

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ»

(ТУСУР)

УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по научной работе
и инновациям

д.т.н., доцент

А.Г. Лоцилов

« _____ » декабря 2020 г.



ВЫПИСКА

из протокола расширенного заседания кафедры физики

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники

№33 от 21.12.2020 года

Присутствовали:

Председатель заседания – д.т.н., профессор кафедры «Физики» Бурдовицин В.А.

Секретарь заседания – д.т.н., профессор кафедры «Физики» Климов А.С.

Научный консультант – д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Физики» Окс Е.М;

Участники заседания:

Смирнов С.В., д.т.н., профессор кафедры «Физическая электроника»;

Троян П.Е., заведующий кафедрой, д.т.н., профессор кафедры «Физическая электроника»;

Золотухин Д.Б., к.ф.-м.н., с.н.с., доцент кафедры «Физики»;

Тюньков А.В., к.т.н., с.н.с., доцент кафедры «Физики»;

Казаков А.В., к.т.н., доцент кафедры «Физики»;

Зенин А.А., к.т.н., с.н.с., доцент кафедры «Физики»;

Бакеев И.Ю., к.т.н., м.н.с., кафедры «Физики»;

Бурачевский Ю.А., к.ф.-м.н., доцент кафедры «Физики»;

Медовник А.В., к.т.н., начальник научного управления ТУСУР, доцент каф. «Физики»;

Панченко Н.А., к.ф.-м.н., м.н.с., кафедры «Физики»;

Всего присутствовало – 13 человек, из них по специальности рассматриваемой диссертации докторов наук – 5

Повестка заседания:

Обсуждение диссертационной работы Юшкова Юрия Георгиевича на соискание ученой степени доктора технических наук на тему «Электронно-лучевое нанесение многофункциональных диэлектрических покрытий форвакуумными плазменными источниками», по специальности 01.04.04 – физическая электроника.

Юшков Ю.Г., родился 13 июня 1986 года в г. Томске. В 2009 году окончил государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Томский политехнический университет» с присвоением диплома инженера-физика по специальности «физика атомного ядра и частиц». После окончания университета поступил в очную аспирантуру на кафедру физики ТУСУРа. В 2012 году окончил аспирантуру с защитой кандидатской диссертации на тему «Форвакуумный импульсный плазменный источник электронов для модификации поверхности диэлектрических материалов» по специальности 01.04.20 – физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника. С 2013 года работает на кафедре физики ТУСУРа в должности доцента. В 2020 году присвоено ученое звание доцента по специальности «физическая электроника». В 2019 году за разработку и внедрение форвакуумных плазменных электронных источников для обработки и модификации диэлектрических материалов удостоен премии Правительства Российской Федерации в области науки и техники для молодых ученых. Научная работа, представленная в рассматриваемой диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук выполнена на кафедре физики ТУСУРа.

Научный консультант по диссертации: заведующей кафедрой физики, д.т.н., профессор Окс Е.М.

Слушали:

Доклад соискателя ученой степени доктора технических наук Юшкова Ю.Г по основным результатам диссертационного исследования. В ходе выступления соискатель изложил и обосновал актуальность темы, цели и задачи диссертационного исследования, теоретическую и практическую значимость работы. Основная часть доклада была посвящена доказательству семи научных положений, выносимых на защиту. В завершении доклада были сформулированы основные выводы по диссертационному исследованию. После заслушанного доклада членами заседания были заданы вопросы, на которые соискатель дал развернутые и обоснованные ответы.

Выступили:

В поддержку диссертационной работы выступили: Троян П.Е., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Физическая электроника», и Смирнов С.В., д.т.н., профессор кафедры «Физическая электроника».

Постановили:

Рекомендовать диссертацию Юшкова Ю.Г. на тему «Электронно-лучевое нанесение многофункциональных диэлектрических покрытий форвакуумными плазменными источниками» к защите на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 01.04.04 - физическая электроника и утвердить следующее заключение:

Научная новизна диссертации:

1. В диссертации выявлены и доказаны физические механизмы, обуславливающие процессы генерации пучковой плазмы форвакуумными плазменными источниками непрерывных электронных пучков, а также нейтрализацию отрицательного заряда, вносимого ускоренными электронами на поверхность испаряемой диэлектрической мишени, что дало возможность эффективного электронно-лучевого испарения диэлектрических материалов.

