

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

13-85-708

В.Г.Новиков, Р.Тарашкевич

ИССЛЕДОВАНИЕ
ИОННОГО КОМПОНЕНТА ПЛАЗМЫ
ОТ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОГО ИСТОЧНИКА

1985

Развитие в Объединенном институте ядерных исследований коллективного метода ускорения^{/1,2/} привело к существенным успехам в ускорении ионов ряда элементов, находящихся в нормальных условиях в газообразном состоянии. Вместе с тем для ядерной физики существенный интерес представляют ускоренные до энергий $10 \div 20$ МэВ/нуклон тяжелые (Ja, Pb, U) и сравнительно легкие /C, Al и др./ ядра твердотельных химических элементов.

Создание атомарных потоков таких элементов и инжекция их в электронное кольцо коллективного ускорителя могут быть осуществлены различными по конструкции и принципу действия источниками, например, термоэффузионным, лазерным, электроэрозионным^{/3,4,6/}.

Основными требованиями, предъявляемыми к любому виду таких источников, являются следующие^{/5/}:

1. Источник должен обеспечивать не менее $\sim 10^7 \div 10^8$ срабатываний без замены его рабочих узлов.

2. Стабильность параметров получаемых из источника атомарных потоков должна быть не хуже $1\% \div 2\%$.

3. За один рабочий цикл источник должен обеспечивать инжекцию в электронное кольцо $\sim 10^{10} \div 10^{11}$ атомов требуемого химического элемента.

4. Время инжекции должно быть коротким / $\sim 10^{-6} \div 10^{-5}$ с/.

5. Источник должен обеспечивать до 50 рабочих циклов в секунду /50 Гц/.

Предварительные исследования разработанного нами электроэрозионного источника^{/6/} показывают его перспективность для использования в коллективном ускорителе.

Данная работа посвящена исследованию параметров потоков частиц некоторых твердотельных элементов /оценка скорости потока, процентного содержания нейтральной и заряженной составляющих и т.д./ в зависимости от режима работы источника.

При исследованиях рабочее напряжение источника варьировалось в пределах $5 \div 15$ кВ, разрядный ток - в пределах $500 \div 1200$ А, длительность разрядного тока составляла 2; 4 и 8 мкс. Исследовались потоки частиц, получаемые электрической эрозией графита, меди, свинца. Для оперативной замены рабочего элемента без вскрытия камеры нами использовался внутренний электрод, состоящий из набора исследуемых материалов. Замена рабочего материала и перемещение его в процессе работы относительно разрядного канала производились при помощи управляемого электромеханического привода. Не подвергающийся эрозии наружный электрод /анод/

был выполнен из меди. Сопловое отверстие наружного электрода имело диаметр 1,5 мм при длине 9 мм.

Интегральная плотность частиц в потоке определялась методом напыления на подложку /см.²/ исследуемого материала. Полное число осажденных на подложку частиц /атомов и ионов/ при выбранном режиме работы источника /длительность разряда 2 мкс, ток разряда 1200 А/ составило $\sim 8 \times 10^{17}$ для углерода и $\sim 2,6 \times 10^{17}$ для меди за 80000 срабатываний. Без учета отражения потока от подложки это соответствует количеству частиц за время одного разряда $\sim 10^{13}$ /углерод/ и $\sim 3 \times 10^{12}$ /медь/.

Определение доли ионного компонента в потоке проводилось с помощью ленгмюровских и сеточных зондов. Скорости и плотности частиц в потоке на различных расстояниях от источника определялись также на основе зондовых измерений в разных точках пространства. Как зондовые измерения, так и метод напыления на подложки показали, что угол расходимости потока существенно различен для углерода, меди и свинца. Так, для углерода он составляет $\sim 80^\circ$, а для свинца и меди $\sim 15^\circ \div 16^\circ$. На рис.1 представлены фотографии профилей потока светящейся плазмы углерода /а/ и меди /б/ при истечении их в вакуум. Угол расходимости потоков на фотографиях близок к полученному из данных зондовых измерений и метода напыления на подложки.

