.
E-mail: karimov@uzsci.net

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

Автореферат разослан «_____» _____ 2010 г.

Ученый секретарь
Специализированного совета Д.015.08.01
д.ф.-м.н., профессор

Каримов А.В.

1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДИССЕРТАЦИИ

Актуальность работы. Известно, что в настоящее время полупроводниковые детекторы ядерного излучения широко применяются не только в ядерно-физических научных исследованиях, но находят применение в различных сферах человеческой деятельности, в частности: геологии, медицине, энергетике, археологии, охране окружающей среды, космической аппаратуре, криминалистике и т.д. В то же время регистрация различных типов радиационного (ионизирующего) излучения продолжает оставаться особой задачей современного развития науки и техники, следовательно, их практического применения. Среди них особое место занимают разработки полупроводниковых детекторов (ППД) ядерного излучения с высокими энергетическим и позиционным разрешениями, линейностью сигнала в широком диапазоне энергии для различных типов ионизирующих частиц. Одним из важных технологических и научно-технических этапов получения высокоэффективных ППД структур является правильное понимание физических, технологических, конструктивных решений не только его получения, в частности, процесса формирования на основе полупроводниковых монокристаллов р-п, р-і-п структур, а также α Si-Si(Li) гетереструктур, но и важны расширения научного понимания процессов собирания, индуцированных ионизирующими излучениями носители зарядов в чувствительной области детектора и формирования на этой основы амплитудного спектра с высоким энергетическим разрешением. В этом вопросе особое место занимает в качестве основного материала монокристаллический кремний. Следовательно, в нем необходимы развития таких процессов, как диффузия и последующий процесс компенсации примесными атомами большого рабочего объема таких структур. При этом особое значение имеет процесс формирования высокоэффективной границы раздела структуры. С этой точки зрения важны научно-технологические исследования по разработке высокоэффективных Si(Li) структур, как с р-п, р-і-п переходами, так и α Si-Si(Li) гетерепреходами. Данный вопрос особенно важен на настоящее время с необходимостью разработки ППД больших размеров, в частности, с чувствительной поверхностью до максимально возможных диаметров исходного монокристаллического кремния, выпускаемой промышленностью. Успешное решение задач по созданию высокоэффективных Si(Li) детекторов ядерного излучения больших площадей и протяженности чувствительной области во многом зависит от правильного понимания свойств исходного кристалла большого диаметра, и их физическая связь с эксплуатационными характеристиками детектора. Это требует более глубокого понимания свойств исходного кристалла и установление их роли на формирования высокоэффективных детекторных структур типа р-п, р-і-п переходов, а также α Si-Si(Li) гетеропереходов. Поэтому тема диссертационной работы является **актуальной**.

Степень изученности проблемы. Известно, что развитие полупроводникового материаловедения открыли широкие возможности разработки полупроводниковых детекторов ядерного излучения различного назначения. Среди детекторов ядерного излучения на полупроводниковых кристаллах особое место занимают кремний-литиевые детекторы. В настоящее время в мировой практике

такого типа детекторы развиты только относительно малыми размерами (Диаметр чувствительной поверхности детектора $\varnothing \leq 50$ мм, толщина рабочей области $W \leq 2$ мм) [1,2,3]. В то же время имеется острая необходимость разработки ППД больших размеров ($\varnothing \geq 50 \div 110$ мм, $W \geq 3 \div 10$ мм). Однако их создание имеют не только физические, технические, технологические особенности и трудности, но особенности процессов собирания зарядов, кинетических процессов в больших объемах чувствительной области ППД. В этом вопросе особое место занимает формирование на кристаллах больших диаметров резких плоскопараллельных по всей площади кристалла р-п, р-і-п переходов, а также α Si-Si(Li) гетерепереходов.

Связь диссертационной работы с тематическими планами НИР. Работа выполнена в Физико-техническом институте НПО «Физика- Солнце» АН РУз в рамках Государственной Научно-технической Программы АН РУз. Основные результаты были получены в рамках проектов Фонда поддержки фундаментальных исследований АН РУз № 06-06 «Физические особенности разработки полупроводниковых стриповых детекторов ядерного излучения ортогональным полем» (2006-2007) и ГНТП А-5-032 (П01/06) «Разработка низкофоновой установки на основе кремний-литиевого детектора с большой площадью (до 100 см²) для регистрации слабоинтенсивного ионизирующего излучения» (2006-2008).

Целью диссертационной работы является исследование особенностей формирования высокоэффективных детекторных структур больших размеров с оптимальными электрофизическими и радиометрическими свойствами, а также изучение новых физических механизмов влияющих на формирование амплитуды энергетических спектров в них.

Задачи исследования:

- разработка технологии получения высокоэффективной границы раздела детекторных р-п, р-і-п и α Si-Si(Li) структур больших размеров;
- исследовать электрофизические и радиометрические характеристики детекторных структур на основе Si(Li) р-і-п и α Si-Si(Li).
- исследовать особенности границы раздела и барьерных свойств α Si-Si(Li) гетероструктур больших размеров;
- изучить влияния различных типов неоднородности потенциала в чувствительной области ППД на эффективность собирания зарядов в нем;
- изучить особенности новых физических явлений в чувствительной области ППД, обусловленных свойствами исходного монокристаллического кремния;

Объекты и предмет исследования. Объектом исследования являются детекторные Si(Li) р-і-п, α Si-Si(Li) структуры. Предметом исследования являются физические механизмы, определяющие формирование амплитуды энергетических спектров в детекторных структурах.

Методы исследования: методы исследования вольтамперных и вольтфарадных характеристик детекторных структур; метод исследования фотонапряжения в неоднородных участках чувствительной области Si(Li) р-і-п структур, а также структурные исследования границы раздела α Si-Si(Li).

Гипотеза исследования: в настоящее время набирает темп в приборостроении нанофизика, нанотехнологии, наноструктура, где начинает проявляться новая физика, квантово размерные физические процессы, новые

явления, механизмы. В тоже время остается потребность в развитии получения полупроводниковых приборов больших размеров, как например, фотопреобразователи солнечного излучения в электрическую, детекторы ядерного излучения, ограничители и переключатели больших электрических мощностей, импульсов и др. Среди них особое место занимают ППД больших площадей и объемов, так как ядерно-физические методы широко применяются не только в научно-физических исследованиях, но также они используются в энергетике, геологии, медицине, археологии, экологии и т.д. Однако, в разработке ППД больших площадей и объемов проявляются особенности физических эффектов, связанных с их большими размерами, которые влияют на формирование высокоэффективных приборных структур с прогнозируемыми характеристиками. Исследования в этом направлении являются важными в понимании особенностей физических процессов, явлений в приборных структурах больших размеров.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Предложенные дополнительные технологические условия для создания детекторных структур $\text{Si}(\text{Li})$ p-i-n, $\alpha\text{Si-Si}(\text{Li})$ большой площади.
2. Механизмы образования в области объемного заряда $\text{Si}(\text{Li})$ p-i-n структур спада фотонапряжения в виде «ямы» вызываемых наличием дефектов, как например, типа фазового включения, примесных преципитатов, наноразмерных примесно-дефектных кластеров и др., которые несомненно существуют в объеме p-i-n структуры.
3. Закономерности движения частицы в протяженной области p-i-n структур в неоднородном потенциальном поле, формируемого этой областью.
4. Детекторы на основе $\alpha\text{Si-Si}(\text{Li})$ гетероструктуры с прогнозируемыми электрофизическими и радиометрическими характеристиками обеспечиваемыми за счет применения аморфного слоя.

