



**Акционерное общество «Оптрон»  
(АО «Оптрон»)**  
105187, г. Москва, ул. Щербаковская, д.  
53, к. 7  
тел.: + 7 495 366 22 66, факс + 7 495 366  
27 62  
e-mail: main@optron.ru  
www.optron.ru  
ОГРН 1027700006751, ОКПО 07605410  
ИНН/КПП 7719019691/771901001

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель Генерального директора  
по научно-техническому развитию

А.А.Чельный



«30»

марта

2026 г.

### ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу Козлова Романа Юрьевича «Разработка основ комплексной опытно-промышленной технологии получения полированных пластин антимонида индия диаметром до 100 мм для фотоприемных устройств средневолнового ИК диапазона», представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.2.3 – Технология и оборудование для производства материалов и приборов электронной техники.

Диссертационная работа, предоставленная на отзыв, состоит из введения, четырех глав, заключения и списка используемых источников из 127 наименований, изложена на 167 страницах машинописного текста, включает 55 иллюстраций и 25 таблиц.

#### **Актуальность темы диссертационного исследования**

Антимонид индия сегодня является основным материалом для изготовления оптоэлектронных приборов, работающих в инфракрасном диапазоне длин волн от 3 до 5 мкм.

Такие приборы предназначены как для гражданского, так и для специального применения. Интерес к антимониду индия многократно вырос в последние годы, однако спрос на него существенно превышает возможности поставок отечественной продукции – полированных пластин InSb.

При этом общемировой тенденцией является увеличение диаметра полупроводниковых монокристаллов и, соответственно, полированных пластин. Наряду с необходимыми электрофизическими характеристиками и совершенной структурой (низкая плотность дислокаций), критерии оценки качества пластин включают изменение толщины по пластине (TTV), прогиб (BOW), коробление (WARP), шероховатость порядка (Ra).

Разработка комплексной технологии от выращивания монокристаллов до изготовления полированных пластин антимонида индия диаметров до 100 мм позволит значительно увеличить объем выпуска конечной продукции, требуемой отечественными производителями ИК ФПУ, а также решить проблему импортозамещения. Таким образом, актуальность диссертационной работы Козлова Р.Ю. не вызывает сомнений.

### **Общая характеристика работы**

Диссертационная работа, предоставленная на отзыв, состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы из 127 наименований, приложений. Диссертация содержит 167 страниц, включая 55 рисунков и 25 таблиц.

Во введении автором работы обоснована актуальность выбранной темы диссертационной работы, сформулированы цель и задачи, представлены научная новизна и практическая значимость работы.

В главе 1 выполнен аналитический обзор отечественных и мировых тенденций развития технологий выращивания монокристаллов антимонида индия, а также технологий последующих механических и химико-механических операций для получения готовых полированных пластин. Проведен детальный анализ преимуществ и недостатков классического и модифицированного методов

Чохральского. Детально рассмотрены и проанализированы особенности каждого этапа обработки при изготовлении полированных пластин антимонида индия. Выделены наиболее технологичные подходы по каждой операции механической и химико-механической обработки.

В Главе 2 приведены методы исследований монокристаллов и методики выходного контроля продукции, полученной в результате использования оригинальной комплексной опытно-промышленной технологии.

В Главе 3 представлены результаты по разработке технологии выращивания монокристаллов антимонида индия диаметром до 100 мм, а также режимов операций изготовления полированных пластин. Выполнен анализ результатов математического моделирования тепловых условий и режимных параметров выращивания монокристаллов антимонида индия диаметром 100мм. На этой основе разработаны технические требования к увеличенному графитовому тепловому узлу, а также определены режимы выращивания монокристаллов InSb диаметром до 100 мм. Экспериментально подобраны и обоснованы режимы обработки монокристаллов и пластин на технологических операциях: калибрования монокристаллов; нанесения базовых срезов; разделения монокристалла на пластины; обработки боковой поверхности резанных пластин (нанесение фаски); двухстороннего шлифования; стадийной двухсторонней химико-механической полировки; очистки и отмывки полированных пластин.

