ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.326.07 НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «МИРЭА – РОССИЙСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ» (РТУ МИРЭА) МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

Аттестационное дело № \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 29.10.2024 г. № 60

О присуждении Селюкову Роману Вячеславовичу, гражданину РФ, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Влияние ионной бомбардировки на структуру и электрические свойства тонких пленок металлов» в виде рукописи по специальности 2.2.2. Электронная компонентная база микро- и наноэлектроники, квантовых устройств принята к защите 27.02.2024, протокол № 40, диссертационным советом 24.2.326.07, созданным на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования МИРЭА - Российский технологический университет» (РТУ МИРЭА) Министерства науки и высшего образования РФ. Адрес: Москва, 119454, проспект Вернадского, 78. Приказ № 86/нк от 26.01.2023 г.

Соискатель – Селюков Роман Вячеславович, 7 апреля 1981 года рождения, в 2003 году окончил Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова» по специальности «Микроэлектроника и полупроводниковые приборы». В 2006 году окончил аспирантуру Института микроэлектроники и информатики РАН по направлению подготовки 05.27.01. «Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и наноэлектроника, приборы на квантовых эффектах». На момент защиты работает старшим научным сотрудником лаборатории технологии микро- и наносистемной техники ФГБУ "Национальный исследовательский центр "Курчатовский институт", Курчатовский комплекс НБИКС-природоподобных технологий, Отделение физико-технологических исследований имени К.А. Валиева, г. Ярославль, а также ведущим инженером в Научно-образовательном центре «Технологический центр» РТУ МИРЭА.

Диссертация выполнена в Ярославском Филиале Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физико-технологического института им. К.А. Валиева Российской академии наук.

Научный руководитель – кандидат физико-математических наук Наумов Виктор Васильевич, ФГБУ "Национальный исследовательский центр "Курчатовский институт", Курчатовский комплекс НБИКС-природоподобных технологий, Отделение физико-технологических исследований имени К.А. Валиева, г. Ярославль, ученый секретарь.

**Официальные оппоненты:**

Борисов Анатолий Михайлович, доктор физико-математических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», профессор кафедры 1203 "Технологии производства приборов и информационных систем управления летательных аппаратов"; Казиев Андрей Викторович, кандидат физико-математических наук, доцент, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», доцент кафедры физики плазмы, дали положительные отзывы на диссертацию.

**Ведущая организация** федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «Московский институт электронной техники», в своем положительном заключении, подписанном кандидатом технических наук, доцентом, проректором по научной работе Дроновым Алексеем Алексеевичем и составленном доктором технических наук, профессором, директором Института интегральной электроники имени академика К.А. Валиева (ИнЭл) Лосевым Владимиром Вячеславовичем и кандидатом технических наук, секретарем Ученого совета Института интегральной электроники имени академика К.А. Валиева (ИнЭл) Булахом Дмитрием Александровичем, указала, что диссертация является законченным актуальным исследованием с высоким уровнем научной новизны, анализ выводов показал, что все поставленные задачи были решены. Диссертация удовлетворяет всем требованиям, установленным пунктами 9, 10, 11, 13, 14 Положения «О порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г. с изменениями, внесенными Постановлением Правительства РФ от 26.05.2020 №751, в редакции от 26.10.2023, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор, Селюков Роман Вячеславович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.2. Электронная компонентная база микро- и наноэлектроники, квантовых устройств.

**Соискатель имеет** 21 опубликованную работу, в том числе по теме диссертации опубликовано 6 работ в рецензируемых научных изданиях, входящих в перечень ВАК и индексируемых в базах данных WoS и Scopus:

