

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Климова Александра Сергеевича «Генерация электронных пучков в форвакуумной области давлений на основе плазменно-эмиссионных разрядных систем с полым катодом», представленной на соискание учёной степени доктора технических наук по специальности 01.04.04 – физическая электроника

Диссертация Климова А.С. посвящена актуальной теме – исследованию, развитию и применению источников непрерывных электронных пучков различного поперечного сечения, способных работать в форвакуумном диапазоне давлений рабочего газа.

Цели и задачи диссертации заключались в комплексном изучении процессов эмиссии электронов, формирования и транспортировки электронных пучков, получаемых в системах на основе тлеющего разряда с полым катодом в форвакуумной области давлений; в создании на основе проведённых исследований нового поколения форвакуумных источников электронов с плазменным катодом с широким диапазоном интегральных и удельных параметров пучка; в демонстрации возможностей эффективной электронно-лучевой обработки непроводящих высокотемпературных керамик и других диэлектриков.

Несмотря на кажущуюся простоту исследуемых систем и очевидные физические предпосылки к успешному решению задач (источники работают на левой ветви кривой Пашена, хотя и недалеко от её минимума), квалифицированному экспериментатору понятно насколько сложно создать реально действующий, надёжный источник электронов, детально учесть при этом целый ряд вторично-эмиссионных и других процессов, иметь в виду смещение кривой Пашена при внешней инжекции электронов в ускоряющий зазор, которое может нарушить его электрическую прочность и, наконец, найти и отработать режимы практического применения форвакуумных источников электронов для сварки, пайки, спекания различных материалов, включая высокотемпературные непроводящие керамики.

С поставленными задачами соискатель успешно справился. Прделанная Климовым А.С. работа представляет собой серьёзный шаг в развитии физики и техники генерирования интенсивных электронных пучков в форвакуумном диапазоне давлений (прежде всего, в части значительного повышения плотности тока пучка и расширения диапазона давлений рабочего газа в сторону увеличения), а также их применения для целей, указанных в предыдущем абзаце. Таким образом, научная и практическая ценность диссертации несомненна. Не вызывает сомнений также и достоверность полученных в диссертации результатов. Диссертационная работа хорошо апробирована, опубликована, защищена патентами.

По автореферату можно высказать следующие замечания.

1. Страницы 9-10, 4-е защищаемое положение. Термин "пучково-плазменный разряд" соискателем употреблён неправильно. Под пучково-плазменным разрядом принято понимать разряд, в котором плазменные электроны играют значительную роль в ионизации. Как такое возможно в газе (да ещё и в гелии, имеющем наибольший потенциал ионизации) при температуре всего лишь 1–2,5 эВ? Убедительных данных о зажигании именно пучково-плазменного разряда соискатель не приводит.

2. Страница 10. Часть 4-го защищаемого положения, а именно: "...При постоянной энергии электронов увеличение тока пучка приводит к росту концентрации и температуры плазменных электронов, при повышении давления газа также происходит рост концентрации плазмы, но температура электронов снижается..." описывает известное поведение плазмы, синтезируемой электронным пучком из нейтрального газа, и просто является лишним.

3. В уравнение (1) входят величины k , q , и n , которые никак не разъяснены. Можно, конечно, догадаться, что под этим имеются в виду постоянная Больцмана, заряд электрона и концентрация плазмы. Тем не менее, считаю это недочётом.

4. Страница 11. Соискатель некорректно определяет толщину слоя объёмного заряда как $d = U_d/E$, где E называет напряжённостью электрического поля в слое. Такое выражение для толщины слоя справедливо лишь для случая отсутствия объёмного заряда. Следовало поставить знак приближительного равенства.

5. Страница 12. Соискатель вводит понятие "критической напряжённости поля E_{cr} , соответствующего образованию центров эмиссии на эмиссионном электроде." Сравнивая результаты своих экспериментов с результатами расчётов по формуле (4), автор приходит к выводу, что E_{cr} составляет 20 кВ/см, что, по его мнению, свидетельствует в пользу механизма образования "центров эмиссии" под действием электрического поля. Между тем, хорошо известно, что для образования "центров эмиссии" под действием электрического поля (другими словами, взрывоэмиссионных центров – зародышей катодных пятен), требуются поля с напряжённостью минимум на порядок выше. Таким образом, утверждение автора о механизме образования "центров эмиссии" под действием электрического поля ошибочно. На самом деле, "центры эмиссии" возникают, вероятнее всего, при пробое неметаллических включений и плёнок на эмиссионном электроде при их зарядке ионным током из плазмы. (Этот механизм появления "центров эмиссии" хорошо известен в литературе.) Далее, такие "центры эмиссии" интенсифицируют ионизацию газа, что приводит к смещению минимума кривой Пашена в область более низких давлений (благо форвакуумные источники электронов работают при давлениях близких к минимуму кривой Пашена) и к пробую. Это и объясняет наблюдаемую автором зависимость пробивного напряжения от тока эмиссии.

Высказанные замечания не снижают общей положительной оценки диссертации А.С. Климова. Считаю, что данная диссертационная работа выполнена на высоком научном уровне и соответствует требованиям ВАК России, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени доктора наук. Полагаю, что Климов Александр Сергеевич заслуживает присуждения ему учёной степени доктора технических наук по специальности 01.04.04 – физическая электроника.

Ведущий научный сотрудник

доктор технических наук

Озур Григорий Евгеньевич

Тел.: (3822) 49-20-52; электронная почта: ozur@lve.hcei.tsc.ru

26.11.2016г.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт сильноточной электроники Сибирского отделения Российской академии наук (ИСЭ СО РАН),
634055, г. Томск, проспект Академический, 2/3, тел.: (3822) 49-15-44,
факс: (3822) 49-24-10, электронная почта: contact@hcei.tsc.ru, сайт: <http://www.hcei.tsc.ru>

«Подпись Г.Е. Озура удостоверяю»

Ученый секретарь ИСЭ СО РАН,

доктор физико-математических наук



И.В. Пегель