

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА ФТИ 34.01.02 ПРИ  
ФЕДЕРАЛЬНОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ БЮДЖЕТНОМ УЧРЕЖДЕНИИ НАУКИ  
ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКОМ ИНСТИТУТЕ ИМ. А.Ф. ИОФФЕ РОССИЙСКОЙ  
АКАДЕМИИ НАУК ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЁНОЙ СТЕПЕНИ  
КАНДИДАТА ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИХ НАУК

Аттестационное дело № \_\_\_\_\_  
Решение диссертационного совета от № 7

О присуждении Малевской Александре Вячеславовне, гражданке РФ, учёной степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Модификация оптических и резистивных свойств каскадных AlGaAs/GaAs фотоэлектрических преобразователей и AlGaAs/GaAs светоизлучающих диодов» по специальности 1.3.11. Физика полупроводников принята к защите «20» февраля 2025 г., протокол №3, диссертационным советом 34.01.02 при Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Физико-техническом институте им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук, расположенном по адресу 194021, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 26, утверждённым 12 июля 2019 г. приказом директора ФТИ им. А.Ф. Иоффе №75.

Соискатель Малевская Александра Вячеславовна, 26 января 1981 года рождения, в 1998 году поступила в Санкт-Петербургский государственный политехнический университет на направление «Химическая технология материалов и изделий электронной техники», присуждена квалификация инженер-технолог в 2004 г. В настоящее время занимает должность научного сотрудника в лаборатории фотоэлектрических преобразователей в ФТИ им. А.Ф. Иоффе.

Диссертационная работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Физико-техническом институте им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук, расположенном по адресу 194021, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 26.

**Научный руководитель – Шварц Максим Зиновьевич**

кандидат физико-математических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией фотоэлектрических преобразователей.

**Официальные оппоненты:**

1. **Гудовских Александр Сергеевич**, доктор технических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение высшего образования и науки «Санкт-Петербургский национальный исследовательский Академический университет имени Ж.И. Алферова Российской академии наук», ведущий научный сотрудник лаборатории возобновляемых источников энергии, дал положительный отзыв на диссертацию.

В отзыве содержится 4 замечания:

1. В главе 3 рассмотрены различные контактные системы к Ge p-типа проводимости (NiCr/Ag/Au, Ag(Mn)/Ni/Au и Au). Почему не обсуждаются другие варианты, включающие, например, слои Au/Ga, Au/In, Al/Ge, которые широко используются в технологии полупроводниковых приборов?
2. В пункте 3.2.5. эффективность работы «пирамидальных» контактных шин подтверждается увеличением значений внешнего квантового выхода фотоответа на 2-3%. Однако на рисунке 3.13 такое увеличение показано только для GaInP и GaInAs субэлементов, тогда как для Ge каскада данное увеличение не очевидно

и нет никаких пояснений относительно «селективности» свойств Ag зеркальных поверхностей.

3. Наблюдается несоответствие данных по удельному контактному сопротивлению системы Pd/Ge/Au к GaAs *n*-типа проводимости, приведенных на рис. 3.8 и в таблице 3.4 для температуры отжига 400 °С.
4. По рис. 6.10: неоднородное распределение полистирольных сфер обычно связано с их подвижностью в процессе реактивного ионно-плазменного травления. Проводилось ли их спекание для фиксации путем термической обработки?

В отзыве отмечено, что работа представляет собой законченное исследование в области физики полупроводников и по своему объему, актуальности, новизне и значимости полученных результатов соответствует требованиям положения о присуждении ученых степеней.

**2. Шмидт Наталия Михайловна**, доктор физико-математических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук, ведущий научный сотрудник лаборатории интегральной оптики на гетероструктурах, дала положительный отзыв на диссертацию.

В отзыве содержится 3 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».

В отзыве сказано, что сделанные замечания не ставят под сомнение основные результаты и выводы и не снижают общую положительную оценку работы в целом.

**Ведущая организация** - Акционерное общество «Научно-исследовательский институт полупроводниковых приборов», предоставила положительный отзыв на диссертацию. Отзыв подготовлен начальником 110 отдела Санько Сергеем Александровичем и подтвержден заместителем генерального директора по научной работе Васильевым Александром Владимировичем. В заключении указано, что по своей актуальности, научной новизне, практической значимости, а также объему выполненных исследований и личному вкладу соискателя представленная работа полностью удовлетворяет требованиям Положения о присуждении ученых степеней Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук.

В отзыве ведущей организации содержится 4 замечания:

1. В работе приведены исследования по увеличению эффективности вывода излучения из кристаллов ИК (850-930 нм) СИД. Показано, что увеличение оптических характеристик многослойного комбинированного отражателя ведет к 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 постростовым 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.

