

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
КАЗАНСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ им. Е. К. ЗАВОЙСКОГО
КАЗАНСКОГО НАУЧНОГО ЦЕНТРА РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
(КФТИ КазНЦ РАН)

420029, г. Казань, ул. Сибирский тракт, д. 10/7
тел.: (843) 272-05-03, факс: (843) 272-50-75, e-mail: phys-tech@kfti.knc.ru, http://www.kfti.knc.ru
ОКПО 02700049, ОГРН 1021603630025, ИНН/КПП 1653009219/166001001

10.11.2016 № 14341/25-2171/141
На № ЗМ-9981/54 от 03.10.2016

Ученому секретарю
диссертационного совета Д 520.009.06
при НИЦ "Курчатовский институт"
к.ф.-м.н. Колоколу А.С.

«УТВЕРЖДАЮ»

Зам. директора КФТИ КазНЦ Р

Доктор физ.-мат. наук

« 10 » ноября 2016 г.



ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертацию Приходько Кирилла Евгеньевича

«Разработка методов контролируемого преобразования атомного состава и свойств веществ под действием ионного облучения для создания функциональных наноустройств различного назначения», представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.01 — приборы и методы экспериментальной физики.

Радиационные методы модификации свойств материалов, включающие обработку их поверхности электронными, нейтронными или ионными пучками с различной энергией и составом, широко используются и востребованы в металлургии, микроэлектронике, медицине и других областях. Научные эксперименты и исследования, лежащие в основе диссертационной работы К.Е. Приходько, фактически, представляют собой развитие нового плодотворного направления в радиационном материаловедении - направление, которое было создано и успешно развивается в НИЦ "Курчатовский институт" под руководством профессора Б.А. Гуревича и при непосредственном участие автора работы. По сути - это разработка новых методов контролируемого изменения атомного состава тонкопленочных материалов с использованием ионных пучков с низкой

энергией (не более 5 кэВ) и создание с помощью этих методов наноструктурированных материалов различного функционального назначения. Заметим, что, в отличие от высокоэнергетичной ионной имплантации, данный подход позволяет обойтись без сложных и дорогостоящих ионно-лучевых ускорителей (импланторов) и, в сочетании с фотолюитографией высокого разрешения, изменять элементный состав и свойства материала на нанометровом масштабе. Однако, для реализации потенциальных возможностей разрабатываемых методов необходимы достоверные знания о природе и условиях селективного воздействия быстрых ионов на атомный состав мишени. Требуется установить физические механизмы, контролирующие процессы селективного удаления (или замещения) атомов определенного сорта в материале под действием ионного облучения. Создание и конструирование наноустройств на основе облученных тонкопленочных материалов также требует совершенно новых технических решений и сопряжено со значительными экспериментальными и конструкторскими трудностями. Все вышеизложенное являлось целью и основными задачами, решаемыми в диссертационной работе Приходько К.Г., что безусловно указывает на ее **актуальность и значимость** как с научной, так и практической точек зрения.

Все данные полученные диссертантом в ходе проведённых экспериментов и научных исследований различных образцов тонкопленочных материалов и гетеро структур – а это десятки образцов оксидов и нитридов различных металлов (Ві, Со, Ті, Сu, Nb и др.) и полупроводников (Ge, Si), подвергнутых облучению монотипным (протоны, ионы гелия или кислорода) или смешанным ионным пучком (протоны и ионы кислорода с одинаковой энергией), позволили автору разработать основы новой радиационной технологии по селективному удалению (СУА), соединению (САС) и замещению атомов (СЗА) в исследованных материалах. В качестве **наиболее научно и практически значимых результатов** работы отметим:

1. Установлены доминирующие физические механизмы и разработана кинетическая модель процесса селективного удаления атомов из тонкопленочных материалов, а также селективного изменения их атомного

- состава под действием низкоэнергетичных ионных пучков смешанного состава (в основном, протонов в сочетании с ионами кислорода) (Гл.1 и 2).
2. Оптимизированы параметры и условия ионного облучения и предложен ряд технических решений реализации разработанных методов СУА САС СЗА для создания различных функциональных элементов на нанометрическом масштабе (Гл., Гл.2 и Гл.3).
 3. С использованием разработанных автором методов получен ряд различных наноустройств, в некоторых случаях с рекордными рабочими характеристиками и показателями, и перспективных для микроэлектроники, записи информации с повышенной плотностью и криогенной техники (Гл. 4 и 5).

