

## СВЕДЕНИЯ О РЕЗУЛЬТАТАХ ПУБЛИЧНОЙ ЗАЩИТЫ ДИССЕРТАЦИИ

Диссертационный совет 24.1.115.02 (Д 003.031.01), созданный на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института сильноточной электроники Сибирского отделения Российской академии наук, извещает о результатах публичной защиты диссертации Торбой Максимом Сергеевичем состоявшейся 11 сентября 2026 года на тему: «Источник интенсивного субмиллисекундного радиально сходящегося электронного пучка с многодуговым сеточным плазменным катодом», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.1. вакуумная и плазменная электроника.

Время начала заседания: 16.00

Время окончания заседания: 18.15.

На заседании диссертационного совета присутствовали 15 человек из 16 членов диссертационного совета, из них 6 докторов наук по специальности 2.2.1. –вакуумная и плазменная электроника:

- |                                                                             |           |        |
|-----------------------------------------------------------------------------|-----------|--------|
| 1. Ратахин Николай Александрович – председатель диссертационного совета     | д.ф.-м.н. | 1.3.5. |
| 2. Козырев Андрей Владимирович – зам. председателя диссертационного совета  | д.ф.-м.н. | 1.3.5. |
| 3. Соловьев Андрей Александрович – ученый секретарь диссертационного совета | к.т.н.    | 2.2.1. |
| 4. Воробьёв Максим Сергеевич – член совета                                  | д.т.н.    | 2.2.1. |
| 5. Денисов Владимир Викторович – член совета                                | д.т.н.    | 2.2.1. |
| 6. Золотухин Денис Борисович – член совета                                  | д.ф.-м.н. | 1.3.5. |
| 7. Иванов Юрий Фёдорович – член совета                                      | д.ф.-м.н. | 1.3.5. |
| 8. Климов Александр Сергеевич – член совета                                 | д.т.н.    | 2.2.1. |
| 9. Коваль Николай Николаевич – член совета                                  | д.т.н.    | 2.2.1. |
| 10. Кошелев Владимир Ильич – член совета                                    | д.ф.-м.н. | 1.3.5. |
| 11. Окс Ефим Михайлович – член совета                                       | д.т.н.    | 2.2.1. |
| 12. Пушкарёв Александр Иванович – член совета                               | д.ф.-м.н. | 1.3.5. |
| 13. Ростов Владислав Владимирович – член совета                             | д.ф.-м.н. | 1.3.5. |
| 14. Соснин Эдуард Анатольевич – член совета                                 | д.ф.-м.н. | 1.3.5. |
| 15. Юшков Георгий Юрьевич – член совета                                     | д.т.н.    | 2.2.1. |

**Заседание вел председатель диссертационного совета доктор**

**физико-математических наук, академик РАН Ратахин Николай Александрович.**

По результатам защиты диссертации тайным голосованием (результаты голосования: за присуждение ученой степени – 15, против – нет, недействительных бюллетеней – нет) диссертационный совет принял решение **присудить Торбе Максиму Сергеевичу** учёную степень кандидата технических наук.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.115.02  
(Д 003.031.01), СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО  
ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧЕРЕЖДЕНИЯ НАУКИ  
ИНСТИТУТА СИЛЬНОТОЧНОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ  
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК,  
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ  
КАНДИДАТА НАУК**

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 11.09.2026 г. № 3.

О присуждении **Торбе Максиму Сергеевичу**, гражданину Российской Федерации, ученой степени **кандидата технических наук**.

**Диссертация** «Источник интенсивного субмиллисекундного радиально сходящегося электронного пучка с многодуговым сеточным плазменным катодом» по специальности 2.2.1 – вакуумная и плазменная электроника **принята к защите** 17 июня 2026 года (протокол заседания № 2) **диссертационным советом** 24.1.115.02 (Д 003.031.01), **созданным на базе** Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института сильноточной электроники Сибирского отделения Российской академии наук (ИСЭ СО РАН), Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, 634055, Томск, просп. Академический, д. 2/3, приказ о создании совета № 1555/нк от 21 ноября 2022 г.

**Соискатель** Торба Максим Сергеевич, 1998 г.р., в 2025 г. окончил очную аспирантуру ИСЭ СО РАН по специальности 01.04.04 – физическая электроника. В настоящее время работает младшим научным сотрудником ИСЭ СО РАН.

**Диссертация выполнена** в лаборатории плазменной эмиссионной электроники ИСЭ СО РАН. **Научный руководитель** – доктор технических наук, ведущий научный сотрудник ИСЭ СО РАН Воробьёв Максим Сергеевич.

**Официальные оппоненты:**

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

Тюньков Андрей Владимирович, доктор технических наук, доцент, старший научный сотрудник Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования Томский университет систем управления и радиоэлектроники, г. Томск.

**дали положительные отзывы** на диссертацию.

**Ведущая организация:** Акционерное Общество «НИИЭФА им. Д.В. Ефремова», г. Санкт-Петербург в **своем положительном отзыве, подписанном** главным специалистом НИЛ пучковых технологий, к.т.н. Константином Ивановичем Ткаченко, заместителем генерального директора по технологиям электродвижения, д.ф.-м.н. Олегом Геннадиевичем Филатовым и утвержденном генеральным директором Герцогом Сергеем Викторовичем, указала, что диссертационная работа Торбы М.С. выполнена на высоком научном уровне и представляет собой законченную научно-исследовательскую работу. Диссертационная работа соответствует критериям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г (ред. от 11.09.2021), а её автор, Торба М.С. заслуживает присуждения степени кандидата технических наук по специальности 2.2.1 – вакуумная и плазменная электроника.

**Соискатель имеет 45 опубликованных работ**, в том числе по теме диссертации опубликовано 24 работы, из них 10 работ в рецензируемых научных изданиях, входящих в «Перечень научных изданий, в которых должны

быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук» или приравненных к ним.

В публикациях по теме диссертации личный вклад автора является определяющим в получении и обработке экспериментальных данных, анализе и представлении материала, формировании выводов. В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах.

Наиболее **значимые работы** соискателя:

1. Vorobyov, M.S. Spatiotemporal Dynamics of a Low-Pressure Arc and a Generated Beam in an Electron Source with a Grid Plasma Emitter / M.S. Vorobyov, P. V. Moskvina, V. I. Shin, **M.S. Torba** [et al.] // High Temperature. – 2022. – Vol. 60, No. 4. – P. 438-445. – DOI 10.1134/s0018151x22040162.
2. Москвин, П.В. Динамика извлечения электронов из сеточного плазменного катода на основе дугового разряда низкого давления / П.В. Москвин, М.С. Воробьев, А.А. Гришков, **М.С. Торба** [и др.] // Письма в Журнал технической физики. – 2023. – Т. 49. – № 11. – С. 43-46. – DOI 10.21883/PJTF.2023.11.55538.19557.
3. **Torba, M.S.** Multiarc Plasma Electron Emitter for Generating a Radially Convergent Beam / M.S. Torba, S.Yu. Doroshkevich, M.S. Vorobiev, A.A. Grishkov, N.N. Koval, R.A. Kartavtsov, M.A. Mokeev, D.A. Shpanov // Instruments and Experimental Techniques. – 2025. – Vol. 68, no. 1. – P. 78–85. – DOI 10.1134/S0020441225700253.
4. Воробьев, М.С. Отрицательная обратная связь по току в ускоряющем промежутке в источниках электронов с плазменным катодом / М.С. Воробьев, П.В. Москвин, В.И. Шин, **М.С. Торба** [и др.] // Журнал технической физики. – 2022. – Т. 92, № 6. – С. 883–888. – DOI 10.21883/JTF.2022.06.52519.14-22.
5. Устройство для генерации однородного радиально сходящегося электронного пучка в источнике с сеточным плазменным катодом: патент РФ 2854352 / **М.С. Торба**, С.Ю. Дорошкевич, А.А. Гришков, [и др.]; Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт сильноточной электроники Сибирского отделения Российской академии наук. – № 2025110528; опубл. 29.12.2025.

**На автореферат диссертации поступили отзывы:**

1. Отзыв от ведущего научного сотрудника Отдела лазерной физики ФГБУН ФИЦ Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН (ИОФ РАН, г. Москва), доктора физико-математических наук, профессора Лигачева Александра Егоровича. Отзыв положительный, имеются замечания:

– «Какова максимальная длина и диаметр детали, поверхность которой может быть подвержена обработке данным потоком электронов?»;

– «Влияют ли ионы различных химических элементов, которые могут каким-то образом возникнуть в процессе формирования потока электронов, на свойства обрабатываемого потоком электронов материала?»;

– «Проводились ли диссертантом исследования структуры приповерхностного слоя цилиндрического образца до и после его электронно-лучевой обработки?»

2. Отзыв от старшего научного сотрудника научно-производственного комплекса «Спарк» АО «Научно-исследовательский институт газоразрядных приборов «Плазма», кандидата технических наук Маханько Дмитрия Сергеевича. Отзыв положительный, имеются замечания:

– «Построение графиков по трем или четырем точкам (рис.3 и рис.4) вызывает легкое удивление»;

– «Из автореферата неясно, каким образом можно избавиться от десятипроцентных неоднородностей плазмы и плотности тока в электронном пучке?»

3. Отзыв от профессора кафедры электронных приборов и устройств Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ» им. В.И.Ульянова (Ленина), доктора технических наук Шаповалова Виктора Ивановича. Отзыв положительный, имеются замечания:

– «Форма вольтамперной характеристики дугового разряда на рис. 2 (увеличение напряжения разряда при возрастании тока) скорее напоминает характеристику тлеющего разряда. Отличие состоит только в уровне напряжения разряда, при котором тлеющий разряд не горит. Автор никак не комментирует этот факт»;

– «В автореферате работы, построенной на обширной экспериментальной базе, мне не встретился термин «погрешность эксперимента».

**Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывался тем, что они обладают практическим опытом в области техники и физики генерации электронных пучков; способны дать достоверную оценку полученным результатам и рекомендации к дальнейшему развитию тематики и внедрению результатов диссертационной работы.**

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:**

**Разработана** новая конструкция сеточного плазменного катода (СПК) на основе многодугового разряда низкого давления с секционированным полым анодом, позволяющая рассматривать плазменный катод как набор элементарных эмиссионных ячеек, каждая из которых используется для генерации радиально сходящегося электронного пучка в секторе  $60^\circ$ , обеспечивающая плотность энергии на коллекторе до  $30 \text{ Дж/см}^2$ , что позволяет проводить модификацию поверхности металлических изделий за один импульс тока пучка и доказывает перспективы возможности масштабирования плазменного катода;

**предложен** оригинальный подход к генерации интенсивного радиально сходящегося электронного пучка, основанный на использовании элементарных эмиссионных ячеек многодугового СПК, разнесённых азимутально, каждая из которых способна обеспечивать на коллекторе плотность энергии, достаточную для модификации поверхности металлических материалов, что принципиально важно при электронно-пучковой обработке протяженных цилиндрических изделий; **доказана** эффективность секционирования полого анода СПК для снижения азимутальной неоднородности плотности тока радиально сходящегося электронного пучка до 10 % и повышения стабильности его генерации;

**введено** представление о многодуговом сеточном плазменном катоде как о совокупности элементарных эмиссионных ячеек, каждая из которых обеспечивает генерацию радиально сходящегося электронного пучка в заданном секторе.

**Теоретическая значимость исследований обоснована тем, что:**

**определены** условия генерации интенсивного радиально сходящегося электронного пучка субмиллисекундной длительности в источнике электронов с сеточным плазменным катодом на основе многодугового разряда низкого давления, обеспечивающие стабильное формирование пучка с удовлетворительной

неоднородностью плотности энергии, что вносит существенный вклад в развитие фундаментальных знаний, уточнении существующих концепций и создании основы для будущих научных исследований и проведения теоретических оценок;

**применительно к проблематике диссертации результативно использован** комплекс экспериментальных и численных методов: измерение ВАХ многодугового разряда, коллекторные измерения аксиального и азимутального распределения плотности тока, зондовая диагностика плазмы, численное моделирование генерации пучка, механические испытания и профилометрия;

**изложены** результаты исследования влияния ускоряющего напряжения, тока дугового разряда, длительности импульса, давления рабочего газа и параметров электродной системы СПК на стабильность и параметры радиально сходящегося электронного пучка;

**раскрыты** причины аксиальной неоднородности концентрации эмиссионной плазмы при двустороннем расположении плазмогенераторов и обусловленной ею неустойчивости генерации пучка; проявление «эффекта полого анода» — проникновения электрического поля ускоряющего промежутка в область генерации разряда, приводящего к извлечению плазменных электронов с краёв эмиссионной области и к недостаточной ионизации газа над эмиссионной сеткой в пространстве сеточного плазменного эмиттера;

**изучены** связи размера ячейки эмиссионной сетки с током в ускоряющем промежутке и неоднородностью плотности тока пучка; зависимость размера пучка на коллекторе от ускоряющего напряжения и тока в ускоряющем промежутке;

**проведена модернизация** экспериментального стенда источника электронов с многодуговым СПК и системы электропитания многодугового плазменного катода, обеспечивающих получение новых результатов по теме диссертации.

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

**разработаны и созданы** — источник электронов с СПК на основе многодугового разряда низкого давления, оригинальный источник электропитания, система коллекторных измерений и элементарная эмиссионная ячейка для генерации пучка в секторе  $60^\circ$ ;

**определены** конструктивные параметры источника электронов с сеточным плазменным катодом на основе многодугового разряда низкого давления, обеспечивающие генерацию радиально сходящегося электронного пучка с ускоряющим напряжением до 50 кВ, током до 150 А, длительностью импульса до 500 мкс и плотностью энергии, достаточной для обработки металлических изделий цилиндрической формы путём оплавления поверхности;

**создана** элементарная ячейка СПК на основе дуги низкого давления, обеспечивающая генерацию радиально сходящегося электронного пучка в секторе  $60^\circ$  при ускоряющем напряжении до 30 кВ, токе в ускоряющем промежутке до 100 А, длительности импульсов до 150 мкс, частоте следования до  $1\text{ с}^{-1}$  и плотности энергии до  $30\text{ Дж/см}^2$ , что позволяет проводить модификацию поверхности металлического изделия цилиндрической формы за один импульс тока пучка;

**представлено**, что применение разработанного источника позволяет эффективно проводить электронно-пучковую обработку цилиндрических изделий, обеспечивая повышение микротвёрдости поверхности титана ВТ1-0 до 2,6 раза, а также снижение шероховатости поверхности титана и нержавеющей стали вследствие локального плавления и полировки поверхностного слоя.

#### **Оценка достоверности результатов исследования**

**для экспериментальных работ:** достоверность и обоснованность выводов подтверждаются непротиворечивостью существующим представлениям о природе изучаемых явлений, применением современного технического и программного обеспечения, экспериментальной, численной и статистической обработкой большого массива экспериментальных данных;

**теория** построена на существующих представлениях о сеточной (слоевой) стабилизации границы эмиссионной плазмы, о механизмах генерации плазмы дуговым разрядом низкого давления с полым анодом и об ограничении тока пространственным зарядом, что согласуется с опубликованными экспериментальными данными по теме диссертации;

**идея базируется** на анализе практики создания источников электронов с плазменным катодом и обобщении передового опыта разработки источников с планарной и радиально сходящейся геометрией ускоряющего промежутка, а также

на необходимости обработки изделий цилиндрической формы без азимутального сканирования пучком;

**использовано** сравнение авторских данных с данными, полученными ранее по рассматриваемой тематике другими исследователями и опубликованными в рецензируемых научных изданиях как в области генерации интенсивных электронных пучков, так и в области материаловедения при воздействии интенсивного энергетического потока на поверхности различных материалов и изделий;

**использованы** как стандартные, так и независимые дублирующие методики измерения параметров плазмы и электронного пучка.

**Личный вклад** автора состоит в его определяющей роли в постановке задач исследований, разработке и создании экспериментального оборудования, модернизации установок, проведении экспериментов, анализе и интерпретации экспериментальных результатов, подготовке публикаций, в самостоятельном формулировании выводов и научных положений. Все результаты, составляющие научную основу диссертации и выносимые на защиту, получены автором лично.

**В ходе защиты диссертации высказаны критические замечания**, отраженные в отзывах, замечаниях оппонентов и общей дискуссии. **Соискатель Торба М.С. ответил на все** задаваемые ему в ходе заседания **вопросы**, согласился с рядом обоснованных замечаний и привел собственную аргументацию.

**На заседании 11 сентября 2026 года диссертационный совет принял решение:**

За разработку и апробацию новых технических решений, обеспечивающих устойчивую генерацию интенсивного радиально сходящегося электронного пучка субмиллисекундной длительности в системе источника электронов с сеточным многодуговым плазменным катодом, имеющих большое значение для развития вакуумной и плазменной электроники, **присудить Торбе М.С. ученую степень кандидата технических наук.**

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 15 человек, из них 6 докторов наук по специальности 2.2.1 — вакуумная и плазменная электроника, участвовавших в заседании совета, из 16 человек,

Председатель диссертационного совета,  
доктор физико-математических наук,  
академик РАН

Учёный секретарь диссертационного совета,  
кандидат технических наук  Сол

Соловьев Андрей Александрович

11 сентября 2026 г.