Научная новизна:

1. На основе исследования релаксационных процессов фотопроводимости в области объемного заряда $\text{Si}(\text{Li})$ p-i-n структурах, выявлено, что на отдельных участках этой области на временной зависимости импульса фотонапряжения после соответствующего фотовозбуждения, наблюдается ярко выраженная «яма».
2. На основе проведенных аналитических расчетов траектории движения носителей заряда в i - области $\text{Si}(\text{Li})$ p-i-n структур с учетом влияния на этот процесс неоднородности потенциального поля в нем, показано, что при таких условиях электроны и дырки, генерированные в результате ионизации атомов ядерным излучением, перемещаются более длинной траекторией по направлению электрического поля в чувствительной области ППД. В результате собираемый заряд при формировании амплитудного энергетического спектра определяется отношением времени задержки к времени их сбора.
3. Разработаны физико-технологические способы формирования оптимальных свойств электрофизических характеристик и параметров радиометрических свойств ППД на основе $\text{Si}(\text{Li})$ p-i-n структур и $\alpha\text{Si-Si}(\text{Li})$ гетероструктур больших размеров.

4. Показано, что детекторные гетероструктуры на основе $\alpha\text{Si-Si(Li)}$ являются более эффективными по их быстродействию и тонкого приповерхностного («мертвого») слоя относительно традиционных p-n структур.
5. Определены энергетические спектры изготовленных гетероструктур по β -частицам ЭВК ^{207}Bi ($E_\beta \sim 1$ МэВ) $R_\beta = 38$ кэВ и по α -частицами ^{226}Ra ($E_\alpha = 7,65$ МэВ) $R_\alpha = 65$ кэВ. Сравнительные характеристики показывают, что гетероструктуры полученные по разработанной технологии имеют улучшенные спектрометрические характеристики.
6. Выявлены новые технологические условия механических и химических обработок, основанные на динамических подходах, для формирования плоскопараллельных детекторных Si(Li) p-i-n структур и гетеропереходов $\alpha\text{Si-Si(Li)}$ с большими площадями чувствительной поверхности.

Научная и практическая значимость результатов исследования. В диссертационной работе рассмотрены новые физические явления и процессы, которые свойственны детекторным структурам Si(Li) p-i-n, $\alpha\text{Si-Si(Li)}$ больших размеров. Создание таких детекторных структур связано с более подробным и глубоким пониманием электрофизических свойств исходного кремния большого диаметра, и установлением их взаимосвязи требованиями получения на их основе высокоэффективных Si(Li) p-i-n, $\alpha\text{Si-Si(Li)}$ структур. Эти научные результаты имеют значения для понимания физических процессов для различных полупроводниковых приборов больших размеров, а также практические значения для совершенствования их характеристик.

Реализация результатов. Разработанные детекторные структуры имеют перспективы в решении фундаментальных и прикладных задач ядерной физики и применении ППД в качестве экспрессного ядерно-физического метода для измерения чистоты веществ в различных сферах.

Апробация работы. Основные результаты диссертационной работы доложены и обсуждены на семинарах лабораторий полупроводникового направления Физико-технического института НПО «Физика-Солнце» АН РУз, а также на следующих республиканских и международных конференциях: «Current Problems in Nuclear Physics and Atomic Energy», (Kyiv, Ukraine, 2008); «Физика твердого тела» и «Наноматериалы для защиты промышленных и подземных конструкций», (Усть-Каменогорск, Казахстан, 2010); XVII Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «ЛОМОНОСОВ 2010», (Москва, Россия, 2010); «Табиий фанларнинг долзарб муаммолари» (Самарканд, Узбекистан, 2008); «Физика фанининг бугунги ривожиди истеъдодли ёшларнинг ўрни», (Ташкент, Узбекистан, 2010); «Фундаментальные и прикладные вопросы физики», (Ташкент, Узбекистан, 2010).

Опубликованность результатов. По материалам диссертации опубликовано 14 научных работ, из них 5 статей и 9 докладов в трудах конференций.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, выводов и списка литературы. Она изложена на 123 страницах машинописного текста, содержит 28 рисунков, 1 таблиц, 91 наименований литературных источников.

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 приведен обзор литературных данных физических основ и принципа работы полупроводниковых детекторов, а также свойствах исходного кремния.

Во второй главе диссертационной работы описаны особенности технологических способов формирования детекторных структур на основе Si(Li) p-i-n и α Si-Si(Li) больших размеров. Механическая и химическая обработка кремниевых пластин больших размеров. Диффузия и дрейф ионов лития кремниевых структур большой площади. Особенности технология получения детекторных гетероструктур α Si-Si(Li) больших диаметров.

В целом механическая обработка кремниевых пластин различных больших диаметров ($\phi > 50$ мм) и толщин ($W > 1,5$ мм) должны были обеспечивается с точностью плоскопараллельности их более $1 \div 1,5\%$. Для сохранения и обеспечения оптимальной плоскопараллельности кремниевых пластин при химической обработки требуется обеспечение в этих процессах равномерной скорости травления одновременно всей поверхности их большой площади.

Для диффузионных процессов получения ППД больших размеров ($\phi > 50$ мм и $W > 2$ мм) нами были оптимизированы технологические условия и режимы процесса температурной диффузии. Диффузия лития проводится в вакууме. Напыление лития на разогретые до $300 - 500$ °С кремниевые пластины проводится в вакуумной камере при давлении 10^{-5} тор. Дрейф ионов лития проводился нами на специально разработанной и изготовленной дрейфовой установке. В связи с этим режим дрейфа выбирался следующим образом: температура $T_{др} = 70 \div 80$ °С, напряжение смещения $100 \div 400$ В в зависимости от величины токов утечки на каждом конкретном кристалле.

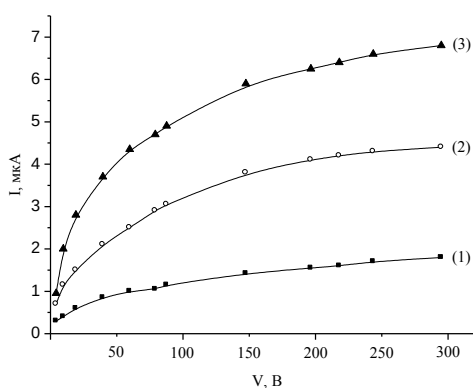
Для ППД больших размеров особое значение имеет плоскопараллельность p-n перехода по всей площади его чувствительной поверхности, а также глубина p-n барьера, формирующего диффузионным способом. Это связано с тем, что с одной стороны толщина диффузионной области должна быть достаточно тонкой («мертвый слой»), т.е. слой на котором потери энергии заряженных частиц в нем не участвуют в формировании амплитудного энергетического спектра и с другой стороны достаточно толстой для обеспечения эффективного p-n барьера. Для обеспечения эффективных условий для формирования p-n барьера и одного из важного радиометрического параметра («мертвого слоя») ППД на основе Si(Li) p-i-n структур нами были проведены исследования по выбору оптимальных толщин диффузионной области по окончанию процесса дрейфа ионов лития на требуемую (задаваемую) толщину Si(Li) p-i-n структуры.

Исходя из сложности формирования высокоэффективных плоскопараллельных тонких p-n переходов, нами была разработана технология получения гетероструктур α Si-Si(Li) для ППД больших размеров. В отличии от технологии

получения ППД на основе Si(Li) p-i-n структур, α Si-Si(Li) гетеропереходы были получены методом полного сошлифования диффузионной области (~ 300 мкм). На оставшуюся часть кремниевой пластины, компенсированной методом дрейфа ионов лития, были формированы α Si-Si(Li) гетероструктуры.

В третьей главе диссертационной работы приводятся особенности электрофизических свойств детекторных структур на основе Si(Li) p-i-n и α Si-Si(Li) больших размеров, а также изучены структурные свойства границы раздела детекторных гетероструктур α Si-Si(Li).

