



Федеральное космическое агентство
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ УНИТАРНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ
«ЦЕНТРАЛЬНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
РАДИОТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ имени академика А.И. БЕРГА»
Новая Басманная ул., д. 20, Москва, 105066

Тел. (499) 267-43-93 Факс (499) 267-21-43 Телеграф: ПАЛЬМА E-mail: post@cnirti.ru
ОКПО 11487465, ОГРН 1027739035818, ИНН/КПП 7701106880/770101001

16.09.2014 № 4110-36/62 ДВ

105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д.5
ФГБОУ ВПО МГТУ им. Н.Э. Баумана
Секретарю диссертационного совета Д 212.141.18
д.т.н., профессору Цветкову Ю.Б.

Федеральное государственное
унитарное предприятие "Центральный
научно-исследовательский
радиотехнический институт имени
академика А.И. Берга"
105066, г. Москва, ул. Новая Басманная, д. 20
e-mail: post@cnirti.ru, тел.: (499) 267-43-93

УТВЕРЖДАЮ
ВрИО генерального директора
ФГУП «ЦНИРТИ им.
академика А.И. Берга»
Пикуль Анатолий Иванович



ОТЗЫВ

Ведущей организации на диссертационную работу Макеева Мстислава Олеговича на тему: "Разработка конструкторско-технологических методов и средств повышения надёжности смесителей радиосигналов на основе резонансно-туннельных диодов", представленной в диссертационный совет Д 212.141.18 на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальностям 05.11.14 – «Технология приборостроения» и 05.27.06 – «Технология и оборудование для производства полупроводников, материалов и приборов электронной техники»

Актуальность темы

На сегодняшний день разработка смесителей радиосигналов на резонансно-туннельных диодах (РТД) находится на этапе проектирования и внедрения в производство. Достоинством таких смесителей является расширенный динамический диапазон, и, как следствие, высокая помехоустойчивость и чувствительность приемника на его основе. Вместе с тем, на настоящий момент отсутствуют инженерные методики и технические рекомендации, позволяющие создавать указанные изделия с гарантированно обеспеченными (заданными в ТУ) показателями надежности.

Отсутствие комплексных научных исследований по обеспечению надёжности смесителей радиосигналов на РТД обуславливает проблемы применения таких преобразователей радиосигналов при создании космических систем наблюдения, связи, локации и др., в том числе, в интересах обороны.

Учитывая, что от надежности смесителей радиосигналов на РТД зависит перспектива их использования в радиоэлектронных системах авиационного и космического базирования, проблема разработки методов и средств обеспечения их надёжности, является актуальной.

Научная новизна работы

Основные научные результаты, полученные автором:

1. Деградационные явления в РТД, определяющих наступление постепенных отказов смесителей на их основе, рассматриваются как с точки зрения деградации полупроводниковой части прибора (диффузия Al и Si в GaAs), так и деградации омических контактов (их диффузионное размытие). Соответствующая этому разработанная автором математическая модель деградационных процессов в РТД позволяет проводить оценку сдвига ВАХ РТД в процессе эксплуатации, связанного с этим изменения выходных

электрических параметров смесителей, и, следовательно, прогнозировать надежность смесителей на основе РТД.

2. Разработанная методика диагностики качества наноразмерных AlAs/GaAs резонансно-туннельных гетероструктур с применением метода ИК-спектральной эллипсометрии предназначена для определения коэффициентов диффузии Al и Si в GaAs. Методика оценки изменения ВАХ РТД под действием деградиационных процессов в его структуре предназначена для определения зависимости контактного сопротивления омических контактов от времени и температуры. Применение в комплексе данных методик позволяет выбирать оптимальные конструкторско-технологические решения, обеспечивающие требуемый уровень надежности смесителей на основе РТД.

Таким образом, в ходе выполнения диссертации автор получил важные для технологии приборостроения результаты, имеющие существенное значение в рамках специальностей 05.11.14 – «Технология приборостроения» и 05.27.06 – «Технология и оборудование для производства полупроводников, материалов и приборов электронной техники».

Обоснованность научных положений и достоверность выводов диссертационной работы

Положения, выносимые на защиту, обоснованы результатами экспериментальных исследований деградиационных процессов в наноразмерных AlAs/GaAs резонансно-туннельных гетероструктурах методом ИК-спектральной эллипсометрии, измерений СВЧ-параметров смесителей радиосигналов и ВАХ РТД, применением методов Цу-Есаки и матриц переноса для расчета ВАХ РТД, методов гармонического баланса и рядов Вольтера для моделирования параметров смесителей радиосигналов.

Заслуживает положительной оценки практическая апробация результатов исследования в соответствующих научно-исследовательских

организациях, таких как ФГУП ЦНИРТИ им. академика А.И. Берга, НИИ РЛ и УИЦ НТ НМСТ МГТУ им. Н.Э. Баумана, что в целом обеспечивает достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.

