

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ЭКСПЕРТНОЙ КОМИССИИ

по защите диссертации Козлова Романа Юрьевича на тему «**Разработка основ комплексной опытно-промышленной технологии получения полированных пластин антимонида индия диаметром до 100 мм для фотоприемных устройств средневолнового ИК диапазона**», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.3 – «Технология и оборудование для производства материалов и приборов электронной техники», состоявшейся в НИТУ МИСИС 20.05.2026 г.

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

Диссертация выполнена на кафедре материаловедения полупроводников и диэлектриков (МПид) НИТУ МИСИС.

Научный руководитель – Пархоменко Юрий Николаевич, д.ф.-м.н., профессор, научный руководитель кафедры МПид НИТУ МИСИС.

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

1. Председатель комиссии – Кожитов Лев Васильевич – д.т.н., Заслуженный деятель науки, профессор кафедры технологии материалов электроники НИТУ МИСИС.
2. Саранин Данила Сергеевич – д.т.н., профессор, заведующий лабораторией перспективной солнечной энергетики НИТУ МИСИС.
3. Простомолотов Анатолий Иванович – д.т.н., доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории механики новых материалов и технологий, Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского Российской академии наук.
4. Каневский Владимир Михайлович – д.ф.-м.н., заведующий лабораторией института кристаллографии имени А.В. Шубникова - структурного подразделения Курчатовского комплекса «Кристаллография и фотоника» НИЦ «Курчатовский институт» Российской академии наук.
5. Маренкин Сергей Федорович – д.х.н., профессор, главный научный сотрудник, федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова» Российской академии наук.

В качестве ведущей организации утверждено АО «Оptron», г. Москва;

Экспертная комиссия отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

– Впервые в России разработана опытно-промышленная технология выращивания монокристаллов антимонида индия диаметром до 100 мм модифицированным методом Чохральского на новой установке с увеличенным объемом ростовой камеры, разработанной в рамках данной работы. Основным достоинством метода является получение поликристаллического материала вытягиванием на затравку, что позволяет сократить такие технологические операции как синтез и зонная очистка. Использование полученного поликристалла позволяет выращивать монокристаллы антимонида индия с заданными характеристиками: плотность дислокаций не более 100 см^{-2} ; концентрация носителей заряда от $2 \cdot 10^{14}$ до $1 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$; подвижность основных носителей заряда от $5 \cdot 10^5$ до $3 \cdot 10^5 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$. Данный метод является энерго- и материалосберегающим, а также менее трудоемким по сравнению с классическим методом Чохральского.

– Проведено математическое моделирование теплового узла и процесса выращивания монокристаллов антимонида индия диаметром 100 мм с анализом и верификацией его результатов. Спроектирован и изготовлен графитовый тепловой узел для выращивания монокристаллов антимонида индия диаметром 100 мм, который обеспечивает донно-боковой нагрев с высоким осевым градиентом температуры на фронте кристаллизации (от 25 до 35 град/см).

– Впервые предложен и апробирован состав многокомпонентной полировальной суспензии для антимонида индия кристаллографической ориентации (100) (на основе золя диоксида кремния, перекиси водорода, парамолибдата аммония, винной, молочной и сульфаминовой кислот), позволивший получить микрошероховатость полированной поверхности Ra не более 0,5 нм. (Патент на изобретение RU 2834696 C1, 12.02.2025. Заявка № 2024106566 от 13.03.2024.)

– Впервые в России создана оригинальная комплексная опытно-промышленная технология изготовления полированных пластин антимонида индия диаметром 50,8 мм 76,2 мм и 100 мм с микрошероховатостью поверхности Ra не более 0,5 нм, а также со следующими основными геометрическими параметрами: $\text{TTV} \leq 4 \text{ мкм}$, $\text{BOW} \leq 5 \text{ мкм}$, $\text{WARP} \leq 7 \text{ мкм}$ для диаметра 50,8 мм; $\text{TTV} \leq 4 \text{ мкм}$, $\text{BOW} \leq 7 \text{ мкм}$, $\text{WARP} \leq 9 \text{ мкм}$ для диаметра 76,2 мм; $\text{TTV} \leq 6 \text{ мкм}$, $\text{BOW} \leq 7 \text{ мкм}$, $\text{WARP} \leq 11 \text{ мкм}$ для диаметра 100 мм.

