

ИМПУЛЬСНЫЙ ПЛАЗМЕННЫЙ КАТОД С БОЛЬШОЙ ЭМИТИРУЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ

**В.Б. Юферов, Е.И. Скибенко, Л.Г. Сороковой, А.Н. Рыбалко, В.И. Ткачев, Н.А. Косик,
И.В. Буравиллов, А.Н. Пономарев, К.А. Лукин, И.Н. Онищенко**

**Национальный научный центр "Харьковский физико-технический институт"
ул. Академическая 1, г. Харьков, 61108, Украина, v.yuferov@kipt.kharkov.ua**

Проводились эксперименты по разработке плазменного импульсного катода с большой эмитирующей поверхностью. Он создавался с помощью набора параллельно работающих многоззорных плазменных пушек. С помощью 8 мм интерферометра определена динамика плотности плазмы.

Для технических целей [1] проводились моделирующие эксперименты по разработке плазменного катода произвольной формы и возможностью получения большой эмитирующей поверхности. Выбор того или иного типа катода для решения определенных технологических и прикладных задач определяется следующими требованиями:

- достаточно высокий эксплуатационный ресурс;
- энергетическая эффективность;
- надежность в работе;
- достаточная простота в достижении и управлении требуемыми параметрами (плотность тока, равномерность тока по сечению, повторяемость от импульса к импульсу).

Использование традиционных накаливаемых катодов [2, 3], например, из гексаборида лантана, удовлетворяют ряду этих требований (энергетика, эмиссионная способность), но в то же время они имеют недостаточный ресурс и невысокую надежность, особенно в активных средах. Поэтому задача отработки более надежных эмиттеров электронов является актуальной, а одним из перспективных источников электронов для технологических целей является плазменный катод [4, 5], что подтверждается оценками, выполненными согласно уравнению [2]:

$$j_+ = 0.4en_p \sqrt{\frac{2kTe}{m}}, \quad A/\tilde{n}i^2$$

и приведенными в табл. 1, где n_p – плотность плазмы (см^{-3}), j_+ и j_- – плотности потоков ионов и электронов, $A/\tilde{n}i^2$.

Таблица 1

$n_p, \text{см}^{-3}$	10^{11}	10^{12}	10^{13}	10^{14}
$j_+, A/\tilde{n}i^2$	0.025	0.25	2.5	25
$j_-, A/\tilde{n}i^2$	1.0	10.0	100.0	1000.0

В развитии поставленной задачи было реализовано три варианта плазменного катода. В первом случае (рис. 1, а) плазменное образование создавалось в тонкой цилиндрической системе с отношением высоты цилиндра к его диаметру $\frac{l}{d} \approx \frac{7}{300} \approx 0.025$, внутри вакуумной полости которой размещалось восемь потенциальных и один земляной электрод, между которыми происходил разряд емкостного накопителя с запасенной энергией 640 Дж ($C \approx 0,4 \text{ мкФ}$, $U \leq 20 \text{ кВ}$). В теле заземленного электрода был проделан внутренний сквозной канал, использовавшийся для вакуумной откачки разрядного объема и заполнения его рабочим газом.

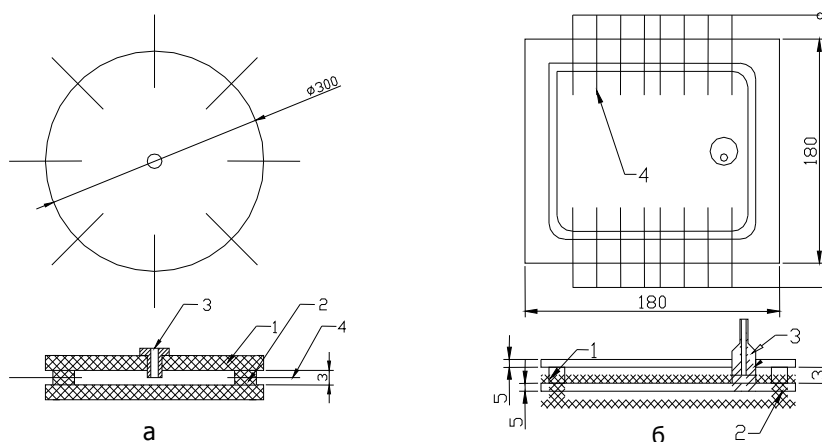


Рис. 1. Плазменный катод планарного типа: а – круглой формы; б – прямоугольной формы. 1 – диэлектрик; 2 – уплотнитель; 3 – земляной электрод-откачной канал; 4 – высоковольтный электрод

Второй вариант (см. рис. 1, б) представляет собой усовершенствованный вариант №1, направленный на улучшение равномерности распределения плотности эмиссионного тока. С этой

целью эмитирующая поверхность была трансформирована с круговой в прямоугольную форму.

