

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Комаровского Никиты Юрьевича
«Развитие процедур измерения неоднородности структур, оценки сопротивления разрушению и приемов когнитивной графики для контроля и управления качеством монокристаллов GaAs», представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности -
2.6.1. Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

Темпы роста и развития отрасли твердотельного электроники, помимо закономерного роста спроса на полупроводниковые монокристаллы, также определяет и рост требований к их качеству. Однако, практически все процессы кристаллизации сплавов при высоких температурах и в различных газовых средах зависят от большого числа параметров, незначительное на первый взгляд изменение которых может сильно повлиять на свойства конечного продукта. Поэтому возможность оптимизации физико-механических свойств и структуры монокристаллов GaAs на основе подбора эффективного режима процесса выращивания определяет интерес к анализу баз данных производственного контроля

Цифровые средства мониторинга процесса роста монокристалла и промежуточного контроля его структурных и электрофизических параметров позволяют получать представительный объем данных, что определяет эффективность применения инструментов ретроспективного анализа для выявления критических факторов технологии, определяющих качество выпускаемой продукции. Эффективность такого подхода конкурирует с активным экспериментом (поиск зависимости качества материала γ от ξ_k , в пределах поля допуска $[\xi_k^{min}; \xi_k^{max}]$, по отклику $\delta\gamma_i$, однако различный порядок материальных затрат определяет актуальность получения из массивов необходимых данных.

Наибольшее распространение при решении такого рода задача получили методы, в основе которых лежат допущения о едином пространстве параметров технологии и гауссовом (нормальном) распределении их значений. Однако на практике применение классической статистики для поиска критических факторов технологии и использование на этой основе принципа управления качеством продукта «по значительному отклонению» может быть ограничено в связи с отсутствием единого пространства параметров и несоответствия фактического распределения значений параметров нормальному закону.

В этой связи логика поиска ключевых факторов технологии предусматривает определение границ областей с доминирующим типом зависимости, выявление действующих в них закономерностей, лимитирующих разброс качества конечного продукта. Именно поэтому работа Комаровского Н.Ю., посвященная развитию приемов анализа графических изображений и цифровых процедур измерения структур, является актуальной.

Диссертантом получен ряд интересных научных результатов, которые могут быть полезны для различных направлений практического материаловедения:

- Показано, что распределения значений температурных и динамических параметров процесса выращивания монокристаллов GaAs методом Чохральского в кристаллографическом направлении $[100]$ не подчиняются нормальному закону, в связи с чем, закономерно наблюдалось существенное расхождение между фактическими и прогнозируемыми в рамках регрессионной модели результатами;

- Оптические и электрофизические измерения концентрации электронов проводимости образцов n-GaAs, легированных теллуром и кремнием не выявили влияния природы примесей на определение концентрации свободных носителей зарядов.

Эти и другие результаты определили научную новизну работы, а практическая значимость не вызывает сомнений, что зафиксировано актами внедрения.

Ценность работы усматривается также в том, что практические подходы к анализу изображений с различной интенсивностью оттенков серого цвета и разбиения пространства на полиэдры Вороного-Дирихле, по всей видимости, могут быть опробованы при анализе

макроструктуры многофазных материалов, к которым относятся силицированные графиты различных типов, а также при исследовании зародышеобразования и кинетики роста углеродных и неметаллических материалов из газовой фазы.

Основные результаты, полученные в ходе научной работы, достаточно опубликованы в виде 14 статей в рецензируемых журналах, входящих в базы данных Scopus и WoS и апробированы на 10 конференциях: XI-я Евразийской научно-практической конференции Прочность неоднородных структур (ПРОСТ-2023), г. Москва 2023г., II и III Международной научно-практической конференции «Редкие металлы и материалы на их основе: технологии, свойства и применение» (РедМет-2022 и РедМет-2024), г. Москва, 2022 и 2024 гг., Национальной научно-технической конференции с международным участием «Перспективные материалы и технологии» («ПМТ-2024»), г. Москва 2024 г., XIV и XV Научно-практической конференции молодых учёных и специалистов НПО «Орион», г. Москва 2025 и 2026 гг., 14 и 15-ом Международной Научно-практической конференции по физике и технологии наногетероструктурной СВЧ электроники «Мокеровские чтения», г. Москва 2023 и 2024 гг., Научно-техническая конференция АО «НПП «Исток» им. Шокина», г. Фрязино 2023г., XXVII Международной научно-технической конференции по фотоэлектронике и приборам ночного видения НПО «Орион», г. Москва 2024г. и 10-ом Российском форуме «Микроэлектроника 2024», г. Сочи 2024г.

По автореферату диссертации можно сделать следующие замечания:

- 1) Полезным было бы оценить эффективность применения существующих анализаторов изображения (напр. Siams, THIXOMET) для измерения анализа структуры исследуемых в работе материалов.
- 2) В работе достаточно убедительно показана эффективность подбора оптимальных температурных и динамических параметров процесса выращивания для получения монокристаллов GaAs с пониженной плотностью структурных дефектов. Однако ничего не сказано про вклад в качество материала чистоты исходных компонентов.
- 3) Автор работы использует термин «когнитивная графика», но не дает четкого определения, что под этим подразумевается.

Однако сделанные замечания не снижают общего положительного впечатления от работы. Диссертация Комаровского Н.Ю. «Развитие процедур измерения неоднородности структур, оценки сопротивления разрушению и приемов когнитивной графики для контроля и управления качеством монокристаллов GaAs», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук является законченной научно-квалификационной работой, соответствует требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней в НИТУ МИСИС», а автор работы Комаровский Никита Юрьевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.1 «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов».

Главный технолог по производству
углерод-карбидокремниевых материалов
Акционерного общества «Научно-исследовательский
институт конструкционных материалов
на основе графита «НИИГрафит»,
доктор технических наук по специальности
2.6.5. «Порошковая металлургия и композиционные
материалы»
Бубненко Игорь Анатольевич,
111524, г. Москва, Электродная ул, д.2, стр.1
Тел. +7(495) 278-00-08, доб. 28-50
e-mail: IBubnenkov@rosatom.ru

Даю согласие на обработку моих персональных данных, связанных с защитой диссертационной работы Комаровского Никиты Юрьевича.



И.А. Бубенков

Подпись и должность Бубенкова Игоря Анатольевича подтверждаю

05.06.2016



А.И. Голиней Директор АО «НИИГрафит»

М.П.