

О Т З Ы В

официального оппонента на диссертационную работу Кизириди Павла Петровича «Управление параметрами низкоэнергетических сильноточных электронных пучков, генерируемых в пушках со взрывоэмиссионным катодом», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.04 – «Физическая электроника».

Целью работы является исследование и разработка новых методов управления параметрами низкоэнергетических сильноточных электронных пучков, генерируемых в пушках со взрывоэмиссионным катодом.

Актуальность диссертации определяется все возрастающей ролью импульсных источников пучков заряженных частиц в фундаментальных и прикладных научных исследованиях, разработке новых технологических процессов в различных отраслях промышленности, медицине, сельском хозяйстве, решении экологических задач.

Научная новизна работы П.П. Кизириди состоит в следующем:

1. Предложен и разработан метод формирования плазменного анода с максимумом концентрации заряженных частиц на периферии плазменного столба на основе отражательный разряд и вакуумного разряда.

2. На основе проведенных исследований разработан широкоапертурный взрывоэмиссионный катод с резистивной развязкой эмиттеров, который выполнен на основе объемных резисторов, проволочные выводы которых используются в качестве эмиттеров электронов при величине ускоряющего напряжения до 40 кВ.

3. Впервые предложен и реализован способ взрывной эмиссии электронов с помощью дуговых источников плазмы, встроенных в катодный узел и резистивно развязанных.

4. Реализован подход управления распределением плотности энергии по сечению пучка с помощью ферромагнитов, выступающих в роли концентраторов магнитного поля и располагаемых непосредственно за мишенью.

Практическую ценность работы можно сформулировать в следующих положениях:

1. Разработаны методы, улучшающие однородность распределения плотности энергии по сечению сильноточного электронного пучка, которые могут применяться как по отдельности, так и в комбинации друг с другом.

2. Создан широкоапертурный (около 20 см^2) взрывоэмиссионный катод с резистивной развязкой металлических эмиттеров, обладающий стабильными (от импульса к импульсу) параметрами с более высоким ресурсом по сравнению с другими широкоапертурными взрывоэмиссионными катодами, используемыми в источниках низкоэнергетических сильноточных электронных пучков.

3. Катодный узел сильноточного электронного диода, включающий взрывоэмиссионный катод и встроенные в него резистивно развязанные дуговые источники плазмы, позволяет существенно упростить конструкцию источника низкоэнергетических сильноточных электронных пучков и повысить его надежность.

4. Разработан метод эффективной обработки низкоэнергетическим сильноточным электронным пучком массивных немагнитных металлических изделий, толщина которых сравнима или превосходит глубину проникновения силовых линий импульсного ведущего магнитного поля.

Выводы и результаты исследований, представленные в диссертации, являются достаточно обоснованными и подтверждаются систематическим

характером исследований, использованием независимых экспериментальных методик. Результаты работ опубликованы в большом количестве статей в ведущих научных журналах и неоднократно представлялись и обсуждались автором на международных и российских научных конференциях.

Диссертация П.П. Кизириди **состоит** из введения, 4-х глав, заключения, списка литературы из 143 позиций, приложения на 2-х страницах.

Во введении обоснованы актуальность и цель поставленных задач, произведена оценка научной новизны и практической ценности работы. Перечислены научные положения, представленные к защите.

В первой главе, состоящей из пяти разделов, приведен литературный обзор с изложением принципов генерирования низкоэнергетического сильноточного электронного пучка в диодных системах с плазменным анодом и взрывоэмиссионным катодом.

Во второй главе, состоящей из четырех разделов, представлены разработанные и исследованные автором методы формирования плазменного анода и результаты их применения при генерировании электронных пучков. В основе разработанных методов лежит формирование плазменной цилиндрической области с максимумом концентрации заряженных частиц на периферии.