В Главе 4 представлена разработанная оригинальная комплексная опытно-промышленная технология от выращивания монокристаллов до изготовления полированных пластин антимонида индия диаметром до 100 мм. На основе разработанного технологического маршрута изготовлены полированные пластины антимонида индия ориентации (100) диаметрами 50,8 мм, 76,2 мм и 100 мм, которые отвечают требованиям заказчиков – производителей оптоэлектронных приборов, работающих в средневолновом ИК-диапазоне.

В Заключении приводятся основные выводы и результаты работы.

Диссертация выполнена на высоком экспериментальном и теоретическом уровне. Результаты, полученные при выполнении диссертации, опубликованы в

ведущих рецензируемых научных журналах (14 публикаций), входящих в перечень ВАК, из которых 8 входят в перечень Scopus, и представлены на национальных и международных научных конференциях (11 докладов). Результаты работы, представленной в диссертации, в настоящее время востребованы в АО «Гиредмет» (г. Москва), АО «НПО «Орион» (г. Москва), АО «МЗ» Сапфир» (г. Москва), Физический институт имени П.Н. Лебедева РАН (г. Москва).

Автореферат достаточно полно отражает содержание диссертации.

### **Анализ научных положений, выносимых на защиту**

На защиту автор выносит 4 научных положения, которые обоснованы в главах 3–4.

Первое положение, выносимое на защиту, касается анализа результатов математического моделирования при создании нового оборудования для выращивания монокристаллов антимонида индия модифицированным методом Чохральского диаметром 100 мм.

Второе положение, выносимое на защиту, заключается в определении тепловых и динамических условий выращивания монокристаллов InSb с кристаллографической ориентацией (100) и разработке технологии выращивания монокристаллов антимонида индия диаметром 100 мм с требуемыми электрофизическими и структурными параметрами.

Третье положение, выносимое на защиту, состоит в разработке и внедрении в производство состава многокомпонентной полировальной суспензии для антимонида индия с кристаллографической ориентацией (100), позволяющей получить микрошероховатость полированной поверхности Ra не более 0,5 нм. (Патент на изобретение RU 2834696 C1 от 12.02.2025).

Четвёртое положение, выносимое на защиту, имеет значительный практический интерес. На основе экспериментальных исследований каждой технологической операции впервые разработана оригинальная комплексная опытно-промышленная технология изготовления полированных пластин

антимонида индия диаметром до 100мм, удовлетворяющих требованиям производства оптоэлектронных приборов и устройств средневолнового ИК-диапазона.

Все научные положения обоснованы автором в достаточной степени, формулировки и достоверность не вызывают сомнений.

### **Теоретическая и практическая ценность диссертации**

Теоретические и практические результаты состоят в создании комплексной технологии от выращивания монокристаллов до изготовления полированных пластин InSb (100) диаметрами 50,8 мм, 76,2 мм и 100 мм, а также организации их опытно-промышленного производства. Данные пластины обладают широким спектром применений в различных областях общехозяйственного и специального назначения.

### **Научная новизна**

Научная новизна диссертационной работы Козлова Р.Ю. состоит в том, что на основе математического моделирования создано новое оборудование для выращивания монокристаллов диаметром до 100 мм; впервые в России разработана опытно-промышленная технология выращивания монокристаллов антимонида индия диаметром 100 мм модифицированным методом Чохральского; разработан и запатентован новый состав многокомпонентной полировальной суспензии для антимонида индия с кристаллографической ориентацией (100); создана оригинальная комплексная опытно-промышленная технология изготовления полированных пластин антимонида индия диаметром 50,8 мм 76,2мм и 100 мм.