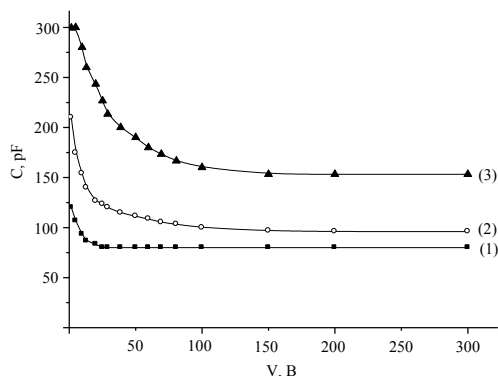
Исследованы ВАХ при приложении напряжения обратного смещения на Si(Li) p-i-n структуры, изготовленных на основе кремниевых пластин разных диаметров ($\phi = 30 - 100$ мм), а также исходными параметрами: концентрация кислорода равнялась $N_o = 2 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$. Кроме того, также был использован кремний, полученный бестигельной зонной плавкой (БЗП) с удельным сопротивлением $\rho = 3000 \div 7000 \text{ Ом}\cdot\text{см}$ и временем жизни носителей заряда $\tau \geq 500$ мкс. После определенных химико-технологических операций на пластинах была проведена диффузия лития на одну из его сторон в вакууме при температуре $T = 450^\circ\text{C}$. После, для компенсации всей толщины пластины проводился дрейф ионов лития на всю толщину пластины. Дрейф ионов Li проводили при температуре $(80 \div 90)^\circ\text{C}$ и напряжении обратного смещения $U = (100 \div 400)\text{В}$. Затем весь кристалл подвергается химико-технологической обработке. К готовой структуре напыляются металлические контакты, Al ($\sim 1000^\circ\text{A}$) и Au ($\sim 200^\circ\text{A}$) на n^+ -область и i-область соответственно.



1-диаметр 30 мм; 2-диаметр 60 мм;
3-диаметр 100 мм.

а)

Рис. 1. Обратная ветвь вольтамперной характеристики Si(Li) p-i-n структур



1-диаметр 30 мм; 2-диаметр 60 мм;
3-диаметр 100 мм.

б)

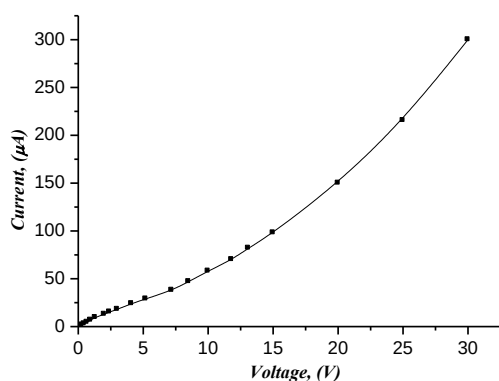
Рис. 2. Вольтфарадная характеристика Si(Li) p-i-n структур при приложении напряжения обратного смещения

На рис.1. представлены типичные вольтамперные характеристики Si(Li) p-i-n структур, изготовленных на основе кремниевых пластин разных диаметров. Здесь кривая 1 для ППД с диаметром 30 мм; кривая 2 диаметром 60 мм; кривая 3 диаметром 100 мм. Из рисунка видно, что наряду с малой величиной обратного тока хорошим показателем для структуры является высокое напряжение пробоя, свидетельствующее о том, что поверхность структуры достаточно чиста.

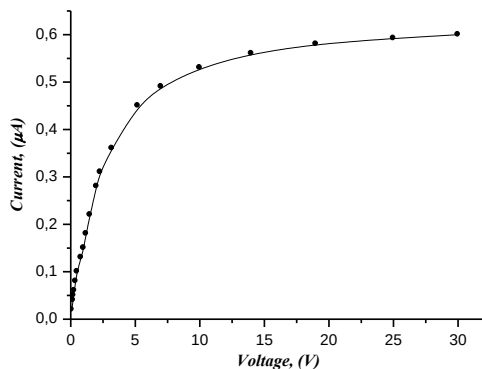
Исследования ВФХ в этом разделе были проведены на таких же образцах, как и для ВАХ. На рис.2 представлены вольтфарадные характеристики Si(Li) p-i-n структур, изготовленных на основе кремниевых пластин разных диаметров.

Из рисунка 2 видно, что с увеличением толщины компенсированной области значения емкости насыщения смещается линейно, в сторону увеличения напряжения обратного смещения. Отсюда следует, что удельное сопротивление компенсированной области для структур разных толщин достаточно высокоомное и приблизительно одинаковое.

В отличие от технологии получения ППД на основе Si(Li) p-i-n структур, α Si-Si(Li) гетеропереходы были получены методом полного сошлифования диффузионной области (~300 мкм). На оставшуюся часть кремниевой пластины, компенсированной методом дрейфа ионов лития, были формированы α Si-Si(Li) гетероструктуры. На рис 3 представлены прямая (см. Рис. 3 а) и обратная (см. Рис 3 б) ветви вольтамперных характеристик гетероструктур на основе α Si-Si(Li) при комнатной температуре.



а) прямая ветвь;



б) обратная ветвь.

Рис. 3. Типичные вольтамперные характеристики гетероструктуры на основе α Si-Si(Li) при комнатной температуре.

На рис. 4 а приведена прямая ветвь, а на рис 4. б обратная ветвь вольтамперной характеристики в двойном логарифмическом масштабе при комнатной температуре. Из этих рисунков видно, что прямая и обратная ветви ВАХ исследуемой детекторной структуры, состоят из двух ярко выраженных участков. Причем величины токов, как на первом, так и на втором участках прямой и обратной ветви ВАХ значительно отличаются при одном и том же значении напряжения смещения V . Отличие в них возрастает с увеличением величины V . Коэффициент выпрямления $K = \frac{I_{np}}{I_{обр}}$ ($V = const$) такой структуры от приложенного напряжения изменяется сложной закономерностью. Например, $K \approx 30 \div 40$ при ($V=1B$), а при больших значениях напряжения он становится соответственно равным 150 ($V=10B$) и 500 ($V=30B$). Проведенный анализ показывает, что на первых участках прямой и обратной ВАХ, ток от напряжения описывается степенными зависимостями соответственно $I \sim V^\alpha$ ($\alpha = 0,93$) и $I \sim V^\alpha$ ($\alpha = 0,85$). Хотя в них механизм переноса носителей одинаковый, но природа появления носителей заряда у них разные. В прямом направлении ток переносится, инжектированными

носителями из эмиттера, т.е. из гетероструктуры $\alpha\text{Si-Si}(\text{Li})$, а в запиорном направлении ток в структуре определяется собственными носителями, генерируемые при комнатной температуре окружающей среды.

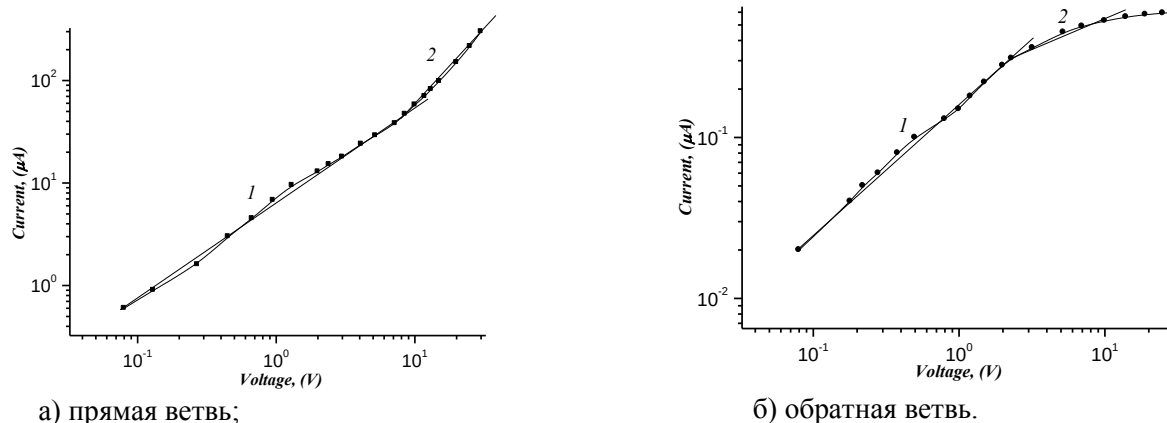


Рис. 4 Вольтамперные характеристики гетероструктуры в двойном логарифмическом масштабе при комнатной температуре