1. Селюков, Р.В. Влияние толщины пленки Pt на процессы роста зерен при ее отжиге / Р.В. Селюков, В.В. Наумов, С.В. Васильев // Журнал технической физики. – 2018. – Т. 88 – №6 – с. 926 - 933.
2. Селюков, Р.В. Влияние толщины пленки Pt на изменение текстуры и доли кристаллической фазы при ее отжиге / Р.В. Селюков, В.В. Наумов // Журнал технической физики. – 2020. – Т. 90 – №5 – с. 795 - 804.
3. Селюков, Р.В. Формирование текстуры (100) в тонких пленках Ti под действием низкоэнергетической ионной бомбардировки / Р.В. Селюков, М.О. Изюмов, В.В. Наумов, Л.А. Мазалецкий // Письма в журнал технической физики. – 2021. – Т. 47 – №23 – с. 35 - 39.
4. Амиров, И.И. Влияние условий нанесения и ионно-плазменной обработки тонких пленок кобальта на их электросопротивление / И.И. Амиров, Р.В. Селюков, В.В. Наумов, Е.С. Горлачев // Микроэлектроника. – 2021. – Т. 50 №1 – с. 1 - 7.
5. Селюков, Р.В. Влияние низкоэнергетической ионной бомбардировки на текстуру и микроструктуру пленок Pt / Р.В. Селюков, В.В. Наумов, М.О. Изюмов, С.В. Васильев, Л.А. Мазалецкий // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. – 2023. – №2 – с. 9 - 16.
6. Селюков, Р.В. Изменения текстуры и удельного сопротивления пленок Ti под действием ионной бомбардировки / Р.В. Селюков, И.И. Амиров, М.О. Изюмов, В.В. Наумов, Л.А. Мазалецкий // Журнал технической физики. – 2023. – Т. 93 – №10 – с. 1509 - 1519.

Подготовка публикаций выполнена соискателем совместно с научным руководителем В.В. Наумовым и д.ф.-м.н. И.И. Амировым (ФГБУ "Национальный исследовательский центр "Курчатовский институт", Курчатовский комплекс НБИКС-природоподобных технологий, Отделение физико-технологических исследований имени К.А. Валиева, г. Ярославль). Результаты диссертационной работы полностью отражены в опубликованных статьях. Работы выполнены на высоком научном уровне, в диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных работах.

На диссертацию и автореферат поступило 3 отзыва, все отзывы положительные:

1. От Светового В.Б., д.ф.-м.н., ведущего научного сотрудника лаборатории поверхностных сил ФГБУН Института физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина Российской академии наук. В качестве замечаний указано, что утверждение о циклических изменениях напряжений как причине немонотонных изменений удельного сопротивления пленок Co носит характер предположения и не доказывается строго. Также указано, что следовало бы проводить более детальный анализ химического состава пленок как до, так и после обработки в плазме с целью установить влияние примесей на структуру и удельное сопротивление.

2. От Манухина В.В., к.ф.-м.н., доцента кафедры общей физики и ядерного синтеза ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ».

В качестве замечаний указано, что в автореферате не представлены результаты исследования морфологии поверхности обработанных образцов, при том, что известно о ее влиянии на удельное сопротивление тонких пленок, а также, что на рис. 10 – 11 автореферата не приведены погрешности измерения удельного сопротивления пленки Co, вместе с тем, для объяснения полученных результатов важен вопрос о воспроизводимости приведенных зависимостей.

3. От Зыковой Екатерины Юрьевны, кандидата физико-математических наук, доцента кафедры физической электроники физического факультета, ФГБОУ ВО Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова. В качестве замечаний указано, что на части графиков с экспериментальными данными не представлены погрешности, что оставляет открытым вопрос о влиянии ошибок измерений на результаты.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что официальные оппоненты и работники ведущей организации являются высококвалифицированными специалистами в области физики плазмы и тонких пленок.

**Диссертационный совет отмечает**, что выполненные соискателем исследования вносят вклад в изучение влияния низкоэнергетической ионной бомбардировки в индуктивно-связанной плазме Ar на микроструктуру, кристаллическую текстуру, удельное сопротивление тонких пленок Pt и Ti, на внутренние напряжения в них, а также на удельное сопротивление тонких пленок Co.