2. Детально изучены особенности процессов электронно-лучевого синтеза диэлектрических покрытий и электронно-лучевого азотирования поверхности металлов с применением источников электронов с плазменным катодом, функционирующих в форвакуумной области давлений.

3. Предложено и реализованы эффективное нанесение оксидных, боридных и нитридных покрытий с высокими функциональными свойствами и характеристиками, обосновано их практическое применение в технологиях модификации поверхности различных материалов, подверженной интенсивным механическим, тепловым и коррозионным воздействиям.

Научная и практическая значимость работы:

1. Решена крупная научно-техническая задача, заключающаяся в разработке научных основ технологии электронно-лучевого синтеза керамических покрытий с высокими эксплуатационными свойствами.

2. Результаты диссертационного исследования вносят существенный вклад в понимание физических процессов генерации в форвакуумной области давлений пучковой плазмы, формирования в этой области давлений потоков заряженных частиц и нейтралов при осуществлении электронно-лучевого синтеза диэлектрических покрытий, а также при электронно-лучевом азотировании поверхности.

3. Существенно расширены возможности нанесения покрытий методом электронно-лучевого испарения за счет включения в номенклатуру испаряемых мишеней диэлектрических материалов, в том числе и высокотемпературных керамик.

4. Полученные результаты могут быть использованы для решения широкого круга задач науки и практики при нанесении функциональных покрытий твердотельных соединений типа карбидов, силицидов, теллуридов и ряда других.

Личный вклад соискателя:

Личный вклад автора диссертационной работы состоит в определении направлений исследований, в подготовке и проведении экспериментов, в самостоятельном формулировании выводов и научных положений. В постановке отдельных задач исследований и обсуждении результатов активное участие принимал научный консультант д.т.н., проф. Е.М. Окс, а в проведении ряда экспериментов, расчетов и обсуждении их результатов – к.т.н. А.В. Тюньков и к.ф.-м.н. Д.Б. Золотухин. Соавторы, принимавшие участие в отдельных направлениях диссертационного исследования, указаны как соавторы в списке основных публикаций по теме диссертации. Все результаты, составляющие научную основу диссертации и выносимые на защиту, получены автором лично.

Степень достоверности и апробация результатов:

Достоверность и обоснованность результатов диссертационной работы подтверждается систематическим характером исследований, использованием независимых дублирующих экспериментальных методик, совпадением расчетных зависимостей и моделей с полученными экспериментальными результатами. Полученные в диссертационном исследовании научные результаты обладают единством и внутренней непротиворечивостью. Они использованы при модернизации и применении экспериментального и диагностического оборудования, а также создания функциональных диэлектрических покрытий.

Апробация результатов диссертации:

Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на: 44-й и 47-й международных конференциях IEEE по исследованию и применению плазмы (ICOPS, США, Нью-Джерси, 2017; Сингапур, 2020); 29-м международном симпозиуме по разрядам и электрической изоляции в вакууме (ISDEIV, Италия, Падуя, 2020); 23-м международном конгрессе по перспективным материалам (AMC, Швеция, Стокгольм, 2018);

13-й международной конференции «Взаимодействие излучений с твердым телом» (Беларусь, Минск, 2019);

10-й и 11-й международных конференциях по модификации материалов пучками частиц и потоками плазмы (Россия, Томск, 2010, 2012);

16-м, 18-м и 20-м международных симпозиумах по сильноточной электронике (Россия, Томск, 2010, 2014, 2018);

13-й и 14-й международных конференциях «Газоразрядная плазма и ее применение» (Россия, Томск, 2017, 2019);

VII международной конференции «Лучевые технологии и применение лазеров» (Россия, Санкт-Петербург, 2012);

IV и V международных Крейнделевских семинарах «Плазменная эмиссионная электроника» (Россия, Улан-Удэ, 2012, 2015).

Полнота изложения материалов диссертации в публикациях соискателя:

Результаты исследований по диссертации обобщены в монографии и опубликованы в 34 статьях в журналах, входящих в Перечень ВАК и рекомендуемых для опубликования основных научных результатов диссертаций на соискание учёных степеней кандидата и доктора наук. При этом 22 статьи опубликованы в зарубежных изданиях, из них 18 статей в журналах, входящих в первый и второй квартили базы данных научного цитирования Web of Science. Результаты исследований представлены также в виде 16 полнотекстовых докладов на международных и российских конференциях. Разработанные технические решения и методы защищены четырьмя патентами РФ на полезную модель, двумя свидетельствами о регистрации программ для ЭВМ. В опубликованных работах соискателя материалы диссертации изложены полно и развернуто.