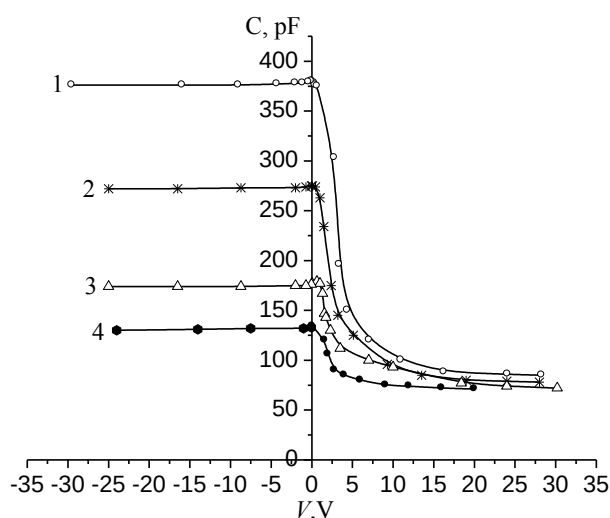
На втором участке прямой ВАХ в механизме переноса тока, по - видимому определяющую роль играет диффузия неосновных носителей, концентрация которых намного больше, чем концентрация базы (компенсированный литием слой) на границе раздела гетероперехода $\alpha\text{Si-Si}(\text{Li})$. Так как толщина базы составляет ~ 2 мм, то она при исследуемых пределах напряжений полностью не модулирована, т.е. подавляющая часть инжектированных электронов не доходят до тылового контакта из-за процесса рекомбинации.

Второй участок обратной ВАХ представляет собой практически ток насыщения $\alpha\text{Si-Si}(\text{Li})$ гетероструктуры. Появление постоянства тока от напряжения при $V \geq 30\text{В}$ означает то, что $\alpha\text{Si-Si}(\text{Li})$ гетеропереход содержит весьма малую плотность поверхностных состояний на границе раздела и поэтому практически отсутствуют токи утечки, а обратная ВАХ входит на насыщения.

Исследования высокочастотных вольтфарадных характеристик проводились для диапазона 1 МГц на приборе Е7-12, а для диапазонов частот 0,465 МГц - 10 МГц на модернизированной установке Л2-7-1М. Эти приборы обеспечивали амплитуду переменного высокочастотного сигнала не более 5-7 мВ. Измерения проводились при температуре $T=300\text{К}$, как параллельной, так и последовательной схеме замещения. Погрешность при измерении составляла не более 0,1 pF. На рис.5. приведены вольтфарадные характеристики гетероструктур $\alpha\text{Si-Si}$. Эксперимент показал, что вид высокочастотные вольтфарадные характеристики гетероструктуры $\alpha\text{Si-Si}(\text{Li})$, существенно зависит от частоты измерительного сигнала. Такое различие в частотной зависимости емкости гетероструктуры $\alpha\text{Si-Si}(\text{Li})$, находящейся в различных режимах, можно объяснить следующим образом. В случае режима обогащения объемный заряд в приповерхностной области кремния создается за счет подтягивания к его поверхности основных носителей заряда.

Из рис. 6 видно, что граница раздела достаточно резка, с четким выделением части слоя αSi и монокристалла Si. Это свидетельствует о том, что действительно, гетероструктура $\alpha\text{Si-Si}(\text{Li})$ является более эффективной детекторной структурой, как

по электрофизическим характеристикам, так и по потенциальным барьерным свойствам.



1) - 0,465 МГц, 2) - 1 МГц, 3) - 3 МГц, 4) - 5 МГц
Рис. 5. Высокочастотные вольтфарадные характеристики гетероструктур α Si-Si при комнатной температуре

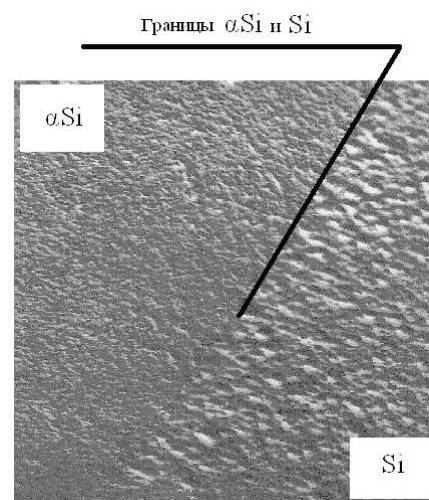


Рис. 6. Границы раздела α Si и Si(Li) (сканирующий электронный микроскоп с увеличением 5000)

В четвертой главе диссертационной работы рассматриваются исследования процессов переноса и собирания носителей заряда, генерированных поглощением энергии ионизирующих частиц.

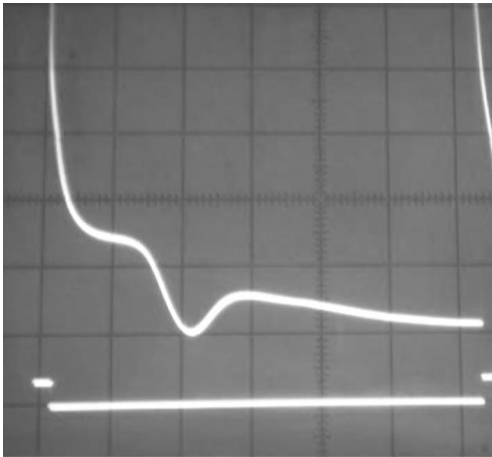
В работах [4, 5] проведены исследования топографии сигнала фото ЭДС, связанные с неоднородностью электрического поля в области объемного заряда германиевых радиационных детекторов. Для кремниевых радиационных p-i-n детекторов были изучены топография амплитудного спектра методом сканирования каллимированным пучком альфа частиц [2]. В работах [6-9] рассмотрены особенности комплексов и многозарядных центров атомов марганца и никеля в сильнокомпенсированном кремнии. Важным в этих исследованиях является установление фактов наличия в определенных локальных областях существенного неоднородного распределения примесей в монокристаллах кремния.

В диссертации рассматриваются релаксационные процессы носителей зарядов в области объемного заряда в Si(Li) p-i-n структурах.

На рис. 7 приведена типичная осциллограмма, установленного нами при более детальном исследовании, релаксации фотопроводимости в чувствительной области Si(Li) p-i-n структур. По оси абсцисс отложено время, масштабированное 1ms/10mm. А по оси ординат поставлено напряжение, масштабированное 0,05V/10mm.

Из анализа данного аномального явления, которое мы назвали как «яма», в фотонапряжении следует следующее. Известно, что в релаксационных процессах фотопроводимости при наличии уровня прилипания в кремнии, спад в импульсе фотонапряжения монотонно уменьшается [10]. В работе [11] проведено исследо-

вание влияния эффекта насыщения скорости электронов на переключение p^+-p-p^+ структуры в квазинейтральном дрейфовом режиме. Отмечено, что эффект насыще-



$y=0,05V/10mm$, $x=1ms/10mm$.

Рис. 7. Релаксация фотопроводимости в области объемного заряда Si(Li) $p-i-n$ структур.

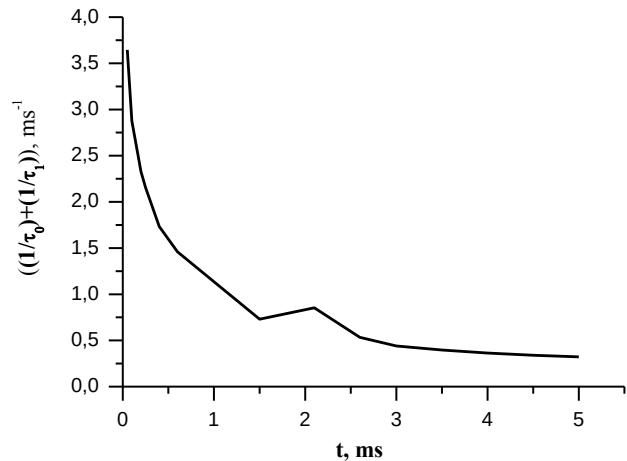


Рис. 8. Графическая зависимость времени релаксации

ния скорости существенно замедляет пролет Диновской волны [12] электронов через базу p^+-p-p^+ структуры, следовательно наблюдается резкий спад. Предложенный в работе [12] механизм более чем подходит к объяснению появления «ям» в области спада, если предполагать, что запрещенной зоне кремния имеются скопления глубоколежащих рекомбинационных центров [13]. Тогда время релаксации имеет две составляющие [14]

$$\frac{1}{\tau} = \frac{1}{\tau_0} + \frac{1}{\tau_1}. \quad (4.1)$$

Тогда спад напряжения по времени определяется формулой

$$U = U_{\text{н0}} e^{-\left(\frac{1}{\tau_0} + \frac{1}{\tau_1}\right)t}. \quad (4.2)$$

Здесь τ_0 - время релаксации, при отсутствии глубоколежащих рекомбинационных центров, τ_1 - время релаксации, когда работают только эти центры.

