

ОТЗЫВ

**официального оппонента доктора технических наук, профессора
Румянцева К.Е. на диссертацию Макеева Мстислава Олеговича на тему:
"Разработка конструкторско-технологических методов и средств
повышения надёжности смесителей радиосигналов на основе
резонансно-туннельных диодов", представленную 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 диссертации

Задача создания новых и совершенствования существующих радиоэлектронных приборов различного функционального назначения может быть решена за счет перехода на принципиально новую элементную базу, в том числе и создаваемую на базе достижений в сфере нанотехнологий. В этой связи нужно согласиться с утверждением автора о том, что благодаря уникальным свойствам резонансно-туннельного диода (РТД) становится возможным производство радиоэлектронных приборов нового поколения с улучшенными функциональными характеристиками. Это в полной мере относится и к смесителю радиосигналов, базовому прибору информационных радиоэлектронных средств.

Фактором, сдерживающим проектирование и производство таких приборов, является неопределенность по уровню их надежности. А если учесть, что сферами применения указанных изделий является, в том числе авиационная и космическая техника, то решение задачи гарантированного обеспечения заданных заказчиком показателей надежности становится одной из первоочередных.

Таким образом, актуальность представленной на рецензию работы, в которой рассмотрены вопросы повышения надежности смесителей радиосигналов на резонансно-туннельных диодах за счет разработки целого ряда конструкторско-технологических решений при их производстве, не вызывает сомнения.

Научная новизна полученных результатов

Оценивая рецензируемую работу, можно отметить, что основанные на системном подходе и корректно проведенные теоретические и экспериментальные исследования позволили получить диссертанту ряд принципиально новых результатов: от раскрытия физической сущности процессов, определяющих постепенные отказы смесителей радиосигналов на

резонансно-туннельных диодах, с учетом которой разработаны математические модели и программно-расчетный комплекс dif2RTD, до разработки методик технической диагностики и прогнозирования надежности смесителей и, наконец, конструкторско-технологических методов и средств, обеспечивающих заданный уровень надежности смесителей радиосигналов на основе РТД. Такая четкая причинно-следственная связь отдельных научных выводов выгодно отличает данную работу.

К наиболее значимым научным результатам, полученным автором, следует отнести:

- раскрытие физической сущности процессов, определяющих формирование постепенных отказов смесителей радиосигналов на основе РТД, в основе которых лежат особенности протекания деградационных процессов как в наноразмерных полупроводниковых AlAs/GaAs резонансно-туннельных гетероструктурах, так и омических контактах резонансно-туннельных диодов.

- математическую модель деградационных процессов в РТД, позволяющую проводить оценку дрейфа ВАХ РТД в процессе эксплуатации и связанного с этим изменения выходных электрических параметров смесителей радиосигналов, и, соответственно, прогнозировать надежность смесителей радиосигналов на основе РТД при различных конструкторско-технологических решениях изделия. Модель формализована в виде двух частных моделей: математической модели диффузии Al и Si в резонансно-туннельных гетероструктурах и математической модели диффузионного размытия структуры омических контактов.

- методику прогнозирования надежности смесителей радиосигналов на основе РТД, включающую в себя моделирование деградационных процессов в РТД, его ВАХ и выходных электрических характеристик смесителя радиосигналов на основе РТД. Методика позволяет выбирать рациональные конструкторско-технологические решения, обеспечивающие заданный уровень надежности смесителей радиосигналов на основе РТД.

Разработанные автором научные подходы к решению поставленных прикладных задач в сфере технологии приборостроения проверены экспериментально как в лабораторных, так и в производственных условиях. Научные выводы диссертанта заслуживают положительной оценки, поскольку основные теоретические положения, сформулированные в диссертационной работе, доведены до инженерно-технического уровня, апробированы и частично реализованы на практике.

Практическая значимость результатов исследования

Практическая значимость работы не вызывает сомнений, ее основные научные положения прошли успешную апробацию на головном радиотехническом предприятии, специализирующемся на разработке радиоэлектронной аппаратуры для радиоэлектронной разведки и

радиоэлектронной борьбы авиационного, наземного и космического базирования – ФГУП ЦНИРТИ им. академика А.И. Берга.

К наиболее значимым с практической точки зрения результатам автора следует отнести разработку алгоритма выбора режимов технологической операции по изготовлению РТД, алгоритма выбора структуры омических контактов на этапе отработки технологии изготовления РТД, контрольно-измерительной операции контроля качества изготовления резонансно-туннельных гетероструктур и технологической операции селекции смесительных РТД, которая позволяет в рамках технологического цикла производства смесителей радиосигналов определять численные значения как индивидуальной, так и групповой надёжности РТД и смесителей на их основе, а также выполнять селекцию образцов по степени их надежности.

Эти результаты позволяют целенаправленно влиять на качество и надежность РТД и смесителей радиосигналов на их основе.

Оценка содержания и оформления диссертационной работы

Диссертация состоит из введения, 5 глав, выводов, списка используемой литературы и приложений. Содержит 241 страницу, в том числе 155 иллюстраций и 8 таблиц.

В работе обоснована актуальность проведенных исследований, четко сформулированы цель, задачи и методы исследования. Показано влияние деградационных явлений в структуре РТД и погрешностей его изготовления на выходные электрические параметры смесителя радиосигналов. Проведены экспериментальные исследования влияния технологического процесса изготовления на модификацию свойств резонансно-туннельной гетероструктуры и омических контактов смесительных РТД. Это позволило разработать комплекс конструкторско-технологических решений (на основе разработанных автором методик) по обеспечению заданной надежности смесителей радиосигналов на основе РТД.

