

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

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

аттестационное дело № \_\_\_\_\_  
решение диссертационного совета от 23 декабря 2015 г. № 22

О присуждении Ёе Наинг Тун, гражданину Республики Мьянма, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Исследование взаимодействия низкотемпературной плазмы с неоднородной поверхностью электродов в газоразрядных приборах» по специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния принята к защите 14 октября 2015 г., протокол № 19, диссертационным советом Д 212.141.17 на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана» Министерства образования и науки Российской Федерации, 105005, Москва, ул. 2-ая Бауманская, 5, приказ № 105/нк от 11.04.2012 г.

Соискатель Ёе Наинг Тун 1986 года рождения.

В 2011 году соискатель окончил государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана». С 2012 года и по настоящее время соискатель обучается в аспирантуре по очной форме обучения по специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния в Калужском филиале федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана».

Диссертация выполнена на кафедре конструирования и производства электронной аппаратуры Калужского филиала федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана» Министерства образования и науки Российской Федерации.

Научный руководитель – доктор физико-математических наук, профессор Кристя Владимир Иванович, Калужский филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана», профессор кафедры высшей математики.

Официальные оппоненты:

Волков Степан Степанович – доктор физико-математических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Рязанский государственный радиотехнический университет», профессор кафедры электронных приборов;

Волков Николай Викторович – кандидат технических наук, доцент, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Национальный исследовательский ядерный университет «Московский инженерно-физический институт», доцент кафедры физических проблем материаловедения

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Научно-исследовательский институт перспективных материалов и технологий», г. Москва, в своем положительном заключении, подписанном Гайдар Анной Ивановной, кандидатом физико-математических наук, старшим научным сотрудником, и утвержденном Шахбазовым Сергеем Юрьевичем, кандидатом технических наук, директором, указала, что диссертационная работа Йе Наинг Туна является законченной научно-квалификационной работой, в которой на основе проведенных автором исследований решена важная для физики твердого тела, а также электронного материаловедения, научная и практическая задача исследования влияния рельефа и оксидных пленок на поверхности катода газоразрядного прибора на особенности его взаимодействия с низкотемпературной плазмой тлеющего разряда. Результаты работы могут быть использованы в организациях, занимающихся исследованием взаимодействия твердого тела с плазмой (Московский государственный университет, Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, Московский энергетический институт, Московский инженерно-физический институт, Рязанский государственный радиотехнический университет).

Соискатель имеет 12 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 12 работ общим объемом 2,8 печатных листов, из которых Йе Наинг Туну принадлежит 1,28 печатных листов, в том числе опубликованных в рецензируемых научных изданиях 4, в материалах Международных и Всероссийских конференций 8. Ценность научных работ состоит в том, что результаты, полученные при их выполнении, вносят существенный вклад в понимание процессов, протекающих при взаимодействии низкотемпературной плазмы с поверхностью катода газоразрядного прибора при наличии на ней рельефа и диэлектрических оксидных пленок.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Кристя В.И., Йе Наинг Тун. Влияние неоднородности ионного потока на распыление мишени с поверхностным рельефом в тлеющем разряде // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. 2013.

№3. С. 109-112 (0,25 п.л./0,1 п.л.).

2. Кристя В.И., Йе Наинг Тун. Расчет вклада ионов и быстрых атомов в неоднородность распыления мишени с поверхностным рельефом в тлеющем разряде // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. 2014. №3. С. 68-73 (0,38 п.л./0,18 п.л.).

3. Кристя В.И., Йе Наинг Тун. Моделирование влияния диэлектрической пленки на поверхности электрода на переход тлеющего разряда в дуговой // Известия РАН. Серия физическая. 2014. Т. 78, № 6. С. 753-757 (0,3 п.л./0,1 п.л.).

4. Кристя В.И., Йе Наинг Тун. Влияние оксидной пленки на поверхности катода на энергетические распределения ионов и быстрых атомов в тлеющем разряде // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. 2015. № 3. С. 74-80 (0,44 п.л./0,2 п.л.).