Используя экспериментальные результаты, определим временную зависимость τ_1 . Прежде всего, анализируем функцию U в точках экстремума, где первая производная U по t будет равна нулю. На этих точках имеет место

$$\left(\frac{d\tau_1}{dt}\right)_{t_i} = \frac{\tau_1}{t_i} \left(\frac{\tau_1}{\tau_0} + 1\right). \quad (4.3)$$

Здесь t_i значение t , где наблюдается минимум функции U . Эксперимент показывает, что функциональная зависимость U от времени t имеет в трех точках экстремальное значение. Это означает, что эмпирическая формула U является кривой третьей степени. Формула (4.3) определяет условия, где функция U имеет изоклину, равную нулю. Анализируя различные варианты эмпирических формул, описывающих зависимость U от времени t приходим к выводу, что относительно удобным к расчету является следующая формула

$$-\ln\left(\frac{U}{U_{\tilde{n}\tilde{o}}}\right) = y_1 + k_2\left(\frac{t-t_k}{t_k}\right)^2 + k_3\left(\frac{t-t_k}{t_k}\right)^3. \quad (4.4)$$

Здесь k_2 и k_3 зависят от параметров функции U в точках экстремума

$$k_3 = \frac{y_2 - y_1}{a^2(a+1)} - \frac{y_0 - y_1}{(a+1)}; \quad k_2 = y_0 - y_1 + k_3; \quad a = \frac{t_2 - t_k}{t_k}; \quad y = \ln\left(\frac{U}{U_{\tilde{n}\tilde{o}}}\right).$$

Тогда $y_0=0$, так как в начале спада $U=U_{\text{ст}}$. Обозначим через $y_1 = \ln\left(\frac{U}{U_{\tilde{n}\tilde{o}}}\right)$ при $t=t_k$, t_k -соответствует минимум напряжения, t_2 -максимум t . Начало счета времени определено в точке спада, поэтому $t_1=0$. $y_2 = \ln\left(\frac{U}{U_{\tilde{n}\tilde{o}}}\right)$ при $t=t_2$ получаем, что k_2 и k_3 определяются формулами

$$k_2 = \frac{t_k^3 y_2}{t_2(t_2 - t_k)^2} - \frac{t_k + t_2}{t_2} y_1; \quad k_3 = \frac{t_k^3}{t_2(t_2 - t_k)^2} y_2 - \frac{t_k}{t_2} y_1. \quad (4.5)$$

Так как

$$-\ln\left(\frac{U}{U_{\tilde{n}\tilde{o}}}\right) = t\left(\frac{1}{\tau_0} + \frac{1}{\tau_1}\right), \quad (4.6)$$

то из (4.4) получаем, что

$$t\left(\frac{1}{\tau_0} + \frac{1}{\tau_1}\right) = y_1 + k_2\left(\frac{t-t_k}{t_k}\right)^2 + k_3\left(\frac{t-t_k}{t_k}\right)^3 \quad (4.7)$$

Графическая зависимость τ_1 от времени приведена на рисунке 8.

Отсюда видно, что по мере приближения, кривая падения в импульсе фотонапряжения принимает минимальное значение, время релаксации начинает уменьшаться, когда скорость уменьшения τ_1 по времени до определенного значения, определяемого по формуле (4.3) падение фотонапряжения доходит до минимального значения. При этом τ_1 начинает возрастать до определенного максимума, после этого наблюдается квазистационарное значение времени релаксации. Как было выше отмечено, учет уровня прилипания не дает экстремальных точек в области спада импульса фотонапряжения [10]. Более точный расчет динамических характеристик n^+ - p - p^+ структур, при помощи Диновских волн для электронов тоже дает монотонный спад фотонапряжения по времени [11].

Данный эффект, обусловленный наличием в чувствительной области Si(Li) p - i - n детекторов естественно играет важную роль в процессе собирания заряда и следовательно в формировании истинного энергетического спектра. В то же время, данный эффект имеет самостоятельный фундаментальный интерес, как явление, происходящее в локальной неоднородной области кристаллической решетки с новыми функциональными процессами.

Действительно, более полное, всестороннее и правильное понимание процесса собирания носителей заряда в области объемного заряда любого функционального назначения приборных структур позволит судить степень истинности величины измеряемых характеристик. Исследование физических причин, приводящих к возможным искажением идеальности принципа работы того или иного функционального назначения полупроводниковой структуры, представляет интерес

для разработки математического компьютерного моделирования и таким образом формировать истинную картину (величину) исследуемого объекта (процесса). Данный вопрос рассмотрен для полупроводниковых детекторов ионизирующих излучений. Обычно при рассмотрении работы детекторов учитываются закономерности процессов взаимодействия заряженной частицы с кристаллической решеткой детектора, а рассеяние (в толстых детекторах) учитывается как ее взаимодействие, в основном, на точечных дефектах (заряженных или нейтральных) или фононах.

Аналитическое описание, из-за его сложности, в большинстве случаев невозможно и решение уравнений движения носителей заряда в таких условиях возможно только приближенно или численными методами, что имеет свои недостатки. Они не позволяют всесторонне анализировать движение частицы и к тому же могут содержать информацию, вызванную вычислительными ошибками, а это обстоятельство часто затрудняет понимание физической сути рассматриваемых явлений. Теоретический же анализ моделей детектора является нетривиальной задачей особенно для толстого детектора, в котором не рассматривается (учитывается) процесс рассеяния.

Решение уравнения движения в неоднородном потенциальном поле, содержащее дефект, мы рассматриваем как сумму независимых друг от друга решений в неоднородных потенциальных полях самой структуры и поля, создаваемого дефектом, рассматриваемый как точечный источник потенциала, помещенный внутрь структуры. Такая постановка задачи соответствует принципу суперпозиции потенциальных полей. Следует отметить, что основные закономерности движения частиц в неоднородном поле структуры описаны в [15], и тогда задача получения общего решения заключается в получении и решении уравнения движения в поле, создаваемого примесями или дефектом, и его суммирования с решением уравнения движения частицы в самой структуре.

В тех же работах [15] показано, что потенциал электрического поля в неоднородном стационарном потенциальном поле структуры с распределенным потенциалом описывается выражением:

$$U(x, y) = x \cdot y \cdot (U_{\max} - U_{\min}) / l_0 d_0 = k_{E_0} \cdot x \cdot y \quad (4.8)$$

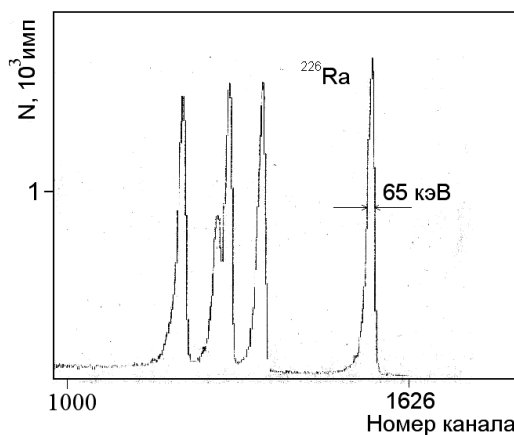
где: l_0, d_0 – длина и ширина исследуемой структуры, k_{E_0} – коэффициент распределения потенциала структуры, $U_{\max}, U_{\min}$ – соответственно максимальное и минимальное значения потенциала на концах электрода на $y=d_0$ (электрод с распределенным потенциалом). Значения потенциала на электроде при $y=0$ принимается за постоянное значение ($U(x, 0) = \text{const.}$), относительно которого определяются значения потенциала на электроде с распределенным потенциалом.

