

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИМПУЛЬСНО-ПЕРИОДИЧЕСКОЙ ДУГИ
С КАТОДНЫМ ПЯТНОМ ДЛЯ ГЕНЕРАЦИИ
ЭЛЕКТРОННЫХ И ИОННЫХ ПУЧКОВ
С РЕГУЛИРУЕМЫМ СРЕДНИМ ТОКОМ

Н.В. Г а в р и л о в, Ю.Е. К р е й н д е л ь,
Г.А. М е с я ц, Ф.Н. Ш в е д о в

В тех случаях, когда эффект облучения объектов нерелятивистскими пучками заряженных частиц определяется необходимой дозой ионов или средней мощностью электронного пучка, обычно используются лучевые комплексы, работающие в непрерывном режиме генерации пучка. Эти комплексы включают источники постоянного высокого напряжения и эмиссионные системы на основе термокатодов или газовых разрядов. В то же время прогресс в сильноточной электронике привел к разработке базирующихся на нестационарных процессах эффективных методов импульсной генерации плазмы и пучков частиц. Эти методы могут служить основой для создания техники генерации электронных и ионных пучков со значительными средними токами, альтернативной традиционной технике. При этом для получения пучков частиц должен использоваться импульсно-периодический режим (ИПР), а регулирование среднего тока может осуществляться как изменением амплитуды импульсов тока, так и их скважности.

В частности, в лучевых комплексах ИПР, предназначенных для получения электронных и ионных пучков большого сечения, представляется перспективным использование эмиссионных свойств плазмы импульсного дугового разряда низкого давления с катодным пятном на холодном электроде. Особенностью такого разряда является то, что устойчивое функционирование дуги возможно лишь при токах,

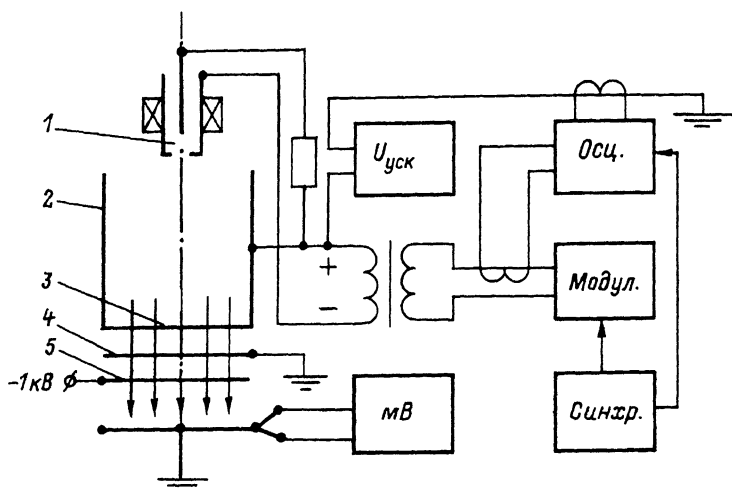


Рис. 1. Схема электродной системы и электрического питания электронно-ионного источника.

превышающих некоторые пороговые значения. Возникающее вследствие этого ограничение диапазона изменения величин тока пучка может быть устранено применением ИПР. При этом необходимо использовать импульсные токи дуги, существенно превышающие пороговые, а регулирование среднего тока целесообразно осуществлять изменением частоты повторения импульсов, начиная с нулевых значений тока, до величин, превышающих пороговые.

Однако значительное повышение импульсного тока дуги для получения высокого среднего тока нежелательно из-за увеличения удельной эрозии катода [1] и снижения ресурса, а также из-за возрастания пространственного заряда пучка, вследствие чего затрудняется его формирование и поддержание электрической прочности ускоряющего промежутка. Увеличение $\tau > 1$ мс приводит к импульсному разогреву катода, усилению капельной эрозии [2] и снижению ресурса. Предельная частота ИПР при значительных размерах плазменного образования также ограничена процессами развития разряда и распада плазмы на уровне 10^4 – 10^5 Гц.

С целью реализации изложенной концепции был создан плазменный электронно-ионный лучевой комплекс ИПР, электродная и электрическая схемы которого показаны на рис. 1. Дуговой разряд между неэквипотенциальным катодом 1 и полым анодом 2 инициируется с помощью вспомогательного разряда в катодной полости и горит в среде газа, напускаемого в катодную часть разряда. Катодная плазма в значительной степени экранирована от анодной, что достигается геометрическим и магнитным контрагированием разряда. Однородная эмиссионная поверхность плазмы площадью ~ 100 см² формируется вблизи перфорированного торца анода. Эмиссия заряжен-

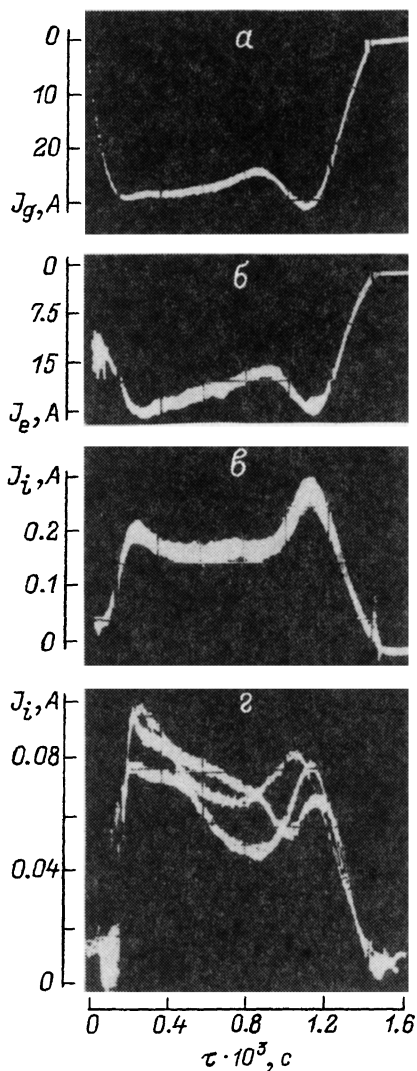


Рис. 2. Осциллограммы импульсов тока при давлении аргона 0.05 Па: а - ток дуги; б - ток электронного пучка; в, г - ток ионного пучка, а, б, в - разрядная система с экранированным катодным пятном, наложение десяти импульсов, г - без экранировки пятна, наложение трех импульсов.

