

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д212.65.01 НА БАЗЕ
Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования «Нижегородский государственный технический
университет им. Р.Е. Алексеева»

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации,
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА
НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 12 декабря 2018 № _____

О присуждении Венедиктову Максиму Михайловичу, гражданину Российской Федерации ученой степени кандидата технических наук. Диссертация «Методы контроля параметров полевых транзисторов, подвергающихся нейтронному воздействию» по специальности 05.11.13 – «Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий» принята к защите 08.10.2018, протокол № 10 диссертационным советом Д212.165.01, созданным на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, 603950, г. Нижний Новгород, ул. Минина, 24; приказ № 714н.к. от 02.11.2012.

Соискатель Венедиктов Максим Михайлович, гражданин РФ, 1977 года рождения. В 2010 г. окончил НГТУ им. Р.Е. Алексеева по специальности «Радиотехника». В период подготовки диссертации Венедиктов М.М. работал и в настоящее время продолжает работать в филиале Федерального государственного унитарного предприятия «Российский федеральный ядерный центр – Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики» «Научно-исследовательский институт измерительных систем им. Ю.Е. Седакова» в научно-исследовательском отделе испытаний, разработки конструкторской документации и оснастки в должности инженера-исследователя 1 категории.

Удостоверение о сдаче кандидатских экзаменов выдано в 2014г. Нижегородским государственным техническим университетом им Р.Е. Алексеева.

Диссертация выполнена в филиале Федерального государственного унитарного предприятия «Российский федеральный ядерный центр – Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики» «Научно-исследовательский институт измерительных систем им. Ю.Е. Седакова».

Научный руководитель – профессор, доктор технических наук, **Оболенский Сергей Владимирович**, профессор кафедры электроники и квантовой радиофизики Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования "Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского" (ННГУ им. Н.И. Лобачевского).

Официальные оппоненты:

1. **Орлов Лев Константинович**, доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник, ведущий научный сотрудник Института физики микроструктур РАН, г. Нижний Новгород
2. **Беляков Александр Владимирович**, кандидат физико-математических наук, ведущий инженер программист, ООО «МФИ СОФТ», г. Нижний Новгород.

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно – исследовательский институт автоматики имени Н.Л. Духова» (ВНИИА им. Н.Л.Духова), г. Москва, в своем положительном заключении, подписанном **Бутиным Валентином Ивановичем**, доктором технических наук, старшим научным сотрудником, начальником научно-исследовательского отделения физики излучений и **Макаренко Александром Владимировичем**, заместителем начальника научно-исследовательского отделения физики излучений, указала, что диссертация Венедиктова Максима Михайловича «Методы контроля параметров полевых транзисторов, подвергающихся нейтронному воздействию» представляет собой законченную научно-квалификационную работу по актуальной проблеме. Достоинствами работы и наиболее важными практическими результатами, полученными автором в ходе исследований, являются:

- экспериментально зарегистрированные увеличение коэффициента усиления и уменьшение коэффициента шума полевых транзисторов после нейтронного облучения для транзисторов с повышенной (до облучения) концентрацией активных доноров в канале прибора;

- полученные зависимости коэффициента шума от времени в момент импульсного нейтронного облучения с учетом процессов ионизации при образовании кластеров радиационных дефектов;

- определение порогов сбоев интегральных схем при стационарном нейтронном облучении в области малых значений линейных потерь энергии атомов отдачи.

Соискатель имеет 14 опубликованных работ, из них 4 статьи - в журналах, входящих в «Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание

учёной степени кандидата наук, на соискание учёной степени доктора наук». Автором получено 2 патента на изобретения. Общий объём публикаций по работе составляет 4,46 печатных листа, личный вклад автора составляет 3,57 печатных листа. Недостоверных сведений об опубликованных соискателем учёной степени работах в диссертации нет.

Наиболее значимые работы по теме диссертации:

1. Венедиктов, М.М. Оценка воздействия ионизирующих излучений на электронные компоненты по результатам испытаний ограниченных выборок / М.М. Венедиктов, Е.С. Оболенская, В.К. Киселев, С.В. Оболенский // Журнал Радиоэлектроники. – 2017. - №1. - С.34.

2. Венедиктов, М.М. Анализ поведения неравновесных полупроводниковых структур и СВЧ транзисторов в момент и после импульсного гамма- и гамма-нейтронного облучения / М.М. Венедиктов, Е.А. Тарасова, А.Д. Боженькина, С.В. Оболенский, В.В. Елесин, Г.В. Чуков, Н.А. Усачев, М.А. Кревский, Д.И. Дюков, А.Г. Фефелов // Физика и техника полупроводников. – 2018. – том 52. - №12. – С.1414 - 1420.

