

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию

Воробьева Максима Сергеевича

«Источник электронов с многоапертурным плазменным катодом на основе дугового разряда низкого давления с эффективным выводом пучка большого сечения в атмосферу», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.27.02 – вакуумная и плазменная электроника

Диссертационная работа Воробьева М.С. посвящена исследованию импульсного источника электронов с плазменным катодом. Интерес к подобного рода устройствам обусловлен их использованием для генерации мощных электронных пучков, предназначенных для вывода из вакуума в атмосферу и применяемых как в исследовательских целях, так и для возбуждения активной среды газового лазера, модификации различных материалов, возбуждения химических реакций. Актуальность диссертационной работы не вызывает сомнений. Несмотря на то, что работы по созданию источников, обеспечивающих вывод электронных пучков в атмосферу, проводятся с шестидесятых годов прошлого столетия, характеристики таких источников не полностью удовлетворяют запросам, как исследователей, так и технологов. В частности, требуют улучшения такие параметры, как эффективность извлечения, т.е. отношение тока эмиссии к току разряда, а также коэффициент использования пучка, определяемый как отношение тока пучка в атмосфере к току в ускоряющем промежутке. Еще один важнейший параметр, требующий улучшения – максимальная продолжительность непрерывной работы при сохранении тока пучка. Проведенный в первой главе диссертации анализ работ по источникам с выводом пучка в атмосферу показал, что наиболее удачным вариантом для формирования пучка с током в десятки и сотни ампер и длительностью импульса в сотни микросекунд является источник на основе плазменного катода с фиксированной плазменной границей. Источники такого типа, существовавшие до выполнения рассматриваемой работы, обладали существенным недостатком, состоящим в потере способности создавать выведенный в атмосферу пучок с током в десятки ампер после  $10^3$  -  $10^4$  импульсов. В связи с этим в рассматриваемой работе была поставлена задача исследования

причин, вызывающих потерю работоспособности источника. Кроме того, поскольку источник, формирующий электронный пучок с энергией более 100 кэВ, требует сложной аппаратуры электропитания, которая в значительной степени определяет надежность работы источника, то автором диссертации вполне обоснованно была поставлена задача разработки такой аппаратуры, включая систему автоматизированного управления. Результаты, изложенные в последующих главах диссертации, указывают на то, что все поставленные задачи успешно решены. Полученные при этом результаты обладают научной новизной. При исследовании эффектов, приводящих к пробоем ускоряющего промежутка и вероятной при этом перфорации фольгового окна, автор пришел к выводу о решающей роли капельной фракции из катодного узла в генераторе плазмы. Техническим решением, устраняющим этот недостаток, стало применение оригинального катодного узла, реализующего разряд с катодным пятном в пеннинговской ячейке. Еще один важный результат, обладающий научной новизной, состоит в предложении использования многоапертурного плазменного катода, позволившего достичь коэффициента вывода тока пучка из вакуума в атмосферу, превышающего геометрическую прозрачность опорной решетки. Несомненным практическим достижением стало повышение ресурса работы электронного источника до  $10^7$  импульсов без проведения профилактических мероприятий. Результатом, подводящим итог всей работы и свидетельствующим о ее практической направленности, стало создание комплекса, включающего в себя сам источник, силовую часть системы электропитания и автоматизированную систему управления.


Диссертационная работа обладает всеми признаками законченного научного исследования, содержащего результаты, представляющие научную ценность и имеющие практическую значимость. Достоверность полученных результатов подтверждается проведением экспериментов с применением различных методик, а также оценками, выполненными с использованием известных соотношений. К достоинствам работы следует отнести ее комплексный характер и нацеленность на практический результат. Результаты исследований достаточно полно опубликованы в периодических изданиях и текстах докладов на конференциях различного уровня.

По диссертационной работе могут быть сделаны замечания.

1. В работе не нашел отражения такой важный этап формирования импульсного электронного пучка как заполнение плазмой полого анода. По ориентировочным оценкам время заполнения составляет не менее 30 мкс, что сравнимо с длительностью импульса и должно сказаться на однородности пучка.
2. Не вполне ясны представления автора об увеличении вероятности пробоя ускоряющего промежутка за счет капель на эмиссионной сетке, поскольку капли оседают на стороне сетки, обращенной в сторону, противоположную ускоряющему промежутку.

Отмеченные недостатки не затрагивают сущности научных положений, выносимых на защиту. Диссертационная работа соответствует требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней, предъявляемым к кандидатским диссертациям. Автор работы Воробьев Максим Сергеевич достоин присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.27.02 – вакуумная и плазменная электроника.

Официальный оппонент

Доктор технических наук  Бурдовицин Виктор Алексеевич,  
профессор кафедры физики Томского университета систем управления и радиоэлектроники.

Адрес: ул. 19 Гвардейской дивизии 15, кв. 25. 634045, Томск. Тел. 913-804-94-67.

E-mail: burdov@fet.tusur.ru

Подпись В.А. Бурдовицина удостоверяю

Ученый секретарь университета  Прокопчук Е. В.