ных частиц, их ускорение и формирование пучка большого сечения происходят в многоапертурной трехэлектродной системе, включающей перфорированный анод 3, ускоряющий электрод 4 и выходной электрод 5, имеющий отрицательный потенциал относительно заземленного ускоряющего электрода.

Для питания разряда в экспериментах использовался модулятор на основе низкоомной искусственной формирующей линии ($\tau = 1 \cdot 10^{-3}$ с) с тиристорным коммутатором, подключающим нагрузку синхронно с подачей коротких импульсов напряжения, обеспечивающих зажигание дуги. Для ускорения частиц использовалось постоянное высокое напряжение.

Экранировка катодного пятна при создании соответствующих газовых условий в сужении разрядного промежутка исключает как возникновение неоднородностей плазмы, характерных для дуги с открытым катодным пятном, так и нестабильностей тока контрагированной дуги [3], чем обеспечивается хорошая воспроизводимость параметров плазмы в анодной полости от импульса к импульсу (рис. 2). В режиме извлечения электронов при ускоряющем напряжении 20 кВ получен пучок с импульсным током 5–50 А длительностью $1 \cdot 10^{-3}$ с. Ток электронного пучка составляет 50–75% от разрядного тока. При изменении частоты повторения импульсов в пределах 0–50 Гц средний ток пучка регулировался в пределах 0–1 А. Амплитуда тока ионов азота и аргона составляла 0,05–1 А, а величина регулируемого среднего тока пучка – 0–50 $\cdot 10^{-3}$ А.

Использование многоапертурной трехэлектродной системы ускорения обеспечивает устойчивую работу источника в более широком диапазоне значений параметра $j_i \tau$ и давлений газов, чем в [2], где использовалась диодная система ускорения. Для структуры пучка на выходе системы характерны мелкомасштабные неоднородности, которые ослабляются по мере увеличения дрейфовой длины.

Ресурс источника определяется скоростью эрозии катода. Контрагирование разряда делает возможным использование массивных катодов без ухудшения однородности и стабильности анодной плазмы, в результате срок службы источника при работе в предельных режимах составляет десятки часов. Кроме того, контрагирование разряда обеспечивает существенное снижение загрязнения пучка газовых ионов продуктами эрозии катода.

Такие свойства дуги с катодным пятном, как малые энергетические затраты на ионообразование и высокие эмиссионные свойства плазмы разряда делают перспективным использование этого типа разряда для генерации электронных и ионных пучков со значительным средним током, а использование ИПР обеспечивает необходимое для практических применений полное управление током пучка.

- [1] Месяц Г.А., Проскуровский Д.И. Импульсный электрический разряд в вакууме, Новосибирск: Наука, 1984. 256 с.
- [2] Аксенов А.И., Бугаев С.П., Емельянов В.А. и др. - ПТЭ, 1987, № 3, с. 139-142.
- [3] Гаврилов Н.В., Крейндель Ю.Е., Окс Е.М. и др. - ЖТФ, 1984, т. 54, в. 1, с. 66-72.

Институт электрофизики АН СССР,
Свердловск

Поступило в Редакцию
15 февраля 1988 г.

Письма в ЖТФ, том 14, вып. 10

26 мая 1988 г.

ВЛИЯНИЕ ВЭЭ И ИНЖЕКЦИОННОГО ТОКА
НА ЗАРЯДКУ ДИЭЛЕКТРИКА,
ОБЛУЧАЕМОГО ЭЛЕКТРОНАМИ

Э.А. Гостищев, А.И. Сергеев,
Н.И. Ягушкин

В диэлектрике, облучаемом электронным пучком, накапливается объемный заряд (ОЗ). Рассмотрим случай, когда одна из поверхностей диэлектрического слоя покрыта металлом и заземлена, а облучение производится со стороны открытой поверхности, причем максимальный пробег электронов в диэлектрике меньше толщины слоя (см. рис. 1,а). Если плотность тока электронного пучка достаточно мала, то через некоторое время после начала облучения устанавливается стационарное состояние, в котором накопление ОЗ за счет термализации электронов пучка компенсируется стоком носителей заряда по двум направлениям: через открытую поверхность диэлектрика в окружающее пространство посредством вторичной электронной эмиссии (ВЭЭ) и через необлучаемую область (НО) диэлектрического слоя к заземленной поверхности путем инъекции носителей из облучаемой области (ОО) через плоскость максимального пробега. Относительная роль механизмов стекания существенно зависит от параметров облучения. В данной работе экспериментально исследована зависимость стационарного потенциала открытой поверхности образцов из боросиликатного стекла К-208 от энергии электронов пучка и от плотности тока пучка. Анализ экспериментальных данных позволил определить параметры энергетического распределения электронных ловушек в стекле К-208. Расчет рельефов поля в облучаемой области диэлектрика показал, что в стационарном состоянии вероятность разрядов в вакуум повышается с ростом энергии облучающих электронов, что согласуется с результатами наблюдений.