

Б.44

СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ АН СССР
ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ 13

Ю.И.Бельченко, В.Г.Дудников

ПОВЕРХНОСТНО - ПЛАЗМЕННЫЙ
ИСТОЧНИК С ПОВЫШЕННОЙ
ЭФФЕКТИВНОСТЬЮ ГЕНЕРАЦИИ
ИОНОВ H^-

ПРЕПРИНТ 80 - 34



Новосибирск

ПОВЕРХНОСТНО-ПЛАЗМЕННЫЙ ИСТОЧНИК С ПОВЫШЕННОЙ
ЭФФЕКТИВНОСТЬЮ ГЕНЕРАЦИИ ИОНОВ H^-

Ю.И.Бельченко, В.Г.Дудников

АННОТАЦИЯ

Описан поверхностно-плазменный источник, обеспечивающий получение пучков отрицательных ионов водорода с током до 4 А. За счет локализации разряда около эмиссионных щелей и фокусировки потока отрицательных ионов с эмиттирующих поверхностей на эмиссионные щели обеспечено более полное извлечение образующихся отрицательных ионов, уменьшены энергетические затраты на генерацию отрицательных ионов и удельные тепловые нагрузки на электроды. Реализованы условия для эффективного извлечения генерируемых отрицательных ионов многоапертурной системой формирования. Исследованная схема получения отрицательных ионов перспективна для разработки источников многоамперных пучков квазинепрерывного действия.

Высокая эффективность преобразования отрицательных ионов изотопов водорода в атомы с энергией в сотни КэВ стимулирует работы по созданию сильноточных источников отрицательных ионов для инжекции интенсивных пучков ускоренных атомов в термоядерные установки. В последние годы интенсивно развивается поверхностно-плазменный метод получения интенсивных пучков отрицательных ионов [1,2,3]. Разработанные варианты поверхностно-плазменных источников (ППИ) обеспечивают получение пучков ионов H^- и D^- с интенсивностью ≥ 1 А при длительности импульсов до 10^{-2} сек [1,2,3]. Для дальнейшего увеличения интенсивности пучков и длительности импульсов, согласно соображениям, изложенным в [2], была осуществлена оптимизация условий для повышения реальной энергетической эффективности получения отрицательных ионов из ППИ. В источниках без замкнутого дрейфа электронов (рис.1а) за счет локализации разряда в катодном желобе, примыкающем к эмиссионной щели и за счет геометрической фокусировки потока частиц с полуцилиндрической поверхности желоба на эмиссионную щель удалось повысить эффективность извлечения потока отрицательных ионов, обрезающихся за счет поверхностно-плазменного механизма на катоде, уменьшить реальные затраты энергии на генерацию отрицательных ионов и снизить плотность потока мощности на катод до приемлемого уровня $3 + 5$ кВт/см² при высокой эмиссионной плотности тока отрицательных ионов [4]. Эта схема генерации отрицательных ионов обеспечивает высокую эффективность извлечения отрицательных ионов и при использовании многоапертурных систем формирования с большой площадью эмиссионной поверхности, чего не удавалось добиться в прежних вариантах многощелевых ППИ [3].

Ниже приведены результаты исследования поверхностно-плазменных источников с полупланотронной конфигурацией электродов газоразрядной ячейки и многоапертурной системой формирования пучка, в которых обеспечивается сбор генерируемых потоков отрицательных ионов с развитой эмиттирующей поверхности катода в узкие эмиссионные щели. Принцип работы

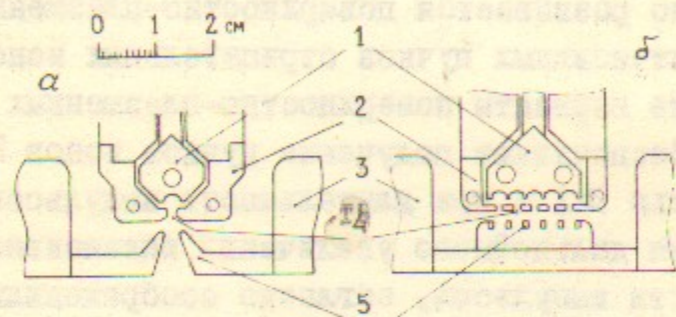


Рис.1 Схема поверхностно-плазменных источников отрицательных ионов типа полупланотрон

1 - катод, 2 - анод, 3 - полюса электромагнита, 4 - эмиссионные щели, 5 - электроды вытягивающей системы

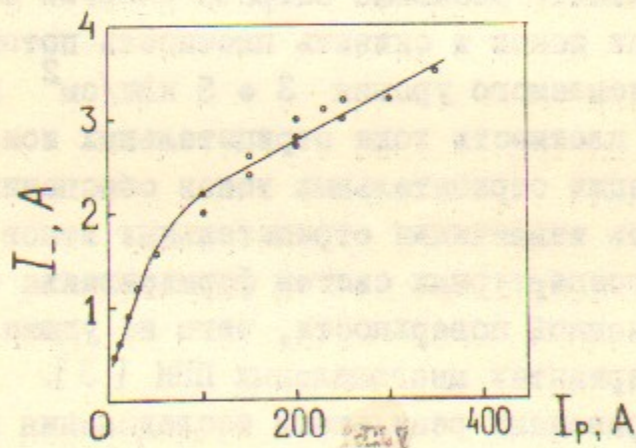


Рис.2 Зависимость тока отрицательных ионов от тока разряда. Площадь эмиссионных щелей $5 \times 0,8 \times 35 \text{ мм}^2$.

