

## ОТЗЫВ

### научного руководителя

доктора технических наук, профессора Коваля Николая Николаевича на диссертацию Денисова В.В. «Генерация низкотемпературной плазмы в сильноточном несамостоятельном тлеющем разряде с полым катодом», представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.27.02 – вакуумная и плазменная электроника.

Диссертация Денисова В.В. выполнена в Институте сильноточной электроники Сибирского отделения Российской академии наук (ИСЭ СО РАН) и посвящена актуальной научной проблеме – генерации низкотемпературной плазмы с высокими значениями концентрации в больших вакуумных объемах. Определение условий стабильного зажигания и устойчивого горения сильноточного тлеющего разряда низкого давления с полым катодом большого объема при токах до нескольких сотен ампер позволит разрабатывать и создавать генераторы плазмы, имеющие относительно низкую удельную стоимость по сравнению с генераторами на основе других типов разрядов, одновременно достигая лучших эксплуатационных характеристик. То есть тематика работы является весьма актуальной и востребованной для решения исследовательских и прикладных задач.

Автор в ходе обзора отечественной и зарубежной литературы на основе анализа механизмов и особенностей генерации плазмы в тлеющих разрядах с полым катодом выделил в качестве перспективного для генерации плазмы в больших вакуумных объемах тлеющий разряд с инжекцией электронов в полый катод. На основе известных соотношений был проведен расчет параметров электродной системы для генерации сильноточного несамостоятельного тлеющего разряда с полым катодом с токами до 500 А, а в последующем собран стенд для исследования этого типа разряда.

Исследования показали, что при генерации значительных величин концентрации плазмы ( $\approx 10^{18} \text{ м}^{-3}$ ) возможно неустойчивое горение тлеющего разряда. Была определена степень влияния ряда факторов на эту нестабильность и определены условия стабильной генерации плазмы в больших вакуумных объемах. Комплекс зондовых измерений позволил выявить влияние различных условий на однородность распределения параметров генерируемой плазмы в объеме полого катода. Было экспериментально показано, что возрастание тока тлеющего разряда при увеличении тока инжектируемых в полость электронов приводит к улучшению однородности.

При сравнении результатов азотирования титана марки ВТ1-0 был сделан вывод, что обработка в плазме импульсного тлеющего разряда по сравнению с обработкой в плазме стационарного разряда при прочих равных условиях процесса позволяет достигать более высокой износостойкости поверхностного слоя титана.

В результате проведенного цикла исследований был создан генератор низкотемпературной плазмы, позволяющий в непрерывном и импульсном режимах горения разряда в полой катодной трубке объемом  $0,2 \text{ м}^3$  в диапазоне давлений  $(0,4 - 1,2) \text{ Па}$  при токах разряда  $(10 - 450) \text{ А}$  и напряжениях горения  $(45 - 300) \text{ В}$  при средней мощности в разряде до  $30 \text{ кВт}$  создавать плазму с концентрацией  $\approx 10^{18} \text{ м}^{-3}$  с неоднородностью не хуже  $\pm 30\%$  и обеспечивать плотность ионного тока на полой катодной трубке площадью  $2 \text{ м}^2$  до  $10 \text{ мА/см}^2$ .

Диссертация содержит достаточное количество материала и ряд численных оценок, обосновывающих сделанные в заключении выводы.

Денисов В.В. сложившийся учёный-исследователь, способный самостоятельно формулировать и решать поставленные научные и научно-технические задачи. За время работы в ИСЭ СО РАН Денисов В.В. занимал призовые места в конкурсах на лучшую исследовательскую работу среди молодых ученых. Он является ответственным и исполнительным участником госбюджетных работ, а также грантов и договоров, выполняемых лабораторией плазменной эмиссионной электроники ИСЭ СО РАН. Он коммуникабелен и пользуется уважением среди сотрудников ИСЭ.

Основные результаты, изложенные в диссертационной работе, опубликованы в научной периодике, по ним сделан ряд докладов на международных и всероссийских конференциях.

Особо следует отметить, что результаты диссертационной работы Денисова В.В. уже имеют внедрение и используются для реализации процессов азотирования металлических изделий, о чем свидетельствуют ряд актов испытания изделий, обработанных в плазме тлеющего разряда.

Таким образом, учитывая вышесказанное, считаю, что Денисов Владимир Викторович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.27.02 – «вакуумная и плазменная электроника».

Заведующий лабораторией плазменной эмиссионной электроники  
Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института  
сильноточной электроники Сибирского отделения Российской академии  
наук, доктор технических наук, профессор  
Коваль Николай Николаевич  
634055, г. Томск, пр. Академический 2/3, тел.: 8 (3822) 49 17 06  
E-mail: koval@hcei.tsc.ru



/ Н.Н. Коваль/

Подпись Ковалья Н.Н. удостоверяю

Учёный секретарь ИСЭ СО РАН, д.ф.-м.н.



/ И.В. Пегель/

23.08.2018