В отзыве сказано, что замечания носят частный характер, не снижают научной и практической значимости работы, выполненной на высоком научном и техническом уровне.

**Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обусловлен их высоким научным авторитетом, а также сходством тематик работ, проводимых ведущей организацией и оппонентами, с тематикой диссертационной работы. В ходе защиты на все замечания соискателем даны исчерпывающие ответы.**

#### **На автореферат поступило 4 отзыва:**

**1) Отзыв заслуженного деятеля науки РФ, д.ф.-м.н. Лунина Леонида Сергеевича**, главного научного сотрудника лаборатории физики и технологии полупроводниковых наногетероструктур для СВЧ-электроники и фотоники Федерального исследовательского центра Южного научного центра РАН (344006, Ростов-на-Дону, пр. Чехова,4).

Отзыв положительный, содержит 3 замечания:

1. Оценивая потенциальную эффективность использования «пирамидальных» контактных шин с отражающими гранями (страницы 9-10 и рис. 1), автор указывает на возможность снижения оптических потерь излучения до 2%, однако никак не обосновывает данное ограничение и не обсуждает варианты по дальнейшему снижению оптических потерь в фотоэлектрических преобразователях.
2. Развивая предыдущее замечание относительно экспериментального результата по реализации «пирамидальных» контактных шин для ФЭП СИ (страница 11 и рис. 2), необходимо отметить, что автор никак не сопоставляет результат по увеличению квантового выхода фотоответа на 2-3% и снижение оптических потерь излучения до 2%. Не вполне ясно, в полной ли мере реализован потенциал «пирамидальных» контактных шин с отражающими гранями?
3. На рис. 4 (b) (страница 14) представлена зависимость характеристик ФЭП ЛИ от плотности тока для двух типо-размеров приборов диаметром 30 и 80 мкм. В тексте приведено обоснование минимального диаметра фоточувствительной области 30 мкм, однако не пояснен выбор второго типа приборов (80 мкм).

В отзыве указано, что замечания носят общий дискуссионный уточняющий характер, не оспаривают актуальность и практическую ценность полученных результатов, не ставят под сомнение научную значимость защищаемых положений и выводов по работе. В заключении отмечено, что представляемая работа полностью удовлетворяет требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям.

**2) Отзыв к.х.н. Пушко Сергея Вячеславовича**, директора департамента «Батарея солнечная», главного конструктора по фотоэнергетике ООО «Бюро 1440» (127006, Москва, Оружейный пер., 41).

Отзыв положительный, содержит 3 замечания.

1. В главе 3 (страницы 9-10) реализуется вариант контактных шин трапециевидного сечения с зеркальными боковыми гранями для снижения оптических потерь излучения, концентрируемого линзой Френеля. Показана связь параметров концентратора и углов наклона зеркальных граней контакта. Однако автор не указывает, для какой линзы Френеля приведены оценки: с точечным или линейным фокусом? Какой должен быть рисунок контактной сетки при работе СЭ с линейной линзой Френеля и возможно ли в этом варианте снижение оптических потерь излучения при применении шин трапециевидного сечения?
2. В главе 3 (страница 12) обсуждается уменьшение поверхностных токов утечки, что ведёт к значительному улучшению характеристик исследуемых трехкаскадных ФЭП. При этом величины поверхностных токов оцениваются согласно анализу изменения темновых ВАХ, полученных при прямом смещении. Было бы уместно в этой главе также привести данные и по обратной ветви ВАХ. Как известно, форма обратной ветви темновой ВАХ позволяет регистрировать исследуемые токи утечки.
3. На странице 17 (глава 6) имеется вывод «Падение фактора заполнения ВАХ (FF) на 1-3% обусловлено формированием тыльного точечного контакта в приборах на инвертированных структурах и увеличением шага расположения контактных шин». Можно ли разделить эти два эффекта? Можно ли увеличив число точечных контактов добиться равного FF для СЭ на основе прямой и инвертированной структур.

В отзыве отмечено, что указанные замечания носят частный характер, не снижают научной и практической значимости работы, и не влияют на общую положительную оценку работы. По актуальности поставленных задач, объёму выполненных исследований, научной и практической значимости полученных результатов, представляемая работа полностью удовлетворяет требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям.

**3) Отзыв к.т.н. Скачкова Александра Федоровича**, заместителя генерального директора по научной работе, АО «Сатурн» (350072, г. Краснодар, ул. Солнечная, 6).

