

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.

В свете последних происходящих геополитических событий становится очевидно, что способность страны уверенно противостоять внешним воздействиям определяется, помимо прочего, наличием внутреннего производства материалов, предназначенных для создания передовых изделий микроэлектроники. Одним из таких материалов по праву является антимонид индия, на основе которого производится подавляющая часть приборов средневолнового инфракрасного диапазона в том числе и двойного назначения. Исследования, направленные на получение новых знаний, установления закономерностей и решение практических задач в области синтеза монокристаллического антимонида индия и технологических переделов этого материала являются несомненно актуальными.

Научная новизна достигнутых в диссертации результатов 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; $TTV \leq 6 \text{ мкм}$, $BOW \leq 7 \text{ мкм}$, $WARP \leq 11 \text{ мкм}$ 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 объемом 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 основы комплексной опытно-промышленной технологии получения полированных пластин антимонида индия диаметром до 100 мм для фотоприемных устройств средневолнового ИК диапазона позволили создать устойчивое производство востребованного полупроводникового материала с необходимым качеством на уровне зарубежных аналогов.

В качестве замечаний можно отметить следующее:

1. Скорости верхнего и нижнего шлифовальных столов различаются и составляют 6,7 и 20 об/мин, соответственно. Означает ли это, что удаление материала с пластины происходит неравномерно сверху и снизу? Как в таком случае это согласуется с утверждением, приведенном на стр. 10 автореферата: «...для достижения требуемых основных геометрических параметров (TTV, BOW, Warp), а также высокой планарности поверхности целесообразно проводить двухстороннюю обработку, которая обеспечивает равномерную нагрузку на обе стороны пластины, что естественным образом компенсирует вносимые напряжения на лицевой и обратной сторонах...»?

2. Автореферат не лишен опечаток.

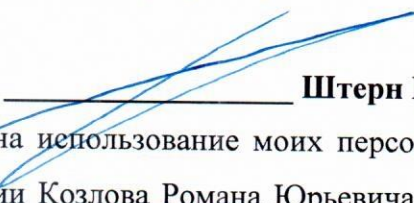
Однако, указанные замечания не снижают значимости полученных автором результатов, а носят скорее рекомендательный характер.

Автореферат диссертации составлен с соблюдением установленных требований и дает достаточно полное представление о выполненном диссертационном исследовании.

Основные научные и практические результаты работы изложены в 13 научных публикациях, представленных в научно-технических изданиях, рекомендованных ВАК (в том числе 8 работ в изданиях, индексируемым в Scopus). Также основные положения диссертации обсуждались в 11 докладах на всероссийских и международных научно-технических конференциях. Получен 1 патент на изобретение.

Таким образом, считаю, что диссертация Козлова Р.Ю. 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.

Национальный исследовательский университет "Московский институт электронной техники", доктор технических наук, профессор


Штерн Максим Юрьевич

Я, Штерн М.Ю., даю согласие на использование моих персональных данных в целях, связанных с защитой диссертации Козлова Романа Юрьевича и их дальнейшую обработку.

Подпись д.т.н., проф. Штерна Максима Юрьевича удостоверяю, Ученый секретарь Ученого совета НИУ МИЭТ, к.т.н., доцент



Козлов А.В.

07 мая 2026 г

Почтовый адрес: 124498, г. Москва, г. Зеленоград, площадь Шокина, дом 1.

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Национальный исследовательский университет "Московский институт электронной техники"

Телефон: 8-916-924-74-33

Эл. почта: : m.y.shtern@org.miet.ru