Научная и практическая значимость исследования заключается в том, что:

– Спроектированы, изготовлены и отлажены новая установка с увеличенным объемом ростовой камеры и графитовый тепловой узел. Для установления оптимальных значений тепловых и динамических условий выращивания монокристаллов диаметром 100 мм выполнен анализ математического моделирования процесса. Определены тепловые и динамические

режимы выращивания монокристаллов на новой модернизированной установке Чохральского, позволившие разработать технологию изготовления монокристаллов антимонида индия диаметром до 100 мм со следующими основными электрофизическими и структурными параметрами: плотностью дислокаций не более 100 см^{-2} ; концентрацией носителей заряда от $2 \cdot 10^{14}$ до $1 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$; подвижностью основных носителей заряда от $5 \cdot 10^5$ до $3 \cdot 10^5 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$.

– На основе экспериментальных результатов разработаны технологические операции и создана сквозная технология, включающая новое технологическое и контрольно-измерительное оборудование, а также организовано опытно-промышленное производство полированных пластин InSb (100) диаметрами 50,8 мм, 76,2 мм и 100 мм производительностью 10 000 пластин в год для изготовления оптоэлектронных устройств.

– Изучены и определены оптимальные режимы отдельных технологических операций производства пластин InSb (калибрование монокристалла по диаметру, разделение монокристалла на пластины, шлифование и полирование пластин, отмывка пластин). Разработан состав многокомпонентной полировальной суспензии для антимонида индия (Патент на изобретение RU 2834696 C1, 12.02.2025. Заявка № 2024106566 от 13.03.2024).

– Разработана комплексная опытно-промышленная технология производства полированных пластин антимонида индия диаметром до 100 мм с кристаллографической ориентацией (100). Разработана технологическая документация с литерой «О₁» на комплексную технологию выращивания монокристаллов и получения полированных пластин антимонида индия диаметрами 50,8 мм, 76,2 мм, 100 мм.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

Представленные результаты в рамках диссертационной работы были получены с использованием современных методов исследований и испытаний с достаточно большим количеством проведенных экспериментов для получения достоверных данных, а также соответствием полученных результатов результатам других исследований. Более того, достоверность результатов подтверждается наличием публикаций в высокорейтинговых журналах и выступлениями на конференциях. Результаты диссертации сопоставляются с данными других авторов и существующими исследованиями в области выращивания монокристаллов антимонида индия и изготовления полированных пластин на их основе, что подтверждает их обоснованность и актуальность.

Личный вклад автора в данное исследование включает в себя анализ литературных источников, формулировку целей и задач работы, описание и реализацию ключевых экспериментальных методов, обработку и обобщение полученных данных, формулировку основных выводов и заключений, участие в написании и подготовке статей для публикации, а

также представление результатов на научных конференциях. Результаты работы автора были отмечены благодарностью Президента РФ.

Основные результаты диссертации опубликованы в 14 публикациях, из них 10 научных статей в рецензируемых изданиях, входящих в перечень ВАК РФ (4 в МБД, 6 – в базе RSCI), имеется 1 патент на изобретение.

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

Диссертация Козлова Романа Юрьевича соответствует критериям п. 2 Положения о порядке присуждения ученых степеней в НИТУ МИСИС, так как в ней на основании выполненных автором исследований содержится описание результатов комплексных исследований новых научно обоснованных технических и технологических решений в области технологии выращивания монокристаллов антимонида индия диаметром до 100 мм и изготовления на их основе полированных пластин, имеющие существенное значение для обеспечения технологической независимости Российской Федерации. Полученные в работе результаты имеют важное научное значение и являются перспективными в решении практических задач.

Экспертная комиссия приняла решение о возможности присуждения Козлову Роману Юрьевичу ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.3 — «Технология и оборудование для производства материалов и приборов электронной техники».

При проведении тайного голосования экспертная комиссия в количестве 4 человек, участвовавших в заседании, из 5 человек, входящих в состав комиссии, проголосовала: за 4, против нет, недействительных бюллетеней нет.

Председатель Экспертной комиссии



Л.В. Кожитов

20.05.2026