Отзыв положительный, содержит 2 замечания:

1. На рис. 5 приведена гистограмма зависимости коэффициента отражения излучения от оптических отражателей 4х типов, включающих различные комбинации полупроводниковых, диэлектрических и металлических слоев. Однако не указано, рассматривались ли автором возможности дальнейшего улучшения оптических свойств отражателей при комбинации слоев брэгговского отражателя, диэлектрика и металлов.
2. В автореферате (стр. 11) представлен результат: «...получен прирост внешнего квантового выхода фотоответа субэлементов на 2-3% (рис. 2, *b*) и обеспечена возможность преобразования сильно концентрированного СИ (до 3000 крат) без существенного падения эффективности фотопреобразователя». На стр. 12 данное утверждение подтверждается цифрой «...изготовлены концентраторные каскадные ФЭП СИ на основе гетероструктуры GaInP/GaInAs/Ge с КПД более 36% (AM1.5) при кратности концентрирования 200-500 солнц». Из представленного изложения не совсем ясно, каков же реальный уровень падения эффективности ФЭП относительно указанного максимума при переходе в диапазон освещенностей более 500 крат?

В отзыве указано, что представленные замечания не являются критическими и скорее преследуют цель получить пояснения к определенным формулировкам и выводам. Автореферат в достаточной мере представляет все сильные стороны работы и позволяет дать положительную оценку работе в целом. В заключении отмечено, что представляемая работа полностью удовлетворяет требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям.

**4) Отзыв д.ф.-м.н. Ратушного Виктора Ивановича**, заведующего кафедрой физико-математических дисциплин Волгодонского инженерно-технического института (филиал НИЯУ МИФИ) (347360 г. Волгодонск, ул. Ленина, д. 73/94).

Отзыв положительный, без замечаний.

В отзыве отмечено, что диссертационная работа соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям.

#### **Публикации. Личный вклад автора.**

Все представленные в диссертации результаты получены автором самостоятельно или при его непосредственном участии. Личный вклад соискателя заключается в разработке постростовой технологии изготовления АЗВ5 полупроводниковых приборов в области формирования контактных систем, оптических отражателей, меза-структур и др., а также в анализе влияния проведенных разработок на фотоэлектрические характеристики оптоэлектронных приборов.

Результаты диссертационного исследования докладывались на следующих российских и международных конференциях:

1. Физика А. СПб (Санкт-Петербург, 2024),
2. Физико-химические проблемы возобновляемой энергетики (Санкт-Петербург, Российская Федерация, 2021),
3. 15th International Conference on Concentrator Photovoltaic Systems, CPV-15 (Fes, Morocco, 2019),
4. 20-я Всероссийская молодежная конференция по физике полупроводников и наноструктур, опто- и наноэлектронике (Санкт-Петербург, 2018),
5. Физика А. СПб (Санкт-Петербург, 2018),
6. 17-я Всероссийская молодежная конференция по физике полупроводников и наноструктур, опто- и наноэлектронике (Санкт-Петербург, 2015),
7. 10th International Conference on Concentrating Photovoltaics, CPV-10 (Albuquerque, NM, USA, 2014),
8. The 29th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition» (Amsterdam, The Netherlands, 2014).

Основное содержание диссертации опубликовано в 30 печатных работах, в том числе в 16-и научных статьях в рецензируемых журналах, 4-х патентах, в сборниках тезисов 2-х всероссийских и 6-и международных конференций.

#### **Основные публикации:**

1. N. A. Kalyuzhnyy, A. V. Malevskaya, S. A. Mintairov, M. A. Mintairov, M. V. Nakhimovich, R. A. Salii, M. Z. Shvarts, V. M. Andreev. Photovoltaic AlGaAs/GaAs devices for conversion of high-power density laser (800–860 nm) radiation // Solar Energy Materials and Solar Cells. – 2023. – Vol. 262, no 112251.

**Личный вклад:** разработка комбинированных отражателей и технологии их встраивания в конструкцию фотоэлектрических преобразователей. Анализ влияния конструкции приборов на оптические и резистивные потери. Участие в написании статьи.

2. А. В. Малевская, Н. Д. Ильинская, Ю. М. Задиранов, А. А. Блохин, Д. А. Малевский, П. В. Покровский. Постростовые технологии каскадных фотоэлектрических преобразователей на основе AlB5-гетероструктур // Журнал Технической Физики. – 2022. – Т. 92, № 1. – С. 108–112.

**Личный вклад:** построение методики эксперимента и анализа влияния постростовых методов обработки гетероструктур на фотоэлектрические характеристики изготовленных приборов. Участие в написании статьи.

