

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Нефедцева Евгения Валерьевича

«Явления на катоде и в прикатодной плазме в начальных стадиях импульсного пробоя миллиметровых вакуумных промежутков», представленной на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности

01.04.04 – физическая электроника

Диссертационная работа Нефедцева Евгения Валерьевича посвящена исследованию предпробойных явлений, приводящих к инициированию наносекундного высоковольтного электрического пробоя в коротких вакуумных промежутках, а также его развитию в широких электродных системах металл–металл и металл–плазма. Диссертация состоит из вводной части, восьми глав и трех приложений. Вводная часть диссертации посвящена актуальности темы работы, в ней сформулированы основная цель и задачи проведенных исследований, применяемые методы и защищаемые положения. Также обсуждается научная новизна и практическая ценность полученных результатов; указан личный вклад автора в достижение этих результатов.

Прежде всего, хотелось бы отметить, что в работе представлены результаты как экспериментальных, так и теоретических исследований рассматриваемых проблем, выполненных лично автором. На мой взгляд, это свидетельствует о современном комплексном подходе к проведению фундаментальных исследований, нацеленных, прежде всего, на развитие представлений о сути рассматриваемых физических явлений. С другой стороны актуальность темы диссертационной работы не вызывает сомнений и с практической точки зрения. Так, недостижимая на сегодняшний день на практике электрическая прочность для широких вакуумных промежутков в 3÷4 МВ/см имела бы большое значение для очень многих приложений вакуумной высоковольтной физической электроники. Необходимо отметить, что рекордные значения данного параметра в ~1,5 МВ/см для электродной системы из нержавеющей стали были получены в коллективе, где работает автор диссертации, с применением метода импульсного плавления поверхности низкоэнергетическим сильноточным пучком, который описан во второй главе диссертации. В то же время исследование механизмов и факторов инициирования взрывоэмиссионных центров имеет большое значение для создания устройств генерации сильноточных короткоимпульсных электронных пучков, с помощью которых решаются многие задачи вакуумной физической электроники,

например, генерация мощного электромагнитного излучения оптического, СВЧ и рентгеновского диапазонов и т.д.

Представленный в первой главе диссертации литературный обзор весьма полон и хорошо структурирован как в хронологическом порядке, так и по направлению проводимых ранее исследований рассматриваемых проблем. В главах 2–5 представлены методики и результаты экспериментальных исследований импульсной электрической прочности вакуумных промежутков в зависимости от свойств материалов электродов и состояния поверхности. Для этого были разработаны новые и оригинальные экспериментальные методики, включающие современное диагностическое оборудование. Так с помощью разработанного импульсного эмиссионного проектора убедительно показана эффективность подавления центров электронной эмиссии после импульсной переплавки приповерхностного слоя катода низкоэнергичным электронным пучком. Представляют большой интерес полученные результаты в отношении связи центров взрывной электронной эмиссии с приповерхностными естественными и искусственными дефектами кристаллической структуры электродов, возникновение деформационных структур на поверхности электродов в безискровом режиме, а так же снижения импульсной электрической прочности в магнитном поле с напряжённостью в несколько десятых долей Тесла.

Результаты теоретических исследований механизмов инициирования электрического пробоя и компьютерного моделирования начальной фазы искровой стадии вакуумного разряда представлены в главах 6–8. Среди полученных результатов в направлении исследования механизма инициирования пробоя макрочастицами, находящимися на электродах, хотелось бы отметить, прежде всего, обнаружение и определение условий существования осцилляционного режима отрыва макрочастицы от электрода в переменном электрическом поле. Основные результаты моделирования разлета катодного факела хорошо согласуются как с экспериментальными данными, так и с результатами расчетов, выполненных другими авторами. В заключительной 8 главе приводятся результаты как экспериментальных, так и теоретических исследований механизмов инициирования катодных взрывоэмиссионных центров и динамики развития импульсного пробоя катодного ионного слоя. Выявлена ключевая роль потока ионов из плазмы в развитии пробоя на проволочно-торцевом взрывоэмиссионном катоде, используемом в источниках низкоэнергетических сильноточных электронных пучков (НСЭП).



Автореферат оставляет хорошее впечатление, написан достаточно подробно, четко структурирован, небольшое количество неточностей редакторского характера не мешает восприятию материала.

Основное замечание к автореферату заключается в отсутствии даже беглого перечисления основных численных методов, которые использовались при решении систем уравнений (6)–(9) в одномерном сферическом и двумерном осесимметричном случаях (глава 7). Ситуация аналогична и для системы уравнений (10)–(12) главы 8. Непосредственно по работе наибольшее количество вопросов возникло к экспериментальному исследованию морфологических изменений поверхности электродов в безискровом режиме (глава 5):

1. Из текста автореферата не удастся понять, происходит ли вообще какое-то плазмообразование в этом режиме? Можно ли назвать его беспробойным?

2. Происходит ли рост новообразования при последующих воздействиях, т.е. зависит ли размер новообразования в ширину и глубину от количества импульсов или возникают новообразования на других участках электрода?

3. Является ли этот эффект пороговым по отношению к напряженности макрополя, которое в эксперименте можно варьировать межэлектродным расстоянием, либо при меньших полях требуется большее количество импульсов?

Отмечу, что данные вопросы являются, скорее всего, пожеланиями автору в дальнейшей работе, нежели замечаниями к проделанной. Указанные недостатки, впрочем, не затрагивают существо защищаемых положений и не влияют на общую высокую оценку проделанной соискателем работы. В целом, результаты, изложенные в автореферате, свидетельствуют о том, что диссертационная работа Нефедцева Евгения Валерьевича «Явления на катоде и в прикатодной плазме в начальных стадиях импульсного пробоя миллиметровых вакуумных промежутков» представляет собой законченную научно-квалификационную работу, выполненную лично автором. Диссертационная работа соответствует всем требованиям ВАК и заявленной специальности, а Нефедцев Е.В. заслуживает присвоения ему ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.04 – физическая электроника.

Отзыв составил

Уйманов Игорь Владимирович

кандидат физико-математических наук, доцент

старший научный сотрудник ИЭФ УрО РАН  
Тел. +79122011573, e-mail: uimanov@ier.uran.ru

  
Уйманов И.В.

Подпись Уйманова И.В. удостоверяю:  
ученый секретарь ИЭФ УрО РАН,  
к.ф.-м.н.

Кокорина Елена Евгеньевна

«15» августа 2022 г.



Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт электрофизики  
Уральского отделения Российской академии наук (ИЭФ УрО РАН), 620016  
Екатеринбург, ул. Амундсена 106, <http://ier.uran.ru/>; [admin@ier.uran.ru](mailto:admin@ier.uran.ru); тел. (343) 267-87-  
96