Поле точечного источника рассматривается как симметричное поле с распределенным потенциалом, в котором его потенциал описывается равнобокими гиперболами, асимптотами которых являются оси X и Y . Решение уравнения движения частицы в неоднородном потенциальном поле точечного источника в такой постановке рассматривается впервые. Обычно рассматриваются как потери носителей заряда за счет рекомбинации или захвата (прилипания) на ловушках. Уравнение поля точечного источника [15] можно записать в виде:

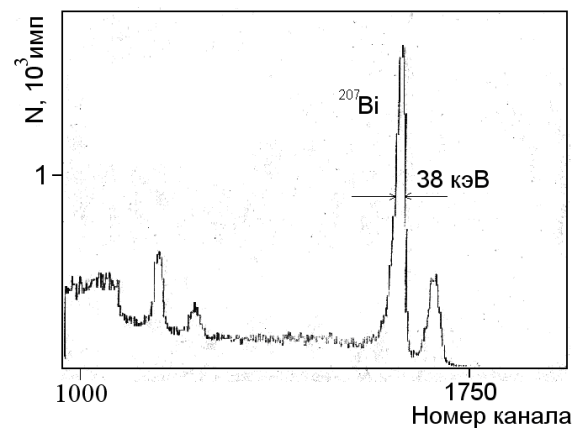
$$U_S(x, y) = \pm k_S \cdot x_S \cdot y_S = \pm k_S \cdot (x - x_{S0}) \cdot (y - y_{S0}) \quad (4.9)$$

где: $k_S = (U_{\max} - U_{\min}) / l^2$ $k_S = (U_{\max} - U_{\min}) / l \cdot d$ - коэффициент распределения потенциала по осям X и Y , l, d - длина и ширина исследуемой области поля, $U_{\max}, U_{\min}$ - соответственно значения потенциалов в окрестности точечного источника и на концах исследуемой области его поля, x_S, y_S - координаты поля точечного источника, $(x - x_{S0}) \cdot (y - y_{S0})$ - приведенные координаты для точечного источника и x_{S0}, y_{S0} - координаты расположения дефекта (примеси) в структуре. Отсюда следует, что на формирования амплитудного энергетического спектра в Si(Li) детекторах будут влиять потери носителей зарядов не только за счет рекомбинации или захвата на ловушках, но и из-за удлинения траекторий их движения, следовательно, такие явления обуславливают времени задержки к времени сбора их.

В большинстве случаев наиболее существенны два вида измерений: определение энергии частиц и измерение их потока. Иногда необходимо регистрировать группы частиц малой интенсивности в присутствии большого количества других частиц с очень близкими энергиями.



а) энергетический спектр по α -частиц ^{226}Ra



б) энергетический спектр по β -частиц ^{207}Bi

Рис. 9. Энергетические спектры гетероструктуры на основе $\alpha\text{Si-Si(Li)}$

На рис. 9 а,б показаны энергетические спектры детектора по α -частицами ^{226}Ra ($E_\alpha = 7,65 \text{ МэВ}$) $R_\alpha = 65 \text{ кэВ}$ т.е. $R_\alpha < 1\%$ и по β -частицам ЭВК ^{207}Bi ($E_\beta \sim 1 \text{ МэВ}$) $R_\beta = 38 \text{ кэВ}$ т.е. $R_\beta > 1\%$. Как видно из энергетических спектров $\alpha\text{Si-Si(Li)}$ гетероструктур для α - частиц ^{226}Ra ($E_\alpha = 7,65 \text{ МэВ}$) данный фактор влияет незначительно, так как в этом случае глубина поглощения α - частиц очень маленькое ($0,25 \text{ мкм}$), а для β - частиц, влияние существенное, так как в этом случае глубина пролёта достигает до 2 мм .

Таким образом, нами установлено, что в ППД больших размеров помимо традиционных механизмов потери заряда - проявляются явления изменения их траекторий движения и отрицательные кинетические процессы, связанные с наличием неоднородностей потенциала и аномального эффекта в импульсе фотонапряжения в виде «ямы» в чувствительной протяженности области ППД больших размеров. Которые изменяют время пробега относительно времени сбора

носителей заряда, следовательно, формирования амплитудного энергетического спектра.

В конце главы также изучены характеристик деградации Si(Li) p-i-n детекторов больших размеров. В таблице представлены испытания параметров детекторных структур за указанный период: начальные значения параметров детекторов приведены в числителях и после 18 месяцев в знаменателях. Как видно из таблицы показатели толщины чувствительных областей изменились относительно начальных незначительно, а также что темновой ток детекторной структуры №1 увеличился. Это обусловлено из-за ухудшения поверхности структуры. Темновые токи остальных детекторов претерпели также незначительные изменения. Показатели емкости всех детекторов изменились в пределах допустимого. Энергетические разрешения почти не изменились.

Испытания деградации Si(Li) p-i-n детекторов

Наименование параметров	Номер структура			
	1	2	3	4
Толщина чувствительных область. мкм	900/900	900/850	900/700	900/900
Диаметр чувствительных область (входного окна), мм	50/50	50/50	50/50	50/50
Наименьшие/наибольшие значения рабочего напряжения, В	40÷80/40÷80	40÷80/40÷80	40÷80/40÷80	40÷80/40÷80
Оптимальное напряжение детекторов, В	60/60	60/60	60/60	60/60
Темновой ток, мкА	0,8/3,6	0,6/0,5	1,2/0,9	6,2/5,2
Емкость, пФ	376/520	370/480	360/550	320/580
Энергетический эквивалент шума, кэВ	36/38	30/28	34/36	58/65
Энергетические разрешения по β -частицы ^{207}Bi с $E_{\beta} \approx 1\text{МэВ}$	45/52	38/38	42/45	62/55

3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Разработана технология создания детекторных структур Si(Li) p-i-n, $\alpha\text{Si-Si(Li)}$ структур с большими площадями чувствительной поверхности.
2. Установлены оптимальные научно-технологические способы формирования высокоэффективных барьерных свойств в Si(Li) p-i-n структурах и $\alpha\text{Si-Si(Li)}$ гетероструктурах с оптимальными толщинами их входного окна («мертвого слоя»).
3. Исследованы релаксационные процессы фотопроводимости в Si(Li) p-i-n структурах. Показано, что на таких структурах на временной зависимости импульса фотонапряжения после соответствующего фотовозбуждения наблюдается ярко выраженная «яма». Установлено, что образованию «ям» в области спада фотонапряжения ответственно наличие дефектов, как например: фазовые включения, примесные преципитаты, нанораз-

мерные примесно-дефектные кластеры и др., которые несомненно существуют в объеме р-і-п структуры.