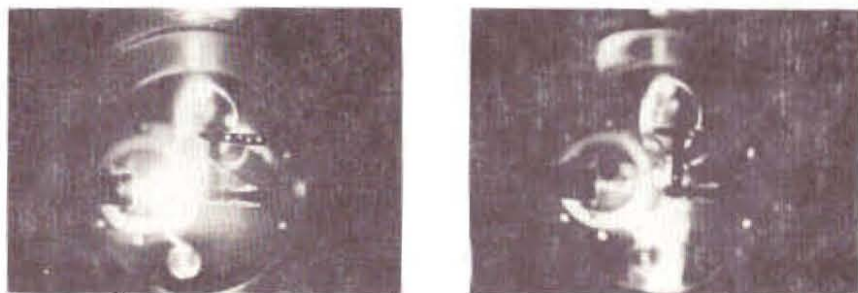


Рис.1

Пересчитанные из осциллограмм средние по времени плотности ионов на оси потоков оказываются близкими для всех трех материалов $\sim 2 \div 5 \times 10^{11}$ см.⁻³ на расстоянии 7,5 см от источника. Усредненное по времени отношение числа заряженных частиц к полному числу частиц на оси потоков составило $\sim 0,2 \div 0,3$. На рис.2 и 3 /а,б,в/ приведены типичные осциллограммы электронного и ионного токов на сеточном зонде для случаев центрального электрода из углерода, меди и свинца /а,б,в соответственно/ при смещении на сетке +45 В.

Рис.2 соответствует расстоянию от источника до зонда 8 см, рис.3 - расстоянию 15 см. Временная развертка на всех осциллограммах одинакова - 2 мкс/дел, чувствительность осциллографа изменялась в соответствии с величиной сигнала. Эти осциллограммы

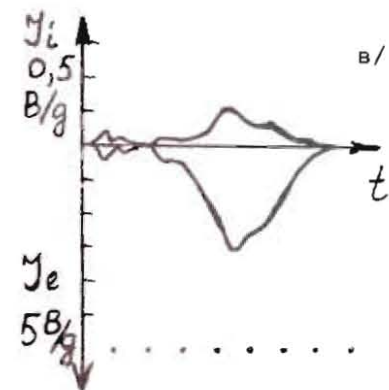
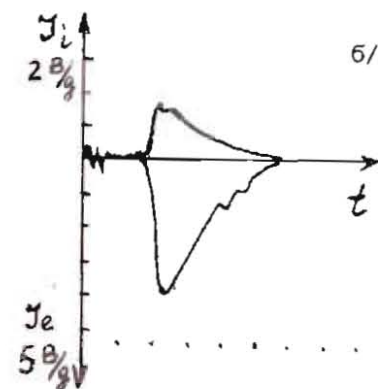
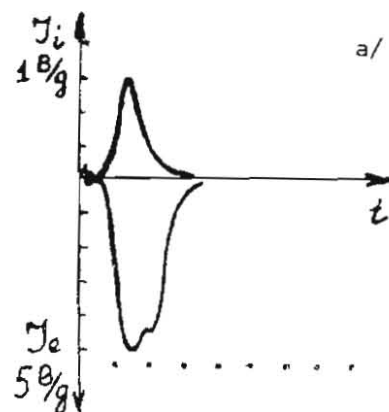


Рис.2

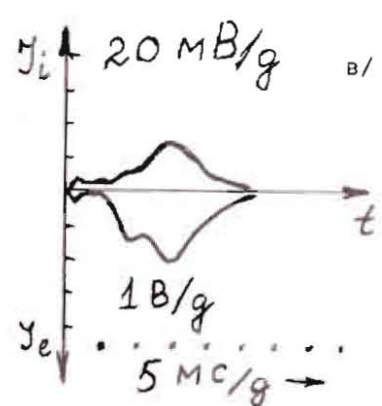
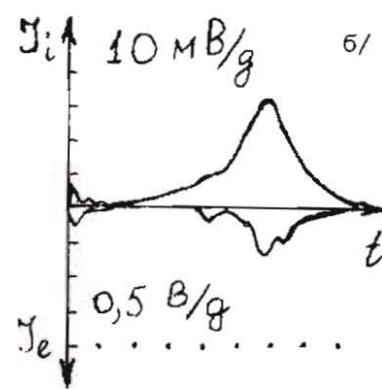
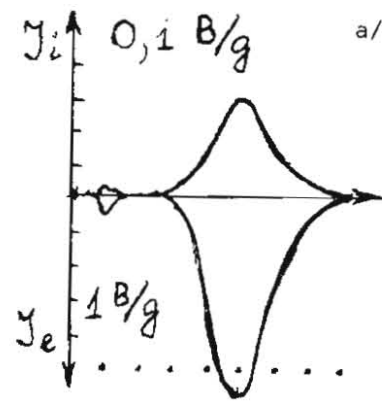