Система 1б состояла из 8 пар игольчатых электродов, которые перекрывали пространство размером 150×150 мм. Отличительной особенностью этих вариантов является то, что по сути дела в обоих случаях эмитирующая поверхность представляет собой тонкий ($\approx 3...4$ мм) плазменный слой. В отличие от этого вариант №3 (рис. 2) представлял собой цилиндрический плазменный катод, позволяющий формировать

эмитирующую поверхность на различном расстоянии от разрядного промежутка. Состоял он из восьми четырехэлектродных плазменных пушек планарного типа, расположенных касательно воображаемой цилиндрической поверхности. Плазма создавалась с помощью одновременного разряда восьми четырехзачерных плазменных пушек. При необходимости их количество для увеличения площади эмитирующей поверхности может быть увеличено многократно (произвольно). Разряд происходит по поверхности диэлектрика – в данном случае оргстекла.

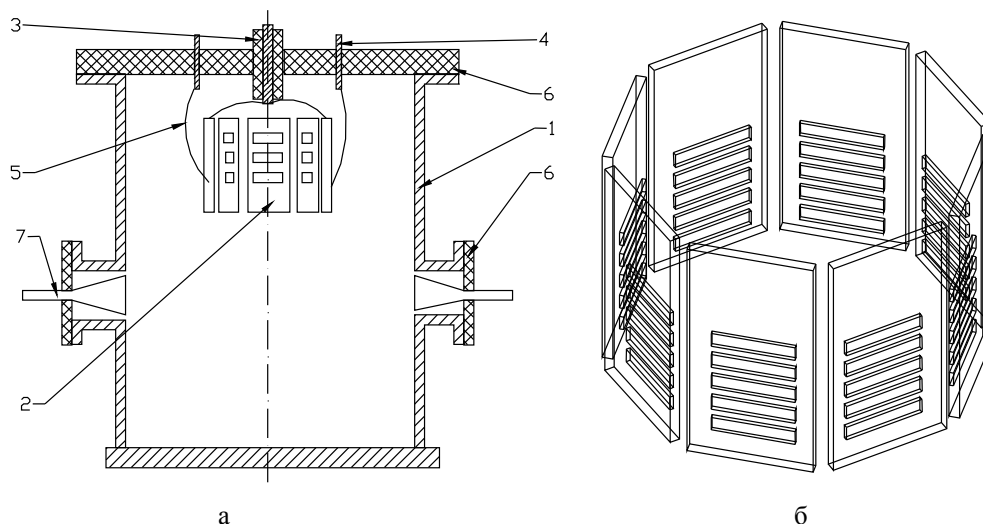


Рис. 2. Цилиндрический плазменный катод: а – размещение в вакуумной камере; б – объемный вид цилиндрического катода; 1 – вакуумная камера; 2 – плазменный катод; 3 – земляной электрод; 4 – высоковольтный электрод; 5 – токоподводы; 6 – фланец; 7 – СВЧ-рупора для диагностики

Суммарный ток в пушках составлял 25...50 кА, длительность импульса около 50 мкс. Габаритные размеры цилиндрического плазменного устройства следующие: диаметр 150 мм, высота 300 мм. Отметим, что в принципе в цилиндрическом случае эмитирующей может быть и внутренняя, и внешняя поверхность цилиндра. В целом этот комплекс плазменных пушек размещался внутри вакуумной камеры в ее верхней части. Плазменный поток, образовавшийся в разрядном промежутке “плазменная пушка – земляной электрод”, вытекал в нижнюю часть вакуумной камеры, где диагностировался с помощью СВЧ-интерферометра [6], работающего на частоте 38,8 ГГц ($\lambda \approx 7,8$ мм). В эксперименте производилось измерение максимальной и средней плотности плазмы в течение существования разрядного тока (≈ 50 мкс) и после разрядного периода ($50 \approx$ мкс). Использовалась классическая схема СВЧ-интерферометра (рис. 3), кроме того, на рис. 4 приведены характерные интерферограммы.

