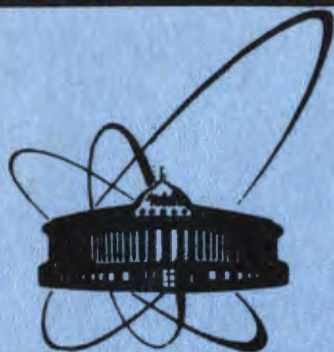


83-496



ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

6496/83

9-83-496

А.А.Глазов, В.В.Кондратьев, Н.Г.Шакун

ИССЛЕДОВАНИЕ ДУГОВОГО РАЗРЯДА
ИОННОГО ИСТОЧНИКА С ПОЛЫМ КАТОДОМ

Направлено на XVI Международную конференцию
по явлениям в ионизированных газах
/Дюссельдорф, ФРГ, 29 августа - 3 сентября 1983 г./

1983

Широкое и разнообразное применение ионных пучков в ускорительной технике требует создания высокоэффективных источников ионов с максимальной степенью ионизации, обеспечивающих поток ионов большой интенсивности, и необходимыми ионно-оптическими параметрами.

В данной работе исследуются различные свойства дугового разряда в ионном источнике Пеннинга с полым катодом. Модель ионного источника, на котором проводились исследования, показана на рис.1.

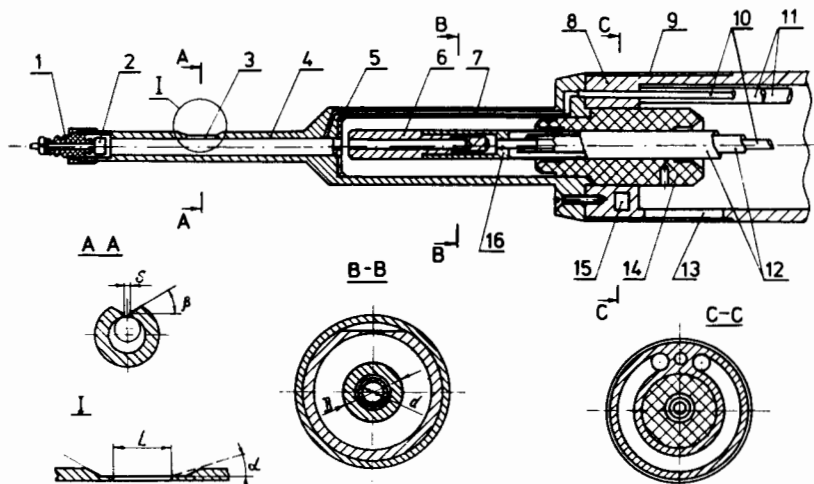


Рис.1. Схема ионного источника с полым катодом: 1 - изолятор, 2 - антикатод, 3 - выходная щель, 4 - анод, 5 - диафрагма, 6 - катод, 7,10 - каналы подачи газа, 8 - шток, 9 - экран, 11,15 - канал водоохлаждения штока, 12 - охлаждаемый токоподвод, 13 - окно, 14 - изолятор, 16 - держатель катода.

Использование полого катода связано с необходимостью получения высокой концентрации ионов в плазме /порядка 10^{15} - 10^{16} $1/\text{см}^3/1/$ и увеличения времени жизни катода при ограниченных размерах ионного источника, обусловленных параметрами ускорителя.

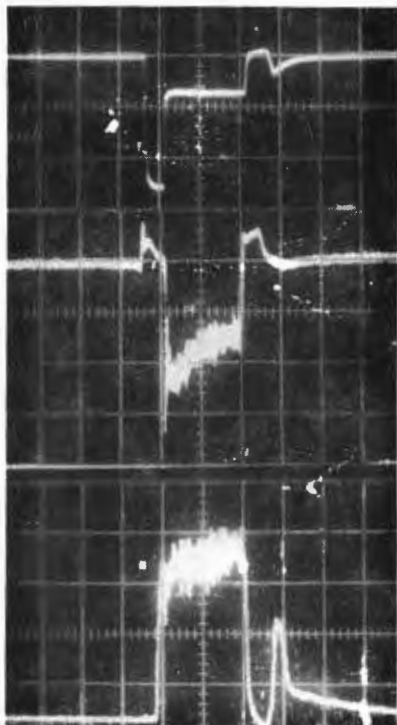
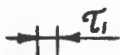
Из конструктивных соображений диаметр цилиндрической полости катода был выбран равным 3 мм, длина полости менялась от 10 до 40 мм, причем стабильная работа источника наблюдалась при отношении длины полости к ее диаметру >7 , что хорошо согласуется с результатами, полученными многими авторами/1,2/. Рабочий газ подается в полость катода, благодаря чему создается перепад давлений, приводящий к эжектированию в область пониженного давления плазмы с концентрацией ионов, превышающей величину, соответствующую полной ионизации газа в области низкого давления.

