

Заключение

диссертационного совета Д 520.009.01 на базе Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» по диссертации Дементьевой М.М. **«Аналитическая просвечивающая электронная микроскопия для контроля локального изменения химического и фазового составов тонких пленок под действием низкоэнергетического ионного облучения»**, представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.01 – «Приборы и методы экспериментальной физики»

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований

1) получены следующие результаты:

- разработан оригинальный метод экспериментального определения величины энергии активации и коэффициента радиационно-стимулированной диффузии удаляемых атомов применительно к процессу селективного удаления атомов под действием низкоэнергетического ионного облучения тонкопленочных материалов.
- экспериментально определены значения энергии активации и коэффициента радиационно-стимулированной диффузии для выбитых атомов кислорода в тонких пленках Co_3O_4 . Кроме того, определено, что диффузионный процесс в пленках оксида кобальта под действием низкоэнергетического протонного облучения протекает по межузельному механизму;
- оптимизирован метод съемки спектров энергетических потерь энергии электронов, что позволяет получать данные о распределении химических элементов и концентрации свободных электронов на уровне Ферми по глубине материала;
- комплексом методов аналитической высокоразрешающей просвечивающей электронной микроскопии (ВРЭМ) изучены изменения химического и фазового составов по глубине широкого класса тонкопленочных материалов на образцах поперечных срезов;
- проведенные комплексные ВРЭМ исследования подтвердили возможность использования методов радиационной нанотехнологии для контролируемого немонотонного изменения фазового состава и электрофизических свойств по глубине тонкопленочных материалов;

2) Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

- на основе разработанного метода определения параметров диффузии впервые усовершенствована кинетическая модель процесса восстановления пленок оксида металлов под действием низкоэнергетического протонного облучения;
- впервые подтверждена радиационная природа процессов селективного удаления атомов путем экспериментальной демонстрации немонотонного характера

восстановления оксидов металлов по глубине тонкопленочного материала;

- впервые показано, что изменение фазового состава по глубине пленки под действием ионного облучения коррелирует с изменением плотности свободных электронов на уровне Ферми, определяющие электрофизические свойства материала;

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

- разработанный метод определения величин энергии активации и коэффициента радиационно-стимулированной диффузии выбитых атомов позволяет прогнозировать свойства функциональных наноэлементов, создаваемых радиационными методами, а также определенные численные значения параметров диффузии могут быть использованы для моделирования сложных интегрированных наноструктур;
- экспериментально разработанные режимы облучения тонкопленочного сверхпроводящего NbN, приводящие к контролируемому локальному изменению электрофизических свойств (критического тока и температуры сверхпроводящего перехода) были использованы при создании бесконтактного криогенного переключателя и интегрированных криогенных сопротивлений;
- экспериментально продемонстрированное восстановление ферромагнитного Co, окруженного кристаллической фазой антиферромагнитного оксида CoO в исходной матрице немагнитного оксида Co₃O₄, перспективно для создания стабильной высокоплотной магнитной паттернированной среды;
- результаты, полученные впервые в диссертационной работе Дементьевой М.М. могут быть использованы в научных и прикладных исследованиях, проводимых в ИФТТ РАН г. Черноголовка, НИЦ «Курчатовский институт» г. Москва, АО «Ангстрем» г. Зеленоград, и в ряде других научных организациях, занимающихся изготовлением и исследованием свойств тонкопленочных материалов.

4) Оценка достоверности результатов исследования подтверждается:

- набором эмпирически полученных данных, в том числе численных значений концентрации свободных электронов на уровне Ферми и величин энергии активации диффузии по межузельному механизму, непротиворечащих теоретическим расчетам и экспериментальным результатам, полученным другими методами и представленным в независимых достоверных источниках по данной тематике;
- применением современного просвечивающего электронного микроскопа с атомным разрешением, оснащенного спектрометром энергетических потерь электронов, что позволило оценить фазовый и химический состав, распределение элементов и физических свойств по глубине тонкопленочных материалов;
- практической реализацией результатов исследований при создании криогенных

переключателей.

5) Личный вклад соискателя адекватно отражен в содержании диссертации и основных положениях, вынесенных на защиту, и состоит в:

- определяющем вкладе в проведение исследований радиационно-индуцированных преобразований химического и фазового составов по глубине тонкопленочных материалов с использованием спектроскопии энергетических потерь электронов в режиме просвечивающей растровой электронной микроскопии и метода просвечивающей электронной микроскопии высокого разрешения, включающего расшифровку картин преобразования Фурье;
- разработке метода и экспериментальном определении величины энергии активации и коэффициента радиационно-стимулированной диффузии выбитых атомов кислорода, контролирующей восстановление материалов при проведении процесса селективного удаления атомов;
- в экспериментальном определении распределения по глубине концентрации свободных электронов на уровне Ферми в тонкопленочном нитриде ниобия, облученном ионами кислорода, методом анализа энергетических потерь электронов в режиме трансмиссионного сканирования;
- непосредственном вкладе в проведение обработки экспериментальных данных и их анализе, а также демонстрацию возможности использования полученных результатов в технологии изготовления тонкопленочных функциональных наноустройств методами радиационной нанотехнологии.

ДИССЕРТАЦИОННЫЙ СОВЕТ пришел к выводу, что диссертационная работа Дементьевой М.М. «Аналитическая просвечивающая электронная микроскопия для контроля локального изменения химического и фазового составов тонких пленок под действием низкоэнергетического ионного облучения», представленная на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.01 – «Приборы и методы экспериментальной физики», представляет собой законченную научно-квалификационную работу, которая соответствует критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, утвержденным Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842.

ДИССЕРТАЦИОННЫЙ СОВЕТ принял решение присудить Дементьевой М.М. ученую степень кандидата физико-математических наук по специальности «Приборы и методы экспериментальной физики» (01.04.01).

При проведении тайного голосования ДИССЕРТАЦИОННЫЙ СОВЕТ в количестве 20 человек, из них 6 докторов наук по специальности 01.04.01 – «Приборы и методы

экспериментальной физики», участвовавших в заседании, из 27 человек, входящих в состав совета, проголосовал:

за присуждение ученой степени – 20, против присуждения ученой степени – 0, недействительных бюллетеней – 0.

Протокол счетной комиссии утвержден открытым голосованием присутствующих членов ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА – единогласно.