Диссертация является законченной научно-квалификационной работой. Автореферат диссертации полно и точно отражает содержание диссертации. Качество оформления диссертации достаточно высокое.

Достоверность и обоснованность основных положений диссертации

Корректность планирования, постановки и проведения экспериментов, а также справедливость полученных экспериментальных результатов не вызывает сомнений. Достоверность численных данных обеспечивается и подтверждается комплексом исследований с применением современной аппаратуры, оборудования, средств вычислительной техники, а также. Кроме того, достоверность обеспечивается за счет использования известных широко применяемых САПР, апробированных программных продуктов и методик расчета и моделирования. Достоверность численных данных подтверждается анализом литературных источников по проблеме (в частности по коэффициентам диффузии).

Апробация результатов диссертационной работы

Основные результаты работы были реализованы в рамках НИР и ОКР, проводимых на ФГУП ЦНИРТИ им. академика А.И. Берга, а также в НИИ РЛ и УИЦ НТ НМСТ МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Содержание диссертации в полной степени отражено в публикациях автора, датируемых 2010-2014 гг., неоднократно докладывалось на научных конференциях и известно научной и технической общественности.

Замечания

1. В названии диссертации «Разработка конструкторско-технологических методов и средств повышения надёжности смесителей радиосигналов на основе резонансно-туннельных диодов» одним из ключевых слов являются «методы». Это предполагает разработку, по крайней мере, двух методов. В заключении по диссертации о разработанных методах речи нет. В то же время, глава 5 диссертации непосредственно посвящена выбору конструкторско-технологических методов и средств повышения надёжности смесителей радиосигналов на основе AlAs/GaAs РТД с использованием разработанного программно-расчетного комплекса dif2RTD, разработанных методик диагностики качества наноразмерных AlAs/GaAs резонансно-туннельных гетероструктур на основе ИК-спектральной эллисометрии, оценки изменения ВАХ РТД под действием деградиационных процессов в его структуре и прогнозирования надёжности смесителей радиосигналов на основе РТД, а также результатов теоретических и экспериментальных исследований.

2. Цель научных исследований, по мнению диссертанта, является повышение надёжности смесителей радиосигналов на основе резонансно-туннельных диодов. Однако автор не акцентирует внимания на достижении поставленной цели в «Заключении». Это тем более следовало выделить в заключении по работе, поскольку методика технической диагностики (п. 4) и прогнозирование (п. 5) позволяют только констатировать надёжность.

Это же замечание справедливо и для научной новизны, где определены лишь составляющие методов (физическая сущность и математическая модель процессов, комплекс методик технической диагностики, методики прогнозирования надёжности).

3. Представляется более правильным формулировать цель работы не как «повышение надёжности», а как «достижение заданной надёжности». Данное положение, собственно, и следует из приведённых автором в главе 1 данных, показавших с одной стороны практически полное отсутствие информации о надёжности таких приборов, с другой – сферу их применения – авиационная и космическая техника.

4. В этой связи считаю, что п. 6 «Заключение» должен быть поставлен на первое место и звучать как «Достижение заданной надёжности смесителей радиосигналов на основе резонансно-туннельных диодов достигается

комплексным использованием предложенных конструкторско-технологических методов, средств и алгоритмов, а также разработанного программно-расчётного комплекса dif2RTD и предложенных методик диагностики и прогнозирования качества наноразмерных AlAs/GaAs резонансно-туннельных гетероструктур на основе ИК-спектральной эллипсометрии».

5. При формулировке научной новизны результатов работы чётко определено, какой эффект достигается, но отсутствует отличие от существующих подходов. Это важно, поскольку при формулировании научной новизны отсутствует понятие «впервые».

6. В своей работе автор заявляет, что он разработал методику выбора вариантов исполнения омических контактов, в то время как реально рассматриваются исключительно AuGeNi омические контакты.

7. В работе не определены предельные значения коэффициентов диффузии Al и Si в GaAs, выше которых требуемая надежность смесителей радиосигналов не обеспечивается.

8. В программно-расчетном комплексе dif2RTD, позволяющем прогнозировать надежность РТД и смесителей радиосигналов на их основе, не учитывается влияние токовой нагрузки. Между тем, это влияние может быть значимым.

Отмеченные недостатки незначительно сказываются на общем достаточно высоком научно-техническом уровне диссертационной работы и не меняют её положительной оценки.

Заключение

Диссертационная работа выполнена на актуальную тему, обладает научной новизной, практической ценностью и полезностью, является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение актуальной научной задачи - оценки и обеспечения надежности смесителей радиосигналов на основе РТД при их производстве, и имеет существенное значение как для приборостроения (п.9 Положения), так и для развития страны в целом.

Диссертационная работа полностью отвечает требованиям п.9 «Положения о присуждении ученых степеней», а её автор Макеев Мстислав Олегович 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».

Официальный оппонент
доктор технических наук, профессор,
заслуженный работник высшей школы РФ,
заведующий кафедрой «Информационная безопасность»

телекоммуникационных систем»
института компьютерных технологий и информационной безопасности
инженерно-технологической академии
ФГАОУ ВПО "Южный федеральный университет".
Адрес: 344006, г. Ростов-на-Дону, ул. Б. Садовая, 105/42,
Тел.: (863) 244-09-94
Электронная почта: info@sfnedu.ru



К.Е. Румянцев

18 августа 2014 года

Подпись профессора К.Е. Румянцева заверяю.
Директор института компьютерных технологий
и информационной безопасности
инженерно-технологической академии
Южного федерального университета,
доктор технических наук, доцент



18 августа 2014 года

Г.Е. Веселов