Высокая научная квалификация диссертанта не вызывает сомнений. Выдающееся экспериментальное мастерство и убедительная теоретическая интерпретация результатов на основе общепринятых положений радиационной физики твердого тела, с привлечением современных методов исследования элементно-фазового состава, микроструктуры и физических свойств материалов, включая атомно-силовую, магнитно-силовую и просвечивающую микроскопию высокого разрешения, рентгеновскую фотоэлектронную спектроскопию с послойным травлением, вибрационную магнитометрию и ряд других, не оставляют сомнений в **достоверности** полученных результатов. **Достоверность** подтверждается и экспертизой в рецензируемых научных журналах. Результаты исследований и основные положения, выносимые на защиту, были опубликованы в более, чем 25-ти научных статьях в российских и зарубежных журналах, относящихся к перечню ВАК. Способы создания с помощью ионных пучков наноструктурированных материалов и устройств различного функционального назначения защищены более, чем 10-тью Патентами РФ.

Подавляющее большинство представленных результатов получено лично К. Е. Приходько. Диссертант щепетильно отмечает все случаи, когда привлекались экспериментальные, либо теоретические достижения других авторов, путем вынесения сносок в конец страницы. Все это должным образом оговорено и не может служить препятствием к признанию решающего **личного вклада диссертанта**.

В диссертации не видно сколько-нибудь существенных недостатков или сомнительных мест, требующих серьезной дискуссии. Имеет место только два замечания по работе:

- 1) В работе не приведены значения величин и энергии активации радиационно-стимулированной диффузии первично выбитых атомов (O, N и Si) или замещающих их атомов того же кислорода, хотя представленные в работе временные и температурные зависимости, например, изменения толщины окисленного слоя, толщины восстановленного кобальта и другие зависимости позволяют это сделать.
- 2) В кинетическом уравнении 1.37 на стр. 91, функции генерации выбитых атомов должно записываться как произведение функции распределения $G(z)$ на плотность ионного тока j , а не на F (дозу имплантации).

Отмеченные недостатки не снижают качество исследований, носят рекомендательный характер и не затрагивают основные положения, выносимые на защиту.

Переходя к заключительной оценке диссертации, можно утверждать, что она выполнена на высоком научном уровне. Значимость диссертации состоит в решении актуальной и важной научной проблемы – разработке методов контроля и управления элементно-фазовым составом и свойствами наноматериалов, полученных с использованием ионных пучков. Важно, что эта задача решена для широкого класса оксидных и полупроводниковых материалов, имеющих большое прикладное значение. Отметим ясный и лаконичный язык, а также логику в последовательности изложения результатов. По каждой главе и работе в целом сделаны обоснованные выводы. Полученные результаты могут быть использованы не только в промышленности, но и в научных и прикладных исследованиях, проводимых в Казанском физико-техническом институте РАН, Нижегородском Государственном университете, Институте физики полупроводников СО РАН, Научно-исследовательский институт ядерной физики при МГУ, Физическом Институте им. Лебедева РАН и в ряде других научных организациях, занимающихся ионно-лучевой модификацией свойств материалов.

Автореферат полностью отражает содержание диссертации, защищаемые положения и выводы.

Диссертация Приходько К.Е. соответствует всем критериям (п.9-п.14) Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением правительства РФ №842 от 24.09.2013, и требованиям ВАК, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук, а ее автор Приходько Кирилл Евгеньевич, несомненно, заслуживает присуждения искомой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.01 — приборы и методы экспериментальной физики.

Диссертация была заслушана и обсуждена 19 октября 2016 года на научном семинаре и заседании Ученого Совета КФТИ КазНЦ РАН (Протокол № 29). Отзыв утвержден Ученым Советом (протокол № 31 от 09 ноября 2016 г.).

Текст отзыва составил:

Доктор физико-математических наук,
Лауреат Государственной премии СССР

Баязитов Рустэм Махмудович

« 8 » ноября 2016 г.

Заведующий лабораторией интенсивных радиационных воздействий
Федерального государственного бюджетного учреждения науки Казанский
физико-технический институт им. Е.К. Завойского Казанского научного
центра Российской академии наук (КФТИ КазНЦ РАН).

420029 г. Казань, ул. Сибирский тракт, д. 10/7,

Тел.: +7 (843) 2319102,

E-mail: bayaz@kfti.knc.ru



Рустэм Махмудович Баязитов
КФТИ КазНЦ РАН
Ирина Куркина
08.11.16