

К ВОПРОСУ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ИОНОВ ИЗ РАЗРЯДА С ПОЛЫМ КАТОДОМ В УСЛОВИЯХ ПРОНИКАЮЩЕЙ ПЛАЗМЫ

А. П. Семенов, Б.-Ш. Ч. Батуев

На основе электродной схемы разряда с полым катодом созданы повышенной надежности конструкции плазменных источников ионов [1, 2] и электронов [3]. В таких электродных структурах отбор ионов из прикатодной плазмы разряда осуществляется через малое отверстие на оси катода. Хотя из-за низкой проводимости отверстия на нем образуется значительный перепад давлений, благодаря которому повышается электрическая прочность промежутка ускорения ионов, отбор больших ионных токов через узкое отверстие затруднен. Выходной ионный ток можно повысить, если

вести отбор ионов с большей площади плазмы. Расширение эмиссионной поверхности при неизменной плотности плазмы достигается посредством увеличения размеров отверстия. Однако с увеличением диаметра эмиссионного отверстия, при котором выполняется условие $r \gg l_k$ (r — радиус отверстия, l_k — протяженность катодного падения потенциала), во-первых, изменяется характер формирования ионного потока в диодном ускоряющем промежутке, поскольку при больших r разряд горит с разорванной ионной оболочкой перед эмиссионным отверстием, при этом плазма проникает далеко за пределы апертуры ускоряющего электрода, во-вторых, исчезает продольный перепад давлений. Таким образом, при извлечении ионов через широкую апертуру в катоде проявляется ряд особенностей, связанных с воздействием проникающей плазмы на характеристики извлечения ионов, которые и исследуются в настоящей работе.

Схема эксперимента представлена на рис. 1 и содержит полый 1, эмиссионный 2 катоды и цилиндрический анод 3 $\varnothing 18$ мм. Ускоряющий промежуток образован эмиссионным катодом 2 с эмиссионным отверстием ($r=9$ мм) и ускоряющим электродом 4 с диаметром апертуры

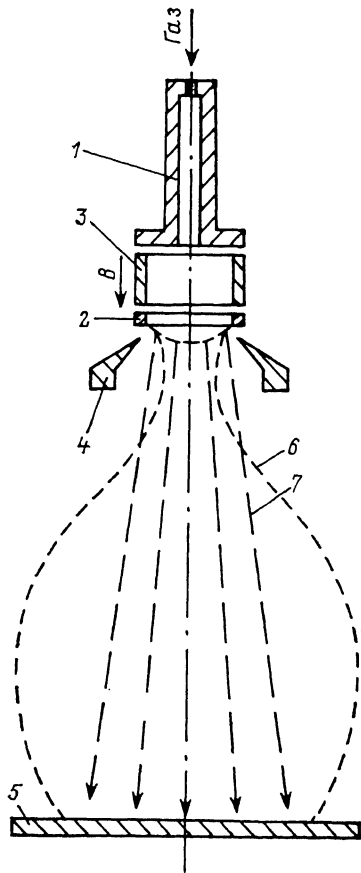


Рис. 1. Схема эксперимента.

1 — полый катод, 2 — эмиссионный катод, 3 — анод, 4 — ускоряющий электрод, 5 — коллектор, 6 — проникающая плазма, 7 — ионный пучок.

20 мм. Катод 1 снабжен полостью диаметром 4 мм и длиной 9 мм. Индукция магнитного поля на оси анодного цилиндра ~ 0.1 Тл. Измерения проводились при непрерывном потоке газа (аргона) через катодную полость. Металлические элементы конструкции изготовлены из различных сортов нержавеющей стали (катоды и ускоряющий электрод из магнитной, анод — из немагнитной). Протяженность промежутка ускорения 3 мм, межкатодное расстояние 10 мм. На расстоянии 100 мм от катода 2 установлен коллектор ионов 5. Источниками питания служили выпрямители с регулируемым выходным напряжением 0—1.5 и 0—10 кВ. Разрядный промежуток откачивался последовательно включенными форвакуумным 2НВР-5Д и паромасляным Н-160/700 насосами до остаточного давления $\sim 4 \cdot 10^{-3}$ Па.

Разряд с полым катодом зажигался при давлении аргона в анодном цилиндре $p \geq 4 \cdot 10^{-1}$ Па. На рис. 2 представлены зависимости ионного тока на коллектор от ускоряющего напряжения. Напряжение горения 345 В, ток разряда 0.1 А.