3. А. В. Малевская, Н. А. Калюжный, Д. А. Малевский, С. А. Минтаиров, А. М. Надточий, М. В. Нахимович, Ф. Ю. Солдатенков, М. З. Шварц, В. М. Андреев. Инфракрасные (850 нм) светодиоды с множественными квантовыми ямами InGaAs и “тыльным” отражателем // Физика и Техника Полупроводников. – 2021. – Т. 55, № 8. – С. 699–703.

**Личный вклад:** исследование оптических свойств ИК светоизлучающих диодов при встраивании в конструкцию многослойных отражателей. Участие в написании статьи.

4. А. В. Малевская, Н. А. Калюжный, Р. А. Салий, Ф. Ю. Солдатенков, М. В. Нахимович, Д. А. Малевский. Влияние свойств тыльного отражателя на характеристики инфракрасных светоизлучающих диодов на основе AlGaAs/GaAs гетероструктуры // Письма в Журнал Технической Физики. – 2024. – Т. 50, № 18. – С. 22–26.

**Личный вклад:** постановка эксперимента, анализ полученных результатов. Участие в написании статьи.

5. A. V. Malevskaya, F. Yu. Soldatenkov, R. V. Levin, N. A. Kalyuzhnyy, M. Z. Shvarts. Low Temperature Ohmic Contact for High-Power AlGaAs/GaAs Photovoltaic Converters // Vacuum. – 2025. – Vol. 233, no 114030.

**Личный вклад:** постановка эксперимента, анализ зависимостей удельного контактного сопротивления. Участие в написании статьи.

6. А. В. Малевская, Н. Д. Ильинская, Д. А. Малевский, П. В. Покровский. Электрохимическое осаждение контактных материалов в постростовой технологии фотоэлектрических преобразователей // Физика и Техника Полупроводников. – 2022. – Т. 56, № 3. – С. 376–379.

**Личный вклад:** разработка электрохимического метода формирования контактных шин с минимальными оптическими и резистивными потерями, анализ полученных результатов. Участие в написании статьи.

7. В. П. Хвостиков, А. В. Малевская, П. В. Покровский, О. А. Хвостикова, Ф. Ю. Солдатенков, М. В. Нахимович. Микроразмерные GaSb фотоэлектрические преобразователи лазерного излучения высокой плотности // Письма в Журнал Технической Физики. – 2025. – Т. 51, № 4. – С. 50–53.

**Личный вклад:** исследование технологии формирования фотоэлектрических преобразователей, анализ полученных результатов. Участие в написании статьи.

8. А. В. Малевская, В. С. Калиновский, Н. Д. Ильинская, Д. А. Малевский, Е. В. Контрош, М. З. Шварц, В. М. Андреев. Влияние структуры омических контактов на характеристики GaAs/AlGaAs фотоэлектрических преобразователей // Журнал Технической Физики. – 2018. – Т. 88, № 8. – С. 1211–1215.

**Личный вклад:** исследование технологии формирования контактных систем, анализ полученных результатов. Участие в написании статьи.

9. А. В. Малевская, Н. А. Калюжный, Д. А. Малевский, А. А. Блохин, М. В. Нахимович, Н. Д. Ильинская. Формирование световыводящей поверхности инфракрасных (850 nm) светоизлучающих диодов // Журнал Технической Физики. – 2024. – Т. 94, № 6. – С. 888–893.

**Личный вклад:** разработка постростовой технологии изготовления светоизлучающих диодов, анализ полученных результатов. Участие в написании статьи.

Диссертационный совет отмечает, что рассмотренная диссертация является законченной работой, полученные соискателем результаты имеют как фундаментальное, так и прикладное значение, и на своем заседании 19 июня 2025 г. принял решение присудить Малевской Александры Вячеславовне ученую степень кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.11. Физика полупроводников.

При проведении голосования диссертационного совета в количестве 19 человек из 23 членов совета, из них в заседании участвовали 12 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, очно проголосовали:

За присуждение Малевской Александре Вячеславовне ученой степени кандидата физико-математических наук подано голосов – 15,

против – нет,

недействительных бюллетеней – нет,

не проголосовали – нет.

Из 4 членов совета, участвовавших дистанционно, за присуждение Малевской Александре Вячеславовне ученой степени кандидата физико-математических наук проголосовали: «за» – 4,

«против» – нет,

«воздержались» – нет,

«не голосовали» – нет.

Итого: из 19 членов совета, участвовавших в очно-заочном голосовании,

«за»: 19

«против»: нет

«испорченных бюллетеней»: нет

«воздержались»: нет

«не проголосовали»: нет

Председатель диссертационного совета  
академик РАН

Ивченко Еугениус Левович

Ученый секретарь диссертационного совета  
д. ф.-м. н.

Сорокин Лев Михайлович

19 июня 2025 г.