Антикатод в исследуемом источнике имел цилиндрическую форму с плоской рабочей поверхностью, он изготавливался из того же материала, что и катод.

В качестве материала для катода в процессе исследований использовались алюминий, титан и тантал. Разряд зажигается легче в случае алюминиевого катода. При токе разряда 20 А напряжение на разрядном промежутке достигает 300 В, однако наблюдается сильная эрозия катода, и разряд становится неустойчивым. Титановые катоды дают несколько лучшие результаты, но наиболее пригодными оказались катоды, изготовленные из тантала. В дальнейшем все полученные результаты приведены для танталовых катодов.

Исследование разряда проводилось на специальном стенде^{/3/} при магнитном поле 1,2 Т в импульсном режиме^{/4/} с длительностью импульса 50 мкс и частотой 1-600 Гц. Экстракция ионов производилась через щель в аноде размером 10x1 мм² поперек магнитного поля.

Характерной особенностью данного источника является то, что разряд горит только в том случае, когда антикатод электрически соединен с катодом. Типичные осциллограммы анодного напряжения, тока разряда и тока на коллектор показаны на рис.2. Разряд возникает с задержкой относительно начала импульса анодного напряжения и сопровождается высокочастотными колебаниями с широким спектром частот от 3 до 40 МГц и амплитудой, достигающей 5% от амплитуды тока разряда.



Амплитуда колебаний и частотные характеристики разряда зависят как от геометрии анода и катода, так и от параметров внешних цепей питания. Так, при переходе от круглого сечения анода диаметром 6 мм к квадратному со стороной 4 мм амплитуда колебаний уменьшается на 30-35%, в то время как спектр частот остается практически неизменным.

Рис.2. Типичные осциллограммы: а - напряжение дуги - 1 кВ/дел, б - ток дуги - 10 А/дел, в - ток отсоса - 50 мА/дел. Развертка - 20 мкс/дел.

Время задержки τ_1 зависит от амплитуды анодного напряжения, расхода газа и частоты следования импульсов, причем при увеличении любого из этих параметров время задержки разряда уменьшается. На рис.3 показана зависимость времени задержки разряда от анодного напряжения и расхода газа при постоянной частоте следования импульсов. На рис.4 приведена зависимость времени задержки разряда от частоты следования импульсов для различных расходов газа при постоянной амплитуде анодного напряжения.

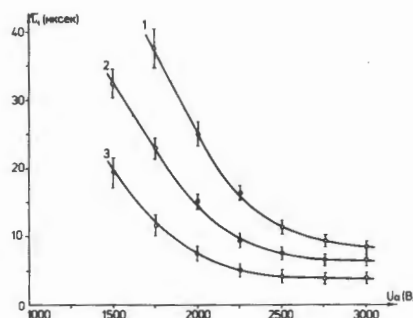


Рис.3. Зависимость времени задержки разряда от анодного напряжения: F = 600 Гц, водород; 1 - Q = 4 см³/мин; 2 - Q = 6 см³/мин; 3 - Q = 8 см³/мин.

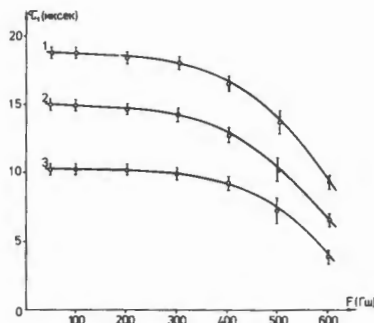


Рис.4. Зависимость времени задержки разряда от частоты импульсов: U_a = 2700 В, водород; 1 - Q = 4 см³/мин; 2 - Q = 6 см³/мин; 3 - Q = 8 см³/мин.

Уменьшение времени зажигания разряда с увеличением частоты следования импульсов, по-видимому, связано с увеличением средней мощности, выделяемой на катоде, вследствие чего на поверхности катода появляются участки с высокой температурой и в суммарную эмиссию электронов с катода начинает вносить свой вклад термоэлектронная эмиссия.

Импульсный режим позволяет работать с токами разряда до 30 А, что при определенных условиях обеспечивает плотность тока ионов, отсасываемых через щель в аноде, около 20 мА/мм² для водорода. На рис.5 показана зависимость тока ионов водорода на коллектор для различных токов разряда при изменении градиента потенциала экстракции. Анализ состава пучка ионов показал, что около 95% пучка составляют протоны. Исследованию разряда в водороде было уделено основное внимание, так как источник предназначен для работы в протонном ускорителе. При токе разряда 25-30 А катод проработал более 300 часов без особых изменений с внешней стороны, однако первоначально цилиндрическая внутренняя полость приобрела характерную яйцевидную форму.