Третья глава из трех разделов посвящена вопросам улучшения стабильности работы широкоапертурных взрывоэмиссионных катодов. Показано, что разработанный катодный узел со встроенными в него резистивно развязанными дуговыми источниками плазмы может использоваться для генерирования сильноточных электронных пучков без предварительного заполнения пространства между катодом и коллектором плазмой от внешнего источника, т.е. в режиме вакуумного или газонаполненного диода. При этом обеспечивается высокая повторяемость тока и напряжения от импульса к импульсу.

В четвертой главе, состоящей из трех разделов, представлены результаты исследований по управлению сильноточным электронным пучком с помощью магнитного поля. В экспериментах достаточно широко используется тепловизионная методика, изложены результаты выполненных в среде COMSOL Multiphysics численных расчётов.

В заключении представлены в обобщенном виде результаты работы.

Автором представлена к защите работа, включающая в себя результаты многолетней работы по разработке и исследованию источников низкоэнергетических электронных пучков.

Замечания по работе:

1. Автор достаточно вольно трактует понятие взрывной эмиссии электронов в диоде, называя этим термином эмиссию электронов из дугового плазменного источника, расположенного в катодной области.

2. Вывод 4 раздела по практической ценности работы изложен неконкретно, невозможно понять вывод автора и оценить его значимость. В чем заключается «эффективность обработки»? Толщина обрабатываемых образцов, где происходит модифицирование свойств больше или меньше глубины поглощения энергии электронного пучка и какова эта связь с глубиной проникновения силовых линий магнитного поля, обсуждаемых в работе .

3. В работе достаточно широко использован тепловизионный метод диагностики. Суть его заключается в «фиксации» тепловизором распределения температуры на тыльной стороне мишени через 1 с после срабатывания ускорителя. Автор утверждает о возможности его использования не только для относительных, но и абсолютных измерений (см. с. 55) и использует это в ряде случаев для представления картины распределения плотности энергии по сечению пучка (см. например рис. 2.11), где наблюдается плотность энергии вплоть до 9 Дж/см^2 или на рис 4.5 до 12 Дж/см^2 . Для ряда металлов (медь, титан,

дюралюминий), используемых в качестве пластин при таких плотностях энергии наблюдается плавление и интенсивное испарение. Без учета энергии фазовых переходов расчет плотности энергии по температуре задней поверхности видится ошибочным. Также утверждение о слиянии электронных струй (см. с. 55) на мишени по сравнительно однородному распределению температуры на задней поверхности, измеренной через 1 с, без учета диффузионных тепловых процессов после воздействия пучка не является убедительным доказательством этого.

4. Временной характер осциллограмм ускоряющего напряжения, тока диода и тока пучка на коллектор (см. например рис. 3.9) не понятен. Ускоряющее напряжение и ток диода уже пересекли нулевую линию, а ток пучка присутствует?

Указанные недостатки не затрагивают основных научных положений и выводов по работе, а совокупность представленных результатов исследований может быть квалифицирована как решение важной научно-технической задачи, имеющей принципиальное значение для развития технологий получения импульсных пучков электронов для научных и практических целей.

Автореферат правильно отражает основное содержание диссертации, содержит обоснованные выводы и рекомендации.

Диссертационная работа соответствует требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, **Кизириди Павел Петрович**, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.04 – «Физическая электроника».

Официальный оппонент,

Заведующий научно-производственной лабораторией

импульсно-пучковых, электроразрядных и плазменных

технологий Инженерной школы новых производственных

технологий Томского политехнического университета,
доктор технических наук, профессор Ремнев Геннадий Ефимович
634028, г. Томск, пр-т Ленина, 2а, корпус 11г,
Тел.: 8(913)-882-4494
e-mail: remnev06@mail.ru

Г. Е. Ремнев

«Подпись Ремнева Г.Е. удостоверяю»

И.о. ученого секретаря Томского
политехнического университета,
кандидат технических наук



Е. А. Кулинич

24.05.2021г.