### **Достоверность и надёжность результатов**

Достоверность результатов подтверждается использованием современного технологического, измерительного и исследовательского оборудования, грамотным применением современных методов исследований; включая высокоразрешающую рентгеновскую дифрактометрию, оптическое сканирование,

атомно-силовую микроскопию. Объем измерений достаточен. Результаты исследований согласуются с результатами, опубликованными в зарубежных рецензируемых изданиях, и соответствуют современным представлениям о технологиях выращивания монокристаллов и последующей механической и химико-механической обработке пластин антимонида индия. Представленные результаты опубликованы автором в рецензируемых журналах, индексируемых в базе Scopus, представлены на международных научных конференциях, а также защищены Патентом.

### **Использование результатов диссертации**

Результаты, полученные в работе, представляют интерес для производителей оптоэлектронных приборов, работающих в ИК диапазоне. Подтверждением этого являются акты об использовании результатов диссертационной работы и апробации пластин в производстве, полученные от АО «Гиредмет» имени Н.П. Сажина, Физического института имени П.Н. Лебедева РАН, АО «НПО «Орион», АО «Московский завод «САПФИР».

### **Замечания**

При общем положительном впечатлении от диссертационной работы Козлова Р.Ю. следует, тем не менее, сделать ряд замечаний:

1. Разработан технологический маршрут комплексного опытно-промышленного производства от выращивания до изготовления полированных пластин. Однако, в работе отсутствует оценка пооперационного выхода годной продукции на каждой операции и итоговое значение выхода годных полированных пластин.
2. При оценке качества чистоты отмытых товарных пластин минимальный определяемый размер частиц составляет 0,22 мкм, что детектируется при длине волны контролирующего лазерного излучения 532 нм. Однако, уровень техники требует оценки числа частиц с меньшим размером в 0,18

мкм. Это требует перехода на измерения при длине волны лазерного излучения 435 нм.

3. На основе экспериментальных результатов определения скорости химико-механического полирования исключена операция химического травления шлифованных пластин. Тем самым был сокращен технологический маршрут. Однако было бы целесообразно дополнить экспериментальные результаты, подтверждающие возможность исключения химического травления, исследованиями глубины и структуры нарушенного слоя, что, к сожалению, не было выполнено автором.

Указанные замечания не снижают общего высокого научного уровня и ценности работы диссертанта. Поставленные цели достигнуты, задачи решены, полученные данные не вызывают сомнения. Работа является логически целостным и завершенным научным исследованием, в рамках которого получен ряд новых результатов, представляющих несомненный практический и научный интерес. Материал диссертации изложен последовательно, рисунки и графики полно иллюстрируют полученные автором результаты.

Таким образом, диссертация Козлова Романа Юрьевича «Разработка основ комплексной опытно-промышленной технологии получения полированных пластин антимонида индия диаметром до 100 мм для фотоприемных устройств средневолнового ИК диапазона» представляет собой законченное научное исследование, выполненное на высоком уровне, и полностью удовлетворяет требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней в «Национальном исследовательском технологическом университете «МИСИС», а ее автор заслуживает присвоения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.3 – Технология и оборудование для производства материалов и приборов электронной техники.

Диссертация Козлова Р.Ю. и отзыв заслушаны, обсуждены и утверждены на заседании научно-технического совета АО «Оptron» (протокол №3 от «25» марта 2026 г.). Отзыв одобрен единогласно участвовавшими в заседании специалистами

путем открытого голосования: «за» – 9 человек, «против» – 0 человек (нет), «воздержались» – 0 человек (нет).

Отзыв подготовили:

Председатель НТС,

Заместитель Генерального директора

По научно-техническому развитию, к.т.н.

Ученый секретарь,

Начальник лаборатории исследования

полупроводниковых материалов

Начальник научно-производственного комплекса

А.А.Чельный

Д.Д.Саникович

М.В.Меженный



*Подписи и должности  
удостоверено*

Руководитель  
УПРАВЛЕНИЯ ПО РАБОТЕ  
С ПЕРСОНАЛОМ  
Гришина Т.В.