3. Способ оценки стойкости элементов цифровой электроники к эффектам сбоев от воздействия единичных частиц: Патент RU 2657327, дата государственной регистрации 13.06.2018г. / Оболенский С.В., Киселев В.К., Венедиктов М.М.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

1. Доктора физико-математических наук, профессора, ведущего научного сотрудника Научно-исследовательского физико-технического института (НИФТИ) ННГУ им. Н.И. Лобачевского, **Тительбаума Давида Исааковича;**

2. кандидата технических наук, начальника научно-исследовательского отдела спецстойкости, надёжности и механической прочности филиала ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ» «НИИИС им. Ю.Е. Седакова, **Труфанова Алексея Николаевича;**

3. кандидата технических наук, доцента кафедры электроники (№3) института нанотехнологий в электронике, спинтронике и фотонике Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», **Елесина Вадима Владимировича;**

4. кандидата физико-математических наук, доцента кафедры квантовой физики и наноэлектроники Национального исследовательского университета МИЭТ, **Журавлёва Максима Николаевича;**

5. кандидата физико-математических наук, доцента, старшего научного сотрудника филиала ФИЦ ИПФ РАН института физики микроструктур РАН, **Козлова Владимира Анатольевича;**

6. кандидата физико-математических наук, заместителя начальника НПО «Твердотельные модули и приборы» по разработкам АО «НПП «Салют», **Кревского Михаила Анатольевича.**

Все отзывы положительные и содержат заключение о том, что Венедиктов Максим Михайлович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.13 – «Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий».

В качестве наиболее существенных замечаний отмечено:

1. В диссертации отсутствуют какие-либо сведения как об основных характеристиках использованных структур, так и об особенностях методов их изготовления.

2. Трудно понять, какие конкретные параметры системы характеризуются наибольшим разбросом значений и подлежат модификации. Неясно также, какие параметры изменялись в процессе моделирования при подгонке результатов расчетов и измерений.

3. В работе постоянно отмечаются потенциальные возможности предлагаемого метода для конструирования радиационно-стойких схем, но отсутствуют конкретные рекомендации о характере распределения донорных центров, радиационных дефектов и других параметрах, которые бы эту стойкость обеспечивали.

4. Когда речь заходит об облучении, как о способе улучшения (подгонки) характеристик, то неясно насколько воспроизводимыми и стабильными являются эти эффекты? Непонятно можно ли говорить о потенциальном промышленном использовании этого эффекта.

5. Проблему измерения коэффициента шума во время излучения в диссертации предлагается решать при помощи "прогнозной калибровки", однако, неясно из каких соображений делается предположение, что сама форма зависимости коэффициента шума от коэффициента усиления сохраняется во время излучения.

6. Учитывая, что в процессе воздействия импульсного гамма-нейтронного излучения большой мощности существенно изменяются параметры всех элементов радиоэлектронной аппаратуры, а не только их шумовые характеристики, из материалов диссертации неясно, насколько важным по сравнению с другими характеристиками аппаратуры является контроль шумовых характеристик СВЧ-транзисторов непосредственно в процессе импульсного облучения.

7. Поскольку в работе автором используется достаточно большой объем экспериментальных данных, следовало больше внимания уделить описанию научно-методического обеспечения экспериментальных исследований с оценкой погрешности определения как характеристик воздействующих излучений, так и погрешности измерения электрических параметров СВЧ-транзисторов.

8. Автору следовало в качестве материалов по подтверждению работоспособности методики привести полный набор экспериментальных

результатов – от результатов воздействия ТЗЧ на ИМС до результатов реакторного облучения, а не ограничиться описанием набора исходных данных, полученных только на источниках ионов.

9. Из автореферата неясно, как автор учитывал процессы ионизации полупроводниковой структуры, отсутствует описание методов согласования результатов измерений и результатов численного моделирования, не указаны граничные условия. Не приведены методики, которыми пользовался автор при измерении коэффициентов усиления и шума.

10. Из автореферата не понятно, в чём отличие воздействия тяжёлых заряженных частиц (ТЗЧ) от нейтронного облучения на транзисторы и интегральные схемы (ИС).

11. Оставляет желать лучшего стиль изложения, который местами излишне громоздок (напоминает стиль заявок на изобретение, где это оправдано формальными соображениями), а местами упускает некоторые важные для понимания моменты (которые, вероятно, освещены в самой диссертации).

12. Нечёткость рисунков 1.3 и 2.1, у формулы на стр.14 отсутствует нумерация, не все аббревиатуры расшифрованы.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их компетентностью по вопросам диссертации и большим опытом работы, подтверждающийся публикациями официальных оппонентов и сотрудников ФГУП «ВНИИА им. Н.Л. Духова» в ведущих научно-технических журналах по теме диссертации. Официальный оппонент, доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник Института физики микроструктур РАН **Орлов Лев Константинович** является высококвалифицированным специалистом в области исследования свойств материалов полупроводниковых структур и приборов на их основе, в том числе в условиях радиационного воздействия. Официальный оппонент кандидат физико-математических наук, ведущий инженер-программист ООО «МФИ СОФТ», **Беляков Александр Владимирович** имеет значительный опыт в области исследования свойств полупроводниковых структур, разрабатывает инструменты автоматизированного анализа их характеристик в условиях воздействия различных внешних факторов.

