

БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

УДК 621.382

ЯРЖЕМБИЦКАЯ
Надежда Викторовна

**ШИРОКОДИАПАЗОННЫЕ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ
ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ НА ОСНОВЕ
ПОЛУПРОВОДНИКОВ С МНОГОЗАРЯДНЫМИ
ПРИМЕСЯМИ**

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

по специальности 05.11.01 – Приборы и методы измерения

Минск, 2014

Работа выполнена в Белорусском национальном техническом университете

Научный
руководитель

Гусев Олег Константинович, доктор технических наук, профессор, проректор Белорусского национального технического университета, профессор кафедры «Информационно-измерительная техника и технологии»

Официальные
оппоненты:

Пилипенко Владимир Александрович, доктор технических наук, профессор, член-корреспондент НАН Беларуси, зам. директора Государственного центра «Белмикрoанализ» ОАО «Интеграл»;

Мухуров Николай Иванович, доктор технических наук, профессор, заведующий лабораторией микроэлектроники, механики и сенсорики Государственного научного учреждения «Институт физики им. Б.И. Степанова Национальной академии наук Беларуси»

Оппонирующая
организация

Открытое акционерное общество «Минский научно-исследовательский институт радиоматериалов»

Защита состоится 19 июня 2014 г. в 15⁰⁰ часов на заседании совета по защите диссертаций Д 02.05.17 при Белорусском национальном техническом университете по адресу: 220013, г. Минск, проспект Независимости, 65, корп. 1, ауд. 202. Телефон ученого секретаря: (017) 2939618, e-mail: D.02.05.17@tut.by.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Белорусского национального технического университета.

Автореферат разослан «__» мая 2014 г.

Ученый секретарь
совета по защите диссертаций
канд. техн. наук

Ризноокая Н.Н.

© Яржембицкая Н.В., 2014

© Белорусский национальный
технический университет, 2014

ВВЕДЕНИЕ

Обобщенными параметрами оптико-электронной информационно-измерительной системы, определяющими ее качество, служат частотный и спектральный диапазон обрабатываемых сигналов, динамический диапазон их изменения, время существования измерительного сигнала и время, необходимое для обработки полученной информации. Основными критериями при выборе фотоэлектрических полупроводниковых преобразователей (ФЭПП) являются подходящая область спектральной чувствительности и достаточный динамический диапазон. При этом достигаемая величина динамического диапазона определяется конструктивными особенностями ФЭПП и свойствами материала, из которого ФЭПП изготовлен, так и способом обработки фотосигнала. Во многих применениях ФЭПП в условиях существования высокочастотных помех, например, в технике измерения характеристик изображений с высоким контрастом, спектрофотометрии слабых навигационных звезд, метрологии слабых оптических излучений и т.д., требуется формировать измерительный сигнал в широком диапазоне плотностей мощности оптического излучения. Особенностью полупроводниковых фотоэлектрических преобразователей, служащих элементной базой фотоприемных устройств различного назначения, является зависимость характеристик и параметров таких приборов, в том числе, и динамического диапазона, от рекомбинационных процессов через глубокие уровни многозарядных примесей. Существующий в литературе подход к расширению динамического диапазона ФЭПП в область высоких плотностей мощности оптического излучения аппаратным способом не учитывает нелинейные фотоэлектрические процессы, связанные с рекомбинацией неравновесных носителей заряда через глубокие уровни многозарядных примесей. Совокупность различных путей расширения динамического диапазона приводит к возможности решения поставленной задачи при использовании многоэлементных или одноэлементных ФЭПП. Применение одноэлементных ФЭПП обеспечивает более простую конструкцию, включая оптическую часть, увеличение чувствительности и быстродействия измерительного преобразователя. Таким образом, разработка одноэлементного ФЭПП с широким динамическим диапазоном на основе полупроводников с многозарядными примесями представляет актуальную научно-техническую задачу, т.к. это позволит расширить область применения оптико-электронных информационно-измерительных систем, сократить число переключаемых измерительных каналов и поддиапазонов измерения, и, в целом, повысить качество измерительной системы.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с крупными научными программами, темами

Исследования по теме диссертации выполнялись на кафедре «Информационная техника и технологии» и в НИЛ полупроводниковой техники приборостроительного факультета Белорусского национального технического университета.

Тема диссертации соответствует п. 6.5. «Физические основы и разработка лазерных, оптико-электронных технологий и приборов», п. 6.7. «Научные основы создания и функционирования оптико-электронных микросистем, устройств молекулярной электроники и кремниевой фотоники, электронных и оптических систем обработки информации на спиновых эффектах; нанотехнологии, наноструктуры и наноматериалы в электронике, оптике, оптоэлектронике» Перечня приоритетных направлений научных исследований Республики Беларусь на 2011–2015 годы, утвержденного Постановлением Совета министров Республики Беларусь от 19 апреля 2010 г. № 585.

Исследования по тематике диссертационной работы проводились в рамках следующих научно-исследовательских программ и тем:

1. Задание Белорусского Республиканского фонда фундаментальных исследований «Измерительный преобразователь длины волны и плотности мощности в двумерном пространственном распределении оптического излучения» (Т 10-145). Сроки выполнения: начало – 1 квартал 2011 г., окончание – 4 квартал 2013 г., номер государственной регистрации 20101663.

2. Задание 1.16 «Фотоэлектрические эффекты в полупроводниковых структурах с глубокими центрами при комбинированном воздействии оптического излучения, электрических и магнитных полей» ГПНИ «Функциональные и машиностроительные материалы, наноматериалы» (ГБ 11-60). Сроки выполнения: начало 1 квартал 2011 г., окончание – 4 квартал 2013 г., номер государственной регистрации 20110722.

3. Задание 5.1.07 «Разработка методов управления неравновесными электронными процессами в твердых телах при высокоэнергетических внешних воздействиях» ГПНИ «Функциональные и машиностроительные материалы, наноматериалы» (ГБ 11-87). Сроки выполнения: начало 1 квартал 2011 г., окончание – 4 квартал 2013 г., номер государственной регистрации 20111351.

4. Задание 1.2.01 «Разработка методик межоперационного контроля и проведение исследований параметров тонкопленочных структур в технологии изготовления солнечных элементов» ГПНИ «Электроника и фото-

ника» (ГБ 11-99). Сроки выполнения: начало 1 квартал 2011 г., окончание – 4 квартал 2013 г., номер государственной регистрации 20111313.

5. Грант Министерства образования Республики Беларусь «Исследование динамических характеристик широкодиапазонных фотоэлектрических измерительных преобразователей при различных уровнях возбуждения» (ГБ 06-105). Сроки выполнения: 02.01.2006 - 31. 12. 2006; номер государственной регистрации 20063479.

6. Грант Министерства образования Республики Беларусь «Метрологическое обеспечение широкодиапазонных фотоприемников на основе полупроводников с глубокими центрами» (ГБ 08-04). Сроки выполнения: 1.01.2008-31.12.2008; номер государственной регистрации 2008478.

Цель и задачи исследования

Целью данной работы является расширение диапазона измерений плотности мощности оптического излучения с использованием одноэлементного ФЭПП.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Разработать и экспериментально проверить модель рекомбинационных процессов и фотоэлектрических характеристик ФЭПП с собственной фотопроводимостью, содержащих целенаправленно введенную многозарядную примесь, в широком диапазоне плотностей мощности оптического излучения.

2. Разработать и реализовать механизм управления динамическим диапазоном ФЭПП с многозарядными примесями.

3. Разработать и реализовать механизм управления спектральной характеристикой fotocувствительности ФЭПП с многозарядными примесями в области примесного поглощения за счет изменения плотности мощности оптического излучения в области собственного поглощения.

