

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Малевской Александры
Вячеславовны

«Модификация оптических и резистивных свойств каскадных AlGaAs/GaAs фотоэлектрических преобразователей и AlGaAs/GaAs светоизлучающих диодов», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.11 – Физика полупроводников

Актуальность темы

Индустриализация околоземного пространства, развитие охранных систем, систем дистанционного управления и видеонаблюдения ставит задачи повышения эффективности преобразования мощных оптических сигналов, в том числе лазерного излучения (ЛИ) и концентрированного солнечного излучения (СИ) в электроэнергию, а также увеличения оптической мощности светоизлучающих диодов (СИД) инфракрасного (ИК) диапазона. Существовавшие, к началу выполнения диссертационной работы, трехкаскадные фотоэлектрические преобразователи (ФЭП) на основе GaInP/GaInAs/Ge гетероструктур для концентрированного СИ и на основе GaSb и AlGaAs/GaAs структур для мощного ЛИ, демонстрировали значительное падение КПД с ростом мощности излучения из-за омических потерь. СИД ИК диапазона (850-940 нм) на основе AlGaAs/GaAs гетероструктур имели низкую эффективность из-за проблем вывода излучения, генерируемого в активной области. В связи с этим, тема диссертационной работы Малевской А.В. и поставленные в ней цели являются актуальными. Следует отметить оригинальный подход решения отмеченных проблем, предложенный Малевской А.В., основанный на новых конструктивных решениях, совершенствовании методов пост-ростовой технологии при формировании приборных структур, обеспечивших снижение оптических, омических и рекомбинационных потерь, с

одновременным сохранением исходных свойств наноматериала гетероструктур. Решение поставленных задач достигнуто благодаря исследованию и анализу физических свойств приборных структур на всех этапах их создания.

Новизна и достоверность основных выводов и результатов работы

Результаты, полученные в диссертационной работе, являются новыми.

Наиболее важные из них, имеющие научную и практическую ценность, следующие:

1. Показано, что создание меза-структуры каскадных ФЭП методами реактивного ионно-плазменного и химического травления обеспечивает подавление поверхностной рекомбинации на 2 порядка, а пассивация мезы диэлектрическими защитными покрытиями на основе Si_3N_4 и силикона уменьшает деградацию параметров при воздействии факторов окружающей среды (температуры, влажности) и увеличивает выход годных приборов до 95%.
2. Снижены омические и оптические потери при изготовлении мощных ФЭП ЛИ (800-860 нм) на основе AlGaAs/GaAs гетероструктуры с многослойным комбинированным отражателем. Достигнуто рекордное значение КПД $> 62\%$ при плотности мощности лазерного излучения ($\lambda = 850$ нм) $P = 100$ Вт/см², КПД $> 56\%$ при высокой плотности мощности $P = 550$ Вт/см².
3. Увеличена эффективность вывода излучения из кристаллов ИК (850-940 нм) СИД на основе AlGaAs/GaAs гетероструктуры с квантовыми ямами и многослойным комбинированным отражателем. Максимальная внешняя квантовая эффективность (EQE) ИК СИД (850 нм) составила более 48% при плотности тока 10-20 А/см², значение оптической мощности превысило 600 мВт при токе 1 А.
4. Разработка новой контактной системы на основе NiCr/Ag/Au и оптимизация конструкции GaSb ФЭП ЛИ позволили впервые превысить порог в 38% по эффективности преобразования излучения высокой

плотности мощности (до 1.6 кВт/см²) в приборах с диаметром фоточувствительной области Ø30 мкм.

Достоверность научных положений и выводов обеспечивается большим объемом проведенных исследований физических свойств гетероструктур и приборов на их основе с использованием комплекса современных методов исследования, подтверждена публикациями в изданиях, рекомендованных ВАК. Ряд статей индексируется в наукометрических базах Scopus и Web of Science, что подтверждает мировой уровень полученных результатов. Основные положения диссертационной работы нашли отражение в материалах Всероссийских и Международных конференций. Предложенные оригинальные конструктивные решения запатентованы, что подтверждает новизну проведенных исследований.

Практическая ценность работы

Значимость для науки и производства полученных результатов состоит в следующем:

1. Проведенные исследования выявили источники омических, оптических и рекомбинационных потерь в ФЭП солнечного и лазерного излучения и ИК СИД.
2. Разработаны физико-технологические принципы создания омических NiCr/Ag/Au+Ag/Ni/Au контактов с низким удельным сопротивлением, высокой электрической проводимостью, хорошей адгезией к поверхностным слоям фото и свето- преобразующих структур и низкой степенью диффузии в материалы полупроводников;
3. Разработана технология формирования омического контакта в виде усеченных пирамид, повышающая эффективность ввода излучения в ФЭП.