На диссертацию и автореферат поступили отзывы от: **Борисова А.М.**, доктора физико-математических наук, профессора, профессора кафедры технологий производства приборов и информационных систем управления летательных аппаратов ФГБОУ ВПО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» (МАИ); **Пименова В.Н.**, доктора физико-математических наук, профессора, заведующего лабораторией «Воздействие излучений на металлы» Института металлургии и материаловедения им А.А. Байкова РАН, г. Москва; **Рогожкина С.В.**, доктора физико-математических наук, профессора ФГАОУ ВПО «Национальный исследовательский ядерный университет «Московский инженерно-физический институт»; **Громова В.Е.**, доктора физико-математических наук, профессора, заведующего кафедрой физики и **Романова Д.А.** – кандидата технических наук, доцента кафедры физики ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк; **Мооса Е.Н.**, доктора технических наук, профессора кафедры общей и теоретической физики ФГБОУ ВПО «Рязанский государственный университет имени С.А. Есенина»; **Смоланова Н.А.**, кандидата физико-математических наук, доцента кафедры физики твердого тела ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева», г. Саранск.

Все отзывы положительные. В качестве замечаний отмечено, что расчеты проводились только для разряда в аргоне при наличии на катоде пленки оксида бария, в то время как во многих типах приборов в качестве рабочей среды используются смеси газов, а в состав катодов для увеличения коэффициента ионно-электронной эмиссии вводят оксиды нескольких металлов (Борисов А.М.), имеется некоторая неточность формулировок в автореферате: требует редактирования текст, первого и второго абзаца на с. 9, второго, третьего и последнего абзаца на с. 11 и т. д. (Громов В.Е., Романов Д.А.). Обращено внимание на то, что в работе не изучено влияние на результаты исследований химического состава эмиссионного вещества, которое может содержать окси-

ды других щелочноземельных металлов, а не только бария (Рогожкин С.В.). Отмечено, что к недостаткам автореферата можно отнести отсутствие в автореферате каких-либо математических соотношений, позволяющих сделать качественные оценки полученных результатов, а также некоторую перегруженность терминами, которые, несомненно, понятны самим авторам (рельеф малой амплитуды – стр. 2, пятый абзац; полевая эмиссия электронов – стр. 3 и т.д.) (Моос Е.Н.). Указано, что в разделе «Научная новизна работы» пункты 3 и 5 имеют одинаковую трактовку результатов, полученных для параметров плазмы (плотность потоков ионов и пр.) как вдоль искривленной поверхности катода, так и вдоль катода с диэлектрической пленкой переменной толщины. При этом в большинстве приведенных результатов в автореферате не указано значение диэлектрической проницаемости, хотя в модели она входит в функции распределения по энергиям потоков ионов и быстрых атомов (Смолянов Н.А.).

В отзывах сделан вывод о том, что диссертационная работа Йе Наинг Туна отвечает требованиям, предъявляемым ВАК России к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.0.4.07 – Физика конденсированного состояния.

Выбор официальных оппонентов обоснован тем, что официальные оппоненты являются компетентными учеными в области физики взаимодействия низкотемпературной плазмы с поверхностью твердого тела (Волков С.С.) и в области радиационного физического материаловедения (Волков Н.В.). Выбор ведущей организации обоснован тем, что ФГБНУ «Научно-исследовательский институт перспективных материалов и технологий» активно занимается исследованиями в области радиационного материаловедения и моделирования физических процессов в электронных приборах.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

**разработана** математическая модель физического процесса распыления катодной поверхности с диэлектрической пленкой в тлеющем разряде, учитывающая полевую электронную эмиссию из металлической подложки катода;

**предложена** модель катодного слоя тлеющего разряда у катода с тонкой диэлектрической пленкой, учитывающая нагрев катода и рабочего газа потоком тепла, выделяющегося при протекании в газе электрического тока, которая, кроме ионно-электронной и полевой эмиссии электронов, принимает во внимание также термическую электронную эмиссию, возникающую при нагреве катода до достаточно высокой температуры;

