

Заключение диссертационного совета МГУ.013.7
по диссертации на соискание ученой степени кандидата наук

Решение диссертационного совета от 06 марта 2025 г., № 1

О присуждении Лукьянцеву Денису Сергеевичу, гражданину РФ, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Метод контролируемого формирования наноструктурированных металлооксидных пленок» по специальности 1.3.5. Физическая электроника принята к защите диссертационным советом 26 декабря 2024 г., протокол № 4П.

Соискатель Лукьянцев Денис Сергеевич, 1996 года рождения, в 2020 году закончил магистратуру федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ». Осваивает программу подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре с окончанием в 2025 году в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ».

Соискатель с 01 февраля 2025 года работает в должности старшего преподавателя кафедры общей физики и ядерного синтеза института тепловой и атомной энергетики федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ».

Диссертация выполнена на кафедре общей физики и ядерного синтеза института тепловой и атомной энергетики федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ».

Научный руководитель – доктор технических наук Лубенченко Александр Владимирович, профессор кафедры общей физики и ядерного синтеза института тепловой и атомной энергетики федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ».

Официальные оппоненты:

Крупенин Владимир Александрович, доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории «Криоэлектроника» кафедры физики полупроводников и криоэлектроники физического факультета федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»,

Новодворский Олег Алексеевич, доктор физико-математических наук, доцент, заведующий лабораторией наноструктур и оптических покрытий отделения ИПЛИТ – Шатура НИЦ «Курчатовский институт» «Курчатовский Комплекс «Кристаллография и фотоника» (КККиФ),
Шерстюк Наталия Эдуардовна, доктор физико-математических наук, доцент, профессор

кафедры нанoeлектроники института перспективных технологий и индустриального программирования федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «МИРЭА – Российский технологический университет» (РТУ МИРЭА) дали положительные отзывы на диссертацию.

Выбор официальных оппонентов обосновывался тем, что они являются специалистами в областях создания и исследования наноразмерных структур и имеют публикации по указанной тематике.

Соискатель имеет 15 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 15 работ, из них 5 статей, опубликованных в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных для защиты в диссертационном совете МГУ.

1. Лукьянцев Д.С., Лубенченко А.В., Иванов Д.А., Паволоцкий А.Б., Лубенченко О.И., Иванова И.В., Павлов О.Н. Модификация и распыление неоднородных многослойных окисленных металлических пленок слаботочными пучками ионов аргона // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. – 2024. – № 5. – С. 69-77. DOI: 10.31857/S1028096024050106, авт.вклад 0.9 п.л. из 1.11 п.л. (РИНЦ: ИФ – 0.303).
2. Лубенченко А.В., Лубенченко О.И., Иванов Д.А., Лукьянцев Д.С., Паволоцкий А.Б., Павлов О.Н., Иванова И.В. Послойный анализ многослойных неоднородных ультратонких пленок с субнанометровым разрешением // Журнал технической физики. – 2024. – Т. 94, № 8. – С. 1229-1239, авт.вклад 0.65 п.л. из 1.11 п.л. (РИНЦ: ИФ – 0.717). [Lubenchenko A.V., Lubenchenko O.I., Ivanov D.A., Lukyantsev D.S., Pavolotsky A.B., Pavlov O.N., Ivanova I.V. Depth profiling of multilayer inhomogeneous ultra-thin films with a sub-nanometer resolution // Technical Physics. – 2024. – Vol. 69, № 8. – P. 1137-1147. DOI: 10.61011/TP.2024.08.59000.112-24, авт.вклад 0.65 п.л. из 1.11 п.л. (WoS: JIF – 1.1)].
3. Лукьянцев Д.С., Лубенченко А.В., Иванов Д.А., Будаев В.П., Павлов И.Н., Павлов О.Н., Лубенченко О.И. Численное моделирование фотоэлектронной эмиссии от наноструктурированной поверхности // Ядерная физика и инжиниринг. – 2024. – Т. 15, № 4. – С. 400-408, авт.вклад 0.8 п.л. из 0.94 п.л. (РИНЦ: ИФ – 0.056). [Lukiantsev D.S., Lubenchenko A.V., Ivanov D.A., Budaev V.P., Pavlov I.N., Pavlov O.N., Lubenchenko O.I. Numerical Simulation of Photoelectric Emission from a Nano-structured Surface // Physics of Atomic Nuclei. – 2023. – Vol. 86, № 10. – P. 2344-2351. DOI: 10.1134/S1063778823100290, авт.вклад 0.8 п.л. из 0.94 п.л. (WoS: JIF – 0.3)].
4. Лукьянцев Д.С., Лубенченко А.В., Иванов Д.А., Лубенченко О.И., Федотов А.С. Влияние наноразмерных горизонтальных неоднородностей на послойный анализ поверхности методом рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2022. – Т. 22, № 6. – С. 1104-1111, авт.вклад 0.85 п.л. из 0.94 п.л. (РИНЦ: ИФ – 0.588).