Публикации соискателя по диссертации в журналах перечня ВАК:

1. Different stages of electron-beam evaporation of ceramic target in medium vacuum / Yu.G. Yushkov, D.B. Zolotukhin, E.M. Oks, A.V. Tyunkov // Journal of Applied Physics. – 2020. – No 127. – P. 113303.
2. Effect of working gas on the electron-beam heating of a ceramic target in the fore-vacuum pressure range / D.B. Zolotukhin, E.M. Oks, A.V. Tyunkov, Yu.G. Yushkov, A.A. Zenin // Vacuum. – 2020. – Vol. 179. – P. 109500.
3. Electron-beam deposition of heat-conducting ceramic coatings in the forevacuum pressure range / Yu.G. Yushkov, E.M. Oks, A.V. Tyunkov, D.B. Zolotukhin, A.Yu. Yushenko // Ceramics International. – 2020. – Vol. 46, Issue 13. – P. 21190–21195.
4. Ion composition of a multicomponent beam plasma formed by electron-beam evaporation of a boron-containing target in medium vacuum / Yury G. Yushkov, Efim M. Oks, Andrey V.

Tyunkov, Denis B. Zolotukhin // Plasma Processes and Polymers. – 2020. – Vol. 17, Issue 9. – P. 2000057.

5. Improvement of Microcathode Arc Thruster Lifetime by Deposition of Boron-Containing Coating / Denis B. Zolotukhin, Andrey V. Tyunkov, Yury G. Yushkov, Efim M. Oks, and Michael Keidar // Journal of Propulsion and Power. – 2020. – Vol. 36, No 5. – P. 744–751.

6. On the effect of ceramic target composition on coatings deposited by electron-beam evaporation at forevacuum pressure / Yu.G. Yushkov, E.M. Oks, K.V. Oskomov, A.V. Tyunkov, E.V. Yakovlev, A.Yu. Yushenko, A.A. Plaskeev, D.B. Zolotukhin // Ceramics International. – 2020. – Vol. 46, Issue 17. – P. 27641–27646.

7. Local ion-plasma etching of dielectrics initiated and controlled by the electron beam in forevacuum pressure range / A.V. Tyunkov, D.B. Zolotukhin, Yu.G. Yushkov, E.V. Yakovlev // Vacuum. – 2020. – Vol. 180. – P. 109573.

8. Deposition of boron-containing coatings by electron-beam evaporation of boron-containing targets / Yu.G. Yushkov, E.M. Oks, A.V. Tyunkov, C. Corbella, D.B. Zolotukhin // Ceramics International. – 2020. – Vol. 46, Issue 4. – P. 4519–4525.

9. Nitriding of titanium in electron beam excited plasma in medium vacuum / A.V. Tyunkov, D.A. Golosov, D.B. Zolotukhin, A.V. Nikonenko, E.M. Oks, Yu.G. Yushkov, E.V. Yakovlev // Surface and Coatings Technology. – 2020. – Vol. 383. – P. 125241.

10. Параметры и свойства электроизоляционного покрытия окиси алюминия, осажденного на металле форвакуумным источником / Ю.Г. Юшков, Ю.А. Бурачевский, Д. Б. Золотухин, Е.М. Окс, А.В. Тюньков, А.Ю. Юшков // Прикладная физика. – 2020. – № 2. – С. 53–58.

11. On the influence of electron-beam metal evaporation on parameters of beam plasma in medium vacuum / D.B. Zolotukhin, V.A. Burdovitsin, E.M. Oks, A.V. Tyunkov, Yu.G. Yushkov // Physics of Plasmas. – 2019. – Vol. 26. – P. 053512.

12. Beam-plasma discharge in a dielectric cavity by electron beam injection / D.B. Zolotukhin, M.I. Lomaev, E.M. Oks, A.V. Tyunkov, Yu.G. Yushkov // Plasma Sources Science and Technology. – 2019. – Vol. 28, No 3. – P. 035018 (1-11).

