



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования

«Национальный исследовательский
Нижегородский государственный
университет им. Н.И. Лобачевского»
(ННГУ)

Гагарина пр., 23, г. Нижний Новгород,
Россия, ГСП-20, 603022
Тел. (831)462-30-90 Факс (831)462-30-85
e-mail: unn@unn.ru

22.03.2023 № 13-4/43
на № 338/23-07/180 от 28.02.2023

УТВЕРЖДАЮ

проректор ННГУ
им. Н. И. Лобачевского
по научной работе д.ф.-м.н.

М.В. Иванченко

«22» марта 2023 г.



ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию
КАРТАПОВОЙ ТАТЬЯНЫ СЕРГЕЕВНЫ
«ТОНКИЕ УГЛЕРОДНЫЕ ПЛЕНКИ НА ПОВЕРХНОСТИ ЖЕЛЕЗА,
ПОЛУЧЕННЫЕ МЕТОДОМ МАГНЕТРОННОГО НАПЫЛЕНИЯ С ИОННО-
ЛУЧЕВОЙ МОДИФИКАЦИЕЙ», представленную на соискание ученой
степени кандидата физико-математических наук по специальности
1.3.8 - физика конденсированного состояния

Актуальность темы диссертации

Актуальность представленной работы диктуется необходимостью развития новых и совершенствования существующих технологий направленной модификации поверхности как с целью создания защитных коррозионностойких покрытий с высокой адгезией и износостойкостью, так и создания экономичных технологий производств материалов для электрохимии. Несмотря на многочисленные разработки в этой области, изучение физико-химических свойств ионно-модифицированных поверхностей требует дальнейшего изучения химического состава, межатомных химических связей, атомной структуры тонких поверхностных слоев, сформированных в результате магнетронного напыления с последующей ионной имплантацией.

Среди практических приложений представляют интерес тонкие углеродные и углеродно-азотные пленки на металлических поверхностях, которые могут обладать рядом полезных функциональных свойств в сочетании с высокими механическими характеристиками. Многочисленными исследованиями показано, что структура, плотность, стабильность и свойства углеродных и карбонитридных пленок существенно зависят от способов и условий их получения. Среди множества методов формирования покрытий с заданными свойствами перспективными являются методы ионно-лучевой обработки, в частности, воздействие потоком ионов на предварительно нанесенные магнетронным способом на поверхность мишени нанослой легирующего вещества, что позволяет формировать наноразмерные покрытия с высокой адгезией к подложке. Преимуществом данного метода является возможность локального воздействия, контроль глубины обработки в нанометровом масштабе за счет подбора параметров облучения, исключение высокотемпературного воздействия на материал. Кроме того, ионно-лучевой обработкой возможно создание метастабильных состояний и структур, которые не могут быть получены методами традиционной металлургии. Применение комбинированного метода

магнетронного нанесения поверхностной пленки с последующим ионным облучением позволит сформировать тонкие нанометровые покрытия с высокой адгезией к подложке в единых вакуумных технологических условиях. Преимуществом данного подхода являются высокая чистота процесса, возможность локального воздействия, контроль глубины обработки в нанометровом масштабе за счет подбора параметров облучения, исключение высокотемпературного воздействия на материал. Несмотря на многолетнюю историю исследований, процессы формирования углеродных и углеродно-азотных покрытий на металлических поверхностях при ионно-лучевом перемешивании исследованы недостаточно. Железо и сплавы на его основе являются одними из широко применяемых в промышленности, поэтому формирование защитных покрытий на их поверхности является актуальной проблемой.

Интерес представляют формируемые при ионно-лучевом перемешивании переходные слои «пленка/металл» с неравновесной структурой нестехиометрических соединений систем Me-C-N, обладающих высокой химической активностью. Обработка углеродных пленок потоком высокоэнергетичных ионов азота с целью получения неравновесных карбонитридных структур представляет отдельный интерес.

Структура и содержание диссертации

Работа состоит из введения, 4 глав, выводов по каждой главе, выводов по диссертационной работе, списка литературы. Содержание диссертационной работы изложено на 121 странице машинописного текста, включая 53 рисунка и 4 таблицы. Список литературы содержит 135 наименований.

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы ее цель и задачи, показана научная новизна и практическая значимость полученных результатов, сформулированы положения, выносимые на защиту, приведены сведения о публикациях, апробации работы, структуре и объеме диссертации. Приведен обзор литературных данных, относящихся к теме диссертации. Отражено современное состояние исследований по теме диссертации. Описаны методы получения, синтеза и ионно-лучевой обработки, а также подробно изложены применяемые в диссертационной работе методики.

В диссертационной работе методами рентгеноэлектронной спектроскопии, рентгеноструктурного анализа, спектроскопии протяженных тонких структур энергетических потерь электронов, спектроскопии комбинационного рассеяния света, атомно-силовой микроскопии, наноиндентирования исследованы химический состав, структура, топография и твердость тонких углеродных и углеродно-азотных покрытий на армко-железе, полученных методом магнетронного напыления с их последующей обработкой импульсным потоком ионов аргона и азота. Изучено влияние имплантации двух типов ионов, отличающихся по массе и химической активности. Комплексный подход позволил получить важную информацию о послойном распределении, химическом состоянии компонентов и локальной атомной структуре сверхтонких нанометровых слоев, определяющих физико-химические свойства поверхности.