Установлено, что под воздействием ионной бомбардировки в плазме Ar со средней энергией ионов 20 - 30 эВ в пленках Ti толщиной до 30 нм происходит перестройка текстуры пленки от смешанной (100) + (001) к однокомпонентной (100). Получено, что повторяющиеся плазменные обработки пленок Со толщиной 10 – 50 нм с энергией ионов Ar, равной 15 – 20 эВ при температуре 500 К приводят к немонотонным, осциллирующим изменениям удельного сопротивления от обработки к обработке. Найдено, что ионная бомбардировка в плазме Ar со средней энергией ионов 15 - 125 эВ тонких пленок Pt способствует частичной релаксации сжимающих внутренних напряжений без существенных изменений их микроструктуры, текстуры и удельного сопротивления.

**Значение полученных соискателем результатов исследования для практики** подтверждается показанной возможностью использования низкоэнергетической ионной бомбардировки в индуктивно-связанной плазме Ar в качестве технологической операции для формирования текстуры (100) в тонких пленках Ti, а также изменения их удельного сопротивления. Обнаружена устойчивость текстуры, микроструктуры и удельного сопротивления тонких пленок Pt при обработке с энергиями ионов ниже порога распыления, а также при низкоэнергетическом ионном распылении в плазме Ar одновременно с релаксацией сжимающих напряжений, что позволяет использовать ионно-плазменные обработки пленок Pt для снижения остаточных напряжений в них без модификации их структуры при изготовлении приборов с подслоями Pt, в том числе, с пленками пьезо- и сегнетокерамики. Показана возможность в широких пределах изменять удельное сопротивление тонких пленок Co с помощью высокотемпературной плазменной обработки, что можно использовать при использовании перспективных процессов плазменной обработки тонких пленок металлов, в том числе, при изготовлении металлизации.

**Оценка достоверности** результатов исследования выявила: результаты получены на основе экспериментов, проведенных на современном научном оборудовании с использованием общепринятых методик и статистических методов обработки экспериментальных данных. Достоверность полученных результатов обеспечивалась воспроизводимостью получаемых результатов, использованием взаимодополняющих экспериментальных методик. Также полученные результаты исследований опубликованы в индексируемых журналах и апробированы на тематических международных конференциях.

**Личный вклад соискателя** состоит в постановке части конкретных задач исследования, самостоятельном получении, обработке, научном анализе и обобщении экспериментальных данных. Соискатель принимал ведущую роль в подготовке публикаций по выполненной работе, а также в апробации результатов исследований.

**В ходе защиты диссертации были заданы вопросы и высказаны некоторые критические замечания:** о точности измерения удельного сопротивления тонких пленок Co, об обоснованности предложенного объяснения причины немонотонных изменений удельного сопротивления пленок Co, о дополнительных методах измерения напряжений в пленках. Соискатель Селюков Р.В. ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы: точность измерения удельного сопротивления достаточна, чтобы утверждать о его немонотонном изменении в процессе повторяющихся обработок; объяснение немонотонных изменений удельного сопротивления пленок Co циклическими изменениями внутренних напряжений носит характер предположения; к измерениям напряжений в пленках дополнительные методы не привлекались, однако использованный рентгенодифракционный метод позволяет правильно описать динамику изменения напряжений.

Диссертация соответствует критериям Положения «О порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 № 842 в текущей редакции. На заседании 29.10.2024 г. диссертационный совет принял решение присудить Селюкову Роману Вячеславовичу ученую степень кандидата технических наук по специальности 2.2.2. Электронная компонентная база микро- и наноэлектроники, квантовых устройств за решение актуальной научной задачи, имеющей значение для технологии тонких пленок, а именно, за исследование влияния низкоэнергетической ионной бомбардировки в индуктивно-связанной плазме Ar на текстуру, микроструктуру и удельное сопротивление пленок Pt, Ti, а также на удельное сопротивление тонких пленок Co.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 16 человек, из них 4 доктора наук по специальности 2.2.2. Электронная компонентная база микро- и наноэлектроники, квантовых устройств, участвовавших в заседании, из 22 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 16, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Зам. председателя

диссертационного совета А.Н. Юрасов

Ученый секретарь

диссертационного совета Л.Ю. Фетисов

29.10.2024