Рис.3

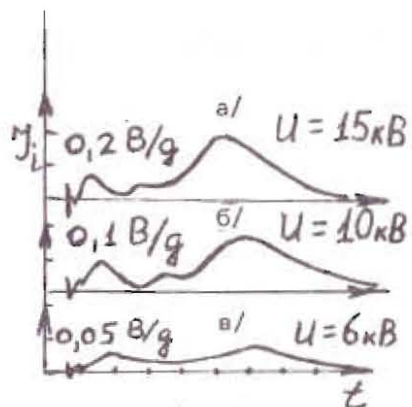


Рис. 4

связано с различными значениями концентрации и температуры плазмы в разрядном канале при одной и той же энергии разряда для различных материалов. Эти последние параметры существенно зависят, в свою очередь, от температуры плавления и сублимации материала, удельной энергии сублимации и т.д.

Практически идеальное совпадение временных характеристик ионного и электронного токов говорит о том, что исследуемая плазма остается квазинейтральной по крайней мере до расстояний 15 см от источника.

Качественную зависимость характеристик потока плазмы / Pb, $l = 8$ см от источника / от энергии разряда можно проследить по осциллограммам рис. 4. Осциллограмма а соответствует напряжению разряда 15 кВ, б - 10 кВ, в - 6 кВ. Уменьшение энергии разряда приводит к уменьшению полного числа частиц в потоке, их средней / пиковой / скорости, а также к увеличению дисперсии скоростей.

Приведенные здесь результаты свидетельствуют о возможности использования разработанного авторами источника для получения потоков низкотемпературной плазмы металлов и других электропроводных элементов, а также для получения потоков атомов этих элементов с высокими стабильными характеристиками потоков, что может быть использовано как в ускорительной технике, так и в самостоятельных исследованиях.

В заключение авторы благодарят З.А. Тер-Мартirosяна, А.В. Скрыпника, И.П. Лушникову за помощь в изготовлении чертежей, в конструировании, монтаже оборудования и проведении отдельных исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. Саранцев В.П. и др. ОИЯИ, Р9-10053, Дубна, 1976.
2. Саранцев В.П., Перельштейн Э.А. Коллективное ускорение ионов электронными кольцами. Атомиздат, М., 1979.

3. Новиков В.Г., Шестаков Б.А. ОИЯИ, Р13-82-3, Дубна, 1982.
4. Быковский Ю.А. и др. ОИЯИ, Р9-83-501, Дубна, 1983.
5. Александров В.С. и др. ОИЯИ, Р9-83-613, Дубна, 1983.
6. Новиков В.Г., Тарашкевич Р. ОИЯИ, 7-84-621, Дубна, 1984.

позволяют сделать оценку пиковой скорости по времени пролета, оценку плотности ионного компонента в потоке на соответствующих расстояниях. Времяпролетные измерения скоростей плазменных сгустков / по пикам осциллограмм / дали значения:

для углерода $\bar{V} = 2 \pm 0,3 \times 10^8$ см/с,
 для меди $\bar{V} = 1 \pm 0,2 \times 10^8$ см/с,
 для свинца $\bar{V} = 0,9 \pm 0,2 \times 10^8$ см/с.

Отношение измеренных значений скоростей не подчиняется закону отношения квадратных корней из обратных масс, что, по-видимому,

Рукопись поступила в издательский отдел
3 октября 1985 года.

Новиков В.Г., Тарашкевич Р.
Исследование ионного компонента плазмы
от электроэрозионного источника

13-85-708

Приведены предварительные данные о скорости, плотности и процентном соотношении заряженного и нейтрального компонентов плазмы свинца, меди и углерода на выходе электроэрозионного источника плазмы. Экспериментальные данные получены с помощью зондовой методики и анализа напыляемых тонких слоев.

Работа выполнена в Отделе новых методов ускорения ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1985

Перевод О.С.Виноградовой

Novikov V.G., Tarashkevich R.
Investigation of Ion Component of Plasma
Obtained by Means of Electrosark Source

13-85-708

The initial data on velocity, density and percentage of the lead, copper and carbon plasmas obtained by means of the electrosark plasma source are presented. For the determination of the plasma flux parameters the probe methods and deposition film analysis were used.

The investigation has been performed at the Department of New Acceleration Methods, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1985