



Утверждаю
Заместитель Генерального директора
по научной работе



А.В. Васильев

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

о диссертационной работе **Малевской Александры Вячеславовны**

«Модификация оптических и резистивных свойств каскадных АЗВ5 фотоэлектрических преобразователей и AlGaAs/GaAs светоизлучающих диодов», представляемой на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности

1.3.11 - «Физика полупроводников»

Повышение требований к эффективности полупроводниковых приборов, обеспечивающих прием-преобразование световых потоков высокой плотности в электроэнергию, неразрывно связано с развитием методов обработки полупроводниковых структур и модификации их оптических и резистивных свойств. Аналогичные задачи стоят и при создании мощных инфракрасных (ИК) светоизлучающих диодов (СИД). В обсуждаемой диссертационной работе А.В. Малевской предлагаются решения по взаимосвязанным постростовым процедурам для перспективных АЗВ5 гетероструктур (каскадные GaInP/GaInAs/Ge, AlGaAs/GaAs и GaSb) с созданием на их основе фотоэлектрических преобразователей (ФЭП) солнечного и лазерного излучения с уменьшенными омическими, оптическими и рекомбинационными потерями и ИК СИД с увеличенной эффективностью вывода излучения из кристаллов, что определяет актуальность, научную и практическую значимость проведенных исследований.

Основной целью работы является исследования методов обработки и модификации АЗВ5 гетероструктур, направленных на уменьшение омических, оптических и рекомбинационных потерь, и формирование постростовой технологии для ФЭП солнечного и лазерного излучения и ИК СИД.

При оценке **научной новизны** исследований и результатов работы необходимо выделить следующее:

1. Предложены новые методики постростовой обработки GaInP/GaInAs/Ge гетероструктур, обеспечивающие снижение омических, оптических и рекомбинационных потерь при создании каскадных ФЭП солнечного излучения.
2. Разработана новая контактная система на основе слоев NiCr/Ag/Au к полупроводниковым материалам *p*-типа проводимости с низким контактным сопротивлением.

3. Предложена и исследована новая конструкция многослойного комбинированного отражателя, обеспечивающего отражение более 99% распространяющегося в AlGaAs/GaAs структурах излучения.

К наиболее значимым результатам, приведенным в диссертационной работе А.В. Малевской, можно отнести следующие:

1. Предложена и разработана технология формирования контактных шин трапецевидного сечения с зеркальными боковыми гранями, отражающими излучение к фоточувствительной области ФЭП.

2. Разработана новая контактная система на основе слоев NiCr/Ag/Au с удельным контактным сопротивлением $10^{-6} \text{ Ом} \cdot \text{см}^2$ к слоям GaAs и GaSb *p*-типа проводимости, обладающая низкой степенью диффузии в материал полупроводника и хорошей адгезией.

3. Для GaSb ФЭП лазерного излучения (ЛИ) со структурой, получаемой двухстадийной диффузией цинка в подложку, снижены резистивные потери при использовании новой контактной системы на основе NiCr/Ag/Au+Ag/Ni/Au, что позволило превысить порог в 38% по эффективности преобразования излучения высокой плотности мощности (до 1.6 кВт/см^2).

4. Разработан новый многослойный комбинированный тыльный отражатель для ФЭП ЛИ и ИК СИД на основе AlGaAs/GaAs гетероструктур, обеспечивающий отражении более 99% излучения.

5. Созданы AlGaAs/GaAs ФЭП ЛИ с рекордным значением КПД $> 62\%$ при плотности мощности лазерного излучения ($\lambda = 850 \text{ нм}$) $P = 100 \text{ Вт/см}^2$, КПД $> 56\%$ при высокой плотности мощности $P = 550 \text{ Вт/см}^2$.

6. Увеличена эффективность вывода излучения из кристаллов ИК (850-930 нм) СИД на основе AlGaAs/GaAs гетероструктуры с квантовыми ямами и многослойным комбинированным отражателем. Максимальная внешняя квантовая эффективность ИК СИД (850 нм) составила более 48% при плотности тока $10\text{-}20 \text{ А/см}^2$, значение оптической мощности превысило 600 мВт при токе 1 А.

