

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ ЭКСПЕРТНОЙ КОМИССИИ

по защите диссертации Александры Сергеевны Ким на тему «Разработка основ технологии изготовления линейки лавинных фотодиодов на основе эпитаксиальной структуры  $p/p^+-Si$ », представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.3 – «Технология и оборудование для производства материалов и приборов электронной техники» и состоявшейся в НИТУ МИСИС 26 мая 2026 года.

Диссертация принята к защите Диссертационным советом НИТУ МИСИС 16.03.2026, протокол № 37.

Диссертация выполнена на кафедре полупроводниковой электроники и физики полупроводников НИТУ МИСИС, часть экспериментальных исследований выполнялась в Акционерном обществе «Научно-производственное объединение «Орион».

Научный руководитель – кандидат физико-математических наук, Юрчук Сергей Юрьевич, доцент кафедры полупроводниковой электроники и физики полупроводников НИТУ МИСИС.

Экспертная комиссия утверждена Диссертационным советом НИТУ МИСИС (протокол № 37 от 16.03.2026) в составе:

1. **Ховайло Владимир Васильевич** – д.ф.-м.н., профессор кафедры функциональных наносистем и высокотемпературных материалов НИТУ МИСИС – председатель комиссии;

2. **Саранин Данила Сергеевич** – д.т.н., профессор кафедры полупроводниковой электроники и физики полупроводников НИТУ МИСИС, заведующий лабораторией перспективной солнечной энергетики НИТУ МИСИС;

3. **Скворцов Аркадий Алексеевич** - д.ф.-м.н., старший научный сотрудник научно-технического центра «Оптоэлектроника» федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский политехнический университет»;

4. **Лагов Петр Борисович** – д.т.н., начальник отдела научного центра сертификации элементов и оборудования, акционерное общество «Российская корпорация ракетно-космического приборостроения и информационных систем»;

5. **Якимов Евгений Борисович** – д.ф.-м.н., заведующий лабораторией локальной диагностики полупроводниковых материалов федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт проблем технологии микроэлектроники и особо чистых материалов Российской академии наук.

В качестве ведущей организации утверждено акционерное общество «Научно-исследовательский институт приборов», Московская обл., г. Лыткарино.

Экспертная комиссия отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- разработана новая топология и планарная технология изготовления фоточувствительного кристалла многоэлементной  $n^+-p-i-p^+$ -линейки ЛФД на основе эпитаксиального кремния  $p$ -типа проводимости для регистрации импульсного излучения с длиной волны 0,85 мкм со стороны фронтального электрода, отличающаяся совмещением диффузии имплантированных примесей и формирования диэлектрических слоев в одном термическом процессе и проведением низкотемпературного импульсного отжига в среде  $H_2$ ;

- предложен новый режим проведения низкотемпературного импульсного отжига в среде  $\text{H}_2$  (температура  $450\text{ }^\circ\text{C}$ , длительность 5 с), обеспечивающий снижение уровня темновых токов в фотодиодах на основе кремния р-типа проводимости;
- предложен новый режим проведения ВЧ-катодного распыления пленки  $\text{Al}_2\text{O}_3$  в среде  $\text{Ar}$  (давление  $0,5 \cdot 10^{-2}$  бар, мощность разряда 300 Вт) для пассивации изолирующей пленки  $\text{SiO}_2$ , обеспечивающий снижение уровня темновых токов и электрической взаимосвязи между планарно расположенными фоточувствительными элементами в фотодиодах на основе кремния р-типа проводимости;
- предложен новый режим проведения низкотемпературного импульсного отжига в среде  $\text{H}_2$  (температура  $340\text{ }^\circ\text{C}$ , длительность 20 с) для формирования омических контактов с малым удельным сопротивлением на основе двухслойных металлизаций  $\text{Ti}/\text{Au}$  и  $\text{Cr}/\text{Au}$  к кремнию.

Теоретическая значимость исследования обоснована разработкой новых основ технологии изготовления многоэлементной  $\text{n}^+\text{-p-i-p}^+$ -линейки ЛФД, предназначенной для регистрации импульсного излучения с длиной волны  $0,85\text{ }\mu\text{m}$  со стороны фронтального электрода, и модернизацией типового маршрута изготовления за счет внедрения принципиально новых технологических приемов.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что представленная технология многоэлементной  $\text{n}^+\text{-p-i-p}^+$ -линейки ЛФД для ИК-диапазона демонстрирует воспроизводимость и позволяет изготавливать фоточувствительные структуры с устойчивыми фотоэлектрическими параметрами, а предложенные технологические приемы позволяют качественно улучшить темновые токи и контактные свойства, снизить электрическую взаимосвязь между фоточувствительными элементами и обладают потенциалом внедрения в производство разных типов полупроводниковых приборов на основе кремния. Использование результатов подкреплено актом внедрения технологических решений в деятельность ООО «Динамические системы», что также подтверждает практическую значимость результатов исследования.

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что при изготовлении тестовых образцов и партий фоточувствительных кристаллов многоэлементной  $\text{n}^+\text{-p-i-p}^+$ -линейки ЛФД применялось сертифицированное технологическое и измерительное оборудование и стандартизированные методики контроля параметров, подтвердившие однородность фотоэлектрических параметров изготовленных структур. Результаты статистической оценки точности и настроенности технологических процессов с использованием контрольных карт Шухарта показывает устойчивость предлагаемой технологии в условиях промышленного выпуска. Эффективность и универсальность предлагаемых технологических приемов подтверждается улучшением параметров при их внедрении в маршруты изготовления серийно выпускаемых приборов.

Личный вклад соискателя включает анализ отечественной и зарубежной литературы по теме исследования, составление маршрутов изготовления тестовых образцов и фоточувствительного кристалла многоэлементной  $\text{n}^+\text{-p-i-p}^+$ -линейки ЛФД, самостоятельное проведение ряда технологических процессов и операций химической

обработки, фотолитографии и осуществление технологического межоперационного контроля. Постановка экспериментов, формулирование задач, подготовка публикаций и выводов по исследованию выполнены автором совместно с научным руководителем.

Соискатель представил 2 опубликованные работы в изданиях, индексируемых в наукометрической базе данных Scopus, а также 3 патента.

Пункт 2.6 Положения присуждения ученой степени кандидата наук, ученой степени доктора наук НИТУ МИСИС соискателем ученой степени не нарушен.

Диссертация Ким Александры Сергеевны соответствует критериям п. 2 Положения о порядке присуждения ученых степеней в НИТУ МИСИС, так как в ней на основании выполненных автором исследований представлено решение актуальной научно-технической задачи по модернизации стандартной технологии изготовления матричного фотопреобразователя на примере многоэлементной  $n^+p-i-p^+$ -линейки ЛФД, что способствует развитию отечественной промышленной отрасли полупроводниковой электронной техники. Содержание диссертации также соответствует квалификационным требованиям п. 2 паспорта специальности 2.2.3 – «Технология и оборудование для производства материалов и приборов электронной техники».

Экспертная комиссия приняла решение о возможности/невозможности присуждения Александре Сергеевне Ким ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.3 – «Технология и оборудование для производства материалов и приборов электронной техники».

Результаты голосования: при проведении тайного голосования экспертная комиссия в количестве 5 человек, участвовавших в заседании, из 5 человек, входящих в состав комиссии, проголосовала: за 5, против 0, недействительных бюллетеней 0.

Председатель Экспертной комиссии



В.В. Ховайло

26.05.2026