подобного источника и параметры разряда аналогичны описанным ранее ПИИ. Сильноточный тлеющий разряд поджигается в объеме, ограниченном многожелобковой катодной поверхностью (I рис.1б) и анодом 2, в котором пропилены эмиссионные щели 4. Минимальное давление водорода перед поджигом разряда $0,1 \text{ Тор}$, магнитное поле $0,05 \text{ Т}$, напряжение горения разряда в цезиевом режиме $100-150 \text{ В}$; ток и длительность разряда менялись в диапазоне $5-450 \text{ А}$; $0,3-1,3 \text{ мс}$. Катодный узел изготовлен из молибдена вакуумной плавки, полная площадь рабочей части катода, включая "поджиговую" выемку на торце, 10 см^2 . Площадь эмиссионных щелей составляла $5 \times 0,8 \times 35 \text{ мм}^2$, в дальнейшем длина щелей была увеличена до 50 мм . Электроды вытягивающей системы 5 изготавливались из вольфрама. Импульсное вытягивающее напряжение до 30 кВ подавалось на корпус источника. Для перехода к импульсам большей длительности в конструкции предусмотрено водяное охлаждение электродов и вытягивающей системы источника.

Удалось добиться практически однородного горения сильноточного тлеющего разряда по всей поверхности катодных желобов, при этом выход ионов H^- был максимален, а распределение плотности тока по длине эмиссионных щелей равномерным. Зависимость тока ОИ от тока разряда при вытягивании из 5 эмиссионных щелей общей площадью $5 \times 0,8 \times 35 \text{ мм}^2$ приведена на рис.2. Наиболее эффективна генерация ОИ при малых токах разряда. Так, при $I_p \sim 5 \text{ А}$ выход отрицательных ионов водорода $I_- \sim 0,5 \text{ А}$ и, несмотря на неполное использование длины разряда, эффективность преобразования разрядного тока в пучок имела величину $\alpha = I_- / I_p \sim 10\%$, а энергозатраты на генерацию отрицательного иона составляли $eU_p \cdot I_p / I_- \sim 1,5 \text{ КэВ}$. Столь низкая цена ОИ свидетельствует о высоком (порядка единицы) коэффициенте вторичной отрицательно-ионной эмиссии при оптимизации условий на катоде и о слабом разрушении иона H^- при движении через плазму и нейтральный газ источника. Высокий относительный прирост тока отрицательных ионов $\Delta I_- / \Delta I_p \sim 3,2\%$ сохраняется вплоть до значений тока разряда $50-70 \text{ А}$, тогда как эффек-

тивность преобразования разрядного тока в пучок уменьшается до значения $\alpha \sim 3\%$. Уменьшение α при малых токах разряда может быть обусловлено зарегистрированным экспериментально быстрым уменьшением относительной доли ионов H_2^+ , H_3^+ в потоке ионов на катод при увеличении тока разряда.

Линейный характер зависимости тока ОИ при больших (150 + 400 А) токах разряда полупланотрона и относительно высокое значение прироста $\Delta I / I_p \sim 0,5\%$ при этих токах свидетельствуют об интенсивной генерации ОИ на покрытых цезием стенках эмиссионных щелей за счет перезарядки сфокусированных на эмиссионные щели потоков отрицательных ионов и быстрых атомов, что подтверждается в экспериментах с изменением профиля эмиссионных щелей. Этот эффект, слабо проявляющийся в ПИИ с тонкими стенками эмиссионных щелей [2], четко обнаруживается в ПИИ пеннинговской геометрии, разработанных для ускорителей [5, 6].

В ПИИ, разрабатываемых для многоамперных инжекторов квазинепрерывного действия, для получения пучков отрицательных ионов с высокой энергоэффективностью целесообразно работать на "катодном" участке зависимости. Для сохранения повышенной эффективности генерации ОИ в многоапертурных ПИИ при больших плотностях токов разряда и получения эмиссионных плотностей токов отрицательных ионов 3-4 А/см², достигаемых в ПИИ с планотронной геометрией [2], необходимы минимизация зазора катод-анод и уменьшение эффективной толщины стенок эмиссионных щелей.

Были проведены эксперименты с увеличенной до 50 мм длиной эмиссионных щелей. Полученный при токе разряда 400 А выход отрицательных ионов имел величину 4 А. Полный ток в цепи вытягивания, в состав которого, помимо ионов сформированного пучка H^- , входил ток выходящих в вытягивающий зазор сопутствующих электронов, ионный ток на вытягивающие электроды и т.п., имел величину ≤ 10 А.

Авторы выражают благодарность Г.И.Димову за помощь в работе и полезные обсуждения, А.И.Белягину и Г.Ф.Долгову — за изготовление источников.

Л и т е р а т у р а

1. Proceedings Symp. on Production & Neutralization of Negative Hydrogen Ions & Beams, Brookhaven, 1977, BNL-50727, N.Y.
2. Ю.И.Бельченко, Г.И.Димов, В.Г.Дудников. "Физические основы поверхностно-плазменного метода получения пучков отрицательных ионов", в сборнике I, стр.79-96, также препринт ИЯФ 77-56, Новосибирск, 1977 г.
3. Кр. Prelec, в сборнике I, стр. III-III8.
4. Ю.И.Бельченко, В.Г.Дудников. "Поверхностно-плазменный источник с разрядом без замкнутого дрейфа электронов", Journal de Physique, 40, Supplement C-7, стр.501-502, 1979 г., также препринт ИЯФ 78-95, Новосибирск, 1978 г.
5. Г.Е.Деревянкин, В.Г.Дудников, В.С.Кленов, ЖТФ, 48, стр.404, 1978 г.
6. Г.Е.Деревянкин, В.Г.Дудников. "Формирование пучков ионов H^- для ускорителей в поверхностно-плазменных источниках", препринт ИЯФ 79-17, Новосибирск, 1979 г.