Научная новизна и практическая значимость работы

Предложена модель строения ионно-модифицированных наноразмерных углеродных слоев на армко-железе, повышающих коррозионную стойкость в нейтральных, кислых и щелочных средах. Впервые показано, что высокая коррозионная стойкость ионно-модифицированных слоев и пленок C/Fe и C-N/Fe на поверхности армко-железа, определяется не только свойствами самой углерод-содержащей пленки, но и переходным слоем переменного состава C-(N)-O-Fe, формируемым на границе раздела «пленка-металл» в результате баллистического перемешивания компонентов, а также внедрения химически активных ионов азота при ионной имплантации. Установлены оптимальные параметры связи толщины углеродных пленок, энергии и дозы облучения. Показано, что

проективный пробег, определяющийся энергией ионов, достигает границу раздела «пленка-металл», при этом доза облучения не должна приводить к радиационно-термическому отжигу модифицируемых слоев. Предложенная модель и подходы могут быть использованы для разработки технологии коррозионностойких покрытий в промышленности.

Достоверность результатов

Достоверность приведенных в диссертации результатов исследований обеспечена использованием современного оборудования и методик, а также лицензионных программ их обработки. Использованы аттестованные материалы, результаты обсуждены на семинарах и конференциях. Получено удовлетворительное согласие полученных экспериментальных результатов с литературными данными и предыдущими исследованиями. Выводы, сделанные в диссертации, логически следуют из результатов экспериментальных исследований и не противоречат современным научным представлениям. Таким образом, полученные результаты и выводы, изложенные в диссертации, являются обоснованными и достоверными.

Оценка содержания работы

Диссертация является цельной, завершенной работой, к оформлению замечаний не имеется. Диссертация выполнена на высоком научном уровне.

Соответствие автореферата основным положениям диссертации

Содержание автореферата соответствует содержанию диссертационной работы. Автореферат содержит основные результаты и выводы диссертации

Публикация основных результатов диссертации в научной печати

Основное содержание диссертации изложено в 25 печатных работах, из них 7 работ опубликовано в изданиях, рекомендованных ВАК для публикации результатов диссертационных работ, 1 патент и 17 тезисов докладов.

Вопросы и замечания по диссертационной работе

1. В работе не приведены расчетные профили распределения внедряемых ионов, указаны лишь значения проецированных пробегов, взятые из справочника, при этом не указано: для какой формы углерода. Нет сравнения с экспериментальными профилями распределения, например, азота.
2. На стр. 33 утверждается, что рассчитана глубина слоев, распыляемых ионными пучками, но не приводится значений коэффициента распыления. Аналогичная ситуация на стр. 94: обсуждается распыление углеродного слоя ионами азота, а коэффициент распыления не приводится.
3. В работе сравнивается влияние ионного облучения аргоном и азотом на свойства системы «углеродный слой-железо» при одинаковой энергии ионных пучков. Однако пробеги аргона и азота в этом случае будут сильно отличаться: аргон почти полностью тормозится в углеродном слое, а при облучении азотом проецированный пробег оказывается больше толщины пленки. Следовало бы выбирать режим ионной имплантации, исходя из равенства проецированных пробегов.
4. В работе есть недочеты в оформлении, которые затрудняют чтение: отсутствует список сокращений и аббревиатур, перепутаны некоторые литературные ссылки, есть ошибки в подписях к рисункам 16, 29, 36, 44. В некоторых случаях автор использует термины, не принятые в литературе: «площадное разрешение» вместо «латерального разрешения», «проективный пробег» вместо «проецированный пробег».

Заключение

Диссертация Т.С. Картаповой «Тонкие углеродные пленки на поверхности железа, полученные методом магнетронного напыления с ионно-лучевой модификацией» является законченным исследованием. Отмеченные замечания не влияют на общее положительное впечатление от диссертационной работы Т.С. Картаповой.

Диссертация «Тонкие углеродные пленки на поверхности железа, полученные методом магнетронного напыления с ионно-лучевой модификацией» соответствует паспорту специальности 1.3.8 – «физика конденсированного состояния» и критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, а Картапова Т.С. заслуживает присуждения ученой степени кандидата-физико-математических наук по специальности 1.3.8 – физика конденсированного состояния.

Отзыв обсужден на расширенном заседании кафедры физики полупроводников, электроники и нанoeлектроники (ФПЭН) физического факультета ННГУ. Был заслушан и обсужден доклад соискателя, обсуждался и корректировался проект отзыва, который заранее готовился членами экспертной комиссии. Положительный отзыв ведущей организации единогласно одобрен на расширенном заседании 21.03.2023 г., протокол №12. На заседании присутствовало 20 сотрудников (15 к.ф.-м.н. + 5 д.ф.-м.н.).

Отзыв составили:

Заведующий кафедрой физики полупроводников, электроники и нанoeлектроники, ФГАОУ ВО "Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского", доктор физико-математических наук (1.3.8 - физика конденсированного состояния),

профессор _____

21 марта 2023 г.

ПАВЛОВ Дмитрий Алексеевич
(pavlov@unn.ru, +7 905 667 2218)

Доцент кафедры физики полупроводников, электроники и нанoeлектроники ФГАОУ ВО "Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского", кандидат физико-математических наук (1.3.11 - физика полупроводников),

Старший научный
сотрудник _____

21 марта 2023 г.

ДАНИЛОВ Юрий Александрович
(yury.danilov@gmail.com, +7 920 017 7141)

Подписи Павлова Д.А. и Данилова Ю.А. заверяет:

Ученый секретарь ННГУ _____

Л.Ю. ЧЕРНОМОРСКАЯ

Сведения о ведущей организации:

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского» (ННГУ)

Адрес: 603022, г. Нижний Новгород, пр. Гагарина, д. 23

Телефон: +7 (831) 462-30-03

Электронная почта: unn@unn.ru

Сайт: <http://www.unn.ru/>