4. Разработать метод измерения характеристик и параметров ФЭПП с собственной фотопроводимостью с учетом нелинейной рекомбинации неравновесных носителей заряда через уровни многозарядной примеси в широком диапазоне плотностей мощности оптического излучения.

Объектом исследования явились фотоэлектрические полупроводниковые преобразователи с многозарядным примесями. Предметом исследования, в соответствии с поставленной целью и задачами, являлись характеристики таких ФЭПП в широком диапазоне плотностей мощности оптического излучения и комбинированных воздействиях внешних факторов, а также особенности применения ФЭПП в измерительной технике.

Положения, выносимые на защиту

На защиту выносятся следующие наиболее значимые положения:

1. Фотоэлектрические полупроводниковые преобразователи с собственной фотопроводимостью, имеющие более двух зарядовых состояний многозарядной примеси, в диапазоне плотностей мощности оптического излучения от 10^{-7} до 10^5 мкВт/см² имеют вторую линейную область зависимости фотоотклика от плотности мощности оптического излучения, которая обусловлена рекомбинационными процессами с участием указанных многозарядных примесей.

2. Введение в фотоэлектрические полупроводниковые преобразователи на основе полупроводниковых структур с собственной фотопроводимостью многозарядных примесей, заполнение энергетических уровней которых определяется плотностью мощности оптического излучения, позволяет увеличить верхнюю границу диапазона измерений плотности мощности оптического излучения с использованием одноэлементных фотоэлектрических преобразователей до 10^7 раз и переключать их спектральную чувствительность со смещением максимума на длину волны до 4 мкм.

3. Метод измерения параметров и характеристик фотоэлектрических полупроводниковых преобразователей с многозарядными примесями, работающих в области собственной фотопроводимости, включающий введение дополнительной процедуры определения границ первой и второй линейных областей зависимости фотоотклика от плотности мощности оптического излучения, позволяет исключить грубые погрешности измерений при плотностях мощности оптического излучения вне линейных областей.

Личный вклад соискателя

Автором самостоятельно выполнен основной объем исследований по теме диссертации, проведен анализ полученных данных, сформулированы основные положения диссертации, составляющие её новизну и практическую значимость. Научный руководитель доктор технических наук, профессор О.К. Гусев сформулировал тематику и цель исследований, и принимал участие в обсуждении результатов. Соавторы публикаций по теме диссертации участвовали в проведении отдельных измерений, расчетов и обсуждений их результатов. Кандидат физико-математических наук Тяловский К.Л. и кандидат технических наук Воробей Р.И. оказывали консультативную помощь при изготовлении макетных образцов ФЭПП с многозарядными примесями.

Апробация результатов диссертации

Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на научно-технической конференции Камского го-

сударственного политехнического института «Наука и практика. Диалоги нового века» (г. Набережные Челны, 2003), V международной научно-практической конференции Белорусского государственного университета «Вузовская наука, промышленность, международное сотрудничество» (г. Минск, 2004), 60-й Научно-технической конференции «Новые направления развития приборостроения» (г. Минск, 2005), 3-ей, 4-ой, 5-ой международной научной конференции Белорусского государственного университета «Материалы и структуры современной электроники» (г. Минск, 2008, 2010, 2012), XI Республиканской науч. конф. студентов и аспирантов «Новые математические методы и компьютерные технологии в проектировании, производстве и научных исследованиях» (г. Гомель, 2008), международной научно-практической конференции Метрология – 2009» (г. Минск, 2009), международной научно-технической конференции «Приборостроение» (г. Минск, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013), IV Общероссийской науч.-техн. конф. Балт. гос. техн. ун-та «Молодежь. Техника. Космос» (г. Санкт-Петербург, 2012), VI Международная научная конференция «Актуальные проблемы физики твердого тела ФТТ-2013».

Опубликованность результатов диссертации

Материалы диссертационной работы представлены в 34 научных публикациях (5,5 а.л.), в том числе: 7 статей в рецензируемых научных изданиях, входящих в Перечень ВАК (2,1 а.л.); 22 статьи в сборниках материалов научных конференций (2,6 а.л.); 2 тезиса докладов в сборниках тезисов докладов научных конференций (0,1 а.л.); 2 патента на изобретения (0,5 а.л.), 1 патент на полезную модель (0,2 а.л.).

Структура и объем диссертации

Диссертационная работа состоит из введения, общей характеристики работы, четырех глав, заключения, библиографического списка и приложений. Полный объем диссертации составляет 151 страница, в том числе: основной текст – 100 страниц; 35 иллюстраций и 4 таблицы; библиографический список (158 наименований, в том числе публикаций соискателя – 34) – 16 страниц; 5 приложений – 23 страницы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении и общей характеристике диссертации обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи исследования, степень новизны и практическая значимость полученных результатов, положения, выносимые на защиту.

В первой главе диссертации приведен анализ существующих методов расширения динамического диапазона для формирования измерительного сигнала в широком диапазоне плотностей мощности оптического излучения. Показано, что существующие методы расширения диапазона измерения плотности мощности оптического излучения можно разделить на три категории: аппаратные, алгоритмические (программные), и аппаратно-алгоритмические. Аппаратные методы имеют преимущества перед программными и комбинированными методами, т.к. использование аппаратных методов не приводит к ухудшению быстродействия системы и в ряде случаев позволяет получить новые функциональные свойства.

До постановки настоящей работы расширение динамического диапазона аппаратным способом достигалось, в том числе, и за счет использования составных ФЭПП. Составной ФЭПП образован двумя и более элементами, каждый из которых чувствителен в своем диапазоне плотностей мощности оптического излучения. Недостатком составного ФЭПП является сложность его конструкции и увеличенная площадь приёмника. В этой связи разработка ФЭПП, обладающего широким динамическим диапазоном и имеющего одноэлементную конструкцию, представляет актуальную задачу.

Основным теоретическим и практическим вопросом здесь выступает то, каким образом и на основе каких физических явлений или эффектов можно расширить динамический диапазон ФЭПП в область высоких плотностей мощности оптического излучения.

Проведенный анализ литературных данных показал, что характеристики и параметры ФЭПП определяются рекомбинационными процессами с участием многозарядных примесей, при этом вне исследований остаются вопросы влияния многозарядных примесей на характеристики и параметры ФЭПП с собственной фотопроводимостью в случае воздействия на ФЭПП оптического излучения в широком диапазоне плотностей мощности.

В первой главе приводится обоснование выбора в качестве преобразователя свет/сигнал измерительных оптико-электронных систем, работающих в широком диапазоне плотностей мощности оптического излучения, ФЭПП с многозарядными примесями.

На основе проведенного обзора сформулированы цель и задачи исследования.

Во второй главе осуществлено теоретическое моделирование рекомбинационных и фотоэлектрических процессов в полупроводниках и полупроводниковых структурах с многозарядными примесями для произвольного количества зарядовых состояний, позволившее получить энергетические характеристики и постоянные времени ФЭПП в условиях

собственной фотопроводимости в широком диапазоне плотностей мощности оптического излучения. Проведенное моделирование позволило выявить вторую линейную область энергетической характеристики ФЭПП с многозарядными примесями.

В качестве объектов для численного моделирования использовались хорошо изученные германий и кремний с достоверно исследованными и практически важными примесями *Cu, Zn, Fe, Ni, Au*.