Выделяются три характерные области (I соответствует высоковольтному тлеющему разряду (ВТР), II — извлекаемому ионному пучку, III — промежуточная область, в которой

наблюдается реверсивный неравновесный процесс быстрого переключения ионного тока). Проследим зависимость $I_{i_k}(U)$ для давления $1.2 \cdot 10^{-1}$ Па (величина давления $1.2 \cdot 10^{-1}$ Па меньше минимального давления зажигания разряда с полым катодом, но существенно больше минимального давления $\sim 5.3 \cdot 10^{-2}$ Па, при котором происходит обрыв тока разряда). При $U=0$ ионный ток на коллектор составляет 2 мА. Появление тока свидетельствует о разрыве ионной оболочки перед эмиссионным отверстием и о проникновении широкого потока плазмы в пространство между ускоряющим электродом и коллектором (рис. 3, а). С появлением и незначительным повышением ускоряющего напряжения происходит резкий рост ионного тока. При дальнейшем увеличении U плазма на выходе апертуры ускоряющего электрода радиально сжимается, образуется шейка (рис. 3, б), с которой свисает плазменный пузырь, касающийся коллектора. При $U \sim 880$ В пузырь обрывается в месте сужения, ток резко снижается с 24 до 0.8 мА, напряжение увеличивается до 2.7 кВ. Коллектором регистриру-

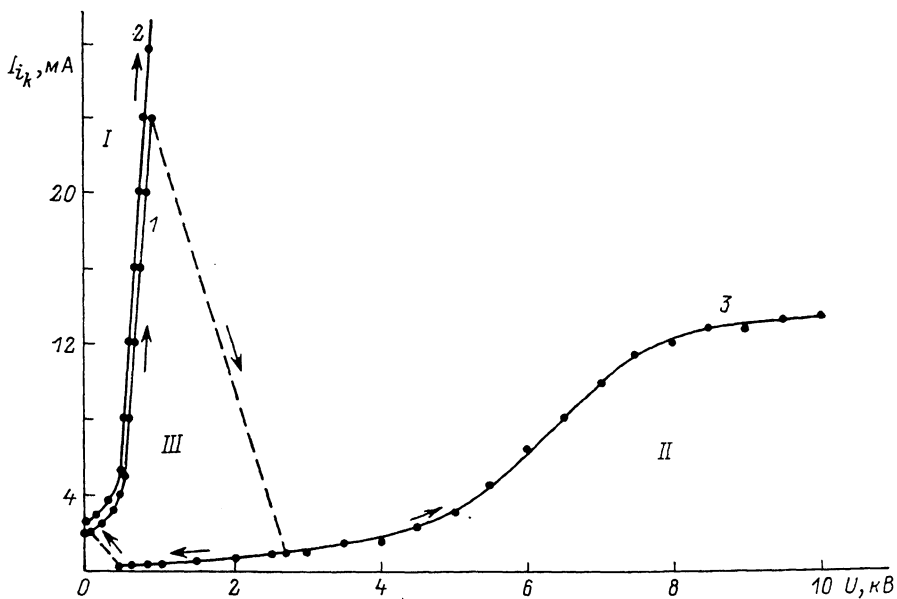


Рис. 2. Зависимости ионного тока на коллектор от ускоряющего напряжения.

ется ток ионного пучка рис. 2 (кривая 3). Увеличение напряжения > 2.7 кВ (рис. 2, кривая 1) приводит к отжатию плазмы в эмиссионное отверстие, уменьшению потерь ионов и росту извлеченного ионного тока. С дальнейшим увеличением U ионный ток насыщается. Если понижать напряжение $U < 2.7$ кВ, то ток ионного пучка медленно снижается. Однако получить близкие к нулю значения ионного тока не удастся из-за существования критического значения ускоряющего напряжения $U_{кр} \sim 450$ В, поле которого не удерживает плазму в эмиссионном отверстии. Плазма вырывается наружу, ток резко увеличивается с 0.2 до 2 мА, напряжение снижается до ~ 80 В. Свечение проникающей плазмы, плазменный пузырь и его обрыв визуально наблюдались через специальное смотровое окно. Соблюдая строгую очередность выполнения операций зажигания разряда и подачи ускоряющего напряжения, можно сразу перейти в режим извлечения ионного пучка. Для этого сначала подается ускоряющее напряжение $U > U_{кр}$, поле которого, провисая в эмиссионное отверстие, препятствует прорыву плазмы разряда, наблюдаемого при $U=0$. Поэтому с поджигом разряда сразу развиваются эмиссионные процессы извлечения ионного пучка, описываемые зависимостью рис. 2 (кривая 3).

