

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Катаева Сергея Владимировича «**Корпуса изделий мощной СВЧ и силовой твердотельной электроники с теплоотводами из новых материалов с высокой теплопроводностью**», представленную на соискание учёной степен кандидата технических наук по специальности 05.27.01 - Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро - и наноэлектроника, приборы на квантовых эффектах.

Работа Катаева С.В. посвящена отводу тепла в изделиях мощной СВЧ и силовой твердотельной электроники. Эту функцию, как правило, выполняют корпуса изделий, теплоотводящие элементы в которых обычно выполняют из импортной, высокотоксичной керамики на основе оксида бериллия. В России, к сожалению, такое аналогичное производство не достигло промышленного уровня. Поэтому поиск альтернативных материалов с высокой теплопроводностью является актуальной научной задачей. В настоящее время российские и зарубежные специалисты ведут активные работы по использованию в электронике алюмонитридной керамики, поликристаллического алмаза и алмаз-карбидкремниевое композита. Выполненные исследования соискателем Катаевым С.В. проведены именно в направлении теплофизических свойств выше упомянутых полупроводниковых изделий с применением алюмонитридной керамики, керамики на основе поликристаллического алмаза и алмаз-карбидкремниевое композита. В этом смысле работа является весьма актуальной и заслуживает достаточно высокого внимания.. В работе, что весьма важно, в исследовании использован комплексный подход, а именно, исследования проведены с учетом всех факторов в тепловыделяющих конструктивных элементах изделий и с учетом технологических факторов, возникающих в процессе производства. Выявлена особенность и практически показана эффективность корпусов с теплоотводами из новых материалов, в частности, при применении экологически чистой ALN керамики с теплопроводностью  $170-230 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$ ., которая по своим свойствам в определенных эксплуатационных режимах изделий, может быть альтернативой импортной BeO керамике, а также полиалмаза с теплопроводностью до  $2000 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$  и АКК композита с теплопроводностью до  $600 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$ .. Соискатель исследовал и практически предложил технологию монтажа активных полупроводниковых кристаллов благодаря найденному технологическому фактору согласованности по тепловому расширению алюмонитридной керамики и других рассмотренных

композитов с кремнием, что чрезвычайно важно при работе с «большими» размерами полупроводниковых кристаллов.

В диссертационной работе обоснована актуальность работы, раскрыты научные положения и практические результаты, сформулированы цели и задачи, решаемые в диссертации. Отмечены научная новизна и практическая значимость работы, а также приведены основные положения, выносимые на защиту. Диссертантом рассмотрены различные конструкции корпусов мощных СВЧ транзисторов с BeO керамикой, а также разработанные диссертантом корпуса мощных СВЧ транзисторов с AlN керамикой, полиалмазом и АКК композитом. Приведено сравнение их тепловых и других электрических параметров приборов на подложках из различных материалов. На основании теоретического обоснования выбора систем металлизации AlN керамики, полиалмаза и АКК композита сделан вывод, что в качестве первого слоя при вакуумном осаждении металлов наиболее предпочтителен титан, который может химически взаимодействовать с AlN керамикой, полиалмазом и АКК композитом.

Показаны результаты разработки металлизации пластин из AlN керамики вакуумным осаждением металлов, толстыми слоями меди, пастами на основе тугоплавких металлов. Приведены системы и режимы металлизации AlN керамики с тонкоплёночной металлизацией, позволяющей сборку теплоотводящих элементов в корпусах мощных СВЧ транзисторов, интегральных схем и т.п. пайкой высокотемпературными припоям. Установлена зависимость величины адгезии тонкоплёночной металлизации от температуры основания из AlN керамики в процессе осаждения металлов и от толщины слоёв осаждаемых металлов при высокотемпературной пайке. Изготовленные по оригинальной технологии коммутационные платы из AlN керамики для силовых модулей успешно выдержали испытания на термоциклирование. Катаевым С.В. предложен процесс производство плат из AlN керамики с микрополосками и тепловыделяющими элементами по процессам, используемым для алюмооксидной керамики, например, поликора.

Диссертантом разработаны корпуса и технологии их изготовления с теплоотводящими конструктивными элементами из полиалмаза и АКК композита. Приведены результаты исследования использования новых материалов в составе мощных импульсных СВЧ транзисторов. Были измерены энергетические параметры транзисторов, собранных в корпусах с AlN керамикой и полиалмазом, а также приведен анализ тепловой модели транзисторов. Показана целесообразность использования теплоотводящих


элементов из алмаз-карбидкремниевый композита в DMOS транзисторах. Материалы, изложенные в диссертации, опубликованы в статьях и журналах, в том числе в журналах, включенных в перечень рецензируемых ВАК. На материалы диссертации получены патенты на изобретения и полезные модели. Наряду с печатными работами, результаты исследований отражены в научно-технических отчетах по НИОКР. Практическая значимость обеспечена использованием результатов работы в производстве полупроводниковых приборов на трёх предприятиях. В автореферате достаточно полно представлены основные положения и выводы диссертации, которая выполнена на высоком научно-техническом уровне.

Каких-либо существенных замечаний по диссертационной работе не имеется. В качестве пожелания можно рекомендовать соискателю в качестве дальнейшего развития исследованного им тематического направления провести аналогичные исследования применительно к мощным СВЧ транзисторов для работы в непрерывном режиме. Хотя высказанное пожелание ни сколько не умоляет содержательный уровень выполненных исследований.

Ряд новых и важных научных результатов, представленных в диссертации Катаева, позволит обеспечить отечественными корпусами разработки твердотельной электроники.

Представленная к защите диссертация представляет собой завершённый научный труд и может служить основанием для присвоения Катаеву С.В. учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.27.01 – Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро - и наноэлектроника, приборы на квантовых эффектах.

Генеральный директор ООО Научно-производственного коммерческого предприятия «ВЕСТА», кандидат технических наук, старший научный сотрудник

 В.А. Кожевников

Телефон: +7 920 21 162 65  
E-mail: vak144-a@mail.ru  
Почтовый адрес: 394042, Воронеж, а/я14

Подпись В.А. Кожевникова заверяю: *М. Бухт.*

*26.09.2018г*



*М. Бухт.*  
*В.М.*