

13  
И Н С Т И Т У Т  
ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ СОАН СССР

Б.44

ПРЕПРИНТ И Я Ф 77-18

Ю.И.Бельченко, В.И.Давыденко, Г.Е.Деревянкин,

А.Ф.Дорогов, В.Г.Дудников

О ВЫНОСЕ ЦЕЗИЯ ИЗ ПОВЕРХНОСТНО-  
ПЛАЗМЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ ИОНОВ  $H^+$

Новосибирск

1977



О ВЬНОСЕ ЦЕЗИЯ ИЗ ПОВЕРХНОСТНО-ПЛАЗМЕННЫХ  
ИСТОЧНИКОВ ИОНОВ  $H^-$

Ю.И.Бельченко, В.И.Давыденко, Г.Е.Деревянкин,  
А.Ф.Дорогов, В.Г.Дудников

А Н Н О Т А Ц И Я

Исследован вынос цезия из поверхностно-плазменных источников отрицательных ионов водорода. В импульсных режимах основной расход цезия, подаваемого в газоразрядную камеру для уменьшения работы выхода электродов, обусловлен выносом цезия через эмиссионное отверстие по окончании импульсов разряда и определяется температурой электродов. Генерация пучков ионов  $H^-$  с импульсной интенсивностью  $0,1 \text{ А}$ , длительностью импульсов  $250 \text{ мксек}$ , частотой следования  $100 \text{ Гц}$  обеспечивается при среднем расходе цезия  $10^{-3} \text{ г/час}$ . Благодаря запирающему цезия у электродов с отрицательным потенциалом непрозрачной для атомов цезия плотной плазмой можно надеяться на малый расход цезия при стационарных и квазистационарных режимах работы.



Добавление цезия в газоразрядную камеру ионного источника повышает эффективность образования ионов  $H^-$  в десятки раз, приближая её к эффективности генерации протонов в плазменных источниках [1,2]. При адсорбции цезия на электродах уменьшается их работа выхода и увеличивается вероятность захвата электронов из электродов на уровни электронного средства распылённых и отразившихся частиц [3,4]. Особенности образования ионов  $H^-$  при взаимодействии частиц с поверхностью, обладающей пониженной работой выхода, рассмотрены М.Е.Кишиневским [5,6]. Сведения о концентрации цезия на поверхности и в объёме газоразрядной ячейки, о выносе цезия через эмиссионное отверстие важны для идентификации механизмов образования отрицательных ионов в газовых разрядах, для практических применений поверхностно-плазменных источников и их совершенствования.

Оптимальные концентрации цезия на поверхности электродов  $N_{\text{opt}} \sim 1.4 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$ , соответствующие минимальным значениям работы выхода  $\varphi_{\text{min}} \sim 1.2 + 1.6 \text{ эВ}$ , поддерживаются за счёт потока цезия на поверхность из объёма, компенсирующего десорбцию. При низкой температуре электродов  $T$  поток цезия, компенсирующий термическую десорбцию достаточно мал, с ростом  $T$  скорость термической десорбции и плотность компенсирующего потока увеличиваются пропорционально  $\exp(-\ell/T)$ , где  $\ell \sim 1.5 + 2 \text{ эВ}$  — теплота десорбции цезия из оптимальных покрытий на поверхности тугоплавких металлов [7,8]. При  $T \sim 600^\circ\text{K}$  для компенсации термической десорбции необходим поток цезия с плотностью  $n_{\sqrt{4}} \sim 3 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2} \text{ сек}^{-1}$ , обеспечиваемый при плотности цезия в объёме  $n \sim 5 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-3}$ , близкой к плотности насыщенных паров цезия при температуре  $T_n \sim T/2 \sim 300^\circ\text{K}$ . В поверхностно-плазменных источниках кинетика адсорбции-десорбции на электродах, бомбардируемых потоком быстрых ионов из плазмы с плотностью тока до  $10^2 \text{ А/см}^2$ , осложнена распылением, импульсным перегревом поверхности, конкурентной адсорбцией, ионизацией и множеством других факторов. Опыт работы с такими источниками показывает, что эффективная генерация ионов  $H^-$  реализуется при сравнительно малых потоках цезия через эмиссионное отверстие, не препятствующих извлечению интенсивных пучков ионов  $H^-$  с эмиссионной плотностью до нескольких  $\text{А/см}^2$  вытягивающим напряжени-



ем 20+30 кВ, сосредоточенным в зазоре 1+1,5 мм. Из-за высокой напряжённости электрического поля атомы цезия, выходящие через эмиссионную щель, эффективно ионизируются даже на слабонагретой поверхности вытягивающего электрода и ускоряются к газоразрядной камере, создавая дополнительный ток  $I$  в цепи источника вытягивающего напряжения, усиленный за счёт вторичных процессов. В связи с этим наблюдения за током в цепи вытягивания позволяют судить о выносе цезия в течении промежутков времени между импульсами разряда.

