

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Забавичева Ильи Юрьевича на тему «Отклик носителей заряда в Si и GaAs наноразмерных структурах на нейтронное воздействие с учетом динамики вторичных процессов дефектообразования и ионизации», представленной на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 2.2.2. – «Электронная компонентная база микро- и наноэлектроники, квантовых устройств»

АКТУАЛЬНОСТЬ ТЕМЫ ДИССЕРТАЦИИ

Повышение рабочих частот и быстродействия полупроводниковых приборов и микросхем сопровождается уменьшением их активных областей, которые становятся сопоставимы с размерами кластеров радиационных дефектов. При этом возрастает влияние образования радиационных дефектов на электрофизические характеристики приборов. В связи с этим тема диссертационной работы, посвященная исследованию пико- и фемтосекундных процессов отклика носителей заряда в Si и GaAs наноразмерных структурах на нейтронное воздействие с учетом динамики вторичных процессов дефектообразования и ионизации, является актуальной.

ДОСТОВЕРНОСТЬ ПОЛУЧЕННЫХ В ДИССЕРТАЦИИ РЕЗУЛЬТАТОВ

Представленные в настоящей работе результаты обладают высокой степенью достоверности, что обеспечивается использованием современных теоретических методов моделирования совместно с апробированными программными комплексами для проведения расчетов. Полученные результаты хорошо согласуются с изложенными в литературе данными по теме исследований.

Основные результаты диссертации отражены в 78 публикациях, в том числе в 18 статьях в реферируемых журналах и 58 тезисах научных конференций

и симпозиумов.

НОВИЗНА ОСНОВНЫХ ВЫВОДОВ И РЕЗУЛЬТАТОВ ДИССЕРТАЦИИ

Впервые показано, что размеры субкластеров радиационных дефектов существенно зависят от стадии формирования разупорядоченной области, на которой происходит разделение каскада атомных смещений на отдельные субкаскады. Поэтому рассеяние подвижных носителей заряда на наноразмерных субкластерах радиационных дефектов возможно на временах больших, чем 100 пс, когда заканчивается первичная стабилизация разупорядоченной области.

Впервые проведены расчеты изменения подвижности носителей заряда в Si и GaAs при воздействии потока мгновенных нейтронов спектра деления, учитывающие динамику распределения пространственного заряда внутри наноразмерного кластера радиационных дефектов.

Впервые предложен механизм возникновения обратимого сбоя состояния ячейки статической памяти, выполненной на базе Si наноразмерных транзисторов, вызванного появлением дефектов кристаллической решетки в процессе формирования единичного кластера радиационных дефектов, объясняющийся тем, что один из транзисторов переходит из открытого состояния в закрытое на время, достаточное для переключения ячейки статической памяти.

Впервые показано, что положение одиночного кластера радиационных дефектов существенно влияет на процессы транспорта носителей заряда в наноразмерном GaAs биполярном транзисторе с тонкой базой. Наибольшее влияние на коэффициент усиления по постоянному току кластер радиационных дефектов оказывает в случае его формирования в эмиттерном переходе за счет возникновения дополнительного потенциального барьера. В базе кластер эффективно притягивает неосновные носители заряда, что увеличивает темп рекомбинации.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Разработаны методика расчета и проведен теоретический анализ результатов моделирования образования дефектов с целью оценки пространственной и временной эволюции процесса формирования наноразмерной разупорядоченной области.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

1. Разработан пакет прикладных программ TRIM и LAMMPS позволяющий проводить анализ пространственной и временной эволюции процесса формирования наноразмерной разупорядоченной области. Показано, что размеры кластеров радиационных дефектов, возникающих на поверхности кремниевой пластины, не превышают 5...10 нм, что существенно затрудняет их экспериментальное обнаружение.

2. Разработан пакет прикладных программ для расчетной оценки реакции Si и GaAs приборов на воздействие потока мгновенных нейтронов спектра деления с учетом пространственной структуры потенциала рассеяния кластера радиационных дефектов. Получены оценки концентрации рассеивающих центров ($10^{12}...10^{14} \text{ см}^{-3}$) в канале наноразмерного полевого транзистора с затвором Шоттки на основе GaAs, возникающих при радиационном воздействии потока нейтронов до $5 \times 10^{15} \text{ см}^{-2}$.

3. Разработан комплект прикладного программного обеспечения для оценки влияния процесса формирования единичного кластера радиационных дефектов на характеристики кремниевых наноразмерных полевых транзисторов и диодов с учетом релаксации неравновесных электронно-дырочных пар. Теоретически показано, что для ячеек статической памяти, выполненных по технологическим процессам 20 нм и 7 нм, сечение сбоев на бит составляет $10^{-20}...10^{-21} \text{ см}^2/\text{бит}$.

4. Разработано программное обеспечение для оценки изменения

характеристик наноразмерного биполярного транзистора на основе GaAs с тонкой базой в зависимости от положения единичного кластера радиационных дефектов.

Результаты, полученные в работе, используются при выполнении НИОКР 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» при выполнении научно-исследовательских работ в рамках научной программы Национального центра физики и математики (Проект «Ядерная и радиационная физика»), а также использованы в учебном процессе в Нижегородском государственном университете им. Н. И. Лобачевского.

ЗАМЕЧАНИЯ И РЕКОМЕНДАЦИИ

По диссертационной работе имеется следующее замечание:

Отсутствуют описания формы исследуемых потенциалов рассеяния подвижных носителей заряда на кластерах радиационных дефектов, что приводит к необходимости ознакомления с работами Флеминга и Госсика, ссылки на которые представлены в списке литературы.

ВЫВОДЫ

Основываясь на автореферате, можно сделать вывод, что диссертационная работа Забавичева И.Ю. является законченной научно-квалификационной работой, содержащей новые методические и практические результаты, имеющие значение для прогнозной оценки перспективных Si и GaAs наноструктур при воздействии радиации.

Диссертация на тему «Отклик носителей заряда в Si и GaAs наноразмерных структурах на нейтронное воздействие с учетом динамики вторичных процессов

дефектообразования и ионизации» удовлетворяет всем требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор Забавичев Илья Юрьевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 2.2.2. – Электронная компонентная база микро- и наноэлектроники, квантовых устройств.

Даю согласие на обработку моих персональных данных, связанных с работой диссертационного совета.

Начальник лаборатории Федерального государственного унитарного предприятия «Ростовский-на-Дону научно-исследовательский институт радиосвязи» Федерального научно-производственного центра, кандидат технических наук (специальность 05.12.21 Радиотехнические системы специального назначения, включая технику СВЧ и технологию их производства), доцент:

«12» 11 2025г.

Толстолицкий Сергей Иванович

Подпись Толстолицкого С.И. удостоверяю.

И.о. заместителя директора по управлению персоналом
ФГУП «РНИИРС»



Букарева Елена Сергеевна

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
УНИТАРНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ
«РОСТОВСКИЙ-НА-ДОНУ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ РАДИОСВЯЗИ»
ФЕДЕРАЛЬНЫЙ НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЦЕНТР
(ФГУП «РНИИРС»)**

Российская Федерация,
344038, г. Ростов-на-Дону, ул. Нансена, д. 130
тел. (863) 2000-555, 2555-311, факс 2000-500
E-mail: rniirs@rniirs.ru