4. Показано, что исследование проблемы движения частицы на границе раздела двух сплошных сред физических устройств можно рассматривать ее как задачу о движении частицы в неоднородном потенциальном поле, формируемого этой областью. Полученные уравнения движения в неоднородном поле, в которой точечный источник рассматривается в качестве дефекта, и их аналитические решения, на основе классического представления, позволяют проводить траекторный анализ частицы в различных областях и таким образом утверждать, что электроны и дырки генерированные в результате ионизации атомов ядерным излучением перемещаются по направлению электрического поля в чувствительной области ППД. При этом собираемый заряд будет определяться отношением времени задержки к времени сбора их.
5. Показано, что детекторные гетероструктуры на основе α Si-Si(Li) являются более эффективными по их быстродействию и тонкого приповерхностного («мертвого») слоя относительно традиционных р-п структур.
6. Определены энергетические спектры изготовленных гетероструктур по β -частицам ЭВК ^{207}Bi ($E_\beta \sim 1$ МэВ) $R_\beta = 38$ кэВ и по α -частицами ^{226}Ra ($E_\alpha = 7,65$ МэВ) $R_\alpha = 65$ кэВ. Сравнительные характеристики показывают, что гетероструктуры полученные по разработанной технологии имеют улучшенные спектрометрические характеристики.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Акимов Ю.К., Игнатъев О.В, Калинин А.И, Кушнирук В.Ф. Полупроводниковые детекторы в экспериментальной физике. - М.: Энергоатомиздат, 1989. - 271 С.
2. Азимов С.А., Муминов Р.А., Шамирзаев С.Х., Яфасов А.Я. Кремний-литиевые детекторы ядерного излучения. – Ташкент: Фан, 1981. – 257 С.
3. Раджапов С.А. Исследование особенностей создания кремний-литиевых р-і-п детекторов большой площади для регистрации ионизирующего излучения малой активности. Автореф. Дис. ... канд.физ. – мат. наук. –Ташкент: ТашГУ. 1991. – 16 С.
4. Строкан Н.Б., Тиснек Н.И., Афанасьев В.Ф. // Приборы техника эксперимента. - Москва, 1968. - №5. - С.211.
5. Афанасьев В.Ф., Строкан Н.Б., Тиснек Н.И. // Приборы техника эксперимента. - Москва, 1970. - №2. - С.66.
6. Аюпов К.С., Бахадырханов М.С., Зикриллаев Н.Ф., Илиев Х.М. Физические явления в кремнии в крайне неравновесном состоянии. - Ташкент: ФАН, 2008.-341 С.
7. Бахадырханов М.С., Аюпов К.С., Мавлянов Г.Х., Исамов С.Б. Отрицательное магнетосопротивление в кремнии с комплексами атомов марганца $[\text{Mn}]_4$ // ФТП. – С.Петербург, 2010. -т.44. вып.4. - С.1181-1184.

8. Бахадырханов М.С., Аюпов К.С., Мавлянов Г.Х., Зикриллаев Н.Ф., Нигманходжаев С. Активация нанокластеров атомов марганца в кремнии // ДАН РУз. – Ташкент, 2009. - №3-4. - С.58.
9. Бахадырханов М.С., Аюпов К.С., Арзикулов Э.У., Сражев С.Н., Тошбоев Т.У. Термические свойства кремния с кластерами атомов никеля // Известия Высших Учебных Заведений. Физика. – Москва, 2008. - №11/3. - С.170-172.
10. Аронов Д.А., Зайтова В. Фотомагнитный эффект и фотопроводимость в полупроводниках при высоких уровнях возбуждения. – Ташкент: ФАН, 1987. - 241 С.
11. Мнацаканов Т.Т., Левинштейн М.Е., Тандоев А.Г., Юрков С.Н. Особенности динамической инжекции и процессов модуляции базового слоя в мощных p^+-p структурах // ФТП. – С.Петербург, 2007. – т.41.- вып.11. – С. 1401-1407.
12. Dean R.H. // J.Appl Phys. – 46, 585 (1969).
13. Каражанов С.Ж. Свойства точно компенсированных полупроводников // ФТП. – С.Петербург, 2000. – т.34. вып.8. – С. 917-922.
14. Рывкин С.М. Фотоэлектрические явления в полупроводниках. – Москва: Гос. Изд. Физ-мат. Лит., 1963. – 494 С.
15. Fedulov V. I., Zakhidov R.A., Anarbaev A. Particle in nonuniform potential field of photovoltaic devices // Applied Solar Energy. – New York, 2009. – v.45. N3. – PP.157-161.

4. СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

1. Mumimov R.A., Kanyazov Sh.K., Saymbetov A.K. Relaxation process features of photoconductivity in p-i-n structures. // Semiconductor physics quantum electronics & optoelectronics. – Kiev, 2010. -V.13. – No.3. – PP.258-260.
2. Fedulov V.I., Mumimov R.A., Saymbetov A.K. Particle in the structure with the inhomogeneous potential field and the point source // Uzbek journal of Physics. – Tashkent, 2010. – V.12. – No.3. – PP.127-131.
3. Саймбетов А.К. Особенности электрофизических характеристик детекторных гетероструктур α Si-Si // Доклады Академии наук Республики Узбекистан. – Ташкент, 2010. №5. – С. 24-26.
4. Муминов Р.А., Раджапов С.А., Саймбетов А.К. Полупроводниковые детекторы ядерного излучения на основе α Si-Si // Новые технологии. – Кременчуг, 2008. - №3(21). - С.9-12.
5. Муминов Р.А., Саймбетов А.К., Раджапов С.А. Временная деградация низкофоновой установки на основе Si(Li) детекторов большой площади // Доклады Академии наук Республики Узбекистан. – Ташкент, 2008. - №6. - С.25-27.
6. Саймбетов А.К. Кремний-литиевые детекторы ядерного излучения больших размеров. // XVII Международная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Ломоносов 2010» 12-15 апреля 2010. – Москва, 2010. 2-том. – С.288.
7. Саймбетов А.К. Вольтфарадная характеристика детекторов ядерного излучения на основе гетероструктур α Si-Si. // XI Международная конференция Физика твердого тела и международный симпозиум Наноматериалы для защиты

- промышленных и подземных конструкций 9-12 июня 2010. - Усть-Каменогорск, 2010. – С.466-467.
8. Саймбетов А.К., Курбанова М.Н., Раджапов Б.С., Рузибаев О.М. Стриповые детекторы ядерного излучения на основе α Si-Si. // XI Международная конференция Физика твердого тела и международный симпозиум Наноматериалы для защиты промышленных и подземных конструкций 9-12 июня 2010. - Усть-Каменогорск, 2010.- С.468-469.
 9. Muminov R.A., Saymbetov A.K., Radjapov S.A. Nuclear radiation Si(Li) p-i-n detector with extension sensitive (10 mm) region. // 2-International Conference Current Problems in Nuclear Physics and Atomic Energy 9 – 15 June 2008. - Kyiv, 2008. - PP.83-84.
 10. Muminov R.A., Saymbetov A.K., Radjapov S.A., Pindurin Yu.S. By low-temperature method. // 2-International Conference Current Problems in Nuclear Physics and Atomic Energy 9 – 15 June 2008. - Kyiv, 2008. – P.84.
 11. Муминов Р.А., Раджапов С.А., Саймбетов А.К. Полупроводниковые детекторы больших размеров на основе гетероструктур α Si-Si // Международной конференции Фундаментальные и прикладные вопросы физики 24-25 ноября 2010. - Ташкент, 2010. - С.252-253.
 12. Муминов Р.А., Раджапов С.А., Саймбетов А.К., Пиндюрин Ю.С., Зиявуддинов Р.С., Раджапов Б.С. Установка для определения объемной активности радона в воздухе и воде на основе Si(Li) детектора // Международной конференции Фундаментальные и прикладные вопросы физики 24-25 ноября 2010. - Ташкент, 2010. – С.253-254.
 13. Саймбетов А.К. Особенности релаксационных процессов фотопроводимости в р-і-п структурах. // Физика фанининг бугунги ривожиди истеъдодли ёшларнинг ўрни» Республика ёш олимлар ва иқтидорли талабаларнинг илмий анжумани 8-9 апрель 2010. - Ташкент, 2010 – С.171-176.
 14. Саймбетов А.К. Полупроводниковые детекторы на основе α Si-Si. Табиий фанларнинг долзарб муаммолари Республика ёш олимлар илмий-амалий анжумани 12 сентябр 2008. - Самарканд, 2008. – С.112-113.

РЕЗЮМЕ

диссертации Саймбетова Ахмета Куанышбаевича на тему: “Особенности влияния границы раздела и протяженности области объемного заряда на электрофизические характеристики детекторных структур” на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.10 – физика полупроводников

Ключевые слова: диффузия лития, дрейф ионов лития, p-i-n структур, гетероструктура, граница раздела.

Объекты исследования: изготовление детекторных Si(Li) p-i-n и α Si-Si(Li) структур больших размеров.

