

## ОТЗЫВ

официального оппонента Шаркеева Юрия Петровича о диссертационной работе Чан Ван Ту «Форвакуумный плазменный источник ленточного электронного пучка для пучково-плазменной модификации диэлектриков», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.3.5. – физическая электроника.

### **Актуальность избранной темы.**

Интерес к источникам широкоапертурных электронных пучков, к которым относятся и источники пучков ленточной конфигурации обусловлен возможностью использования их в технологиях пучково-плазменной модификации диэлектриков. Преимуществом источников электронов на основе протяженного плазменного катода является создание плотной пучковой плазмы большой площади в форвакуумной области давлений. Параметры такой плазмы определяются родом газа и давлением в вакуумной камере, а также параметрами электронного пучка, что позволяет в широких пределах изменять степень воздействия плазмы на обрабатываемую поверхность диэлектриков. Созданные к настоящему времени форвакуумные плазменные источники ленточных пучков позволяют формировать электронный пучок с низкой расходимостью и использовать его для генерации плазменного образования с площадью до одного квадратного метра. Несмотря на достигнутые ранее успехи в повышении эксплуатационных характеристик таких источников, научные задачи снижения неоднородности, повышения стабильности инициирования разряда, а также определение результатов воздействия на непроводящие материалы требуют дальнейших исследований для их решения. В связи с чем, тематика диссертационной работы Чан В.Т., направленная на решение указанных задач является актуальной.

**Содержание диссертации.** *Первая глава* посвящена обзору плазменных электронных источников, использующих различные схемы инициирования тлеющего разряда, описаны особенности получения широкоапертурных электронных пучков в форвакуумной области давлений, приведены несколько примеров использования электронно-пучковой плазмы для модификации поверхности полиэтилена, технологий травления, плазменно-стимулированного синтеза оксидов, в процессах, связанных с обработкой биоактивных материалов и др.

На основе обзора сделаны выводы и определены задачи диссертационного исследования.

*Во второй главе* представлена техника и методика эксперимента. Описан макет исходного плазменного электронного источника, конструктивные особенности и подробно представлены осуществленные доработки разрядной и эмиссионной системы. Приведено описание используемого в работе диагностического оборудования – зонд для измерения плотности тока пучка, Ленгмюровского одиночного и двойного зондов, а также оборудование и схема оптической спектрометрии. Подобраны методики измерения поверхностных и оптических свойств полимеров после пучково-плазменной обработки.

*В третьей главе* приведены результаты исследований процесса инициирования эффекта полого катода в разрядной системе плазменного источнике электронов. Получены зависимости напряжения зажигания и горения разряда от тока разряда, геометрии катодной полости, давления и рода газа. Показано, что пороговый ток инициирования эффекта полого катода определяется геометрией щели в катодной полости, а именно соотношением ее протяженности и ширины. Показано влияние геометрических размеров эмиссионного окна в аноде на однородность параметров формируемого электронного пучка. Приведены особенности использования многоапертурной системы извлечения электронов и ее влияние на ток электронного пучка, его однородность по сечению пучка и тепловую нагрузку на эмиссионный электрод. Сделаны выводы по представленным результатам.

*В четвертой главе* приведены примеры возможного применения разработанного форвакуумного плазменного электронного источника для создания плазмы в области транспортировки электронного пучка и ионно-плазменной модификации диэлектрических материалов. Определено влияние тока пучка и энергии электронов на параметры пучковой плазмы. Продемонстрирована возможность обработки полиэтилена и полипропилена ионами из пучковой плазмы, определена степень влияния режимов обработки на поверхностные и оптические свойства полимеров. Сделаны выводы по представленным результатам.

*В заключении* обобщены основные результаты диссертационной работы.

**Наиболее важные и значимые** результаты исследований, состоят в следующем:

1. Для тлеющего разряда с протяженным полым катодом выявлены особенности и дана физическая интерпретация влияние протяженности и ширины катодной щели на пороговый ток инициирования эффекта полого катода.

2. Для форвакуумного плазменного источника ленточных электронных пучков установлены факторы, обеспечивающие достижение высокой эффективности извлечения электронов при сохранении однородности распределения плотности тока по сечению пучка. Показано, что решающее значение на формирование однородного пучка имеет выбор оптимальной геометрии многоапертурной системы извлечения электронов и параметров электронного пучка.

3. Определены режимы эффективной модификации поверхности протяженных полипропиленовых образцов в аргоновой пучковой плазмой, формируемой в форвакуумной области давлений при транспортировке ленточного электронного пучка.

#### **Достоверность и новизна полученных результатов**

Достоверность результатов диссертационной работы обеспечивается использованием современного экспериментального оборудования и методик для диагностики параметров плазмы и электронного пучка, а также детальным анализом результатов исследований, обоснованностью выводов и заключений и их сопоставлением с ранее полученными результатами по данному направлению исследований.

#### **Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации**

Выдвинутые автором научные положения, выводы и рекомендации основаны на постановке конкретных целей и задач работы, систематическом характере исследований и детальном анализе полученных результатов. Результаты исследований опубликованы в ведущих рецензируемых российских и зарубежных физических журналах, и они прошли апробацию на международных конференциях.

#### **Имеются замечания по диссертации и автореферату**

1. Основное преимущество ленточного электронного пучка состоит в возможности создания плазменного образования большой площади. Поэтому

следовало бы привести результаты измерений распределения плотности плазмы в продольном направлении и в поперечном сечении электронного пучка.

2. В главе 4 представлены результаты исследования параметров пучковой плазмы в среде аргона и гелия, но не приведено обоснование выбора именно этих инертных газов. Если основная прикладная направленность исследований заключается в модификации полимеров, то очевидно в экспериментах следует использовать химически активные газы, например кислород или азот.

3. Результаты по пучково-плазменной обработке представлены как констатация фактов без обоснования выбора полиэтилена в качестве обрабатываемого материала. Нет обсуждения механизма изменения поверхностных и оптических свойств материала после пучково-плазменной обработки.

4. Из текста диссертации не вполне понятно следующее. Является ли результат обработки пучковой плазмой (сглаживание поверхности, снижение коэффициента пропускания, повышение гидрофильных свойств) уникальным для данного способа ее создания или это присуще всем методам плазменной обработки не зависимо от способа ее создания?

Сформулированные замечания носят рекомендательный и дискуссионный характер, не затрагивают сущности выносимых на защиту научных положений и не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы.

**Заключение.** Таким образом, диссертационная работа Чан Ван Ту является законченной научно-квалифицированной работой, имеющей научную и практическую ценность. Диссертация соответствует требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.3.5 – «Физическая электроника».

Даю свое согласие на обработку моих персональных данных и включение их в аттестационное дело Чан Ван Ту.

Шаркеев Юрий Петрович, доктор физико-математических наук (01.04.07 – «Физика конденсированного состояния»), профессор, главный научный сотрудник и заведующий лабораторией физики наноструктурных биокomпозитов,

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики прочности и материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук (ИФПМ СО РАН) Адрес: 634055, г. Томск, просп. Академический, 2/4, e.mail: sharkeev@ispms.ru, тел.: +7 9138062814.

Главный научный сотрудник лаборатории физики наноструктурных биокomпозитов ИФПМ СО РАН



Ю.П. Шаркеев

Подпись Шаркеева Ю.П. заверяю

Ученый секретарь ИФПМ СО РАН  
кандидат физ.-мат. наук  
09.06.2022



Н.Ю. Матолыгина