13. An experimental test-stand for investigation of electron-beam synthesis of dielectric coatings in medium vacuum pressure range / A.V. Tyunkov, V.A. Burdovitsin, E.M. Oks, Yu.G. Yushkov, D.B. Zolotukhin // Vacuum. – 2019. – Vol. 163. – P. 31–36.

14. Alumina coating deposition by electron-beam evaporation of ceramic using a forevacuum plasma-cathode electron source / Yu.G. Yushkov, E.M. Oks, A.V. Tyunkov, D.B. Zolotukhin // Ceramics International. – 2019. – Vol. 45, Issue 8. – P. 9782–9787.

15. Electron beam nitriding of titanium in medium vacuum / V.A. Burdovitsin, D.A. Golosov, E.M. Oks, A.V. Tyunkov, Yu.G. Yushkov, D.B. Zolotukhin, S.M. Zavadsky // *Surface and Coatings Technology*. – 2019. – Vol. 358. – P. 726–731.
16. Генерация плазмы при ионизации газа электронными источниками в диапазоне давлений 1–100 Па (обзор) / А.С. Климов, А.А. Зенин, Д.Б. Золотухин, А.В. Тюньков, Ю.Г. Юшков // *Успехи прикладной физики*. – 2019. – Т. 7, № 3. – С. 249–259.
17. Генерация ионов бора для пучковых и плазменных технологий / А.В. Визирь, А.С. Бугаев, В.И. Гушенец, А.Г. Николаев, Е.М. Окс, К.П. Савкин, Ю.Г. Юшков, А.В. Тюньков, В.П. Фролова, М.В. Шандриков, Г.Ю. Юшков // *Известия высших учебных заведений. Физика*. – 2019. – Т. 62, № 7. – С. 19–24.
18. Synthesis of boron-containing coatings through planar magnetron sputtering of boron targets // E.M. Oks, A.V. Tyunkov, Yu.G. Yushkov, D.B. Zolotukhin // *Vacuum*. – 2018. – Vol. 155. – P. 38–42.
19. Ceramic coating deposition by electron beam evaporation / E.M. Oks, A.V. Tyunkov, Yu.G. Yushkov, D.B. Zolotukhin // *Surface and Coatings Technology*. – 2017. – Vol. 325. – P. 1–6.
20. Распределение потенциала по поверхности непроводящей мишени при облучении электронным пучком в форвакууме / Д.Б. Золотухин, А.В. Тюньков, Ю.Г. Юшков // *Прикладная физика*. – 2017. – № 6. – С. 39–44.
21. Sputtering of pure boron using a magnetron without a radio-frequency supply / E.M. Oks, A. Anders, A.G. Nikolaev, Yu.G. Yushkov // *Review of Scientific Instruments*. – 2017. – Vol. 88. – P. 043506.
22. Реактивные методы осаждения пленок оксидов титана / Д.Б. Золотухин, В.А. Бурдовицин, А.В. Тюньков, Ю.Г. Юшков, Е.М. Окс, Д.А. Голосов, С.М. Завадский // *Успехи прикладной физики*. – 2017. – Т. 5, № 5. – С. 442–453.
23. Новые возможности применения форвакуумных плазменных источников в технологических процессах электронно-лучевой обработки диэлектрических материалов / В.А. Бурдовицин, Д.Б. Золотухин, А.А. Зенин, Е.М. Окс, А.В. Тюньков, Ю.Г. Юшков // *Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники*. – 2017. – Т. 20, № 3. – С. 70–75.
24. Особенности генерации пучковой плазмы в изолированной металлической полости в форвакуумной области давлений / Д.Б. Золотухин, В.А. Бурдовицин, Е.М. Окс, А.В. Тюньков, Ю.Г. Юшков // *Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники*. – 2017. – Т. 20, № 1. – С. 42–45.

25. Electron beam evaporation of boron at forevacuum pressures for plasma-assisted deposition of boron-containing coatings / Yu.G. Yushkov, A.V. Tyunkov, E.M. Oks, D.B. Zolotukhin // *Journal of Applied Physics*. – 2016. – Vol. 120. – P. 233302.
26. Deposition of dielectric films on silicon using a fore-vacuum plasma electron source / D.B. Zolotukhin, E.M. Oks, A.V. Tyunkov, Yu.G. Yushkov // *Review of Scientific Instruments*. – 2016. – Vol. 87, Issue 6. 10.1063/1.4953112.
27. Мониторинг масс-зарядового состава пучковой плазмы модернизированным квадрупольным анализатором в форвакуумной области давлений / А.В. Тюньков, Ю.Г. Юшков, А.С. Климов // *Прикладная физика*. – 2016. – № 1. – С. 96–99.
28. Электронно-лучевое испарение керамики в форвакуумном диапазоне давлений / А.С. Климов, А.А. Зенин, Е.М. Окс, М.В. Шандриков, Ю.Г. Юшков // *Прикладная физика*. – 2016. – № 3. – С. 40–45.
29. Электронно-лучевое испарение бора для ионно-плазменного синтеза покрытий в форвакуумной области давлений / Ю.Г. Юшков, А.В. Тюньков, Д.Б. Золотухин, Е.М. Окс // *Прикладная физика*. – 2016. – № 4. – С. 54–58.
30. Gas-metal e-beam-produced plasma for oxide coating deposition at fore-vacuum pressures / D.B. Zolotukhin, V.A. Burdovitsin, E.M. Oks, A.V. Tyunkov, Yu.G. Yushkov, I.G. Brown // *Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники*. – 2016, декабрь. – № 4 (19). – С. 10–12.
31. Modified quadrupole mass analyzer RGA-100 for beam plasma research in forevacuum pressure range / D.B. Zolotukhin, A.V. Tyunkov, Yu.G. Yushkov, E.M. Oks // *Review of Scientific Instruments*. – 2015. – Vol. 86, Issue 12. 10.1063/1.4937606.
32. Generation of metal ions in the beam plasma produced by a forevacuum-pressure electron beam source / A.V. Tyunkov, Yu.G. Yushkov, D.B. Zolotukhin, K.P. Savkin, A.S. Klimov // *Physics of Plasmas*. – 2014. – Vol. 21, Issue 12. 10.1063/1.4904367.
33. Inverse time-of-flight spectrometer for beam plasma research / Yu.G. Yushkov, E.M. Oks, D.B. Zolotukhin, A.V. Tyunkov, K.P. Savkin // *Review of Scientific Instruments*. – 2014. – Vol. 85, Issue 8. 10.1063/1.4893651.
34. Генерация ионов магния в пучковой плазме форвакуумного электронного источника / А.В. Тюньков, Ю.Г. Юшков, Д.Б. Золотухин, К.П. Савкин // *Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники*. – 2014, декабрь. – № 4 (34). – С. 60–62.

Соответствие диссертации специальности:

Представленная Юшковым Ю.Г. диссертация на тему «Электронно-лучевое нанесение многофункциональных диэлектрических покрытий форвакуумными плазменными источниками» соответствует специальности 01.04.04 – физическая электроника в части пунктов паспорта специальности:

3 – Вакуумная электроника, включая методы генерирования потоков заряженных частиц, электронные и ионные оптические системы, релятивистскую электронику.

6 – Изучение физических основ плазменных и лучевых (пучковых) технологий, в том числе модификации свойств поверхности, нанесение тонких пленок и пленочных структур.

Выводы:

1. Диссертационная работа Юшкова Юрия Георгиевича на соискание ученой степени доктора технических наук на тему «Электронно-лучевое нанесение многофункциональных диэлектрических покрытий форвакуумными плазменными источниками» является фундаментальным научным исследованием в области разработки и создания функциональных диэлектрических материалов, имеет важное прикладное значение для создания основ технологии электронно-лучевого синтеза диэлектрических покрытий и использования таких покрытий в промышленности. Полученные результаты могут быть использованы для решения широкого круга задач науки и практики. Диссертационная работа Юшкова Ю.Г. удовлетворяет требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора технических наук и соответствует специальности 01.04.04 - физическая электроника в части пунктов паспорта специальности 3 и 6.

2. Диссертационная работа Юшкова Ю.Г. на тему «Электронно-лучевое нанесение многофункциональных диэлектрических покрытий форвакуумными плазменными источниками» рекомендуется к защите на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 01.04.04 - физическая электроника.

Результаты голосования:

«За» принятие заключения – 13, «против» – нет, воздержались при голосовании – нет.

Председатель заседания

д.т.н., профессор кафедры физики ТУСУРа



Бурдовицин В.А.

Секретарь заседания

д.т.н., профессор кафедры физики ТУСУРа



Климов А.С.