Более подробная информация о потоках цезия из источников была получена с помощью поверхностно-ионизационного детектора атомов цезия. Ионизирующая пластина из раскалённого вольфрама устанавливалась перед эмиссионным отверстием под углом  $45+60^\circ$  к потоку частиц из эмиссионного отверстия. Ионы, эмиттируемые раскалённой пластиной, ускорялись и формировались в пучок электрическим полем. Этот пучок анализировался магнитным масс-спектрометром. На рис.1 показана характерная осциллограмма тока ионов цезия  $I_{\text{ц}}$  с коллектора масс-спектрометра, пропорционального потоку цезия из источника, вместе с осциллограммами тока разряда  $I_{\text{р}}$  и напряжения на разряде  $U_{\text{р}}$  при высокой ( $T \sim 1000^\circ\text{K}$ ) температуре катода планотрона. Цезий выносятся из разрядной камеры в основном по окончании разрядного импульса. Были исследованы зависимости потоков цезия при горении разряда  $q_1$  и по его окончании  $q_2$  от длительности, амплитуды тока разряда, частоты следования импульсов и др. параметров источника. Полученные данные можно интерпретировать следующим образом. При извлечении отрицательных ионов вытягивающее напряжение источника предотвращает уход положительных ионов. Уменьшению потока цезия из источника во время горения разряда  $q_1$  способствует высокая степень ионизации цезия. Даже при низких температурах электродов время жизни цезия на поверхности мало из-за распыления. Однако, десорбированные атомы цезия быстро ионизируются в приэлектродной плазме с плотностью  $\sim 10^{14}\text{см}^{-3}$  и сравнительно высокой средней энергией электронов. Преобладание полевого механизма токопрохождения, обусловленное уменьшением подвижности электронов в магнитном поле, способствует переносу ионов цезия на электроды с отрицательным

потенциалом. Таким образом осуществляется запирающее действие не-прозрачной для него плазмой разряда на электродах с отрицательным потенциалом. При малых нагревах поверхности и малых коэффициентах распыления время пребывания цезия на поверхности превышает время их пребывания в плазме, так что оптимальное покрытие сохраняется и при бомбардировке. После погасания разряда десорбированный цезий выходит через эмиссионную щель в виде атомов. Этим обусловлено резкое увеличение потока цезия

$q_2$  после окончания импульса разряда. По мере адсорбции цезия на охлаждающиеся электроды уменьшается плотность цезия в объёме газоразрядной ячейки и его поток через эмиссионную щель. В источниках с подачей цезия за счёт нагрева электродов разрядом [1,2] при увеличении температуры электродов автоматически форсируется и выделение цезия в объём. С увеличением мощности разряда без компенсирующего охлаждения электродов (с повышением температуры их поверхностей) амплитудное значение потока  $q_2$ , его длительность  $\tau$  и квазистационарная составляющая потока между импульсами быстро увеличиваются. Поток  $q_1$ , увеличивается при малых токах разряда, насыщаясь при больших. При низкой температуре катода ( $T \sim 400+500^\circ\text{C}$ ) ионы  $\text{H}^-$  эффективно генерируются при амплитудном значении плотности цезия в источнике после окончания разряда  $n_{\text{Cs}} \sim 10^{11}+10^{12}\text{см}^{-3}$ . За счёт изменения подачи цезия удаётся обеспечивать эффективную генерацию ионов  $\text{H}^-$  в широком диапазоне температур электродов, соответствующих изменению амплитудного значения потока  $q_2$ , его длительности  $\tau$  и квазистационарной составляющей на несколько порядков.

Наблюдаемые закономерности согласуются с предположением, что добавление цезия интенсифицирует поверхностно-плазменный механизм генерации отрицательных ионов в разряде [4]. Для уменьшения выноса цезия следует понижать температуру электродов. В источниках, конструкции которых близки к обсуждавшейся в работе [9], при интенсивном охлаждении катода, регулируемой температуре других электродов, регулируемой подаче цезия из нагреваемого контейнера генерация пучков ионов  $\text{H}^-$  с импульсной интенсивностью 0,1 А, длительностью 250 мксек, частотой следования 100 Гц обеспечивается при среднем за длительное время



расходе цезия  $q < 10^{-3} \text{ г/час} \sim 10^{15} \frac{\text{частиц}}{\text{сек}}$ . Средний поток цезия из этих источников меньше среднего потока ионов  $\text{H}^+$  в сформированных пучках в  $10+20$  раз. Заметим, что значительно большие расходы цезия из вторично-эмиссионных расплывчатых источников отрицательных ионов [10] не нарушают нормального функционирования высоковольтных электростатических ускорителей.