Получена система кинетических уравнений, описывающая процессы рекомбинации с участием многозарядной примеси с *i*-тым числом зарядовых состояний:

$$\begin{cases} N\gamma_{n,i-1}(F_{i-1}(n_0 + \Delta n) - F_i n_{i-1}) = N\gamma_{p,i-1}(F_i(p_0 + \Delta p) - F_{i-1} p_{i-1}) \\ \Delta p = \Delta n + \sum N(F_i - F_{i0}) \end{cases} \quad (1)$$

где *N* – концентрация многозарядной примеси;

$\gamma_{n,i-1}, \gamma_{p,i-1}$ – коэффициенты захвата электронов и дырок на уровень (*i*-1) соответственно;

F_i, F_{i-1} – неравновесная стационарная функция, определяющая вероятность нахождения многозарядной примеси в *i*-том и (*i*-1)-м зарядовом состоянии;

n_0 – равновесная концентрация свободных электронов;

$\Delta n, \Delta p$ – неравновесные концентрации электронов и дырок соответственно в зоне проводимости и валентной зоне;

n_{i-1}, p_{i-1} – приведенные к уровню (*i*-1) плотности состояний для электронов и дырок соответственно;

F_{i0} – равновесная функция заполнения *i*-го уровня многозарядной примеси.

Моделирование показало, что наблюдаются две линейные области энергетических характеристик ФЭПП. Первая линейная область соответствует линейной рекомбинации при низких плотностях мощности оптического излучения *P*, меньших некоторого порогового значения $P_{в1}$ (D_1 на рисунке 1), а вторая линейная область наблюдается при высоких плотностях мощности оптического излучения больших $P_{в2}$ (D_2 на рисунке 1).

При $P < P_{в1}$ большинство ионов многозарядной примеси находятся в одном из зарядовых состояний (например, медь – в зарядовом состоянии (-3)) и концентрация ионов в данном зарядовом состоянии не зависит от плотности мощности оптического излучения, что и обуславливает линейную рекомбинацию через уровень, соответствующий данному зарядовому состоянию и соответственно первую линейную область энергетической характеристики ФЭПП при $P < P_{в1}$.

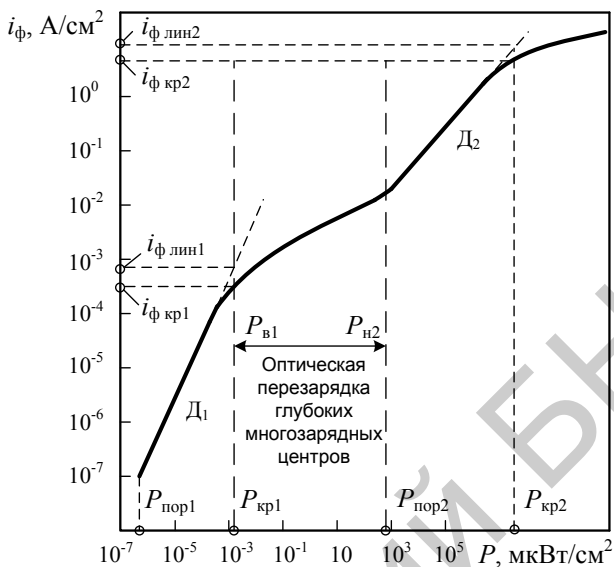


Рисунок 1 – Расчетная энергетическая характеристика ФЭПШ на основе германия, легированного медью
 $(n_0 = 7 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-3}, N = 10^{13} \text{ см}^{-3})$

Вторая линейная область начинается, когда оптическая перезарядка многозарядной примеси уже произошла и большинство ионов перешло в зарядовое состояние, определяемое асимметрией сечений захвата для электронов и дырок на уровень, связанный с данным зарядовым состоянием (например, для меди это зарядовое состояние (-1)). При дальнейшем росте плотности мощности оптического излучения концентрация ионов в данном зарядовом состоянии не изменяется. Это обеспечивает линейность рекомбинации через уровень, соответствующий данному зарядовому состоянию и вторую линейную область энергетической характеристики ФЭПШ при $P > P_{н2}$.

В области между $P_{в1}$ и $P_{н2}$ происходит интенсивная оптическая перезарядка многозарядной примеси, существенно меняются концентрации ионов в различных зарядовых состояниях (для меди – от (-3) при $P < P_{в1}$ до (-1) при $P > P_{н2}$), имеет место нелинейная рекомбинация и соответственно нелинейный участок энергетической характеристики ФЭПШ.

Показано, что границы линейных областей энергетической характеристики $P_{в1}$ и $P_{н2}$ соответствуют границам линейной рекомбинации при

низких ($P < P_{в1}$) и при высоких ($P > P_{н2}$) плотностях мощности оптического излучения.

Получены аналитические выражения для границ линейных областей энергетической характеристики ФЭПП с многозарядными примесями. Верхняя граница первой линейной области энергетической характеристики ФЭПП $P_{в1}$ определяется соотношением:

$$P_{в1} = \frac{\Delta n_{в1} \cdot \hbar c}{\lambda \cdot \beta \cdot \tau_1 \cdot \alpha}, \quad (2)$$

$$\Delta n_{в1} = \frac{\pm 0,5((1-A)NF_0(1 \pm 0,5) + n_0 + (1-A)p_1)}{1 - (\pm 0,5)AF_0}, \quad A = 1 + \frac{\gamma_p}{\gamma_n}$$

где \hbar – постоянная Планка;

c – скорость света;

λ – длина волны оптического излучения;

β – квантовый выход внутреннего фотоэффекта;

τ_1 – время жизни основных носителей заряда в области линейной рекомбинации при малых плотностях мощности оптического излучения ($P < P_{в1}$);

α – собственный коэффициент поглощения оптического излучения;

p_1 – приведенная плотность квантовых состояний.

Знак «+» в соотношении (2) соответствует примесям акцепторной природы, а «-» – донорной.

Показано, что нижняя граница второй линейной области энергетической характеристики ФЭПП $P_{н2}$ определяется соотношением:

$$P_{н2} = \frac{\Delta n_{н2} \cdot \hbar c}{\lambda \cdot \beta \cdot \tau_2 \cdot \alpha}, \quad (3)$$

$$\Delta n_{н2} = \frac{1}{(1 \pm 0,5)} \left(n_0 + p_1 \frac{(1-A)}{A} \right) - (1-A) \times \\ \times \left(A(1 \pm 0,5)N - p_0 - NF_0 + p_1 + \frac{A}{1-A}(n_0 + n_1) \right)$$

где τ_2 – время жизни основных носителей заряда в области линейной рекомбинации при высоких плотностях мощности оптического излучения ($P > P_{н2}$).

Из соотношений (2), (3) следует, что для многозарядных примесей акцепторной природы границы областей линейности энергетических характеристик ФЭПП $P_{в1}$ и $P_{н2}$ определяются концентрацией многозарядной примеси.

На основе проведенного моделирования разработана модель формирования динамического диапазона ФЭПП с многозарядными примесями (рисунок 1). Существование второй линейной области энергетической характеристики ФЭПП с многозарядными примесями при $P > P_{н2}$ не учитывается ГОСТ 17772 – 88 «Приемники излучения полупроводниковые фотоэлектрические и фотоприемные устройства. Методы измерения фотоэлектрических параметров и определения характеристик». В работе впервые доказано ее существование для ФЭПП с многозарядными примесями.

Во второй главе также проведено моделирование подвижности неравновесных носителей заряда при рассеянии на ионах многозарядной примеси в зависимости от плотности мощности оптического излучения, позволившее обосновать тот факт, что параметры и характеристики ФЭПП определяются в основном процессами рекомбинации, а не процессами рассеяния.