Практическая ценность работы

Для предприятия, выполняющего функции базового по направлениям: космические и авиационные системы дистанционного зондирования Земли, авиационные комплексы и средства РЭП для защиты малоразмерных летательных аппаратов, широкополосные усилители мощности СВЧ диапазона и т.п. большое практическое значение имеют работы, посвященные вопросам анализа и обеспечения надежности элементов и узлов радиоэлектронной аппаратуры. Работа М.О. Макеева, посвященная исследованию вопросов обеспечения высокой надежности смесителей радиосигналов на РТД, входящих в состав радиоэлектронной системы связи космических аппаратов и авиационных комплексов, а также аппаратуры радиочастотной идентификации нового поколения и квазимонолитных и монолитных СВЧ устройств, представляет несомненный практический интерес.

Из конкретных результатов диссертационной работы М.О. Макеева, которые могут быть использованы в инженерных разработках предприятия, следует отметить:

– программно-расчетный комплекс dif2RTD для моделирования ВАХ РТД с учетом диффузионных процессов в AlAs/GaAs резонансно-туннельных гетероструктурах и омических контактах. На основе dif2RTD на этапе конструкторско-технологического проектирования может проводиться выбор рациональных параметров, а именно толщин и химического состава как резонансно-туннельных структур, так и приконтактных областей с целью улучшения показателей надежности РТД и смесителей радиосигналов на их основе;

- методика оценки изменения ВАХ РТД под действием деградационных процессов в его структуре, на основе которой может проводиться выбор вариантов исполнения омических контактов смесительных РТД с целью поиска омических контактов с минимальной скоростью термической деградации при эксплуатации AlAs/GaAs РТД;
- технологическая операция селекции смесительных AlAs/GaAs РТД, которая позволяет в рамках технологического цикла производства смесителей радиосигналов определять численные значения как индивидуальной, так и групповой надёжности РТД и смесителей радиосигналов на их основе, а также выполнять селекцию образцов по степени их надёжности.

Рекомендации по использованию результатов работы

Совокупность сформулированных и обоснованных в диссертации теоретических положений, разработанных моделей и методик, а также разработанных конструкторско-технологических методов и средств повышения надёжности смесителей радиосигналов на основе РТД можно рекомендовать к использованию на предприятиях радиоэлектронного и космического профиля.

В частности, результаты работы могут быть использованы на предприятиях ОАО РТИ им. Ак. А.Л. Минца, ОАО «Альтаир», ФГУП «ЦНИИ «Комета», ФГУП «НПО ИТ», ОАО «Концерн радиостроения «Вега» и других.

Основные **результаты работы опубликованы** в соответствии с требованиями Положения ВАК в тематических научных изданиях, в том числе и в восьми изданиях, включенных в перечень ВАК, а также **прошли апробацию** на одиннадцати научно-технических конференциях соответствующего профиля. К работе прилагаются акты о внедрении ее результатов в ФГУП ЦНИРТИ им. академика А.И. Берга, НИИ

«Радиоэлектроники и Лазерной техники» и Учебно-инженерном центре нанотехнологий, нано- и микросистемной техники МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Замечания

По содержанию диссертации имеются следующие замечания:

1. Не рассмотрено влияние значимых для космических аппаратов внешних факторов (в первую очередь радиации, низких температур и др.) на надежность смесителей радиосигналов на РТД.

2. Автор разработал технологическую операцию селекции смесительных РТД по степени их надежности. Но недостатком операции является то, что ее проведение снижает ресурс изделия.

3. Желательно было бы оценить надежность смесителей радиосигналов СВЧ диапазона в зависимости от фирмы-производителя РТД, что было бы важно при внедрении смесителей на РТД в образцы космической техники.

Приведенные замечания не влияют на общее положительное впечатление о диссертационной работе, которая обладает актуальностью, научной новизной и практической ценностью.

Заключительная оценка диссертационной работы

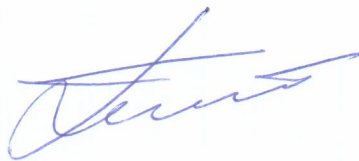
Диссертация М.О. Макеева является законченной научно-квалификационной работой, выполненной на актуальную тему, содержащей решение задачи обеспечения надежности смесителей радиосигналов на РТД, имеющей существенное научное и практическое значение как для предприятий федерального космического агентства, так и для приборостроения в целом. Работа содержит новые научные положения, а также значимую для практического применения технологическую операцию селекции смесительных AlAs/GaAs РТД (на базе разработанной автором методики оценки изменения ВАХ РТД под действием деградиационных процессов в его структуре), которая позволяет в рамках технологического

цикла производства смесителей радиосигналов определять численные значения как индивидуальной, так и групповой надёжности РТД и смесителей радиосигналов на их основе, а также выполнять селекцию образцов по степени их надёжности.

Представленные в диссертации теоретические и практические результаты позволяют заключить, что рассматриваемая работа отвечает требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», предъявляемым к кандидатским диссертациям; а ее автор, М.О. Макеев, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальностям 05.11.14 – «Технология приборостроения» и 05.27.06 – «Технология и оборудование для производства полупроводников, материалов и приборов электронной техники».

Отзыв рассмотрен и одобрен на заседании секции НТС ФГУП «ЦНИРТИ им. академика А.И. Берга», протокол № 7 от «17» июля 2014 г.

Доктор технических наук.
Начальник комплексного отдела
ФГУП «ЦНИРТИ им. акад. А.И. Берга»,
105066, г. Москва, ул. Новая Басманная, д. 20
Тел.: (499) 267-43-93,
e-mail: post@cnirti.ru



Б.В. Хлопов