

## ОТЗЫВ

научного руководителя на диссертацию  
Трофимова Александра Александровича

**«Технология разделения на кристаллы сверхвысокочастотных монолитных интегральных схем на гетероструктурах AlGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub>»,**  
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.27.06 – «Технологии и оборудование для производства полупроводников, материалов и приборов электронной техники»

Выпускник факультета «Электроники и оптоэлектронной техники» Московского государственного института радиотехники электроники и автоматики (МИРЭА) Трофимов А.А. работает в Институте сверхвысокочастотной полупроводниковой электроники Российской академии наук (ИСВЧПЭ РАН) с 2005 года по настоящее время. За время работы зарекомендовал себя как исследователь, способный самостоятельно решать сложные задачи, анализировать и систематизировать информацию, делать выводы и обобщать практические рекомендации. Принимал непосредственное участие в научно-исследовательских работах.

Научные интересы Трофимова А.А. лежат в области исследования проблем шлифования свободным абразивом, полирования, разделения приборных пластин из различных материалов на отдельные кристаллы и определения рациональных технологических методов, обеспечивающих необходимый выход годных и требуемые технические параметры кристаллов.

Актуальность темы диссертации заключается в решении задач, связанных с проблемами качества разделения приборных пластин на кристаллы сверхвысокочастотных монолитных интегральных схем на гетероструктурах AlGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub> со сложными конструктивными особенностями. Являясь перспективными материалами современной СВЧ электроники, отечественные структуры на основе Ga<sub>N</sub> чаще всего изготавливаются на подложках сапфира и карбида кремния, технология

обработки которых отличается от традиционной кремниевой. Кроме того, современные трехмерные СВЧ МИС обладают специфическими конструктивными особенностями, которые не позволяют применить известные решения по разделению пластины на кристаллы напрямую без потери качества.

Автором исследуются зависимости температуры работающего СВЧ прибора и упругие напряжения, возникающие из-за рассогласования кристаллических решеток GaN и подложки, в результате чего обоснован выбор допустимого диапазона конечной толщины для приборных пластин сапфира и карбида кремния с изготовленными на них трехмерными СВЧ МИС на гетероструктурах AlGaN/GaN, при котором обеспечивается эффективное теплоотведение при работе отдельного кристалла и сохранение целостности пластины при последовательности операций разделения на кристаллы. Предложен метод защиты СВЧ МИС на гетероструктурах AlGaN/GaN со сложными конструктивными особенностями при операциях шлифования, полирования и резки приборных пластин сапфира и карбида кремния на отдельные кристаллы, который обеспечивает защиту СВЧ МИС, изготовленных на пластине, с учетом их особенностей, однородность планаризирующей плоскости, необходимую стабильность и химическую инертность, обладает гибкостью применения, а также соответствует современным ключевым требованиям для приклеивания приборных пластин на диск-носитель для последующих операций шлифования и полирования. Детально рассматривается определение режимов одностороннего шлифования и полирования свободным абразивом приборных пластин сапфира и карбида кремния, содержащих сверхвысокочастотные монолитные интегральные схемы на гетероструктурах AlGaN/GaN, обеспечивающие, при достижении рекомендованного диапазона толщины для приборных пластин, высокое качество поверхности. В данной работе впервые осуществлено разделение на отдельные кристаллы трехмерных СВЧ МИС на гетероструктурах AlGaN/GaN, изготовленных на приборных пластинах

сапфира и карбида кремния, с выходом годных не уступающим существующим показателям для планарных изделий микроэлектроники.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, подтверждается широким использованием научных работ отечественных и зарубежных авторов по вопросам резки пластин на кристаллы, процессам механической обработки пластин и свойствам материалов, а также применением математических моделей и компьютерного моделирования с использованием известных программ и формул. Высокий уровень объективности и адекватности выводов подтверждается также использованием прецизионных измерительных приборов.

Достоверность и новизна положений и выводов, сформулированных в диссертации, обусловлена четкой логикой ее построения, обоснованностью предлагаемых решений и выводов, а также использованием их в научных работах ИСВЧПЭ РАН. Основные результаты диссертационного исследования докладывались на международных и отечественных научных конференциях, а также опубликованы в 13 печатных работах, включая 7 работ, опубликованных в научных журналах, входящих в перечень изданий, рекомендованных ВАК Министерства образования и науки РФ для публикации основных научных результатов диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук.

Диссертация Трофимова А.А. является законченной научно-исследовательской работой, посвящена решению важной задачи и несет практическую значимость. Результаты, полученные в ходе исследования, были использованы при выполнении прикладной научно-исследовательской и экспериментальной работы: «Разработка базовой технологии создания МИС усилителей мощности и маломощных усилителей на нитридных наногетероструктурах для приемо-передающих модулей на частоту 8-12 ГГц» по заказу Минобрнауки России (Соглашение о предоставлении субсидии № 14.607.21.0011 от 05 июня 2014 г., уникальный идентификатор

проекта RFMEFI60714X0011), а также при выполнении опытно-конструкторской работы: «Разработка комплекта монолитных интегральных схем 5 мм диапазона длин волн», шифр «Многоцветник-22», Государственный контракт №13411.1400099.11.018 от 02 апреля 2013 г., выполненный в рамках реализации государственного оборонного заказа.

Отдельно следует отметить личные качества соискателя. За время работы над диссертацией Трофимов А.А. продемонстрировал способность к творческому мышлению, целеустремленность, хорошую ориентацию в предмете исследования, а также способность выполнять глубокие теоретические исследования, проявив себя как инициативный ученый, способный решать сложные научные задачи в области СВЧ электроники. Структура и содержание представленного диссертационного исследования свидетельствует о научной зрелости диссертанта, позволяющей самостоятельно участвовать в решении научно-теоретических и практически значимых проблем СВЧ электроники.

В заключение следует подчеркнуть, что представленная к защите работа Трофимова А.А. отличается новизной, практической значимостью, комплексностью анализа, логической стройностью и представляет собой завершённый научный труд, отвечающий необходимым требованиям, предъявляемым ВАК РФ к кандидатским диссертациям, и может служить основанием для присвоения диссертанту ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.27.06 - «Технология и оборудование для производства полупроводников, материалов и приборов электронной техники».

Научный руководитель  
Директор ИСВЧПЭ РАН  
д.т.н., профессор



С.А. Гамкредидзе