

## Отзыв

официального оппонента, доктора физико-математических наук,  
профессора кафедры электронных приборов Рязанского  
государственного радиотехнического университета  
Волкова Степана Степановича  
на диссертационную работу Йе Наинг Туна  
«Исследование взаимодействия низкотемпературной плазмы с  
неоднородной поверхностью электродов в газоразрядных приборах»,  
представленную на соискание ученой степени кандидата  
физико-математических наук по специальности  
01.04.07 – физика конденсированного состояния.

Важной конструктивной частью газоразрядных приборов, получивших в настоящее время широкое распространение в качестве источников оптического излучения, являются электроды, от стабильности эмиссионных свойств которых в значительной степени зависит срок службы прибора. Для создания более долговечных электродов требуется знание процессов, протекающих при взаимодействии их эмиссионной поверхности с плазмой газового разряда. Их изучение представляет собой одну из важных задач физики конденсированного состояния, поэтому данной тематике посвящено большое количество работ. Однако в них недостаточно исследованы вопросы, связанные с влиянием поверхностного рельефа электрода и возможного наличия на нем диэлектрических пленок на особенности взаимодействия плазмы с электродом. Этим и определяется актуальность темы диссертационной работы Йе Наинг Туна.

Научная новизна работы состоит в том, что в ней впервые разработаны модели тлеющего разряда при наличии на поверхности катода тонкой диэлектрической оксидной пленки, а также

периодического рельефа малой амплитуды, и с их помощью исследовано влияние полевой электронной эмиссии из металлической подложки катода и искривленности поверхности катода на его эмиссионные свойства и интенсивность распыления в разряде.

Практическая значимость диссертации обусловлена тем, что изученные в ней закономерности взаимодействия тлеющего разряда с катодом могут быть использованы для выбора оптимальной структуры его поверхности, снижающей интенсивность ее распыления и обеспечивающей увеличение долговечности катода при различных разрядных режимах.

Диссертация Йе Наинг Туна состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы (131 источник) и изложена на 118 страницах. Она отличается логичностью построения и внутренним единством.

Во введении дана общая характеристика работы, обоснована актуальность ее темы, сформулированы цели и задачи, указаны научная новизна и практическая значимость работы.

В первой главе проанализированы основные физические процессы, протекающие на катоде и в катодном слое тлеющего разряда, а также рассмотрены их существующие математические модели.

Во второй главе построена модель тлеющего разряда при наличии на поверхности катода тонкой диэлектрической пленки и изучено ее влияние на характеристики катодного слоя тлеющего разряда, а также на энергетические спектры бомбардирующих катод частиц и его распыление.

В третьей главе исследовано влияние тонкой диэлектрической пленки на динамику разогрева катода в тлеющем разряде. Показано, наличие пленки приводит к увеличению эффективного коэффициента электронной эмиссии катода, обуславливающему возрастание разрядного

тока и теплового потока на катод из разряда, в результате чего происходит его ускоренный нагрев и более быстрый переход разряда в дуговую форму.

В четвертой главе изучено влияние наличия поверхностного рельефа на металлическом катоде на потоки бомбардирующих катод частиц и интенсивность его распыления в разряде.

В пятой главе исследовано влияние неравномерности толщины диэлектрической пленки на катоде на ее распыление в тлеющем разряде.

В качестве наиболее важных можно отметить следующие результаты работы:

- разработана модель катодного слоя тлеющего разряда при наличии на катоде тонкой диэлектрической пленки, учитывающая, наряду с ионно-электронной эмиссией с поверхности катода, также эмиссию электронов из металлической подложки катода;

- показано, что наличие пленки толщиной порядка 10 нм приводит к заметному снижению катодного падения напряжения разряда и, соответственно, к уменьшению энергий бомбардирующих катод частиц и снижению интенсивности его распыления;

- построена нестационарная модель разряда у катода с тонкой диэлектрической пленкой, учитывающая нагрев катода и рабочего газа, которая, кроме ионно-электронной и полевой эмиссии электронов, учитывает также термическую электронную эмиссию, возникающую при нагреве катода до достаточно высокой температуры.

- показано, что эффективный коэффициент распыления диэлектрической пленки принимает минимальные значения на участках с ее наименьшей толщиной, а поток распыленных атомов с этих участков имеет наибольшую величину из-за большей плотности бомбардирующего их ионного потока, что должно приводить к увеличению неравномерности толщины пленки в процессе ее распыления.

Полученные в диссертации результаты находятся в хорошем соответствии с имеющимися в научной литературе данными экспериментальных исследований, что дает основание сделать вывод об их достоверности.

Диссертация аккуратно оформлена, автореферат правильно отражает её содержание.

По диссертации можно сделать следующие замечания:

1. В главе 3 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.
2. В главах 2 и 3 при расчете вольт-амперной характеристики разряда величина коэффициента ионно-электронной эмиссии катода считается постоянной, а в главе 5 учитывается его зависимость от приведенной напряженности электрического поля у поверхности катода. При этом объяснение этого в диссертации отсутствует.
3. В диссертации приведены результаты расчетов только для случая катода с пленкой оксида бария на поверхности. Но в газоразрядных приборах в качестве эмиссионного вещества используются также оксиды других металлов, например, алюминия и магния. Поэтому было бы полезным провести расчеты и для катодов с пленками оксидов этих металлов и сравнить полученные результаты.

Однако эти замечания не изменяют существенно общую положительную оценку работы.

Давая общую оценку диссертационной работе Йе Наинг Туна, можно отметить, что:

1. ее тема и содержание соответствуют специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния;

2. она является законченной научно-квалификационной работой, в которой на основе проведенных автором исследований решена актуальная научная и практическая задача исследования влияния наличия тонких диэлектрических пленок и рельефа на поверхности катода на его взаимодействие с газоразрядной плазмой; по степени актуальности, новизны, а также научной и практической значимости полученных результатов, диссертация соответствует требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук;
3. автор диссертации заслуживает присуждения степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния.

Официальный оппонент  
профессор кафедры электронных приборов  
Федерального государственного бюджетного  
образовательного учреждения высшего  
профессионального образования «Рязанский  
государственный радиотехнический университет»,  
доктор физико-математических наук, профессор

Волков Степан Степанович

Подпись Волкова С. С. заверяю:  
Ученый секретарь Ученого совета РГРТУ  
кандидат технических наук, доцент

В.Н. Пржегорлинский

« 30 » ноября 2015г.

Почтовый адрес: 390005, г. Рязань, ул. Гагарина, д.59/1  
Тел.: (4912) 46-03-03  
E-mail: volkovstst@mail.ru