Цель работы: исследование особенностей формирования высокоэффективных детекторных структур больших размеров с оптимальными электрофизическими и радиометрическими свойствами, а также изучения новых физических механизмов, влияющих на формирование амплитуды энергетических спектров в них.

Методы исследования: методы исследования вольтамперных и вольтфарадных характеристик детекторных структур; метод исследования особенности фотонапряжения в неоднородных участках чувствительной области Si(Li) p-i-n структур, а также структурные исследования границы раздела α Si-Si(Li).

Полученные результаты и их новизна: -разработаны физико-технологические способы формирования оптимальных свойств электрофизических характеристик и параметров радиометрических свойств ППД на основе Si(Li) p-i-n структур и α Si-Si(Li) гетероструктур больших размеров; -на основе исследования релаксационных процессов фотопроводимости в Si(Li) p-i-n структурах, выявлено, что на отдельных участках этой области, на временной зависимости импульса фотонапряжения после соответствующего фотовозбуждения наблюдается ярко выраженная «яма»; -на основе проведенных аналитических расчетов траектории движения носителей заряда в i - области Si(Li) p-i-n структур с учетом влияния на этот процесс неоднородности потенциального поля в нем, показано, что при таких условиях электроны и дырки, генерированные в результате ионизации атомов ядерным излучением, перемещаются более длинной траекторией по направлению электрического поля в чувствительной области ППД.

Практическая значимость: полученные детекторные структуры Si(Li) p-i-n, α Si-Si(Li) больших размеров имеют значения для понимания физических процессов для различных полупроводниковых приборов больших размеров, а также практические значения для совершенствования их характеристик.

Степень внедрения и экономическая эффективность: результаты исследований нашли применение в оптимизации свойств Si(Li) ППД при выполнении х/договорных работ с ОАО «УзКТЖМ», ОАО «Узбекхимаши», с общим финансированием ~20 млн.сум.

Область применения: исследованные детекторные структуры, имеют перспективы в решении фундаментальных и прикладных задач ядерной физики.

Физика-математика фанлари номзоди даражасига талабгор Саймбетов Ахмет Куанышбаевичнинг 01.04.10 - яримўтказгичлар физикаси ихтисослиги бўйича “Ҳажмий заряд соҳасининг узунлиги ва бўлиниш чегарасининг детекторли структуралар электрофизик характеристикаларига таъсирининг ўзига хослиги” мавзусидаги диссертациясининг

РЕЗЮМЕСИ

Таянч сўзлар: литий диффузияси, литий ионлари дрейфи, p-i-n структура, гетероструктура, бўлиниш чегараси.

Тадқиқод объектлари: катта ўлчамли детекторли Si(Li) p-i-n ва α Si-Si(Li) структураларни ишлаб чиқариш.

Ишнинг мақсади: оптимал электрофизик ҳамда радиометрик хусусиятларга эга катта ўлчамли юқори самарали детекторли структураларни ишлаб чиқишнинг ўзига хос хусусиятлари, шунингдек, янги физик механизмларнинг улардаги энергетик спектрлар амплитудаси пайдо бўлишига таъсирини ўрганишдан иборат.

Тадқиқод методлари: детекторли структуралар вольтампер ва вольт-фарада характеристикаларини ўлчаш услублари; Si(Li) p-i-n структуралар сезгирлигининг бир жинсли бўлмаган соҳаларидаги фотокучланиш хусусиятларини тадқиқ этиш услуби, шунингдек α Si-Si(Li) бўлиниш чегарасининг структуравий тадқиқотлари.

Олинган натижалар ва уларнинг янгилиги: катта ўлчамли Si(Li) p-i-n структура ва α Si-Si(Li) гетероструктуралар асосидаги ЯЎД радиометрик параметрлари ва электрофизик хусусиятларини оптимал ҳосил қилишнинг физик-технологик усуллари ишлаб чиқилди. Si(Li) p-i-n структуралардаги фотоўтказувчанлик жараёнларининг релаксация тадқиқоти асосида ушуб соҳанинг алоҳида қисмларида фотокучланиш импульсининг вақтинчалик боғланишида мос келувчи фотоқўзғалишдан кейин аниқ ифодаланган “ўра” кузатилиши аниқланди. Si(Li) p-i-n структуралар i-соҳасидаги заряд ташувчиларининг ҳаракат траекторияси ундаги бир жинсли бўлмаган потенциал майдоннинг бу жараёнга таъсирини ҳисобга олган ҳолда ушбу шарт-шароитдаги ядровий нурланиш таъсиридаги атомлар ионизацияси натижасида генерацияланган электрон ва тешиklar ЯЎД сезгирлик соҳасининг электр майдони йўналиши бўйлаб анчагина узун траектория билан аралашishi ўтказилган аналитик ҳисоб-китоблар асосида кўрсатиб берилди.

Амалий аҳамияти: олинган катта ўлчамли Si(Li) p-i-n, α Si-Si(Li) детекторли структуралар, катта ўлчамли турли хил яримўтказгичли асбобларда рўй берувчи физик жараёнларни тушуниш, шунингдек уларнинг хусусиятларини мукаммаллаштиришда амалий аҳамиятга эгадир.

Татбиқ этиш даражаси ва иқтисодий самарадорлиги: олинган натижалар умумий қиймати ~20 млн.сўмдан иборат ОАЖ «ЎзҚҚЎЧМК», ОАЖ «Ўзбеккимемаш» билан тузилган хўжалик шартномаларини бажаришда Si(Li) ЯЎД хусусиятларини оптималлаштиришда ўз тадбиқини топди.

Қўлланилиш соҳаси: тадқиқ этилган ва ишлаб чиқилган детекторли структуралар ядро физикаси амалий ва фундаментал масалаларини ечишда катта истиқболга эга.

RESUME

Of the thesis of Saymbetov Ahmet Kuanishbayevich on the scientific degree-competition of the doctor of philosophy in physics - mathematical sciences on a specialty 01.04.10 - semiconductors physics on subject: “The features of influence of interface and spatial charge of extended region on electrophysical characteristics of detector structures”.

Key words: diffusion of lithium, drift of lithium ions, p-i-n structure, heterostructure, interface.

Subject of research: manufacturing of the large size Si(Li) p-i-n and α Si-Si(Li) detector structures.

Purpose of work: investigation the features of formation of the large size high efficiency detector structures with optimal electrophysical and radio-metric properties as well as study of new physical mechanisms of influencing for formation their amplitude of energetic spectra.

Methods of research: method of investigation of current-voltage and volt-capacity characteristic of detector structures; method of investigation of features of photovoltage in nonuniform area of the sensitive regions of Si(Li) p-i-n structure, as well as investigation of the structure research of α Si-Si(Li) interface.

The results obtained and their novelty: physic-technological methods of formation structures with of optimum properties of electrophysical characteristics and radiometric properties of semiconductor detectors on the base of Si(Li) p-i-n structures and α Si-Si(Li) heterostructures with large area are developed; on the base of investigation of relaxation photoconductivity processes in Si(Li) p-i-n structure have been carried out that on the some regions of these area was pronounced a “well” on time dependence of photovoltage’s impulse after corresponding photoexcitation is observed; on the basis of analytical calculations of the trajectory of carriers transport in i – area of Si(Li) p-i-n structure where take into account the influence on this process of inhomogeneous potential field it has shown that under such conditions electrons and holes generated as a result of ionization of atoms by nuclear radiation moved forward longer trajectory in electric field direction in sensitive part of semiconductor detector.

Practical value: researched detectors structures Si(Li) p-i-n and α Si-Si(Li) have possess for understanding of physical processes in various large size semiconductor devices as well as practical value for improving of their characteristics.

Degree of embed and economic affectivity: results of investigations had application for optimization of properties of Si(Li) semiconductor detectors at fulfilling contract work with OJSC «UzCRHRM», OJSC «Uzbekchimmash» with total financing around 20 million sum.

Field of application: investigated detector structures have prospects for developing of fundamental and applied problems of nuclear physics.