Экспериментально определено критическое давление $p_{кр} \sim 1.33 \cdot 10^{-1}$ Па, выше которого для одинаковых протяженностей ускоряющего промежутка повышение ускоряющего напряжения не приводит к переходу от ионного тока проникающей плазмы к эмиссионному ионному току. При давлении $p \geq p_{кр}$ горит ВТР в широком диапазоне токов (рис. 2, кривая 2). С другой стороны, для давлений $p \geq p_{кр}$ отбор ионов в пучок легко осуществляется благодаря наблюдению последовательности действий, при которых подача ускоряющего напряжения опережает во времени подачу поджигающего разряд напряжения.

Таким образом, экспериментально установлено, что отбор ионов через широкую апертуру в катоде электродной структуры разряда с полым катодом возможен при строгом соблюдении очередности подачи напряжения, ускоряющего ионы и зажигающего разряд.

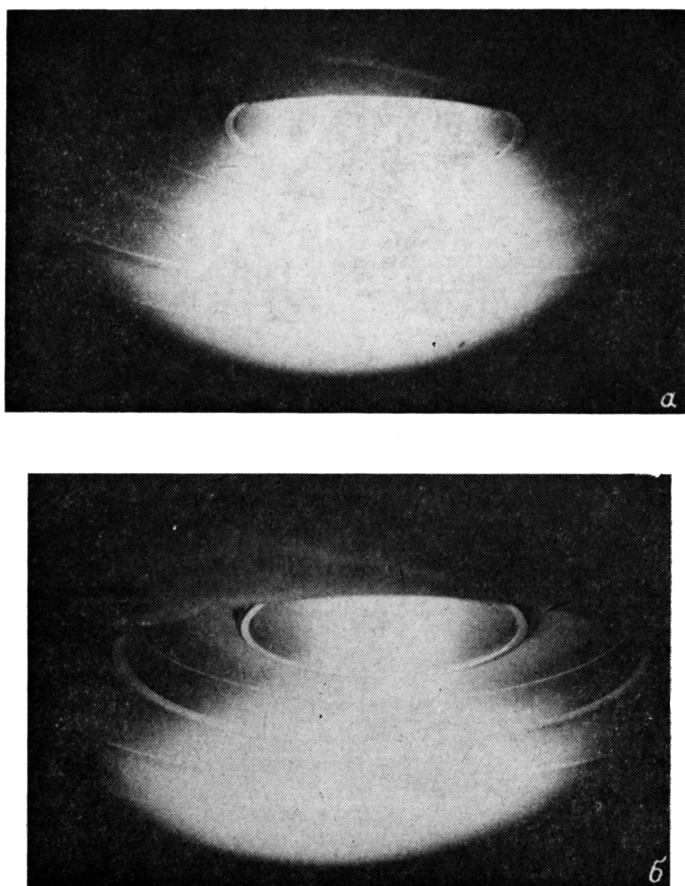


Рис. 3. Проникающая плазма на выходе ускоряющего электрода.

Список литературы

- [1] Глазов А. А., Кузмяк М., Новиков Д. Л. и др. // ПТЭ. 1964. № 1. С. 34—37.
- [2] Семенов А. П. // ПТЭ. 1984. № 5. С. 23—24.
- [3] Крейндель Ю. Е. Плазменные источники электронов. М.: Атомиздат, 1977. 144 с.

Бурятский институт естественных наук
СО АН СССР
Улан-Удэ

Поступило в Редакцию
1 марта 1990 г.

05

Журнал технической физики, т. 61, в. 5, 1991

© 1991 г.

ЯДЕРНЫЙ СИНТЕЗ В ТВЕРДОМ ТЕЛЕ

В. А. Ромоданов, В. И. Савин, М. В. Шахурин, В. Т. Чернявский, А. Е. Пустовит

В работах [1, 2] сообщалось о «холодном» ядерном синтезе при электролизе тяжелой воды с палладиевым катодом. Были зарегистрированы потоки нейтронов и трития до 10^4 с⁻¹, а избыток тепла в единицах «бриквивэн» до 1000 % по работе [1]. Последующая, уже довольно