

ОТЗЫВ

на автореферат диссертационной работы Козлова Романа Юрьевича
**«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

Актуальность. Диссертационная работа Козлова Романа Юрьевича посвящена исследованиям и созданию технологии монокристаллов диаметром до 100 мм с последующим изготовлением на них полированных пластин InSb кристаллографической ориентации (100). Поскольку InSb подложки являются одним из основных материалов для производства оптоэлектронных приборов инфракрасного диапазона 3-5 мкм, то актуальность и практическая значимость проведенной обширной работы не вызывают никаких сомнений.

Научная новизна состоит в следующем:

1. Впервые в России разработана опытно-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. 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 $3 \cdot 10^5 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$.

2. Выполнено математическое моделирование теплового узла и процесса выращивания монокристаллов антимонида индия диаметром 100 мм, а также проведен анализ 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).

3. Впервые предложен, апробирован и запатентован состав многокомпонентной полировальной суспензии для антимонида индия с кристаллографической ориентацией (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.

4. 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: $TTV \leq 4 \text{ мкм}$, $BOW \leq 5 \text{ мкм}$, $WARP \leq 7 \text{ мкм}$ для диаметра 50,8 мм; $TTV \leq 4 \text{ мкм}$, $BOW \leq 7 \text{ мкм}$, $WARP \leq 9 \text{ мкм}$ для

диаметра 76,2 мм; $TTV \leq 6$ мкм, $BOW \leq 7$ мкм, $WARP \leq 11$ мкм для диаметра 100 мм. Достоверность результатов исследования подтверждается применением современного контрольно-измерительного и аналитического оборудования, а также публикацией основных тезисов работы в 14 статьях в российских и иностранных изданиях, в том числе цитируемых в базе данных Scopus, из них 1 патент, и в 11 тезисах докладов на Всероссийских и Международных конференциях.

В качестве замечания к автореферату диссертации следует отметить следующее:

1. В автореферате недостаточное внимание уделено критически важному этапу подготовки подложек для молекулярно-лучевой эпитаксии (МЛЭ). В отличие от металлоорганического химического осаждения из газовой фазы (МОС-гидридная эпитаксия), МЛЭ предъявляет значительно более строгие требования к состоянию поверхности подложки. Для обеспечения высокого качества эпитаксиальных слоев, выращиваемых методом МЛЭ, необходимо обязательное удаление нарушенного механической резкой поверхностного слоя (нарушенного слоя) путем прецизионной химической или химико-механической полировки. Из автореферата непонятно, достаточно ли состояния поверхности подложки, полученного при полировке разработанной многокомпонентной суспензии для применения в молекулярно-лучевой эпитаксии или нет?

Однако, высказанное замечание никак не умаляет высокой ценности диссертационной работы. На основе вышеизложенного считаю, что диссертационная работа Козлова Романа Юрьевича и ее содержание соответствуют специальности 2.2.3 – Технология и оборудование для производства материалов и приборов электронной техники.

Диссертация 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.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ПОЛУПРОВОДНИКОВ ИМ. А.В. РЖАНОВА Сибирского отделения Российской академии наук (ИФП СО РАН), 630090, г. Новосибирск, пр. Лаврентьева 13

Ио заведующего лабораторией молекулярно-лучевой эпитаксии A_3V_5 материалов, старший научный сотрудник ИФП СО РАН,
к.ф.-м.н.  Гуляев Дмитрий Владимирович,
gulyaev@isp.nsc.ru, 8-913-759-29-16

06.05.2026

Подписи удостоверяю
Ученый секретарь ИФП СО РАН,
к.ф.-м.н.

 Аржанникова София Андреевна

