

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА ДС.ТПУ.07,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
АВТОНОМНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ «НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТОМСКИЙ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ» МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ, ПО
ДИССЕРТАЦИИ
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
КАНДИДАТА НАУК

решение диссертационного совета ДС.ТПУ.07 от 27.06.2019 г. № 4

О присуждении Шевелеву Алексею Эдуардовичу, гражданину РФ, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Формирование высокоинтенсивных пучков ионов металлов низкой энергии на основе плазмы вакуумной дуги»

по специальности «01.04.20 – Физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника»

принята к защите 16.04.2019 года (протокол заседания №2) диссертационным советом ДС.ТПУ.07, созданным на базе Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования (ФГАОУ ВО) «Национальный исследовательский томский политехнический университет» (НИ ТПУ), Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, 634050, г. Томск, пр. Ленина 30, приказом по ФГАОУ ВО НИ ТПУ № 15895 от 06.12.2018 года.

Соискатель Шевелев Алексей Эдуардович, 1990 года рождения.

В 2015 г. окончил Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный

исследовательский Томский политехнический университет», Минобрнауки России.

Срок окончания очной аспирантуры – 2019 год.

Работает в должности инженера в Научной лаборатории высокоинтенсивной имплантации ионов Исследовательской школы физики высокоэнергетических процессов Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Диссертация выполнена в Научной лабораторией высокоинтенсивной имплантации ионов Исследовательской школы физики высокоэнергетических процессов Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – доктор физико-математических наук, профессор Рябчиков Александр Ильич, заведующий Научной лаборатории высокоинтенсивной имплантации ионов Исследовательской школы физики высокоэнергетических процессов Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Дополнительно введенные члены диссертационного совета ДС.ТПУ.7:

Блейхер Галина Алексеевна, доктор физико-математических наук, профессор Научно-образовательного центра Б.П. Вейнберга, Инженерной школы ядерных технологий Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Винтизенко Игорь Игоревич, доктор физико-математических наук, инженер Научно-исследовательской лаборатории СВЧ-технологии Инженерной школы ядерных технологий Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Официальные оппоненты:

Курзина Ирина Александровна, доктор физико-математических наук, доцент, профессор кафедры физической и коллоидной химии Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет», Министерства науки и высшего образования Российской Федерации;

Семенов Александр Петрович, доктор технических наук, профессор, заведующий лабораторией физического материаловедения Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт физического материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук, г. Улан-Удэ

дали положительные отзывы на диссертацию.

Выбор официальных оппонентов и дополнительно введенных членов диссертационного совета обосновывается их высокой квалификацией в области физики пучков заряженных частиц и ускорительной техники, воздействия пучков заряженных частиц на материалы и исследовании их свойств, широкой известностью своими достижениями в области физико-математических и технических наук, наличием публикаций по выполненным исследованиям, близким к теме работы соискателя, отсутствием совместных проектов и печатных работ, опытом научно-исследовательской работы и рейтингом ведущих научно-образовательных учреждений. Кроме того, оппоненты соответствуют Положению о совете по защите диссертаций на соискание

ученой степени кандидата наук в Национальном исследовательском Томском политехническом университете (Приказ по ТПУ № 93/од от 06.12.2018), имеют профильные публикации за последние 5 лет не менее, чем в 5 журналах, индексируемых в базе данных Scopus или Web of Science, а также не менее 5 публикаций, индексируемых в базе данных РИНЦ; обладают наукометрическим показателем индекса Хирша не менее 4.

Соискатель имеет 24 печатные работы, опубликованные по теме диссертации: 14 статей в рецензируемых изданиях, из которых 7 статей в журналах 1 и 2 квартилей в базах данных Scopus и Web of Science.

Общий объем научных изданий – не менее 8,375 печатных листов с долей авторского участия не менее 60 %. В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах.

Наиболее значимые научные работы:

1. **Shevelev A.E.** Low energy, high intensity metal ion implantation method for deep dopant containing layer formation / Ryabchikov A.I., Shevelev A.E., Sivin D.O., Ivanova A.I., Medvedev V.N. Surface and Coatings Technology. – 2018. – V. 355. – P. 123–128.