С учетом постоянно растущего интереса к получению многозарядных ионов, а также того, что разряд с полым катодом реализует значительно большие концентрации ионов, повышающие вероятность ступенчатой ионизации, была выполнена серия экспериментов по исследованию характеристик рассматриваемого ионного источника при работе с гелием, азотом, кислородом и смесями газов. Результаты отличались друг от друга напряжением на разрядном промежутке и расходом газа, необходимого для устойчивого горения разряда. Так, для гелия расход газа примерно в 4 раза меньше, чем для водорода, а анодное напряжение находится в пределах 400–450 В. Для азота, кислорода и их смеси расход газа уменьшается почти в 10 раз по сравнению с водородом, анодное напряжение при этом не превышает 500 В. Зависимость тока ионов на коллектор для различных газов при изменении градиента потенциала экстракции показана на рис.6.

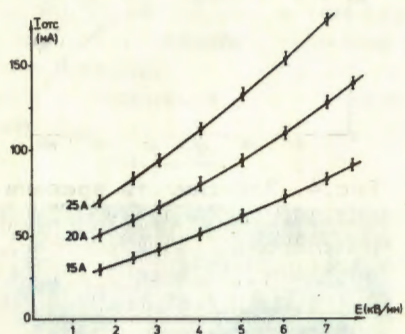


Рис.5. Зависимость тока отсоса от градиента потенциала экстракции: $U_a = 2500$ В, $F = 600$ Гц; $Q = 6$ см³/мин.

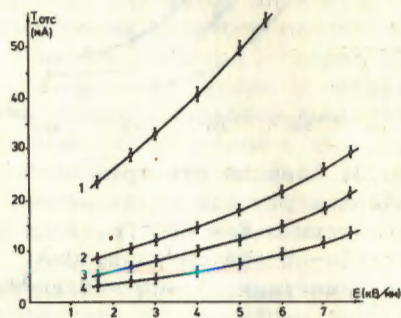


Рис.6. Зависимость тока отсоса для различных газов от потенциала экстракции: $F = 600$ Гц, ток дуги 12 А; 1 - водород, 2 - гелий, 3 - воздух, 4 - азот.

В настоящее время ведутся работы по масс-спектрометрическому анализу полученных пучков ионов; уже первые результаты показывают, что данный источник с полым катодом может быть успешно использован не только для получения протонов, но и для получения многозарядных ионов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Москалев Б.И. Разряд с полым катодом. "Энергия", М., 1969.
2. Крейнделъ Ю.Е. Плазменные источники электронов. Атомиздат, М., 1977.
3. Глазов А.А. и др. ОИЯИ, 9-81-736, Дубна, 1981.
4. Аккуратов В.А. и др. ОИЯИ, 9-11224, Дубна, 1978.

Рукопись поступила в издательский отдел
12 июля 1983 года.

Глазов А.А., Кондратьев В.В., Шакун Н.Г. 9-83-496
Исследование дугового разряда ионного источника с полым катодом

Описываются исследования различных свойств дугового разряда в ионном источнике с полым катодом, проводимые на специальном стенде в магнитном поле 1,2 Т в импульсном режиме с длительностью импульса 50 мкс и частотой 1–600 Гц. Исследованы зависимости разряда от материала катода, расхода газа, величины модулирующего напряжения и частоты модуляции. Найдено, что при использовании танталовых антикатада и катода с полостью диаметром 3 мм и длиной более 20 мм при диаметре анода 6 мм ток разряда может достигать 30 А при напряжении на дуге 700 В. Время жизни катода составило более 300 часов, а ток протонов, отсасываемых из отверстия в аноде размером 10x1 мм², достигал 150 мА. Разряд устойчиво горит также в гелии, азоте, кислороде и смеси этих газов.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1983

Glazov A.A., Kondratiev V.V., Shakun N.G. 9-83-496
Investigation of Arc Discharge in Ion Source with a Hollow Cathode

Different properties of arc discharge in ion source with a hollow cathode are investigated. Discharge investigation was carried out a special test facility in 1.2 T magnetic field in a pulse regime with 50 ms pulse duration and 1:600 Hz frequency. The dependence of discharge on cathode material, gas flow consumption, voltage and modulation frequency are investigated. It has been found that with tantalum anticathode and cathode with a hollow of 3 mm in diameter and more than 20 mm long and with 6 mm diameter of anode discharge current could reach 30 A at arc voltage 700 V. The life time of cathode was more than 300 h, the proton current of extracted from the slit of anode (10x1 mm²) was as high as 150 mA. The discharge burns steadily in helium, nitrogen, oxygen, and in their mixture too.

The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear Problems, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1983

Перевод О.С.Виноградовой