Выбор ведущей организации обоснован тем, что ФГУП «ВНИИА им. Н.Л. Духова» является одним из ведущих предприятий Государственной корпорации по атомной энергии "Росатом", в котором ведутся фундаментальные и прикладные исследования, проводится математическое моделирование работы изделий, схем и конструкций, в том числе в условиях радиационного воздействия, выполняются расчетные обоснования эффективности, надежности и безопасности этих изделий, схем и конструкций, проводятся лабораторные и натурные испытания такой аппаратуры.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

– **Разработаны** расчётно-экспериментальные методы, позволяющие определять и контролировать параметры полевых транзисторов до, в момент и после нейтронного воздействия с учётом современных топологических размеров и норм изготовления транзисторов.

– **Предложен** способ определения порогов сбоев интегральных схем при стационарном нейтронном облучении в области малых значений потерь энергии атомов.

– **Доказана** возможность коррекции коэффициентов усиления и шума транзисторов путем их нейтронного облучения, позволяющая выявить образцы полупроводниковых приборов с низкой радиационной стойкостью.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

– **Разработаны** расчетно-экспериментальные методы контроля параметров полевых СВЧ-транзисторов Шоттки до и после нейтронного воздействия, контроля коэффициента шума полевых СВЧ-транзисторов Шоттки в момент нейтронного воздействия, контроля сечения сбоев интегральных схем при стационарном нейтронном воздействии в области малых значений энергий частиц.

– **Доказана** возможность увеличения коэффициента усиления и уменьшения коэффициента шума полевых транзисторов после нейтронного облучения для транзисторов с повышенной (до облучения) концентрацией активных доноров в канале прибора.

– **Получены** зависимости коэффициента шума от времени в момент импульсного нейтронного облучения с учетом процессов ионизации при образовании кластеров радиационных дефектов.

– **Определены** пороговые значения уровней облучения интегральных схем, приводящих к сбоям в работе этих схем при нейтронном облучении в области малых значений линейных потерь энергии атомов отдачи.

Применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов):

– **Использован** комплекс, состоящий из аналитической и численной физико-топологических моделей, который лежит в основе разработанных в диссертации методов контроля.

– **Изложен** подход к разбраковке партии транзисторов и интегральных схем по уровню радиационной стойкости на основе экспериментальных данных статистически значимой выборки образцов.

– **Раскрыты** особенности поведения полевых СВЧ- транзисторов в момент и после нейтронного облучения, а также статистических характеристик

распределения параметров облученных изделий в партии.

– **Разработаны** методы контроля, внедрение которых позволяет повысить эффективность разработки, изготовления и применения полевых транзисторов и интегральных схем.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

– **Разработаны и внедрены** в филиале РФЯЦ ВНИИЭФ «НИИС им. Ю.Е. Седакова» три метода контроля параметров полевых транзисторов для мониторинга радиационной стойкости полупроводниковых изделий (акт внедрения результатов диссертации № 195-95-29-2920-181). Кроме того, данные методы рекомендованы ведущей организацией ФГУП «ВНИИА им. Н.Л. Духова» к внедрению на предприятиях, занимающихся разработкой радиационно-стойкой ЭКБ.

– **Определены** возможности улучшения характеристик полевых транзисторов после нейтронного воздействия, а также возможности контроля коэффициента шума в момент нейтронного воздействия и контроля уровня минимального флюенса нейтронов, приводящего к сбою в области малых потерь энергии атомов.

– **Представлены** результаты экспериментальных исследований, подтверждающие разработанные методы контроля.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

– **Экспериментальные данные** получены с использованием аттестованной и поверенной измерительной аппаратуры и оснастки.

– **Теория** построена на современных физико-топологических методах моделирования транспорта электронов в приборах микро- и наноэлектроники; использованы расчётные соотношения, коэффициенты которых были определены на основе результатов измерений статических и ВЧ параметров исследуемых транзисторов и интегральных схем.

– **Теоретические данные** отличаются от экспериментальных на величину, не превышающую ошибку измерений.

– **Установлено**, что предложенные физико-математические модели и экспериментальные методы прошли апробацию на международных, всероссийских и региональных конференциях.

Личный вклад соискателя при разработке методов контроля является определяющим с точки зрения постановки задачи, проведения расчетов и анализа полученных результатов исследования параметров GaAs и Si полевых транзисторов и интегральных схем в момент и после нейтронного воздействия. Основные результаты по анализу и разработке расчётно - экспериментальных методов контроля и оценки параметрических изменений критериальных параметров полевых транзисторов при нейтронном воздействии получены

автором лично или при его непосредственном участии.

На заседании 12.12.2018 диссертационный совет пришел к выводу о том, что диссертация Венедиктова Максима Михайловича представляет собой научно-квалификационную работу, которая удовлетворяет требованиям Положения о присуждении учёных степеней, утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года №842, так как в диссертации изложены новые научно-обоснованные технические, технологические решения и разработки, имеющие существенное значение для развития радиоэлектронной промышленности страны, а именно для проектирования и производства современных радиационноустойчивых приборов.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в составе 25 человек, из них 8 – докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвующих в заседании, из 28 человек, входящих в состав совета, проголосовали за присуждение учёной степени – 22, против – 3, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель диссертационного
совета Раевский С.Б.

Учёный секретарь диссертационного
совета Белов Ю.Г.

Дата оформления заключения:



12 декабря 2018 г.