Полученные результаты позволяют надеяться, что при больших длительностях импульсов и в непрерывном режиме можно добиться ещё меньшего выноса цезия из поверхностно-плазменных источников. Достигнутая эффективность использования цезия не накладывает жёстких ограничений на практические применения поверхностно-плазменных источников отрицательных ионов.

#### Л и т е р а т у р а

1. Ю.И.Бельченко, Г.И.Димов, В.Г.Дудников, ЖТФ, 45, 68 (1975).
2. K.Prelec, Th. Sluyters, Proc. Sec. Symp. on Ion Sources and Formation of Ion Beams, Berkeley 1974 (LBL Report No. 33 99) paper VIII-6.
3. Ю.И.Бельченко, Г.И.Димов, В.Г.Дудников, Известия АН СССР, сер. физическая, 37, 2573 (1973).
4. У.А.Арифов, А.Х.Авханов, Известия АН Уз ССР, сер. физ.-мат. наук, № 6, 34, 1961.
5. М.Е.Кишиневский, ЖТФ, 45, 128 (1975).
6. М.Е.Кишиневский, в сборнике "Взаимодействие атомных частиц с твёрдым телом", Харьков, 1976, т.3, стр.22.
7. Э.Я.Зандберг, Н.И.Ионов, Поверхностная ионизация, М., "Наука", 1969.
8. Термоэмиссионные преобразователи и низкотемпературная плазма, под ред. Б.Я.Мойжеса, Г.Е.Пикуса, М., "Наука", 1973.
9. В.Г.Дудников, Труды IV Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц, М., "Наука", т.1, стр.323.
10. P. Tuckesson, N.H.Andersen and I.Heinemeier, IEEE Trans. Nucl. Sci., NS-23, p. 1105 (1976).

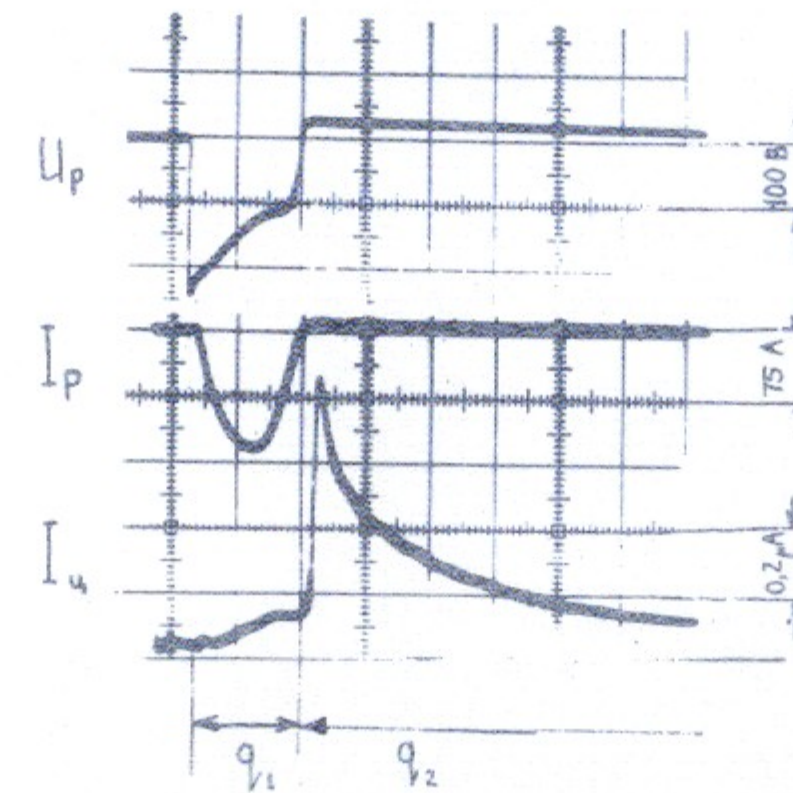


Рис.1. Осциллограмма напряжения на разряде  $U_p$ , тока разряда  $I_p$ , и тока ионов цезия на коллектор  $I_u$  при высокой температуре катода источника с планотронной геометрией разрядной камеры



Работа поступила - 13 января 1977 г.

---

Ответственный за выпуск - С.Г.ПОПОВ  
Подписано к печати 17.1-1977г. МН 02658  
Усл. 0,4 печ.л., 0,3 учетно-изд.л.  
Тираж 150 экз. Бесплатно  
Заказ № 18.

---

Отпечатано на ротапинтере ИЯФ СО АН СССР