Развита модель барьерного механизма фотоответа ФЭПП с многозарядной примесью в области пространственного заряда, учитывающая модуляцию высоты приповерхностного потенциального барьера при оптической перезарядке глубоких уровней. Согласно данной модели, коэффициент внутреннего фотоэлектрического усиления германиевых и кремниевых ФЭПП с многозарядной примесью в области пространственного заряда может превышать 100. Проведено моделирование генерационно-рекомбинационного шума в ФЭПП с многозарядными примесями при различных температурах, позволяющее находить оптимальные с точки зрения шумовых характеристик условия эксплуатации таких приборов.

В третьей главе выполнена экспериментальная проверка полученных теоретических результатов, описывающих характеристики и параметры ФЭПП с собственной фотопроводимостью, содержащих многозарядные примеси в широком диапазоне плотностей мощности оптического излучения. Обоснованы выбор материалов и технология изготовления макетных образцов. В качестве модельных объектов использовались ФЭПП фоторезистивного типа на основе германия, легированного медью, никелем, железом, золотом. На рисунке 2 приведены полученные экспериментальные и расчетные энергетические характеристики ФЭПП фоторезистивного типа на основе германия, легированного медью, никелем, железом, золотом (рисунок 2 а), а также экспериментальные и расчетные зависимости постоянных времени τ от плотности мощности оптического излучения P в ФЭПП в рабочих линейных областях (рисунок 2 б).

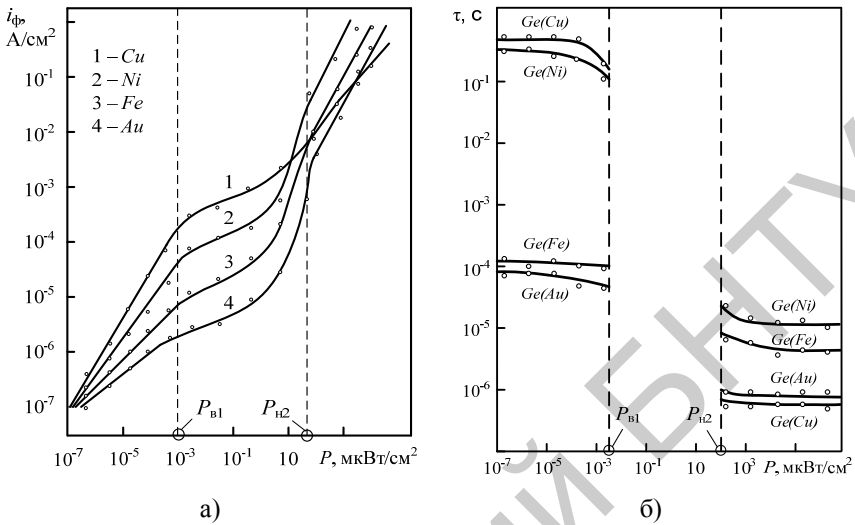


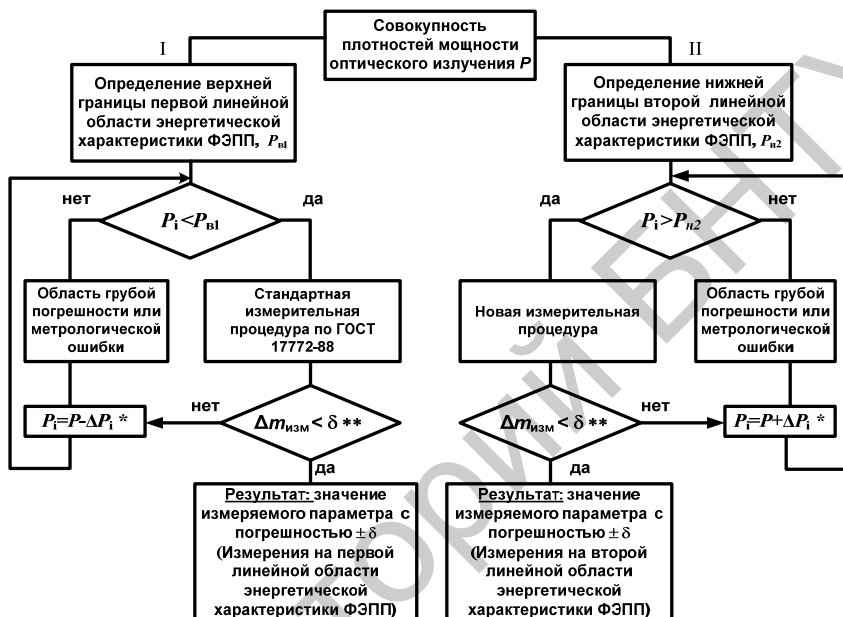
Рисунок 2 – Экспериментальные и расчетные энергетические характеристики (а) и зависимости собственной постоянной времени τ (б) от плотности мощности оптического излучения ФЭПП с собственной фотопроводимостью на основе германия, легированного никелем, железом, медью, золотом ($N = 10^{13} \text{ см}^{-3}$, $n_0 = 7 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-3}$, $T = 100 \text{ К}$)

В четвертой главе разработан метод измерений параметров и характеристик ФЭПП с многозарядными примесями в широком диапазоне плотностей мощности оптического излучения (рисунок 3). Метод включает в себя выявление области линейности энергетической характеристики при низких и при высоких плотностях мощности оптического излучения.

Процедура измерений I относится к диапазону низких плотностей мощности излучения и отличается от стандартной тем, что для каждого конкретного ФЭПП можно промоделировать линейную область энергетической характеристики, т.е. динамический диапазон и исключить вероятность большой погрешности при использовании ФЭПП с многозарядной примесями. Процедура измерений II относится к области высоких плотностей мощности оптического излучения и до проведения данных исследований отсутствовала.

На основе теоретического моделирования и экспериментального исследования, проведенного в предыдущих главах, разработан ФЭПП с расширенным динамическим диапазоном и переключаемой передаточной характеристикой чувствительности. ФЭПП выполнен на основе полупроводника

легированного многозарядной примесью, и содержит фоточувствительную область, чувствительность которой определяется типом примеси, заполнение уровней многозарядной примеси происходит при разных плотностях мощности оптического излучения.



δ – допустимое значение погрешности; ΔP_i – приращение плотности мощности; m – измеряемый параметр;

* Значение плотности мощности P_i выбирается исходя из условия работы ФЭПП на линейном участке его энергетической характеристики;

** Контроль погрешности измерений параметра ФЭПП

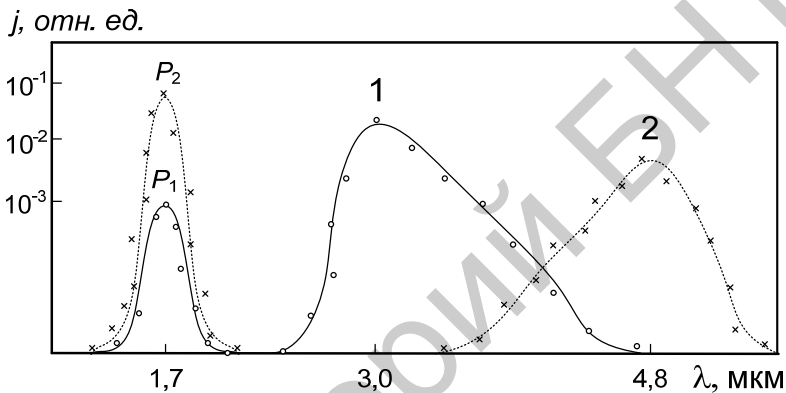
Рисунок 3 – Метод измерения характеристик ФЭПП с многозарядными примесями в широком диапазоне плотностей мощности оптического излучения

При изменении мощности оптического излучения происходит изменение концентрации зарядовых состояний примеси с разными энергиями ионизации и автоматическое переключение между уровнями по мере их заполненности в соответствии с мощностью оптического излучения. Разработанный ФЭПП обладает расширенным динамическим диапазоном

чувствительности и реализует автоматическое переключение передаточной характеристикой фоточувствительности.

