

## ОТЗЫВ

о диссертационной работе Денисова В.В. «ГЕНЕРАЦИЯ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПЛАЗМЫ В СИЛЬНОТОЧНОМ НЕСАМОСТОЯТЕЛЬНОМ ТЛЕЮЩЕМ РАЗРЯДЕ С ПОЛЫМ КАТОДОМ», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.27.02 – вакуумная и плазменная электроника.

### **Актуальность избранной темы.**

Интерес к источникам газоразрядной плазмы обусловлен широким использованием их в технологиях поверхностной модификации материалов. Созданные к настоящему времени генераторы плазмы успешно применяются при азотировании сталей и их сплавов, позволяют наносить упрочняющие и защитные покрытия, используются в ионных источниках. Несмотря на разнообразие разработанных к настоящему времени генераторов газоразрядной плазмы, растущие потребности промышленности, в частности повышение занимаемого плазмой объема, требуют постоянного совершенствования существующих и разработку новых генераторов, позволяющих получать большие объемы однородной плазмы высокой концентрации при минимальных затратах мощности на ее создание. В связи с вышеизложенным, тема диссертационной работы, посвященной исследованию постоянного и импульсного режимов горения несамостоятельного тлеющего разряда низкого давления с полым катодом большого объема и генерируемой в этих режимах плазмы, представляется актуальной.

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

В диссертационной работе представлено решение ряда конкретных задач, среди которых особо следует выделить повышение стабильности функционирования несамостоятельного тлеющего разряда и увеличение его тока до нескольких сотен ампер, оптимизацию формы и размеров рассеивающего эмиссионного электрода, позволившую существенно снизить неоднородность генерируемой несамостоятельным тлеющим разрядом плазмы, определение режимов азотирования титана, при которых в поверхностном слое получается повышенное объемное содержание нитридной фазы. При решении каждой из задач получены оригинальные результаты, ставшие основой для формулировки выносимых на защиту научных положений, обоснованность которых не вызывает сомнений. Несомненное достоинство диссертационной работы состоит в использовании полученных результатов и выводов для практической реализации в генераторе объемной плазмы.

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

Достоверность результатов диссертационной работы обеспечивается скрупулезным изучением полученных в работах других авторов результатов по направлению исследований, сопоставлением их данных с собственными выводами.

При выполнении работ использована современная диагностическая аппаратура (система автоматизированного измерения зондовых характеристик, оптический спектрометр), применены традиционные, хорошо проверенные методы исследований (растровая электронная микроскопия, рентгено-дифракционный анализ). Представленные в работе результаты неоднократно докладывались на самых авторитетных международных конференциях и симпозиумах, опубликованы в ведущих научных отечественных и зарубежных журналах.

В диссертационной работе приведен ряд новых результатов, к которым следует отнести следующие:

1. Определены условия стабильного зажигания и горения несамостоятельного разряда с полым катодом большого ( $0,2 \text{ м}^3$ ) объема при давлениях единицы паскаль, обеспечивающего генерацию газоразрядной плазмы с высокой ( $\sim 10^{18} \text{ м}^{-3}$ ) концентрацией. Ток разряда при этом достигает рекордных 240 А.

2. Установлены факторы, влияющие на однородность плазмы несамостоятельного разряда. В частности показано, что решающее значение для генерации однородной плазмы имеет величина тока вспомогательного разряда, а также форма эмиссионного электрода. Повышение тока инжектированных в катодную полость электронов, а также использование эмиссионного электрода конусной формы позволяет в разы повысить однородность плазмы.

3. Определены режимы работы плазменного генератора, позволяющие путем азотирования в разы повысить износостойкость титана и его сплавов.

### **Замечания по диссертации и автореферату**

1. Несмотря на то, что работа посвящена исследованию плазмы, в тексте диссертации не приведено ни одной зондовой характеристики исследуемой плазмы.

2. В третьей главе диссертации сделан вывод об эффективности использования клинообразного эмиссионного электрода для повышения однородности распределения параметров плазмы несамостоятельного тлеющего разряда, однако в главе 4 азотирование титана и его сплавов без обоснований осуществляется при использовании плоского эмиссионного электрода.

3. В тексте диссертации имеются некоторые неточности. Например: рис. 1.1 (стр. 16) и 1.5 (стр. 19) низкого качества и плохо читаемы. На рис. 3.2 и далее, где представлены азимутальные распределения плотности ионного тока, присутствует обозначение А-А, однако

в тексте нет расшифровки этого обозначения. В выводах к главе 2 на стр. 91 присутствуют фразы «...при некотором значении тока...» - каком?, «При высоких концентрациях плазмы...» - что означает высоких? На стр. 103 незаконченная фраза «В случае азимутальных распределений, представленных на р, параметры которых....».

4. В п.1 Заключения к основным результатам и выводам работы автор относит возникновение эффекта полого катода скачком. Сомнительна новизна данного заключения поскольку этот эффект известен и изучен уже достаточно подробно и действительно проявляет себя в резком повышении разрядного тока.

Отмеченные недостатки не затрагивают сущности научных положений выносимых на защиту и не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы.

### Заключение

В целом диссертационная работа В.В. Денисова является научно-квалифицированной работой, имеющей научную и практическую ценность. Диссертация соответствует требованиям п. 9 «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 05.27.02 - вакуумная и плазменная электроника.

Официальный оппонент, доктор технических наук,  
старший научный сотрудник

Климов А.С.

Климов Александр Сергеевич, доктор технических наук, старший научный сотрудник лаборатории плазменной электроники каф. физики Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники».

634050, г. Томск, проспект Ленина, 40.

Телефон: +7(3822) 510-530, e-mail: [klimov@main.tusur.ru](mailto:klimov@main.tusur.ru)

Дата

17.10.2017

Подпись Климова А.С. удостоверяю,  
Ученый секретарь ТУСУР



Прокопчук Е.В.