Достоверность полученных результатов определяется обоснованным физическим подходом к решению поставленных задач, большим объемом экспериментальных результатов, полученных с использованием разработанных методик исследований и технологических средств.

Практическая значимость. Проведена разработка комплекса пост-ростовых методов обработки и модификации AlGaAs/GaAs гетероструктур: предложены новые контактные системы и многослойные комбинированные отражатели, исследованы методы травления, разработаны новые конструкции приборов, позволившие снизить оптические, резистивные и рекомбинационные потери при изготовлении ФЭП концентрированного солнечного и мощного лазерного излучения, а также повысить эффективность вывода излучения из кристаллов ИК СИД.

Общая оценка диссертации

Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения и списка литературы. Общий объем диссертации составляет 171 страниц, включая 70 рисунков и 10 таблиц. Список цитируемой литературы включает 95 наименований.

Структура и содержание работы свидетельствует о высоком научном уровне исследований, в которых продемонстрирована актуальность и новизна. Выводы и заключения обоснованы и имеют научную и практическую ценность в области разработок полупроводниковых приборов.

Апробация работы выполнена при публикации 30 статей, входящих в базы данных Scopus и WoS. О результатах, вошедших в диссертационную работу, докладывалось на 6-и международных и 2-х всероссийских конференциях.

Рекомендации по использованию

Результаты диссертационной работы могут быть рекомендованы для ознакомления специалистами, занимающимися исследованием фотоэлектрических преобразователей и светоизлучающих диодов, работающих в научно-исследовательских организациях и на промышленных предприятиях. Также материал работы и результаты исследований может использоваться в учебных процессах при подготовке магистров и аспирантов, специализирующихся на полупроводниковых приборах.

При всех достоинствах представленной работы необходимо сделать следующие критические замечания:

1. В работе приведены исследования по увеличению эффективности вывода излучения из кристаллов ИК (850-930 нм) СИД. Показано, что улучшение оптических характеристик многослойного комбинированного отражателя ведет с росту внешней квантовой эффективности и оптической мощности приборов в несколько раз. Рассматривались ли автором возможности дальнейшего увеличения выходных характеристик ИК СИД, какие могут быть предложены технологические решения и какие предельные значения могут быть оценочно достигнуты?

2. В диссертационной работе приведен широкий спектр исследований по пост-ростовым методам формирования металлических контактов, диэлектрических покрытий, травлению структур, но не приведена информация по оборудованию, на котором проводились техпроцессы. Результаты исследований безусловно мало зависят от конкретных установок, но позволяют оценить используемую приборную базу.

3. Не освещены вопросы ресурса (деградации) ИК СИД и стабильности выходных характеристик при долговременной эксплуатации.

4. В работе не обсуждаются результаты по характеристикам приборов в области малых прямых и обратных токов.

Указанные замечания носят частный характер, не снижают научной и практической значимости работы, выполненной на высоком научном и техническом уровне. По актуальности поставленных задач, объему выполненных исследований, научной и практической значимости полученных результатов, представляемая работа полностью удовлетворяет требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Малевская А.В. заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.11- «Физика полупроводников».

Заключение. Диссертационная работа Александры Вячеславовны Малевской является завершенной научно-исследовательской работой, выполненной автором на высоком научном и техническом уровне. Результаты работы являются достоверными и научно-обоснованными.

Автореферат и публикации полностью отражают содержание диссертации, основные положения и выводы.

По своей актуальности, научной новизне, практической значимости, а также объему выполненных исследований и личному вкладу соискателя диссертационная работа «Модификация оптических и резистивных свойств каскадных AlGaAs/GaAs фотоэлектрических преобразователей и AlGaAs/GaAs светоизлучающих диодов» полностью отвечает требованиям Положения о присуждении ученых степеней Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физико-технического института им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, а её автор Александра Вячеславовна Малевская заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.11 – «Физика полупроводников».

Диссертационная работа, автореферат, доклад соискателя и настоящий отзыв рассмотрены и утверждены на научном семинаре Акционерного общества «Научно-исследовательский институт полупроводниковых приборов» 16 апреля 2025 г.

Отзыв составил:

Начальник 110 отдела АО «НИИПП»

С.А. Санько

Заверено:

Начальник отдела

по работе с персоналом



Е.В. Переводчикова