Результаты моделирования фотоэлектрических параметров и характеристик ФЭПП с многозарядной примесью положены в основу разработки фотоприемника с управляемой спектральной чувствительностью (с оптически переключаемым видом спектральной характеристики).

Оптическое излучение с длиной волны из области примесного поглощения попадает в фоточувствительный элемент, выполненный из полупроводникового материала, например, германия, легированного медью.



P_1, P_2 – плотность мощности управляющей подсветки;

Рисунок 4 – Переключаемый вид (1, 2) спектральной характеристики ФЭПП на основе германия с медью

Изменение плотности мощности управляющей подсветки на длине волны собственного поглощения λ_0 (для Ge $\lambda_0 = 1,7$ мкм) позволяет за счет особенностей процессов оптической перезарядки многозарядной примеси изменять относительную чувствительность ФЭПП к излучению в диапазоне длин волн $\lambda_1 \dots \lambda_n$ из области примесного поглощения (например, для германия с медью $\lambda_1 = 3$ мкм, $\lambda_2 = 4,8$ мкм на рисунке 4).

В четвертой главе также предложено использовать двухбарьерные ФЭПП, сформированные на основе полупроводников с областью пространственного заряда, целенаправленно легированной многозарядной примесью, для создания устройства передачи информации по оптическому каналу связи, обеспечивающему повышение скорости передачи оптической информации совокупностью значений оптической мощности и длины волны оптического излучения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации:

1. Установлено, что эффективным методом расширения диапазона измерения плотности мощности оптического излучения является аппаратный метод, причем оптимальной конструкцией ФЭПП является одноэлементный фотоэлектрический преобразователь на основе полупроводников с многозарядными примесями [19, 33].

2. Показано, что для расширения динамического диапазона аппаратным методом целесообразно наиболее полно использовать особенности нелинейных фотоэлектрических процессов, связанных с оптической перезарядкой многозарядных примесей, целенаправленно введенных в полупроводник. Разработана модель энергетической характеристики в ФЭПП с собственной фотопроводимостью, содержащих целенаправленно введенную многозарядную примесь, которая учитывает рекомбинацию через произвольное количество энергетических уровней в широком диапазоне плотностей мощности оптического излучения. Показано, что разработанная модель энергетической характеристики ФЭПП содержит две линейные области при низких ($P < P_{в1}$) и при высоких ($P > P_{н2}$) плотностях мощности оптического излучения [1-3, 13, 19].

3. Получены аналитические выражения, определяющие диапазоны ответственности энергетической характеристики ФЭПП с многозарядными примесями линейному закону работы не только при низких ($P < P_{в1}$, что предусмотрено ГОСТ 17772-88) но и при высоких ($P > P_{н2}$) плотностях мощности излучения, что позволило проектировать ФЭПП с расширенным в область высоких плотностей мощности оптического излучения динамическим диапазоном [2, 10, 11, 13, 16].

4. Развита модель барьерного механизма фотоответа ФЭПП с многозарядной примесью в области пространственного заряда, учитывающая модуляцию высоты приповерхностного потенциального барьера при оптической перезарядке глубоких центров. Согласно данной модели коэффициент внутреннего фотоэлектрического усиления германиевых и кремниевых ФЭПП с многозарядной примесью в области пространственного заряда может достигать соответственно 250 ($V = 0,7$ В, $T = 77$ К) и 120 ($V = 0,2$ В, $T = 300$ К) [8, 9, 12, 21, 22, 29, 30].

5. Проведено моделирование генерационно-рекомбинационного шума в ФЭПП с многозарядными примесями при различных температурах, позволяющее находить оптимальные с точки зрения шумовых характеристик условия эксплуатации таких приборов [25, 27, 31].

6. Экспериментальные исследования энергетической характеристики ФЭПП на основе германия, легированного различными многозарядными

примесями, подтвердили наличие второй линейной области энергетической характеристики ФЭПП при высоких плотностях мощности оптического излучения и возможность увеличения верхней границы диапазона измерения плотности мощности оптического излучения до 10^7 раз. Анализ полученных экспериментальных зависимостей собственной постоянной времени от плотности мощности излучения показывает, что при работе ФЭПП на основе германия, легированного медью, на второй линейной области энергетических характеристик (при $P > P_{н2}$) собственная постоянная времени уменьшается на пять порядков по сравнению с τ на первой линейной области энергетической характеристики, и, следовательно, может быть увеличен объем информации, передаваемой по каналу связи за счет увеличения эффективной полосы пропускания ФЭПП [6, 7].

7. Разработан метод измерения параметров и характеристик ФЭПП с многозарядными примесями в широком диапазоне плотностей мощности оптического излучения, который включает в себя две процедуры измерений. Процедура измерений I относится к диапазону низких плотностей мощности оптического излучения $P < P_{в1}$ и отличается от стандартной тем, что для каждого конкретного ФЭПП можно промоделировать области линейности характеристик и тем самым исключить вероятность высокой погрешности при использовании ФЭПП с многозарядными примесями в области нелинейной рекомбинации. Процедура II относится к диапазону высоких плотностей мощности оптического излучения $P > P_{н2}$ и до проведения данных исследований отсутствовала. Проведена оценка погрешности испытаний таких приборов с учетом области нелинейной рекомбинации. Показано, что при попадании плотности мощности оптического излучения в область нелинейной рекомбинации $P_{в1} < P < P_{н2}$ резко возрастает погрешность испытаний, что не исключает переход в область метрологической ошибки [4-6].

8. Показано, что использование особенностей оптической перезарядки многозарядных примесей в полупроводниках позволяет создать одноэлементные фотоприемные приборные структуры с расширенным динамическим диапазоном и переключаемым видом спектральной характеристики. При изменении мощности оптического излучения производится изменение концентрации зарядовых состояний примеси с разными энергиями ионизации и автоматическое переключение между уровнями по мере их заполнения соответственно мощности оптического излучения. Результатом является увеличение верхней границы диапазона измерения плотности мощности оптического излучения с использованием одноэлементных ФЭПП до 10^7 раз и реализация автоматического переключения передаточной характеристикой фоточувствительности. Полученные результаты использовались в разработке защищенного патентом ФЭПП ИК диапазона с

автоматически переключаемой передаточной характеристикой фоточувствительности между областями плотности мощности оптического излучения и широким динамическим диапазоном чувствительности [14,26,28,33].

9. Установлено, что изменение плотности мощности оптического излучения с длиной волны из области собственного поглощения в управляющем оптическом канале активирует различные уровни многозарядной примеси, т.е. реализует управление спектральной чувствительностью ФЭПП к излучению, вводимому в измерительный оптический канал. Полученные результаты использовались в разработке защищенного патентом ФЭПП ИК диапазона с управляемой спектральной характеристикой фоточувствительности с двумя каналами – управляющим и измерительным, причем изменение плотности мощности собственного излучения в управляющем канале обеспечивает переключение между областями спектра ИК диапазона λ_1 и λ_2 из области примесного поглощения в измерительном канале [18, 24, 32].

10. Предложено использовать двухбарьерные ФЭПП с областью пространственного заряда, легированной различными многозарядными примесями для создания устройства передачи информации по оптическому каналу связи, обеспечивающему повышение скорости передачи оптической информации за счет возможности передачи информации совокупностью значений оптической мощности и длины волны оптического излучения [15, 20, 34].