5. Лубенченко А.В., Иванов Д.С., Лубенченко О.И., Паволоцкий А.Б., Лукьянцев Д.С., Ячук В.А., Павлов О.Н. Формирование неоднородных оксидных и субоксидных слоев на ультратонкой металлической пленке при многократном окислении и ионном распылении // Журнал технической физики. – 2022. – Т. 92, № 8. – С. 1172-1178, авт.вклад 0.45 п.л. из 0.81 п.л. (РИНЦ: ИФ – 0.717). [Lubenchenko A.V., Ivanov D.A., Lubenchenko O. I., Pavolotsky A.B., Lukiantsev D.S., Iachuk V.A., Pavlov O.N. Formation of inhomogeneous oxide and suboxide layers on an ultra-thin metal film by multiple oxidation and ion sputtering // Technical Physics. – 2022. – Vol. 67, № 8. – P. 990-995. DOI: 10.21883/TP.2022.08.54561.68-22, авт.вклад 0.45 п.л. из 0.81 п.л. (WoS: JIF – 1.1)].

На диссертацию и автореферат поступило 3 дополнительных отзыва. Все положительные.

Диссертационный совет отмечает, что представленная диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований содержится решение задачи разработки метода формирования наноструктурированных металл-оксидных пленок с *in situ* контролем их послойного химического фазового состава с субнанометровой точностью, имеющей значение для развития соответствующей отрасли знаний – взаимодействия заряженных частиц с поверхностью твёрдого тела.

Применение предложенного в диссертации метода управляемого формирования наноструктурированных металл-оксидных пленок при контроле их химического состава с помощью рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии с угловым разрешением открывает дополнительные возможности оптимизации параметров пленок для обеспечения стабильной работы нанoeлектронных устройств, созданных на их основе. Метод может быть использован для создания разнообразных гетерогенных наноструктур с помощью различных ионно-плазменных технологий. Полученные результаты о влиянии ионного облучения и атмосферного окисления на послойный химический фазовый состав металл-оксидных пленок уточняют представления о стадиях формирования различных оксидных структур и важны для прогнозирования и контроля процессов их модификации. Предложенный метод послойного химического фазового анализа наноструктурированных поверхностей твердых тел с субнанометровым разрешением обладает значительным потенциалом для исследования тонкопленочных функциональных покрытий. Он также крайне полезен для исследования состава и структуры тонких приповерхностных слоев функциональных элементов современных наноразмерных структур и устройств, включая квантовые.

Диссертация представляет собой самостоятельное законченное исследование, обладающее внутренним единством. Положения, выносимые на защиту, содержат новые научные результаты и свидетельствуют о личном вкладе автора в науку:

1. Разработанный многоэтапный алгоритм химического анализа поверхности твердого тела, который основан на модели мишени с плоскопараллельными слоями, позволяет определить послойный химический фазовый состав металл-оксидных ультратонких пленок с

субнанометровым разрешением.

2. Полученные аналитические выражения для фотоэлектронной эмиссии от мишеней с периодическими и стохастическими поверхностными неоднородностями, учитывающие многократное неупругое рассеяние фотоэлектронов, позволяют рассчитывать рентгеновские фотоэлектронные спектры в широком диапазоне потерь энергии для различных углов визирования.

3. Метод определения послойного химического фазового состава неоднородных пленок с наноразмерной шероховатой поверхностью на основе рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии с угловым разрешением позволяет определить не только фазовый профиль мишени, но и средние размерные параметры шероховатости пленки (средняя толщина слоя, максимальная толщина и дисперсия толщины). Метод основан на модели многослойной мишени со стохастическим поверхностным слоем.

4. Метод контролируемого формирования наноструктурированных металл-оксидных пленок, основанный на чередовании различных режимов модифицирования, распыления и кратковременного окисления, позволяет создавать неоднородные многослойные пленки с известным химическим фазовым составом по глубине. Режим модифицирования (флюенс – менее $1,3 \cdot 10^{15}$ ион/см², начальная энергия ионов – 0,5 кэВ, угол падения ионов от нормали к поверхности – 70°) приводит к кислородному обеднению оксидных слоев без существенного изменения их толщин за счет более интенсивного распыления атомов кислорода мишени. Режим распыления (флюенс – $5 \cdot 10^{15}$ ион/см², начальная энергия ионов – 1,0 кэВ, угол падения ионов от нормали к поверхности – 70°) приводит не только к модифицированию поверхности, но и позволяет эффективно изменять толщину слоя.

На заседании 06 марта 2025 г. диссертационный совет принял решение присудить Лукьянцеву Д.С. ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 19 человек, из них 4 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 24 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за присуждение ученой степени – 17, против – 1, недействительных бюллетеней – 1.

Зам. председателя
диссертационного совета,
профессор

Черныш В.С.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
доцент

Карташов И.Н.