

УДК 537.533.9, 537.533.2

DOI: 10.17223/00213411/63/10/7

Н.Н. КОВАЛЬ, В.Н. ДЕВЯТКОВ, М.С. ВОРОБЬЕВ

ИСТОЧНИКИ ЭЛЕКТРОНОВ С СЕТОЧНЫМ ПЛАЗМЕННЫМ ЭМИТТЕРОМ: ПРОГРЕСС И ПЕРСПЕКТИВЫ *

Приводится описание принципов работы и основные характеристики электронных источников на основе плазменных эмиттеров с сеточной/слоевой стабилизацией границы эмиссионной плазмы, генерируемой разрядами низкого давления. Рассматривается достигнутый уровень параметров и перспективы дальнейшего развития электронных источников, предназначенных для генерации в вакууме импульсных высокоплотных (с плотностью энергии до 100 Дж/(см²·имп.)) низкоэнергетических (5–25 кэВ, 50–500 А), высокоэнергетических сильноточных (до 100 кэВ, $\gtrsim$ 1 кА) электронных пучков с энергосодержанием пучка до 5 кДж и частотно-импульсных (30 мкс, 50 с⁻¹) электронных пучков большого сечения ($\gtrsim$ 1000 см²) с энергией электронов до 250 кэВ и токами до 100 А, выведенных в атмосферу через выпускное фольговое окно. Рассмотрены особенности генерации эмиссионной плазмы дуговыми разрядами низкого давления в сеточных плазменных эмиттерах и извлечения из нее электронов, особенности работы разрядной системы плазменных эмиттеров, частично погруженных в неоднородное магнитное поле, и особенности формирования и транспортировки высокоплотных низкоэнергетических электронных пучков в продольном магнитном поле. Указаны области применения электронных источников на основе сеточных плазменных эмиттеров и реализуемые с их помощью процессы и технологии.

Ключевые слова: сеточный плазменный эмиттер, импульсный электронный источник, формирование и транспортировка электронного пучка, модификация поверхности материалов импульсным электронным пучком, вывод электронного пучка в атмосферу, упрочняющие технологии, радиационные технологии.

Введение

Электронные пучки нашли достаточно широкое применение в различных традиционных и разрабатываемых технологических процессах, реализуемых в вакууме, таких, как электронно-пучковый нагрев (в том числе сверхбыстрый), электронно-лучевая сварка и пайка, переплавка тугоплавких и химически активных металлов, генерация мощного электромагнитного излучения (от рентгеновского до СВЧ-диапазона), разогрев плазмы до высоких температур в целях управляемого термоядерного синтеза, а также в процессах, реализуемых в атмосфере или в газах повышенного давления после вывода электронных пучков из вакуума через фольговые [1] или газодинамические [2] выпускные окна, таких, как возбуждение электроионизационных лазеров и радиационно-химические процессы.

В зависимости от области применения электронные пучки могут формироваться с использованием пушек на основе наиболее распространенных катодов разного типа (термо- [1, 3, 4] и взрывоэмиссионных [1, 4–9], а также плазменных эмиттеров (ПЭ) [1, 10–27]).

Конечно, каждый из вышеперечисленных типов катодов имеет свои бесспорные преимущества для ряда конкретных применений. А там, где их параметры пересекаются, предпочтение отдается тем катодам, на основе которых создаются наиболее конструктивно проработанные источники электронов, обладающие устойчивостью и стабильностью работы, а также большим сроком службы.

В настоящей работе рассматривается прогресс и перспективы электронных источников на основе плазменных эмиттеров с сеточной/слоевой стабилизацией границы эмиссионной плазмы так называемых сеточных плазменных эмиттеров (СПЭ).

Первые экспериментальные работы по использованию СПЭ для создания источников электронов были выполнены в 70-е годы прошлого столетия под руководством профессора Ю.Е. Крейнделя [10, 23, 24]. Было показано, что мелкоструктурная металлическая сетка стабилизирует границу эмиссионной плазмы, позволяя устойчиво формировать электронные пучки при уровне ускоряющих напряжений десятки киловольт, токах в несколько ампер при длительностях импульсов десятки микросекунд. Дальнейшее увеличение параметров пучка приводило к электрическому пробое ускоряющего промежутка, ограничивая возможности электронного источника и

* Работа выполнена за счет гранта Российского научного фонда (проект № 20-79-10015).

Уважаемые читатели!

Доступ к полнотекстовой версии журнала
«Известия высших учебных заведений. Физика»
осуществляется на платформе
Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU
на платной основе:

<https://elibrary.ru/contents.asp?titleid=7725>