

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ЭКСПЕРТНОЙ КОМИССИИ

о защите диссертации Н.Ю. Комаровского на тему «Развитие процедур измерения неоднородности структур, оценки сопротивления разрушению и приемов когнитивной графики для контроля и управления качеством монокристаллов GaAs», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.1 – «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов» и состоявшейся в НИТУ МИСИС 23.06.2026 г.

Диссертация принята к защите Диссертационным советом НИТУ МИСИС 13.04.2026, протокол № 38.

Диссертация выполнена на кафедре металловедения и физики прочности НИТУ МИСИС. Научный руководитель – д.т.н., профессор кафедры металловедения и физики прочности НИТУ МИСИС Кудря Александр Викторович.

Экспертная комиссия утверждена Диссертационным советом НИТУ МИСИС (протокол № 38 от 13.04.2026 г.) в составе:

1. Савченко Александр Григорьевич, д.ф.-м.н., заведующий кафедрой физического материаловедения НИТУ МИСИС – председатель комиссии;

2. Конюхов Юрий Владимирович, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой обогащения и переработки полезных ископаемых и техногенного сырья НИТУ МИСИС;

3. Маркелов Владимир Андреевич, д.т.н., главный научный сотрудник отдела разработки циркониевых материалов акционерного общества «Высокотехнологический научно-исследовательский институт неорганических материалов имени академика А.А. Бочвара»;

4. Гладковский Сергей Викторович, д.т.н., заведующий лабораторией деформирования и разрушения федерального государственного учреждения науки Института машиноведения им. Э.С. Горкунова Уральского отделения Российской академии наук;

5. Штерн Максим Юрьевич, д.т.н., начальник научно-исследовательской лаборатории «Термоэлектрические материалы и системы» федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «Московский институт электронной техники».

Ведущая организация: федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург.

Экспертная комиссия отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- для панорамных изображений ямок травления на пластинах GaAs в 256 оттенках серого разработан алгоритм их измерений (с учетом наложения отдельных кадров) с последующей оценкой неоднородности размещения ямок на основе статистики полиэдров Вороного;

- установлено, что поворот главных диагоналей индентора относительно плоскостей скола $\{110\}$ монокристалла GaAs приводит к образованию трещин в кристаллографических направлениях $\langle 100 \rangle$, сдерживающих разрушение по грани Ga. Их слияние сопряжено с риском образования сколов;

- прямыми наблюдениями процесса выращивания монокристаллов GaAs и InSb в кристаллографическом направлении [111] выявлены закономерности влияния параметров процесса на эффект канальной неоднородности (facet effect), предложен критерий ранжирования критических параметров процесса выращивания монокристаллов группы $A^{III}B^V$, основанный на их влиянии на рост линейных размеров канала;

- на основе применения предложенных в работе приемов когнитивной графики (при анализе баз данных производственного контроля технологии выращивания монокристаллов GaAs) выявлены области с доминирующим типом зависимости критических параметров технологии, обеспечивающие низкую плотность структурных дефектов.

Теоретическая значимость работы заключается в следующем:

- показано, что группам темных объектов на изображениях ямок травления, выделяемых «статистической» (на основе гистограмм распределения значений площадей) и «физической» (по прямым наблюдениям морфологии ямок травления в сканирующем электронном микроскопе) фильтрацией, в координатах «площадь объекта S – его периметр P », отвечали различные значения тангенсов углов наклона аппроксимирующих прямых на сводной зависимости, при этом, линейность отдельных участков зависимости отражает самоподобие наблюдаемых физических явлений, а различие их параметров – отличие в природе объектов;

- установлено, что наблюдаемое распределение значений параметров технологии выращивания монокристаллов GaAs методом Чохральского и его продукта в основном отлично от нормального; одновременно выявлены закономерности влияния указанных параметров на эффекты канальной неоднородности и предложен критерий ранжирования критических параметров выращивания монокристаллов соединений группы $A^{III}B^V$;

- установлено, что при воздействии индентора на поверхность монокристалла GaAs в первую очередь образуются медианные трещины по грани летучего компонента, а поворот главных диагоналей индентора относительно плоскостей скола {110} приводит к активному развитию радиальных трещин в направлениях $\langle 100 \rangle$.

Практическая значимость полученных соискателем результатов исследования подтверждается тем, что:

- применение алгоритма ретроспективного анализа баз данных процесса выращивания монокристаллов методом Чохральского в производственных условиях АО «Гиредмет» позволило повысить качество выпускаемой продукции – обеспечить низкую плотность дислокаций ($< 1,8 \cdot 10^4 \text{ см}^{-2}$) и улучшить однородность их распределения по сечению монокристаллической пластины;

- разработанные методика оценки вязкости разрушения и цифровые процедуры измерения структуры монокристаллов были использованы в физическом институте имени П.Н. Лебедева РАН, что позволило сопоставить статистику распределения дефектов с параметрами технологии и уточнить характеристики их трещиностойкости, повысив тем самым выход годной продукции;

- предложенные алгоритмы выбора порога перевода сшитых в панораму изображений дислокационной структуры в бинарные, а также определения порога фильтрации шумов помимо практической и методической полезности могут быть использованы в учебном процессе на профильных кафедрах технических университетов.

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что в работе было получено и проанализировано большое количество данных с широким использованием современных методов исследования и обработки результатов экспериментов. Результаты работы не противоречат современным представлениям физического материаловедения и, в частности, металловедения и термической обработки материалов, и сопоставимы с опубликованными данными других авторов по аналогичной тематике. Результаты работы были апробированы на 10 научных конференциях.

Личный вклад соискателя состоит в непосредственном участии в разработке плана экспериментов, подготовке образцов, разработке цифровых процедур, проведении экспериментов, анализе результатов, подготовке статей и тезисов докладов на научных конференциях. Основные положения и выводы диссертационной работы также сформулированы лично автором.

Основные результаты работы опубликованы в виде 14 статей в журналах, входящих в базы данных Scopus и WoS, а также в 11 тезисах в сборниках трудов российских и международных научных конференций.

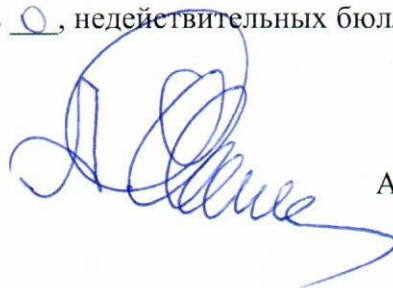
Пункт 2.6 Положения о порядке присуждения ученой степени кандидата наук НИТУ МИСИС соискателем ученой степени не нарушен.

Диссертация Н.Ю. Комаровского соответствует критериям п. 2 Положения о порядке присуждения ученых степеней в НИТУ МИСИС, так как в ней изложены новые научно-обоснованные методы цифровизации измерения дислокационной структуры монокристаллов арсенида галлия и ретроспективного анализ баз данных производственного контроля процесса их выращивания. Внедрение предложенных решений вносит существенный вклад в повышение качества отечественных материалов электроники.

Экспертная комиссия приняла решение **о возможности присуждения** Комаровскому Никите Юрьевичу ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.1 – «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов».

Результаты голосования: при проведении тайного голосования экспертная комиссия в количестве 5 человек, участвовавших в заседании, из 5 человек, входящих в состав комиссии, проголосовала: за 5 человек, против 0, недействительных бюллетеней 0.

Председатель Экспертной комиссии



А.Г. Савченко

23.06.2026 г.