На рис. 5, а приведена зависимость средней плотности плазмы во времени для устройств типа “1а” и “1б”. Видно, что плотность плазм в

случае “1а” не достигает критических значений

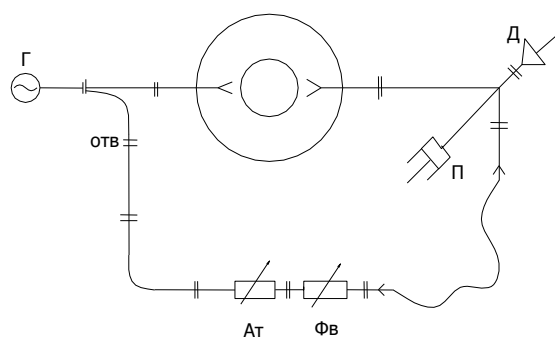


Рис. 3. Схема СВЧ-интерферометра: Г – генератор; ОТВ – ответвитель; АТ – аттенюатор; ФВ – фазовращатель; Д – детектор; П – поршень

($n_{кр} = 1,76 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}$ для данной длины волны зондирующего сигнала). Спад плотности начинается примерно через 10 мкс после начала токового разряда. Постоянная спада плотности составляет ≈ 30 мкс. Для устройства “1а” характерно неравномерное распределение интенсивности свечения по плоскости плазменного образования.

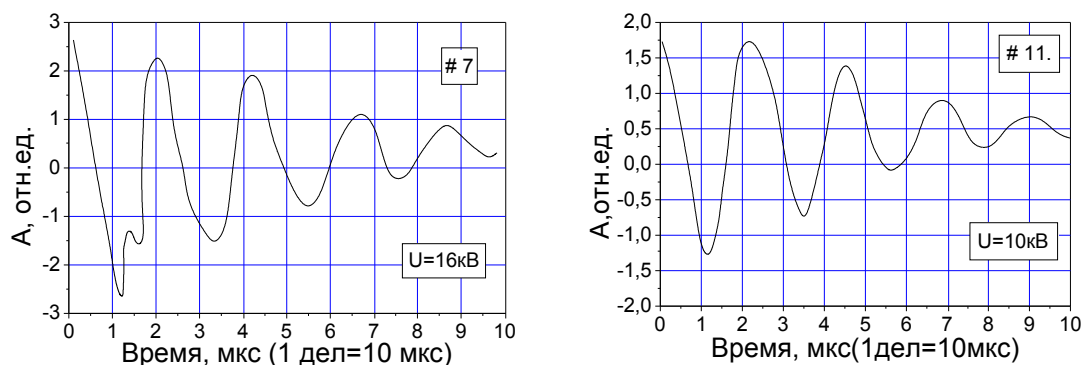
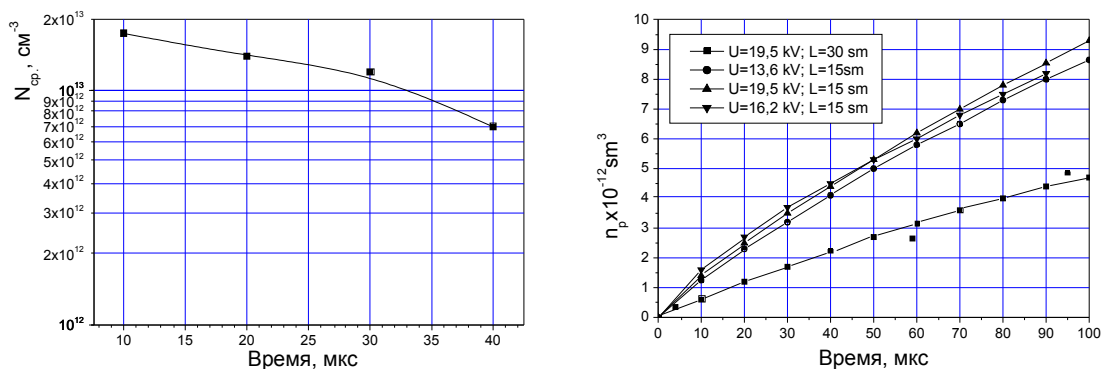