2. **Shevelev A.E.** Joint influence of steered vacuum arc and negative repetitively pulsed bias on titanium macroparticles suppression / Ryabchikov A.I., Ananin P.S., Shevelev A.E., Dektyarev S.V., Sivin D.O., Ivanova A.I. Surface and Coatings Technology. – 2018. – V. 355. – P. 240–246.

3. **Shevelev A.E.** High intensity, macroparticle-free, aluminum ion beam formation / Ryabchikov A.I., Shevelev A.E., Sivin D.O., Koval T.V., An T.M.K. Journal of Applied Physics. – 2018. – V. 123 (23). – 233301.

4. **Shevelev A.E.** High-intensity low energy titanium ion implantation into zirconium alloy / Ryabchikov A.I., Kashkarov E.B., Pushilina N.S., Syrtanov M.S., Shevelev A.E., Korneva O.S., Sutygina A.N., Lider A.M. Applied Surface Science. – 2018. – V. 439. – P. 106-112.

5. Shevelev A.E. High intensity metal ion beam generation / Ryabchikov A.I., Ananin P.S., Dektyarev S.V., Sivin D.O., Shevelev A.E. Vacuum. – 2017. – V. 143. – P. 447.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

– Казанский физико-технический институт им. Е.К. Завойского – обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр Российской академии наук», старший научный сотрудник, кандидат физико-математических наук, Баталов Р.И.

– ФГБУН Институт сильноточной электроники Сибирского отделения Российской академии наук, главный научный сотрудник лаборатории плазменных источников, доктор технических наук, старший научный сотрудник, Юшков Г.Ю.

– ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет», профессор кафедры технологии машиностроения, доктор технических наук, Смыслов А.М.

– ННЦ «Харьковский физико-технический институт» НАН Украины, директор Института плазменной электроники и новых методов ускорения, доктор физико-математических наук, член-корр. НАН Украины, Онищенко И.Н.

– ИФ СО РАН, зав. лабораторией аналитических методов исследования вещества, доктор технических наук, профессор, Чурилов Г.Н.

Все отзывы положительные, замечания являются рекомендательными и касаются недостаточного объема информации в автореферате: о дозе имплантации, зарядности ионов и температуре мишени при облучении, о вторичной ионно-электронной эмиссии с поверхности мишени и её распылении под действием ионного пучка, о возможности уменьшения значительного уноса материала в результате ионного распыления.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработана система плазменно-иммерсионного формирования высокоинтенсивных, очищенных от макрочастиц, пучков ионов металлов низкой энергии на основе плазмы вакуумно-дугового разряда, с плотностями ионного тока достигающими десятков-сотен мА/см^2 при ускоряющих напряжениях на уровне единиц кВ.

предложено использовать импульсно-периодические потенциалы смещения для обеспечения инжекции направленного потока вакуумно-дуговой плазмы в пространство дрейфа ионного пучка для нейтрализации его объемного заряда и создания условий для фокусировки ионных потоков,

доказана возможность получения сфокусированных пучков ионов металлов низкой энергии с плотностью ионного тока до нескольких сотен мА/см^2 при общем токе более одного ампера, при микросекундной длительности импульса потенциала смещения, при частотах до 10^5 импульсов/с и амплитуде до 3 кВ.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказана возможность плазменно-иммерсионной экстракции ионов из плазмы вакуумной дуги, с последующей баллистической фокусировкой в эквипотенциальном пространстве дрейфа и одновременной очисткой фокусируемого пучка от макрочастиц.

применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением результатов, обладающих новизной) **использован** комплекс существующих базовых физических методов исследования характеристик ионного пучка (токовых, зарядовых и т.д.), элементного и структурно-фазового составов облученных мишеней и их эксплуатационных свойств,

изложены принципы плазменно-иммерсионного формирования высокоинтенсивных пучков ионов металлов; доказательства влияния амплитудно-частотных характеристик потенциалов смещения на параметры

формируемых высокоинтенсивных пучков; доказательства влияния флюенса ионного облучения и температуры мишени на накопление имплантированной примеси в поверхностных и приповерхностных слоях металлических материалов,

раскрыты существенные проявления теории формирования сильноточных пучков ионов низкой энергии, их транспортировки в пространстве дрейфа и взаимодействия с поверхностью твердого тела,

изучено влияние параметров плазмы, геометрии экстрактора и амплитудно-частотных импульсно-периодических отрицательных потенциалов смещения на процессы генерации, транспортировки, фокусировки высокоинтенсивных пучков ионов металлов низкой энергии и формирование протяженных ионно-легированных слоев, содержащих интерметаллиды и твердые растворы.

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

разработан метод генерации высокоинтенсивных пучков ионов металлов на основе плазмы вакуумной дуги;

предложен эффективный способ очистки поверхности мишени от микрокапельной фракции вакуумной дуги при совместном применении вакуумно-дугового испарителя с тангенциальным магнитным полем напряженностью 150 Гс и коротко-импульсных высокочастотных отрицательных потенциалов смещения (7 мкс, 10^5 имп/с, - 2 кВ). Показана возможность полной очистки высокоинтенсивных, баллистически сфокусированных пучков ионов металлов низкой энергии при минимальных потерях ионного тока с использованием системы фильтрации типа «солнечное затмение»;

показана возможность формирования ионно-модифицированных слоев с толщинами, многократно превышающими проективный пробег ионов низкой энергии. На примере систем Ni-Al, Zr-Ti и Ti-Al показана возможность

получения интерметаллидных фаз и твердых растворов на глубинах до 6, 16 и 50 мкм, соответственно.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

- для экспериментальных работ** результаты получены с использованием комплекса современного сертифицированного оборудования, показана воспроизводимость результатов исследования в различных условиях;
- теория** построена на известных представлениях и классических моделях физики пучков заряженных частиц, согласуется с экспериментальными данными, опубликованными по теме диссертации в отечественной и зарубежной литературе;
- идея базируется** на результатах многолетних исследований научной лаборатории высокоинтенсивной имплантации ионов в области генерации сильноточных пучков ионов и развитии новых методов ионной имплантации, в том числе плазменно-иммерсионной;
- использованы** сравнения авторских результатов и данных, полученных по рассматриваемой тематике;
- установлено** качественное совпадение авторских результатов с результатами, представленными в независимых источниках по данной тематике;
- использованы современные методики сбора и обработки исходной информации с применением современного оборудования.

Личный вклад соискателя состоит в проведении комплекса исследований по формированию, транспортировке и фокусировке высокоинтенсивных пучков ионов металлов низкой энергии в различных условиях нейтрализации их пространственного заряда, а также проведению исследований по формированию интерметаллидных слоев и изменению их макроскопических свойств. Автором самостоятельно выдвинуты защищаемые научные положения, сделаны выводы и даны рекомендации по результатам исследования. Обсуждение задач исследований, методов их решения и

результатов осуществлялось совместно с соавторами, фамилии которых указаны в опубликованных по теме диссертации работах.

Диссертация является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение задачи формирования высокоинтенсивных пучков ионов металлов низкой энергии с плотностями ионного тока до десятков сотен мА/см², что имеет существенное значения для развития метода высокоинтенсивной имплантации ионов металлов и соответствует п.8, 9 Порядка присуждения ученых степеней в национальном исследовательском Томском политехническом университете (dis.tpu.ru).

На заседании 27 июня 2019 года диссертационный совет ДС.ТПУ.07 принял решение присудить Шевелеву Алексею Эдуардовичу ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет ДС.ТПУ.07 в количестве 7 человек, из них 6 докторов по защищаемой специальности, участвующих в заседании, из 3 человек, входящих в состав совета, и 4 человек дополнительно введенных в состав совета, проголосовали: за – 6, против – нет, недействительных бюллетеней – 1.

Зам. председателя

диссертационного совета ДС.ТПУ.07

Степанов Игорь Борисович

Ученый секретарь

диссертационного совета ДС.ТПУ.07

Иванова Анна Ивановна

27.06.2019