Рекомендации по практическому использованию результатов:

1. Результаты диссертации реализованы в защищенном патентом на полезную модель ФЭПП с расширенным динамическим диапазоном, в защищенном патентом на изобретение ФЭПП с управляемой спектральной характеристикой фоточувствительности, а также в защищенном патентом на изобретение устройства передачи информации по оптическому каналу связи, и используются Государственным научно-производственным объединением «НПЦ НАН Беларуси по материаловедению» для регистрации оптического излучения в инфракрасной области спектра.

2. Разработанные в диссертации модели параметров и характеристик ФЭПП с многозарядными примесями, а также метод их измерения в широком диапазоне плотностей мощности оптического излучения внедрены в учебный процесс на кафедре «Информационно-измерительная техника и технологии» БНТУ.

3. Дальнейшее развитие работ проводится в направлении разработки ИК-матрицы, обеспечивающей широкий динамический диапазон и чувствительной по крайней мере в двух или более неперекрывающихся спектральных диапазонах.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ

Статьи в рецензируемых научных изданиях, входящих в перечень ВАК:

1. Яржембицкий, В.Б. Математическое моделирование характеристик координатных парафазных фотоприемников / В.Б. Яржембицкий, А.И. Свистун, Н.В. Яржембицкая // Вестник БНТУ. – 2004. – №2. – С.38–42.

2. Гусев, О.К. Моделирование метрологических характеристик фотоэлектрических преобразователей на основе полупроводников с глубокими примесями / О.К. Гусев, Л.И. Шадурская, Н.В. Яржембицкая // Метрология и приборостроение. - 2008. - №2(41). – С. 22–25.

3. Гусев, О.К. Влияние плотности мощности оптического излучения на динамические метрологические характеристики фотоэлектрических полупроводниковых преобразователей с многозарядными примесями / О.К. Гусев, Л.И. Шадурская, Н.В. Яржембицкая // Метрология и приборостроение. – 2009. – № 3. – С. 14–18.

4. Воробей, Р.И. Моделирование методов и средств многопараметрических измерений на основе одноэлементных первичных преобразователей / Р.И. Воробей, А.И. Свистун, А.К. Тявловский, К.Л. Тявловский, Н.В. Яржембицкая // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2009. – № 7. – С. 33–37.

5. Гусев, О.К. Калибровка волоконно-оптических сенсоров с использованием двухбарьерных фотодетекторов / О.К. Гусев, Р.И. Воробей, А.И. Свистун, А.К. Тявловский, К.Л. Тявловский, Н.В. Яржембицкая // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2010. – №4.– С. 39–44.

6. Гусев, О.К. Алгоритм определения метрологических характеристик широкодиапазонных полупроводниковых преобразователей с многозарядными примесями/ О.К. Гусев, А.И. Свистун, Л.И. Шадурская, Н.В. Яржембицкая // Приборы и методы измерений. – №2(3). – 2011. – С. 99-103.

7. Гусев, О.К. Проектирование и управление метрологическими характеристиками фотоэлектрических преобразователей на основе полупроводников с многозарядными примесями / О.К. Гусев, А.И. Свистун, Л.И. Шадурская, Н.В. Яржембицкая // Датчики и системы. - 2011. - №1. – С. 19-23.

Статьи в сборниках материалов научных конференций:

8. Яржембицкий, В.Б. Структурные особенности и характеристики фотоэлектрических нуль-детекторов / В.Б. Яржембицкий, А.И. Свистун, Н.В. Яржембицкая // Наука и практика. Диалоги нового века: материалы Межд. науч.практ. конференции, Наб. Челны, 2003 г. : в 2 ч./ Камский государст-

венный политехнический институт; редкол.: В.Г. Шибаков [и др.]. – Наб. Челны, 2003. – Ч.1. – С.123–125.

9. Яржембицкий, В.Б. Метод измерения параметров монохроматического света фотоэлектрическим нуль-детектором / В.Б. Яржембицкий, А.И. Свистун, Н.В. Яржембицкая // Наука и практика. Диалоги нового века: материалы Межд. науч.практ. конференции, Наб. Челны, 2003 г. : в 2 ч./ Камский государственный политехнический институт; редкол.: В.Г. Шибаков [и др.]. – Наб. Челны, 2003. – Ч.1. – С.125–126.

10. Шадурская, Л.И. Нелинейные фотоэлектрические процессы в германии и кремнии при инжекционной перезарядке глубоких центров / Л.И. Шадурская, Н.В. Яржембицкая // Вузовская наука, промышленность, международное сотрудничество: сб. науч. тр. V Международной научно-практической конференции, Минск, 2004 г./ Белорус. гос. ун-т; редкол.: В.В. Понарядов [и др.]. – Минск, 2004. – С.149–152.

11. Шадурская, Л.И. Методика расчета времени жизни неравновесных носителей заряда в полупроводниках с несколькими типами дефектов / Л.И. Шадурская, Н.В. Яржембицкая // Теоретическая и прикладная механика: межвед. сб. научн. статей. – Минск, 2005. – Вып. 18. – С. 217–223.

12. Яржембицкая, Н.В. Характеристики и возможности оптоэлектронных измерительных преобразователей с парафазными фотоприемниками, методов и средств измерений на их основе / Н.В. Яржембицкая // Новые направления развития приборостроения: материалы 60-й Научно-технической конференции студентов и аспирантов БНТУ, Минск, 2005 г./ БНТУ; редкол.: В.И. Шамкалович [и др.]. – Минск, 2005. – С. 44–50.

13. Яржембицкая, Н.В. Моделирование рекомбинационных процессов в неоднородных полупроводниках с глубокими примесями и дефектами / Н.В. Яржембицкая // Новые математические методы и компьютерные технологии в проектировании, производстве и научных исследованиях: материалы XI Республиканской науч. конф. студ. и асп., Гомель, 17–19 марта, 2008 г./ ГГТУ им. П.О. Сухого; редкол.: [и др.]. – Гомель, 2008. – С. 52–53.

14. Гусев, О.К. Управление динамическим диапазоном фотоэлектрических преобразователей на основе полупроводников с глубокими центрами / О.К. Гусев, Л.И. Шадурская, Н.В. Яржембицкая // Материалы и структуры современной электроники: сб. науч. тр. III Междунар. науч. конф., Минск, 25–26 сентября 2008 г. / БГУ; редкол.: В.Б. Оджаев [и др.]. – Минск, 2008. – С. 62 – 64.

15. Воробей, Р.И. Использование двухбарьерных полупроводниковых структур в высокопроизводительных каналах связи / Р.И. Воробей, А.И. Свистун, К.Л. Тявловский, Н.В. Яржембицкая // Приборостроение – 2008:

материалы I Межд. науч. техн. конф., Минск, 12 – 14 ноября 2008 г. / БНТУ; редкол.: О.К. Гусев [и др.]. – Минск, 2008. – С. 65 – 66.

16. Гусев, О.К. Влияние глубоких многозарядных примесей на метрологические характеристики полупроводниковых фотодетекторов / О.К. Гусев, Л.И. Шадурская, Н.В. Яржембицкая // Приборостроение – 2008: материалы I Межд. науч. техн. конф., Минск, 12 – 14 ноября 2008 г. / БНТУ; редкол.: О.К. Гусев [и др.]. – Минск, 2008. – С. 148 – 150.

17. Воробей, Р.И. Физико-математическое моделирование электронных эквивалентов рабочих эталонов состава многокомпонентных жидких сред/ Р.И. Воробей, О.К. Гусев, А.И. Свистун, А.К. Тявловский, К.Л. Тявловский, Н.В. Яржембицкая // Приборостроение – 2008: материалы Межд. науч. техн. конф., Минск, 2008 г. / БНТУ; редкол.: О.К. Гусев [и др.]. – Минск, 2008. – С. 215 – 216.

