

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.

Развитие сильноточной вакуумной электроники сопровождается повышением требований к качеству вакуумной изоляции. В последнее время возникает понимание того, что при тщательной очистке поверхности электродов факторами инициирования вакуумного пробоя могут стать дефекты кристаллического строения, как исходные, так и новые, генерируемые под действием электрического поля. В связи с этим, одной из задач Нефедцева Е. В. было экспериментальное исследование первичных предпробойных изменений на исходно чистой и гладкой поверхности электродов, материал которых имеет различный состав, кристаллический порядок и структуру (главы 3-5). Использование оригинальных приемов обработки электродов и ограничения электрофизического воздействия на вакуумные промежутки по времени и по току, а также использование методов химического декорирования поверхности испытанных катодов позволили впервые выявить внешне маловыразительные и скрытые нарушения, сопутствующие развитию первого вакуумного пробоя, а также экспериментально подтвердить гипотезу о важной роли дислокаций в развитии предпробойных процессов и пробое. Применение оригинальной методики фиксации импульсной эмиссионной карты и эмиссионного тока позволило установить, что на исходно чистой и гладкой поверхности катода электронная эмиссия появляется только во время развития первого пробоя, после чего на месте пробоя фиксируется группа стабильных центров предпробойной автоэлектронной эмиссии, связанная с искровой эрозией. На основе исследований характера распределения первичных кратеров искровой обработки катода и их зародышей установлено, что кроме уже известных механизмов, имеется механизм зарождения вторичных взрывоэмиссионных центров через механические напряжения, возбуждаемые в материале первичными центрами.

Появление частиц на электродах часто сопутствует технологическим процессам, связанным, в частности, с обработкой материалов пучками заряженных частиц. В главе 6 с позиций фундаментальной электростатики рассмотрена динамика сферической проводящей частицы после отделения ее от электрода под действием возрастающего электрического поля, а также изменение напряженности локального электрического поля между частицей и электродом. Эта часть работы имеет большое значение для объяснения экспериментально установленного факта сильного снижения электрической прочности вакуумных промежутков в переменных и импульсных электрических полях в присутствии частиц, который не отвечает известным теориями пробоя вследствие перелета частиц через промежуток и бомбардировки ими противоположного электрода.

В главе 7 проведено численное моделирование расширения токонесущей плазмы в вакуумный промежуток в коммутационной стадии вакуумного пробоя. Модель плазмы рассмотрена в приближении многофазной гидродинамики, учитывающей возможность разделения заряда и потоков частиц. Результаты расчета детализируют характер распределения частиц плазменного облака, скоростных режимов электронов и ионов, температурных полей и соответствуют экспериментальным данным.

В главе 8 приведены расчеты пиковых значений напряженности электрического поля и плотности ионного тока в формирующемся катодном ионном слое, пробой которого используется для генерации низкоэнергетических сильнофокусированных электронных пучков. Некоторым подтверждением сходства предпробойных процессов, протекающих на поверхности катодов вакуумного промежутка (глава 3) и ионного слоя (глава 8), является, в частности, привязка мест пробоя к расположению полюсов постоянных магнитов, встроенных внутрь катода, которую автор объясняет проявлением магнитоэластического эффекта. При этом экспериментально показано, что значительный вклад в предпробойное разрушение поверхности катода вносит и ионная бомбардировка из плазменного анода.

Полученные научные результаты являются основой для поиска новых подходов к повышению эксплуатационных характеристик электрофизических устройств. Однако многие из них могут быть интересными и для специалистов, изучающих влияние внешних энергетических воздействий на прочность и пластичность материалов. Особенностью электростатического воздействия на металл через вакуумный промежуток с точки зрения механики тела является приложение нагрузки к поверхностному атомному слою, при котором концентраторами механических напряжений и, соответственно, зародышами перестройки поверхности электродов могут стать дефекты кристаллического строения, в частности атомно-размерные ступени, дислокации, несущие на себе значительную упругую энергию и другие. Таким образом, поиск путей увеличения электрической прочности вакуумных промежутков сталкивается с проблемами современного материаловедения поверхностных слоев металлов в условиях внешних энергетических воздействий.

Замечания.

1. Из автореферата не понятна возможная роль электропластических эффектов (указано во множественном числе!) в вакуумном пробое. По-видимому, здесь используется несколько вольная и широкая трактовка термина "электропластический эффект", который для металлов означает эффект изменения предела текучести при пропускании импульсных токов высокой плотности.

2. Указывая на важную роль дислокаций в развитии вакуумного пробоя, автор во многих местах избегает использования слова "дислокация", часто заменяя его более широким понятием "линейный дефект".



3. Моделирование токонесущей плазмы проведено исключительно для миллиметрового вакуумного промежутка. Отсутствует информация о возможностях применения многожидкостной модели плазмы для больших масштабов, например, для моделирования плазменных струй в установках электровзрывного легирования.

Несмотря на сделанные замечания, работа Нефедцева Е. В. характеризуется высоким качеством решения сложных научных проблем как на основе экспериментальных, так и на основе теоретических исследований. Актуальность, практическая и теоретическая значимость работы не вызывает сомнений. Научные положения, выносимые на защиту, сформулированы четко. Материалы диссертации опубликованы в 35 работах, 14 из которых – в журналах, входящих в перечень ВАК научных изданий, в которых должны быть опубликованы научные результаты диссертации.

Нефедцев Евгений Валерьевич достоин присуждения ему ученой степени доктора физико-математических наук.

На обработку персональных данных согласны.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный индустриальный университет»

Зав. кафедрой естественнонаучных дисциплин им. профессора В.М. Финкеля, д.ф.-м.н. (специальность 01.04.07 – физика конденсированного состояния), профессор, Заслуженный деятель науки РФ, Лауреат премии Правительства РФ в области науки и техники, Лауреат премии РАН им. И.П. Бардина

Громов  
Виктор Евгеньевич

К.т.н. (специальность 01.04.07 – физика конденсированного состояния), доцент, Доцент кафедры естественнонаучных дисциплин им. профессора В.М. Финкеля

Невский  
Сергей Андреевич

Подписи В.Е. Громова и С.А. Невского удостоверяю  
Начальник ОК СибГИУ



Миронова Татьяна  
Анатольевна

Адрес: 654007, г. Новокузнецк, ул. Кирова 42, СибГИУ, каф. естественнонаучных дисциплин им. проф. В.М. Финкеля. Телефон (3843) 46-22-77, факс (3843) 46-57-92, E-mail gromov@physics.sibsiu.ru, snevskiy@bk.ru

Дата подписания отзыва 11.05 2022 г.