Рис. 4. Характерные интерферограммы



а

б

Рис. 5. Зависимость средней плотности плазмы от времени

Максимум свечения приходится на область игольчатых электродов, что может свидетельствовать о неравномерности распределения и плотности плазмы в пределах круга, обозначенного разрядными электродами. Устройство типа "1 б" (см. рис. 5, б) уже лишено этого недостатка-неравномерности распределения интенсивности свечения и плотности плазмы. Здесь наблюдается практически равномерное распределение свечения. Для плазменного катода объемного типа "1 б" зависимости $n_p=f(t)$ носят несколько иной вид; в исследуемом диапазоне времени плотность плазмы нарастает, причем увеличивается в несколько раз по сравнению с начальным периодом. Установлено, что предельная величина плотности мало зависит от напряжения емкостного накопителя, т.е. запасенной энергии. При изменении W от 296 до 640 Дж плотность плазмы выросла на $\approx 15\%$. В то же время плотность плазмы достаточно сильно изменяется от поперечного размера плазменного образования. Если при $L=2r=30$ см $n_p=4.5 \cdot 10^{12}$ см $^{-3}$, то при $L=2r=15$ см плотность плазмы возрастает до $9.5 \cdot 10^{12}$ см $^{-3}$, что в соответствии с данными табл. 1 позволяет надеяться на получение эмиссионных электронных токов плотностью до $100 \frac{A}{\text{мм}^2}$. Как видно из предыдущего, площадь эмитирующей поверхности может быть практически неограниченной, т.е. величины токов могут

достигать по положительной компоненте 10^4 А, а по отрицательной $10^6 \dots 10^7$ А.

К достоинствам плазменных катодов помимо высокой эмиссионной способности следует отнести низкие значения удельной мощности излучения в окружающее пространство. Особенно это актуально для установок и устройств, использующих криогенные вакуумные средства откачки и криогенные радиационные экраны, в том числе работающие при гелиевых ($\approx 4,2$ К) температурах. В табл. 2 приведена удельная мощность излучения различных типов катодов при рабочей температуре.

Таблица 2

Тип катода	Удельная мощность излучения, Вт/см 2
1. Оксидный	1,5...2,0
2. Губчатый и пересованный оксидный	3...5
3. Вольфрамо-бариевый	6...8
4. Боридный и ториевооксидный	15...20
5. Плазменный	0,6

Выводы

1. Предложены и испытаны различные модификации плазменных катодов планарного и объемного типа.

2. Методами СВЧ-диагностики определены плазменные параметры исследуемых вариантов плазменных катодов. Достигнутая плотность плазмы составляет $\approx 10^{13} \text{ см}^{-3}$. Установлено, что предельная величина плотности плазмы мало зависит от величины запасенной энергии емкостного накопителя и изменяется обратно пропорционально при изменении ее поперечных размеров.

3. Оценки, сделанные на основе полученных экспериментальных данных, позволяют надеяться на получение эмиссионных ионных токов плотностью до $2 \dots 3 \frac{\text{А}}{\text{см}^2}$ и эмиссионных электронных токов плотностью до $100 \frac{\text{А}}{\text{см}^2}$.

4. Показано, что плазменные катоды имеют низкие, по сравнению с другими типами катодов, значения удельной мощности излучения в окружающее пространство, что делает их пригодными для использования в условиях криогенного окружения, в том числе на уровне гелиевых ($\approx 4.2 \text{ К}$) температур.

Литература

1. Б.А. Калинин Перспективные радиационные технологии в материаловедении. // *Вопросы атомной науки и техники*. Серия: "Физика радиационных повреждений и радиационное материаловедение." 1998, Вып. 2(67), 2(68), с. 122.
2. Г.А. Кудинцева, А.И. Мельников, А.В. Морозов, Б.П. Никонов. *Термоэлектронные катоды*. М: "Энергия", 1966, 366 с.
3. Н.Н. Семашко, Н.П. Малахов, Разрядные характеристики катодов ионных источников косвенного накала. // *Доклады третьей Всесоюзной конференции по инженерным проблемам термоядерных реакторов*. т. 1, М., 1984, 394 с.
4. С.П. Бугаев, Ю.Е. Крейндел, П.М. Щанин, *Электронные пучки большого сечения*, М: "Энергоатомиздат", 1984.
5. М.А. Завялов, Ю.Е. Крейндел, А.А. Новиков и др. Плазменные процессы в технологических электронных пушках. М: "Энергоатомиздат", 1989.
6. М.Ю. Бредихин, А.И. Маслов, А.И. Скибенко, Е.И. Скибенко, В.Б. Юферов, *Исследование условий нагрева плотной плазмы, образованной электронным пучком в магнитной ловушке*. // УФЖ, 1971, т. 16, с. 1179.