18. Гусев, О.К. Широкодиапазонный фотоприемник с управляемой чувствительностью на основе полупроводников с многозарядными примесями / О.К. Гусев, А.И. Свистун, Л.И. Шадурская, Н.В. Яржембицкая // Приборостроение – 2009: материалы II Межд. науч.техн. конф., Минск, 2009 г. / БНТУ; редкол.: О.К. Гусев [и др.]. – Минск, 2009. – С. 49 – 51.

19. Гусев, О.К. Расчет метрологических характеристик широкодиапазонных фотоэлектрических полупроводниковых преобразователей на основе полупроводников с глубокими примесями / О.К. Гусев, Л.И. Шадурская, Н.В. Яржембицкая // Метрология – 2009: доклады Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 14 – 15 апреля 2009 г. / БелГИМ; редкол.: В.Н. Корешков [и др.]. – Минск, 2009. – С. 252–255.

20. Воробей, Р.И. Методика измерений длины волны и плотности мощности монохроматического оптического излучения на основе одноэлементных двухбарьерных преобразователей / Р.И. Воробей, О.К. Гусев, А.И. Свистун, Н.В. Яржембицкая // Метрология – 2009: доклады Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 14 – 15 апреля 2009 г. / БелГИМ; редкол.: В.Н. Корешков [и др.]. – Минск, 2009. – С. 228–232.

21. Гусев, О.К. Управление высотой потенциального барьера в приборных структурах на основе полупроводников с глубокими примесями / О.К. Гусев, Л.И. Шадурская, Н.В. Яржембицкая // Материалы и структуры современной электроники: сб. науч. тр. IV Международной научной конференции, Минск, 23 – 24 сентября 2010 г. / БГУ; редкол.: В.Б. Оджаев [и др.]. – Минск, 2010. – С. 116 –118.

22. Гусев, О.К. Оптическая модуляция потенциального барьера в полупроводниковых структурах с компенсацией области пространственного заряда глубокой примесью / О.К. Гусев, Р.И. Воробей, Л.И. Шадурская, Н.В. Яржембицкая // Приборостроение – 2010: материалы Межд. на-

уч.техн. конф., Минск, 2010 г. / БНТУ; редкол.: [и др.]. – Минск, 2010. – С. 277 – 278.

23. Гусев, О.К. Координатно-чувствительные фотоприемники на основе гетероструктур $n\text{-Ge-nSnO}_2$, $n^+\text{-n-Si-nSnO}_2$ / О.К. Гусев, А.И. Свистун, Л.И. Шадурская, Н.В. Яржембицкая // Приборостроение – 2011: материалы IV Международной научно-технической конференции, Минск, 16 – 18 ноября 2011 г./ БНТУ; редкол.: О.К. Гусев [и др.]. – Минск, 2011. – С. 66-68.

24. Воробей, Р.И. Фотоприемник с управляемой спектральной характеристикой / Р.И. Воробей, О.К. Гусев, А.И. Свистун, А.К. Тявловский, К.Л. Тявловский, Л.И. Шадурская, Н.В. Яржембицкая // Приборостроение-2012: материалы V Международной научно-технической конференции, Минск, 21-23 ноября 2012 г./ БНТУ; редкол.: О.К. Гусев [и др.]. – Минск, 2012. – С. 40-42.

25. Гусев, О.К. Особенности генерационно-рекомбинационного шума в фотоприемниках с многозарядными центрами при различных температурах / О.К. Гусев, Л.И. Шадурская, Н.В. Яржембицкая // Приборостроение-2012: материалы V Международной научно-технической конференции, Минск, 21-23 ноября 2012 г./ БНТУ; редкол.: О.К. Гусев [и др.]. – Минск, 2012. – С. 263-265.

26. Свистун, А.И. Фотозлектрические полупроводниковые преобразователи с многозарядными примесями, обладающие расширенными функциональными возможностями / А.И. Свистун, Н.В. Яржембицкая // Молодежь. Техника. Космос: труды IV Общероссийской науч.-техн. конф., Санкт-Петербург, 2012 г. / Балт. гос. техн. ун-т «Военмех»; редкол.: К.М. Иванов [и др.]. – Санкт-Петербург, 2012. – С. 350-352.

27. Гусев, О.К. Особенности частотной характеристики генерационно-рекомбинационного шума в фотодетекторах с многозарядными примесями температурах / О.К. Гусев, Л.И. Шадурская, Н.В. Яржембицкая // Материалы и структуры современной электроники: сб. науч. тр. V Междунар. науч. конф., Минск, 10-11 октября 2012 г./БГУ; редкол.: В.Б. Оджаев [и др.]. – Минск, 2012. – С.38-40.

28. Гусев, О.К. Фотозлектрические преобразователи с расширенным динамическим диапазоном на основе полупроводников с глубокими примесями/ Р.И. Воробей, О.К. Гусев, К.Л. Тявловский, А.И. Свистун, Л.И. Шадурская, Н.В. Яржембицкая // Приборостроение-2013: материалы VI Международной научно-технической конференции, Минск, 21-23 ноября 2013 г./ БНТУ; редкол.: О.К. Гусев [и др.]. – Минск, 2013. – С. 28-30.

29. Воробей, Р.И. Нелинейные фотозлектрические процессы в фотоприемниках на основе барьерных структур с многозарядной примесью в области пространственного заряда/ Р.И. Воробей, О.К. Гусев, Л.И. Шадурская, Н.В. Яржембицкая// Актуальные проблемы физики твердого тела: сб.

докл. VI Межд. науч. конф., Минск, 15-18 окт. 2013 г. / ГНПО «ГНПЦ НАН Беларуси по материаловедению»; редкол.: Н.М. Олехнович [и др.]. – Минск, 2013. – С. 313-315.

Тезисы докладов научных конференций:

30. Яржембицкая, Н.В. Исследование характеристик и возможностей парафазных фотоприемников применительно к модернизации одно- и двухканальных оптикоэлектронных приборов и методов / Н.В. Яржембицкая, О.К. Гусев // Материалы Республиканского конкурса научных работ студентов высших учебных заведений Республики Беларусь 2004 года, Минск/ Белорус. гос. ун-т. – Минск, 2005. – С.160.

31. Гусев, О.К. Генерационно-рекомбинационный шум в фотодетекторах на основе полупроводников с многозарядными примесями и дефектами / О.К. Гусев, Л.И. Шадурская, Н.В. Яржембицкая // Наука – образованию, производству, экономике: материалы X Международной научно-технической конференции, Минск, 2012 г.: в 4 т./ БНТУ; редкол.: Б.М. Хрусталеv [и др.]. – Минск, 2012. – Т.2. – С.182.

Патенты на изобретения и полезные модели:

32. Фотоприемное устройство, управляемое подсветкой: пат. 15840 Респ. Беларусь, МПК7 Н 01 L 29/18/ О.К. Гусев, Р.И. Воробей, А.Л. Жарин, А.И. Свистун, А.К. Тявловский, К.Л. Тявловский, Л.И. Шадурская, Н.В. Яржембицкая; заявитель БНТУ. - № а 20100497; заявл. 30.03.2010; опубл. 26.01.2012 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2012. - № 2. – С. 175.

33. Фотоприемник: пат. 8581 Респ. Беларусь, МПК7 Н 01 L 29/18/ О.К. Гусев, Р.И. Воробей, А.Л. Жарин, А.И. Свистун, А.К. Тявловский, К.Л. Тявловский, Л.И. Шадурская, Н.В. Яржембицкая; заявитель БНТУ. - № и 20120262; заявл. 15.03.2012; опубл. 15.06.2012 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2012.