4. Разработаны комбинированные методы формирования каскадных GaInP/GaInAs/Ge ФЭП СИ, обеспечивающие подавление поверхностной рекомбинации
5. Разработан многослойный комбинированный отражатель, обеспечивающий отражение более 99% излучения, а также технология его встраивания в конструкции ФЭП и СИД при переносе гетероструктуры на подложку-носитель с использованием интерметаллического соединения Au-In, с сохранением всех исходных физических параметров гетероструктур.
6. Созданы высокоэффективные каскадные GaInP/GaInAs/Ge ФЭП СИ, мощные AlGaAs/GaAs (800-860 нм) и GaSb (1300-1700 нм) ФЭП ЛИ и AlGaAs/GaAs ИК СИД (850-940 нм).

Общая оценка диссертационной работы

Диссертационная работа написана ясным языком, хорошо проиллюстрирована и оформлена в соответствии с требованиями ВАК РФ. Материалы автореферата полностью отражают результаты, представленные в диссертационной работе.

Недостатки и замечания

1. Представляется, что работа несколько перегружена большим количеством, безусловно, оригинальных и важных результатов. Для кандидатской диссертации можно было бы ограничиться наиболее яркими из них.
2. Предельно кратко изложены основные этапы получения оптимального режима формирования меза-структур каскадных GaInP/GaInAs/Ge ФЭП СИ с использованием комбинированных методов травления, обеспечивающих подавление поверхностной рекомбинации. Очевидно, что на каждом этапе проведен большой объем исследований ВАХ и анализ полученных результатов.

3. На стр. 60 диссертационной работы неудачная формулировка подписи к Рис.3.3. «Расчет конфигурации контакта для оптимального введения оптической мощности».

Сделанные замечания не ставят под сомнение основные результаты и выводы и не снижают общую положительную оценку работы в целом.

Заключение

Диссертация Малевской А.В. посвящена актуальной теме, содержит множество новых оригинальных научно-технологических решений, позволяющих реализовать потенциальные возможности исследованных гетероструктур в высокоэффективных каскадных GaInP/GaInAs/Ge ФЭП СИ, мощных AlGaAs/GaAs (800-860 нм) и GaSb (1300-1700 нм) ФЭП ЛИ и AlGaAs/GaAs ИК СИД (850-940 нм). Диссертация Малевской А.В. является завершенным научным исследованием, выполненным автором на высоком экспериментальном и научном уровне. Цели и задачи, поставленные в работе полностью осуществлены. Автореферат и публикации полно и правильно отражают содержание диссертации и ее основные положения и выводы. Безусловным достоинством диссертационной работы Малевской А.В. является ее завершенность. Результаты, полученные в работе, используются сейчас и могут быть применены в дальнейшем широким кругом разработчиков. Личный вклад Малевской А.В. в разработку научной проблемы, предложенных решений и в получение экспериментальных результатов не вызывает сомнения. Автореферат и публикации полно и правильно отражают содержание диссертации, ее основные положения и выводы. Таким образом, по объему, научно-практическому значению, достоверности и новизне диссертационная работа Малевской Александры Вячеславовны «Модификация оптических и резистивных свойств каскадных АЗВ5 фотоэлектрических преобразователей и AlGaAs/GaAs светоизлучающих диодов», а также автореферат, полностью отвечают требованиям «Положения о присуждении ученых степеней в Федеральном

государственном бюджетном учреждении науки Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук», предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, а ее автор, Малевская Александра Вячеславовна заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.11 – «Физика полупроводников».

Официальный оппонент

Шмидт /Шмидт Н.М./

доктор физ.-мат.наук

Главный научный сотрудник

Центра физики наногетероструктур

ФТИ им. А.Ф.Иоффе

тел. 8-911-1671236, e-mail: Natalia.Shmidt@mail.ioffe.ru

(Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук,

Адрес: 194021, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая 26,

Согласна на предоставление и обработку персональных данных

19.05.2025 г.



Подпись *Шмидт Н.М.* удостоверяю
зав.отделом кадров ФТИ им.А.Ф.Иоффе

Шмидт / *Н.С. Бузнецко*