**доказано**, что полевая эмиссия может приводить к существенному снижению катодного падения напряжения разряда, а следовательно, к уменьшению энергий бомбардирующих катод частиц и эффективного коэффициента распыления материала катода в разряде;

**введена** в качестве характеристики диэлектрической пленки на поверхности катода величина ее эмиссионной эффективности, равная доле электронов, эмитированных под действием электрического поля из металлической подложки в пленку, которая поступает из нее в разрядный объем.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что: **доказана** справедливость утверждения, что полевая эмиссия может приводить к существенному снижению катодного падения напряжения разряда, а следовательно, к уменьшению энергий бомбардирующих катод частиц и эффективного коэффициента распыления материала катода в разряде;

**применительно к проблематике диссертации результативно** (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) **использованы** разработанные в ней стационарная и нестационарная модели катодного слоя разряда и процесса распыления катода при наличии на нем тонкой диэлектрической пленки;

**изложены** результаты исследования распределений плотностей потоков ионов и быстрых атомов, а также эффективного коэффициента распыления и плотности потока распыленных атомов, в том числе вдоль искривленной поверхности металлического катода в тлеющем разряде;

**раскрыты** особенности распределений плотностей потоков ионов и быстрых атомов, а также эффективного коэффициента распыления и плотности потока распыленных атомов вдоль катода с диэлектрической пленкой переменной толщины;

**изучены** вклады ионов и быстрых атомов в неоднородность распыления катода с поверхностным рельефом в тлеющем разряде;

**проведена модернизация** существующих моделей катодного слоя тлеющего разряда и процесса распыления поверхности катода газоразрядного прибора.

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

**разработаны** методы теоретического изучения влияния неоднородности поверхности катода на характеристики катодного слоя разряда, определяющие интенсивность ее распыления;

**определены** характеристики рельефа поверхности катода, определяющие интенсивность его распыления при различных разрядных режимах;

**создана** методика расчета эффективного коэффициента распыления катода с поверхностной диэлектрической пленкой переменной толщины и сделан вывод, что поток распыленных атомов с участков пленки с ее наименьшей толщиной имеет наибольшую величину, в результате чего должно происходить увеличение неравномерности толщины пленки в процессе ее распыления и образование в ней пор с течением времени;

**представлены** результаты оптимизации процесса нагрева катода в тлеющем разряде с целью ускорения его перехода в дуговую форму в приборах дугового разряда.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

**теория** построена на основе классических уравнений физики, при этом для их решения применены теоретически обоснованные методы;

**идея** о влиянии полевой электронной эмиссии из подложки поверхностной диэлектрической пленки на эмиссионные свойства катода и характеристики разряда **базируется** на опубликованных в литературе результатах исследований;

**использовано** сравнение полученных результатов с имеющимися экспериментальными данными;

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

**использованы** современные методы математического моделирования, основанные на использовании компьютерной техники.

**Личный вклад соискателя** состоит в формулировке задач, разработке алгоритмов их численного решения, осуществлении программной реализации построенных математических моделей, проведении расчетов и обработке полученных результатов, а также в участии в их анализе.

Диссертация соответствует п.п. 4 и 5 паспорта научной специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния.

Диссертационным советом сделан вывод о том, что диссертация является законченной научно-квалификационной работой, соответствует критериям, установленным п. 9 Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации №842 от 24 сентября 2013 г., так как в ней содержится решение важной для физики конденсированного состояния задачи исследования влияния рельефа и оксидных пленок на поверхности катода газоразрядного прибора на особенности его взаимодействия с низкотемпературной плазмой тлеющего разряда.

На заседании 23 декабря 2015 года диссертационный совет принял решение присудить Йе Наинг Тун ученую степень кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 17 человек, из них 16 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 17, против 0, недействительных бюллетеней 0.


Председатель

диссертационного совета

Ученый секретарь

диссертационного совета

 Коржавый Алексей Пантелеевич

 Лоскутов Сергей Александрович

Дата оформления Заключения 23 декабря 2015 года