



ОТЗЫВ

на автореферат 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»
на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 2.2.3 - Технология и оборудование для производства
материалов и приборов электронной техники

Актуальность

Антимонид индия является одним из наиболее востребованных материалов, применяемых при изготовлении инфракрасных фотоэлементов высокой чувствительности (фотодиодов, фотопроводников и фотомагнитных детекторов) и высокочувствительных датчиках магнитного поля, работающих на основе эффектов Холла и магнетосопротивления.

Промышленное производство этого материала, включая объемные монокристаллические слитки и полированные пластины, а также совершенствование технологий их изготовления является научной и технической задачей, решение которой направлено на укрепление технологического суверенитета страны.

По этой причине представленная диссертационная работа, посвященная разработке основ комплексной опытно-промышленной технологии получения полированных пластин антимонида индия диаметром до 100 мм для фотоприемных устройств средневолнового инфракрасного диапазона, является актуальной.

Научная новизна результатов диссертации заключается в том, что автором:

1. Впервые в России разработана промышленная технология выращивания монокристаллов антимонида индия диаметром 100 мм модифицированным методом Чохральского, основным достоинством которого является получение поликристаллического материала вытягиванием на затравку, что позволяет сократить такие технологические операции как синтез и зонная очистка. Из полученного поликристалла выращены монокристаллы антимонида индия в кристаллографическом направлении $\langle 100 \rangle$, 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 $(3 - 5) \cdot 10^5 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$. В открытых зарубежных литературных источниках промышленное использование подобной технологии отсутствует.

2. При разработке технологии выращивания слитков монокристаллического антимонида индия был использован цифровой двойник процесса выращивания монокристаллов антимонида индия, по результатам анализа которого спроектирован и изготовлен графитовый тепловой узел на диаметр слитков 100 мм с донно-боковым нагревом для поддержания высокого осевого градиента температуры (25 - 35 град./см) на фронте кристаллизации.

3. Для процесса полирования пластин антимонида индия с кристаллографической ориентацией $\langle 100 \rangle$ разработан, апробирован и запатентован новый состав многокомпонентной полировальной суспензии (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.

4. Впервые в России создана оригинальная комплексная 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: общее отклонение от плоскостности (TTV) менее 4 мкм, прогиб (BOW) менее 5 мкм, коробление (WARP) менее 7 мкм для диаметра слитка 50,8 мм; TTV менее 4 мкм, BOW менее 7 мкм, (WARP) менее 9 мкм для диаметра 76,2 мм; TTV менее 6 мкм, BOW менее 7 мкм, WARP менее 11 мкм для диаметра 100 мм.

Достоверность и обоснованность научных результатов и выводов, изложенных в диссертации, подтверждается использованием современного технологического, измерительного и исследовательского оборудования, современных методов исследований; достаточной выборкой экспериментальных образцов и объёмом измерений; непротиворечивостью результатам опубликованных зарубежных исследований и современным представлениям о технологиях выращивания монокристаллов и последующей механической и химико-механической обработки пластин антимонида индия.

Теоретическая и практическая значимость диссертации заключается в том, что разработанные и освоенные в производстве промышленные технологии выращивания модифицированным методом

Чохральского слитков монокристаллического антимонида индия диаметром 100 мм и изготовления полированных пластин диаметром 50,8 мм 76,2 мм и 100 мм с микрошероховатостью поверхности Ra не более 0,5 нм успешно применяются для выпуска линейных и матричных ИК фотоприемников, а полученные расчеты могут быть использованы для формирования критериев подобия при решении аналогичных задач при разработке других полупроводниковых материалов группы $A^{III}B^V$.

В качестве замечаний, судя по автореферату, следует отметить:

1. Указано одновременное сочетание таких свойств антимонида индия как хрупкость и мягкость, но не приведены аспекты их проявления в разрабатываемых технологических процессах.

2. Шлифование и полирование – это официальные технические термины, обозначающие процессы обработки, согласно ГОСТ 23505-79 «Обработка абразивная. Термины и определения». Термины «шлифовка» и «полировка», встречающиеся в автореферате, являются разговорными вариантами и в нормативно-технической документации не применяются.

3. В автореферате отсутствуют сведения о метрологическом обеспечении разработанной и освоенной в производстве промышленной технологии роста слитков и изготовления полированных пластин антимонида индия, возможно данные об аттестованных методиках измерения и результатах поверки средств измерений приведены в диссертационной работе.

Однако, указанные замечания не снижают значимости полученных автором результатов.

Проделанная автором работа заслуживает внимания, полезна с теоретической и практической точек зрения. Результаты работы обоснованы на современном научном уровне и являют собой законченное научное исследование.

Автореферат диссертации составлен с соблюдением установленных требований, дает адекватное представление о работе и достаточно полно раскрывает ее ценность.

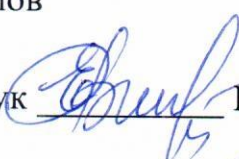
Основные научные и практические результаты работы апробированы в 13 научных публикациях, рекомендованных ВАК (в том числе 8 работ в изданиях, индексируемым в Scopus), и 11 докладах на всероссийских и международных научно-технических конференциях, а также получен 1 патент на изобретение.

Выводы:

Диссертация Козлова Романа Юрьевича содержит решение важной научно-технической задачи по разработке основ комплексной

промышленной технологии получения полированных пластин антимонида индия диаметром до 100 мм для фотоприемных устройств средневолнового ИК-диапазона, является законченной научно-квалификационной работой и соответствует требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней в «Национальном исследовательском технологическом университете «МИСИС», а ее автор, Козлов Роман Юрьевич, заслуживает присвоения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.3 - Технология и оборудование для производства материалов и приборов электронной техники.

Руководитель департамента материалов
АО «МНТЦ МИЭТ»,

кандидат физико-математических наук  Ежлов Вадим Сергеевич

+7 (903) 548-69-05

ezhlov@yandex.ru

Москва, Варшавское ш., 26, стр. 11.

13.05.2026 г.

Подпись Ежлова В.С. заверяю:

Специалист по работе с персоналом АО «МНТЦ МИЭТ»

 Щепетова Ю.Е.

« 13 » мая 2026 г.