34. Устройство передачи информации по оптическому каналу связи: пат. 13266 Респ. Беларусь, МПК7 Н 04 В 10/04/ О.К. Гусев, Р.И. Воробей, А.И. Свистун, А.К. Тявловский, К.Л. Тявловский, Л.И. Шадурская, Н.В. Яржембицкая; заявитель БНТУ. - № а 20080405; заявл. 01.04.08; опубл. 09.03.2010 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2010. - № 3. – С. 141.

РЭЗЮМЕ

Яржэмбіцкая Надзея Віктараўна

Шырокадыяпазонныя фотаэлектрычныя вымяральныя пераўтваральнікі на аснове паўправаднікоў з шматзараднымі прымешкамі

Ключавыя словы: шырокадыяпазонны фотаэлектрычны паўправадніковы пераўтваральнік, дыяпазон вымярэння, шчыльнасць магутнасці аптычнага выпраменьвання, шматзарадная прымешка, энергетычная характарыстыка.

Мэта работы: пашырэнне дыяпазону вымярэнняў шчыльнасці магутнасці аптычнага выпраменьвання з выкарыстаннем аднаэлементнага фотаэлектрычнага паўправадніковага пераўтваральніка.

Метады даследавання і апаратура: метады вымярэння стацыянарнай фотаправоднасці, метады вымярэння фотаэлектрамагнітнага эфекту, інфрачырвоны спектрафотаметр SPECORD 61 NIR, універсальны вальтметр В7-40.

Атрыманыя вынікі і іх навізна: тэарэтычна і эксперыментальна даказана існаванне двух лінейных абласцей энергетычнай характарыстыкі фотаэлектрычнага паўправадніковага пераўтваральніка на аснове паўправадніковых структур з шматзараднымі прымешкамі, які працуе ў вобласці ўласнага паглынання. Распрацаваны фотаэлектрычны паўправадніковы пераўтваральнік з уласнай фотаправоднасцю, які змяшчае мэтанакіравана уведзеную шматзарадную прымешку, які мае павялічаную верхнюю мяжу дыяпазону вымярэнняў шчыльнасці магутнасці аптычнага выпраменьвання да 10^7 раз і спектральную адчувальнасць са зрушэннем максімуму на даўжыню хвалі да 4 мкм. Распрацаваны метады вымярэння параметраў і характарыстык фотаэлектрычных паўправадніковых пераўтваральнікаў з шматзараднымі прымешкамі, якія працуюць у вобласці ўласнай фотаправоднасці, які ўтрымлівае дадатковую працэдуру вызначэння межаў першай і другой лінейных абласцей энергетычнай характарыстыкі.

Вобласць ужывання: вынікі дысертацыі выкарыстоўваюцца Дзяржаўным навукова-вытворчым аб'яднаннем "НПЦ НАН Беларусі па матэрыялазнаўству" для рэгістрацыі аптычнага выпраменьвання ў інфрачырвонай вобласці спектру. Распрацаваныя ў дысертацыі мадэлі параметраў і характарыстык фотаэлектрычных паўправадніковых пераўтваральнікаў з шматзараднымі прымешкамі, а таксама метады іх вымярэння ў шырокім дыяпазоне шчыльнасцяў магутнасці аптычнага выпраменьвання ўкаранены ў навучальны працэс на кафедры «Інфармацыйна-вымяральная тэхніка і тэхналогіі» БНТУ.

РЕЗЮМЕ

Яржембицкая Надежда Викторовна

Широкодиапазонные фотоэлектрические измерительные преобразователи на основе полупроводников с многозарядными примесями

Ключевые слова: широкодиапазонный фотоэлектрический полупроводниковый преобразователь, диапазон измерения, плотность мощности оптического излучения, многозарядная примесь, энергетическая характеристика.

Цель работы: расширение диапазона измерений плотности мощности оптического излучения с использованием одноэлементного фотоэлектрического полупроводникового преобразователя.

Методы исследования и аппаратура: метод измерения стационарной фотопроводимости, метод измерения фотоэлектромагнитного эффекта, инфракрасный спектрофотометр SPECORD 61 NIR, универсальный вольтметр В7-40.

Полученные результаты и их новизна: теоретически и экспериментально доказано существование двух линейных областей энергетической характеристики фотоэлектрического полупроводникового преобразователя на основе полупроводниковых структур с многозарядными примесями, работающего в области собственного поглощения. Разработан фотоэлектрический полупроводниковый преобразователь с собственной фотопроводимостью, содержащий целенаправленно введенную многозарядную примесь, имеющий увеличенную верхнюю границу диапазона измерений плотности мощности оптического излучения до 10^7 раз и переключаемую спектральную чувствительность со смещением максимума на длину волны до 4 мкм. Разработан метод измерения параметров и характеристик фотоэлектрических полупроводниковых преобразователей с многозарядными примесями, работающих в области собственной фотопроводимости, который содержит дополнительную процедуру определения границ первой и второй линейных областей энергетической характеристики.

Степень использования: результаты диссертации используются Государственным научно-производственным объединением «НПЦ НАН Беларуси по материаловедению» для регистрации оптического излучения в инфракрасной области спектра. Разработанные в диссертации модели параметров и характеристик фотоэлектрических полупроводниковых преобразователей с многозарядными примесями, а также метод их измерения в широком диапазоне плотностей мощности оптического излучения внедрены в учебный процесс на кафедре «Информационно-измерительная техника и технологии» БНТУ.

SUMMARY

Yarjembitskaya Nadezhda Victorovna

Wide-range measuring photoelectric converters based on semiconductors with the multicharging impurities

Key words: wide-range photoelectric semiconductor converter, measurement range, density of power of optical radiation, the multicharging impurity, power characteristic.

Aim of the work: expansion of range of measurements of density of power of optical radiation with use of the single-element photoelectric semiconductor converter.

Methods of research and equipment: method of measurement of stationary photoconductivity, method of measurement of photoelectromagnetic effect, infrared spectrophotometer, universal voltmeter B7-40.

Obtained results and their novelty: existence of two linear areas of the power characteristic of the photoelectric semiconductor converter based on semiconductor structures with the multicharging impurity, working in the field of intrinsic absorption is theoretically and experimentally proved. Developed semiconductor photoelectric converter with intrinsic photoconductivity containing intentionally introduced the multicharging impurity, having increased the upper limit of the measuring range of the optical power density of radiation up to 10^7 times and switchable spectral sensitivity with the offset of the maximum at a wavelength of up to 4 microns. Developed the method for measuring the parameters and characteristics of semiconductor photoelectric converters with the multicharging impurities, working in the field of intrinsic photoconductivity, that comprises an additional procedure to determine the boundaries of the first and second linear areas of energy characteristics.

Application field: obtained results are used by the SSPA "Scientific and practical materials research centre of NAS of Belarus" for registration of optical radiation in infrared area of a spectrum. Developed in the dissertation models of parameters and characteristics of photoelectric semiconductor converters with the multicharging impurities, as well as the method of measuring in a wide range of optical power densities are introduced in the educational process at the department "Information and measuring equipment and technology" of Belarusian National Technical University.

Научное издание

ЯРЖЕМБИЦКАЯ Надежда Викторовна

**ШИРОКОДИАПАЗОННЫЕ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ
ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ НА ОСНОВЕ
ПОЛУПРОВОДНИКОВ С МНОГОЗАРЯДНЫМИ
ПРИМЕСЯМИ**

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

по специальности 05.11.01 – Приборы и методы измерения

Подписано в печать 08.05.2014. Формат 60×84¹/₁₆. Бумага офсетная. Ризография.

Усл. печ. л. 1,45. Уч.-изд. л. 1,14. Тираж 75. Заказ 352.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет.

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя
печатных изданий № 1/173 от 12.02.2014. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск.