Заключение

диссертационного совета Д 212.141.17, созданного на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации по диссертации на соискание ученой степени кандидата наук

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 26 мая 2021 г. № 3

О присуждении Мьо Ти Ха, гражданину Республики Союза Мьянма, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Моделирование влияния полевой и термополевой электронной эмиссии из электродов с тонкими диэлектрическими пленками на их взаимодействие с низкотемпературной газоразрядной плазмой» по специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния принята к защите 22.03.2021 г. (протокол заседания № 2) диссертационным советом Д 212.141.17, созданным на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, 105005, г. Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, приказ № 105/нк от 11.04.2012 г.

Соискатель Мьо Ти Ха, 1991 года рождения, в 2016 году с отличием окончил магистратуру федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» по направлению подготовки «Высокотехнологические плазменные и энергетические установки». С 2017 года по 2021 год он обучался в аспирантуре на кафедре проектирования и технологии производства электронных приборов Калужского филиала федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет) по направлению подготовки

03.06.01 – Физика и астрономия, направленности (профилю) – 01.04.07 – Физика конденсированного состояния. В настоящее время соискатель является стажером кафедры проектирования и технологии производства электронных приборов Калужского филиала ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Диссертация выполнена на кафедре проектирования и технологии производства электронных приборов Калужского филиала ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – доктор физико-математических наук, профессор Кристя Владимир Иванович, профессор кафедры высшей математики и физики Калужского филиала федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)».

Официальные оппоненты:

Волков Степан Степанович, доктор физико-математических наук, профессор, федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего образования «Рязанское гвардейское высшее воздушно-десантное ордена Суворова дважды краснознаменное командное училище имени генерала армии В.Ф. Маргелова» Министерства обороны Российской Федерации, профессор кафедры автомобильной техники;

Штокал Александр Олегович, кандидат технических наук, филиал акционерного общества «Научно-производственное объединение им. С.А. Лавочкина», ведущий конструктор сектора конструирования наземных систем дали положительные отзывы на диссертацию.

На критические замечания официальных оппонентов соискатель ученой степени Мьо Ти Ха дал убедительные разъяснения.

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Калужский государственный университет им. К.Э. Циолковского» в своем положительном отзыве, подписанном Сережкиным Леонидом Николаевичем, кандидатом технических наук,

доцентом. заведующим кафедрой физики и математики, а также Сорочаном Виталием Викторовичем, кандидатом физико-математических наук, доцентом, доцентом кафедры информатики и информационных технологий, и утвержденном ректором Казаком Максимом Анатольевичем, указала, что диссертационная работа Мьо Ти Ха, посвященная решению одной из фундаментальных задач физики конденсированного состояния – исследованию взаимодействия заряженных частиц с твердым телом в низкотемпературной газоразрядной плазме, является актуальной и представляет значительный интерес как с теоретической, так и с прикладной точек зрения. Она является законченной научно-квалификационной работой, в которой на основе проведенных автором исследований решена важная для физики конденсированного состояния, а также электронного материаловедения, научная и практическая задача исследования влияния наличия на катоде диэлектрических пленок на особенности его взаимодействия с плазмой разряда в широких интервалах изменения характеристик разряда и температуры катода. Научная новизна результатов диссертационной работы заключается в том, что ее автором впервые разработан ряд математических моделей взаимосвязанных физических процессов, протекающих на поверхности катода с тонкой диэлектрической пленкой и в прикатодном слое слаботочного и тлеющего разрядов, и с их использованием получены результаты, представляющие существенный интерес для физики взаимодействия газоразрядной плазмы с поверхностью твердого тела. Результаты диссертации могут быть использованы в организациях, занимающихся исследованием взаимодействия твердого тела с плазмой (Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, Московский физико-технический институт, Московский инженерно-физический институт, Московский энергетический институт, Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина).

Замечания, высказанные в отзыве ведущей организации, были Мьо Ти Ха подробно прокомментированы.

Соискатель имеет 14 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 14 работ, из них в рецензируемых научных изданиях опубликованы 5 работ. Общий объем опубликованных работ по теме диссертации 3,95 п. л., из которых 1,73 п. л. принадлежат лично соискателю. Требования п.п. 11 и 13 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденно-

го постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 (в редакции от 01.10.2018 г.), предъявляемые к публикации основных научных результатов диссертации, выполняются. Требования, установленные п. 14 действующего Положения о присуждении ученых степеней, соблюдаются. Сведения об опубликованных работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации, достоверны.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Влияние термополевой электронной эмиссии из катода с тонкой диэлектрической пленкой на эмиссионную эффективность пленки и напряжение зажигания таунсендовского газового разряда / Мьо Ти Ха [и др.] // Известия высших учебных заведений. Физика. 2019. Т. 62. № 1. С. 72-78 (англоязычная версия: Influence of the thermo-field electron emission from the cathode with a thin insulating film on the film emission efficiency and ignition voltage of the Townsend gas discharge / Myo Thi Ha [et al.] // Russian Physics Journal. 2019. Vol. 62. No. 1. P. 82-89).

2. Кристя В.И., Мьо Ти Ха, Фишер М.Р. Моделирование влияния толщины диэлектрической пленки на поверхности катода на его эффективный коэффициент электронной эмиссии в слаботочном газовом разряде // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. 2019. № 4. С. 79-83 (англоязычная версия: Kristya V.I., Myo Thi Ha, Fisher M. R. Modeling of the influence of the thickness of an insulating film on a cathode surface on its effective secondary-electron emission yield in low-current gas discharge // Journal of Surface Investigation: X-ray, Synchrotron and Neutron Techniques. 2019. Vol. 13. No. 2. P. 339-343).

3. Кристя В.И., Мьо Ти Ха. Моделирование влияния полевой электронной эмиссии из катода с тонкой диэлектрической пленкой на вольт-амперную характеристику и устойчивость слаботочного газового разряда // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. 2020. № 5. С. 63-67 (англоязычная версия: Kristya V.I., Myo Thi Ha. Modeling of impact of the field electron emission from the cathode with an insulating film on the voltage-current characteristic and stability of the low-current gas discharge // Journal of Surface Investigation: X-ray, Synchrotron and Neutron Techniques. 2020. Vol. 14. No. 3. P. 490-493).

4. Кристя В.И., Мьо Ти Ха, Фишер М.Р. Моделирование влияния диэлектрической пленки на поверхности катода на вольт-амперную характери-

стику тлеющего газового разряда // Известия РАН. Серия физическая. 2020. Т. 84. № 6. С. 846-850 (англоязычная версия: Kristya V.I., Myo Thi Ha, Fisher M. R. Modeling of influence of the cathode surface insulating film on the voltage-current characteristic of the glow gas discharge // Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics. 2020. Vol. 84. No. 6. P. 698-701).

На диссертацию и автореферат поступили отзывы от: **Томилина Н.А.**, доктора технических наук, начальника отдела Акционерного общества «Научно-производственное объединение «НИИТАЛ», (г. Москва); **Карабанова С.М.**, доктора технических наук, профессора кафедры электронных приборов ФГБОУ ВО «Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина», (г. Рязань); **Хасаншина Р.Х.**, кандидата физико-математических наук, доцента, начальника лаборатории радиационных и вакуумно-тепловых испытаний Акционерного общества «Композит» (г. Королев Московской обл.); **Смоланова Н.А.**, кандидата физико-математических наук, доцента, доцента кафедры физики твердого тела ФГБОУ «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева» (г. Саранск); **Нургулеева Д.А.**, кандидата физико-математических наук, доцента, заведующего кафедрой общей и теоретической физики ФГБОУ ВО «Тульский государственный педагогический университет им. Л.Н. Толстого» (г. Тула).

Все отзывы положительные. В качестве замечаний отмечено, что: в работе не изучен вопрос о влиянии возможной неравномерности толщины диэлектрической пленки вдоль поверхности катода на ее эмиссионную эффективность, эмиссионные свойства катода и характеристики разряда (Томилин Н.А.); моделирование зависимости эффективного коэффициента ионно-электронной эмиссии катода от толщины диэлектрической пленки на его поверхности выполнено в диссертации только для слаботочного разряда, возникающего непосредственно после пробоя разрядного промежутка, а для тлеющего разряда оно не проведено (Карабанов С.М.); расчеты в диссертации проводились только при температурах катода, характерных для начального этапа горения разряда в ряде типов газоразрядных приборов, в то время как в их рабочих режимах она может принимать существенно более высокие значения (Хасаншин Р.Х.); при расчете теплового режима катода в тлеющем разряде считается, что температура во всем его объеме имеет одинаковую величину, что может быть справедливо лишь при достаточно малых размерах электрода,

однако оценка применимости такого допущения не приводится (Смоланов Н.А.); в главе 2 показано, что при наличии на катоде тонкой диэлектрической пленки вольт-амперная характеристика слаботочного разряда является падающей, что может приводить к возникновению в нем колебательных процессов, но непосредственное моделирование такого нестационарного режима разряда в работе не проведено (Нургулеев Д.А.).

На все критические замечания, содержащиеся в отзывах на автореферат диссертации, Мьо Ти Ха дал аргументированные ответы.

В то же время все специалисты, представившие свои отзывы, считают, что высказанные замечания не снижают общей значимости диссертации Мьо Ти Ха, она представляющей собой законченную научно-квалификационную работу, выполненную на высоком научном уровне, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния.

Выбор официальных оппонентов обоснован тем, что они являются компетентными учеными в области физики взаимодействия низкотемпературной плазмы с поверхностью твердого тела и эмиссионной электроники (Волков С.С.) и в области формирования и исследования свойств тонких диэлектрических оксидных пленок (Штокал А.О.). Выбор ведущей организации обоснован тем, что ФГБОУ ВО «Калужский государственный университет им. К.Э. Циолковского» имеет научную школу, исследующую влияние состава и структуры материалов на процессы их нагрева и движения в них электронных пучков. В штате университета состоят высококвалифицированные специалисты, способные объективно и всесторонне оценить результаты и выводы диссертации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработана модель слаботочного газового разряда, а также модель катодного слоя тлеющего разряда, в инертных газах при температуре катода порядка комнатной для случая наличия на его поверхности тонкой диэлектрической пленки, в которых принимается во внимание полевая эмиссия электронов из металлической подложки катода в пленку под действием возникающего в ней в разряде электрического поля;

предложена модель термополевой электронной эмиссии из катода с диэлектрической пленкой, позволяющая рассчитать зависимость его эмиссионных

характеристик и характеристик разряда от напряженности электрического поля в пленке и температуры в широких интервалах их изменения;

доказано, что в предельных случаях низкой температуры катода и сильного электрического поля в пленке (модель полевой эмиссии), а также высокой температуры катода и слабого поля в пленке (модель термической эмиссии), результаты расчетов на основе предложенной численной модели согласуются с результатами, полученными с использованием полученных ранее соответствующих аналитических формул;

введено понятие эмиссионной эффективности диэлектрической пленки на катоде в разряде как функции ее параметров и температуры катода.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказано, что уже при температуре, менее чем на 100 градусов превышающей комнатную, может происходить заметное улучшение эмиссионных свойств катода и снижение напряжения зажигания разряда, обусловленное вкладом термополевого механизма электронной эмиссии из металлической подложки катода в пленку;

применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) использованы методы математического моделирования движения электронов и ионизации ими атомов рабочего газа в объеме газового разряда, а также эмиттированных в диэлектрическую пленку электронов в ее зоне проводимости при различных температурах пленки;

изложены результаты исследования влияния наличия диэлектрической пленки на катоде на вольт-амперную характеристику слаботочного и тлеющего разрядов;

раскрыта необходимость учета влияния термополевой электронной эмиссии из металлической подложки катода в пленку под действием возникающего в ней сильного электрического поля на изменение эмиссионных свойств катода и характеристик разряда на этапе его разогрева;

изучена зависимость эмиссионной эффективности пленки и характеристик разряда от толщины диэлектрической пленки на катоде;

проведена модернизация существующих моделей слаботочного и тлеющего газовых разрядов для случая наличия на поверхности катода диэлектрической пленки.

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

разработан метод расчета зависимости эмиссионной эффективности диэлектрической пленки на катоде в газовом разряде от его температуры;

определены вклады ионно-электронной и усиленной температурой полевой электронной эмиссии катода в его эффективный коэффициент ионно-электронной эмиссии;

создана методика расчета характеристик разряда в случае катода с диэлектрической пленкой при его различных температурах;

представлены рекомендации по усовершенствованию конструкции электродов газоразрядных приборов с целью увеличения их срока службы.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

все теоретические положения получены на основе классических уравнений физики, причем для их решения применены теоретически обоснованные методы;

идея о возможности увеличения долговечности катода при наличии на нем диэлектрической пленки базируется на опубликованных в научной литературе результатах;

использовано сравнение полученных результатов с имеющимися экспериментальными данными (Donkó Z., Phelps A. V., Hassouba M.A., Кучеренко Е.Т.);

установлено качественное и количественное согласие авторских результатов с результатами, полученными другими авторами;

использованы современные методы математического моделирования, основанные на аналитическом и численном решении моделирующих уравнений с помощью компьютерных технологий.

Личный вклад соискателя состоит в: участии в формулировке задач исследования, разработке представленных в диссертации моделей и их анализе, разработке алгоритмов решения поставленных задач и осуществлении их программной реализации, апробации результатов исследования, а также в участии в их анализе и в подготовке основных публикаций по выполненной работе.

Диссертационным советом сделан вывод о том, что диссертационная работа Мьо Ти Ха «Моделирование влияния полевой и термополевой электронной эмиссии из электродов с тонкими диэлектрическими пленками на их

взаимодействие с низкотемпературной газоразрядной плазмой» соответствует критериям, установленным п.п. 9 и 10 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 г. (в редакции от 01.10.2018 г., с изменениями от 26.05.2020г.). Она является самостоятельной завершенной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение важной для физики конденсированного состояния научной задачи, связанной с исследованием влияния наличия на катоде газоразрядного прибора диэлектрических пленок на особенности его взаимодействия с плазмой газового разряда в широких интервалах изменения характеристик разряда и температуры катода. Диссертация Мьо Ти Ха обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и положения, выдвигаемые для публичной защиты, и свидетельствуют о личном вкладе автора в науку.

На заседании 26 мая 2021 г. диссертационный совет принял решение присудить Мьо Ти Ха ученую степень кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 15 человек, из них 14 докторов наук по специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния, участвовавших в заседании, из 20 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за 15, против 0, недействительных бюллетеней 0.

Председатель
диссертационного совета Коржавый Алексей Пантелеевич

Ученый секретарь
диссертационного совета Лоскутов Сергей Александрович

Дата оформления Заключения 26 мая 2021 года.