

04; 12

© 1990

ИОННЫЙ ИСТОЧНИК ДЛЯ АНАЛИЗА
КОРОТКОЖИВУЩИХ ИЗОТОПОВ НА ОСНОВЕ
МАЛОИНДУКТИВНОГО ВАКУУМНОГО РАЗРЯДАМ.Е. Белов, Ю.А. Быковский,
А.Е. Грузинов, В.Б. Лагода

В настоящее время одним из наиболее перспективных методов регистрации короткоживущих изотопов, синтезируемых в ходе ядерно-физических экспериментов, является масс-спектрометрический метод [1, 2]. Его предельные возможности ограничиваются в основном параметрами применяемых ионных источников. Общий принцип работы последних состоит в торможении анализируемых частиц на поверхности твердотельной мишени с их последующим высвобождением, ионизацией и формированием ионного пучка, ускоренного в направлении масс-сепаратора. Для ускорения выхода заторможенных частиц на поверхность тормозной мишени ее прогревают до температуры около 2000 К, что облегчает термодиффузию. Лучшие из существующих типов источников – газоразрядный и термоионизационный позволяют с эффективностью $> 1\%$ регистрировать микроколичества изотопов элементов с потенциалом ионизации до 7–8 эВ и временем жизни 10^{-1} – 10^{-2} с. При этом эффективность наиболее перспективного из источников – термоионизационного для потенциалов ионизации > 8 эВ падает ниже практически целесообразных значений. Дальнейшее продвижение в сторону меньших времен (до 10^{-5} с) затруднено в силу принципиальных ограничений, связанных с конечностью времени абсорбции частиц поверхностью электродов, отсутствием изоляции области, содержащей частицы, от стенок объема и конечности времени нахождения иона в объеме до его попадания в зону вытягивающего электрического поля.

Авторами настоящей работы исследована возможность создания нового типа ионного источника, основанного на использовании малоиндуктивного вакуумного разряда (МВР). Такие особенности МВР как высокая плотность тока в плазме и на поверхности электродов, наличие сильного азимутального магнитного поля, вызывающего пинчевание плазмы МВР и изоляцию ее от стенок, и формирование осевого пучка, являются основой для преодоления недостатков существующих источников.

Геометрия разрядной системы, аналогичной описанной в [3], выбиралась из тех соображений, что один из электродов (центральный) должен одновременно служить тормозной мишенью для сбора анализируемых частиц. Вследствие этого его торцевая поверхность выполнялась плоской. Конденсатор имел емкость 12 мкФ, индуктив-

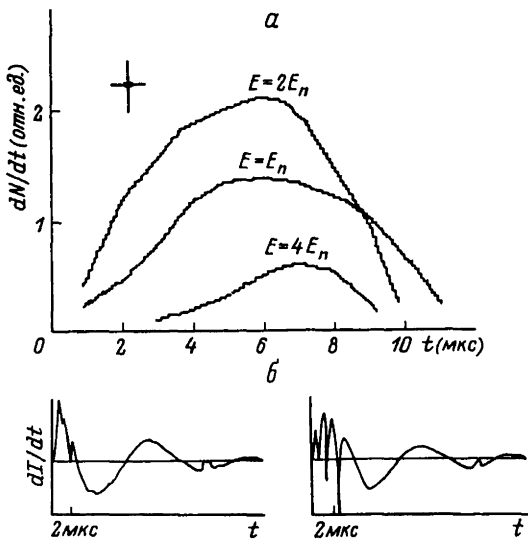


Рис. 1. а) Выход ионов Mo^{+1} в течение разряда при различных энергиях E инициирующего лазерного импульса. б) Осциллограмма производной разрядного тока по времени для „холодного“ анода (слева) и для анода при температуре 2000 К (справа).

ность разрядной цепи составляла 130 нГ. Инициирование разряда проводилось с помощью лазера ЛТИПЧ-8.

Необходимым условием обеспечения работоспособности источника являлось обеспечение режима, при котором достигалась эффективная абляция поверхностных слоев анода, содержащих заторможенные частицы, выходящие на поверхность в результате термодиффузии. Исследование эмиссионных характеристик МВР в настоящей работе проводилось с помощью электродинамического масс-анализатора по специальной методике, позволяющей восстанавливать эволюцию энергетических спектров заряженного компонента продуктов МВР с временным разрешением до 1 мкс [4]. Для определения эффективности абляции каждого из электродов в отдельности они выполнялись из разных материалов (анод – молибден, катод – медь). Из тех же соображений лазерная мишень для создания инициирующей плазмы выполнялась из алюминия и размещалась снаружи разрядного промежутка.

Как показали эксперименты, эмиссионные характеристики МВР в значительной степени зависят от энергии инициирующего лазерного импульса. На рис. 1, а представлены зависимости количества ионов материала анода (Mo^{+1}), эмиттируемых в различные моменты разряда, для трех различных значений энергии лазера, равных E_n , $2E_n$ и $4E_n$, где E_n – пороговая энергия, при которой еще

происходит надежное инициирование разряда. Видно, что существует некоторый предел $3.5-4E_{II}$, выше которого разряд протекает нормально, но в спектре его продуктов резко снижается доля ионов, образованных за счет абляции поверхности анода. Это явление, по-видимому, связано с изменением знака прианодного падения потенциала, снижающего интенсивность электронной бомбардировки поверхности анода, и подобного описанному в [5]. В нашем случае максимум эффективности абляции поверхности анода наблюдался в диапазоне энергий лазера $2-3E_{II}$.

Прогрев анода, необходимый для увеличения скорости термодиффузии, влечет за собой изменение эмиссионных свойств его поверхности. В серии экспериментов с прогревом анода до $T=2000\text{ K}$ было обнаружено сильное влияние прогрева на динамику развития МВР. На рис. 1, б приведены осциллограммы хода производной разрядного тока по времени dI/dt , снятые поясом Роговского при „холодном“ аноде и аноде, прогретом до 2000 K . Во втором случае виден резкий рост количества и амплитуды „особенностей“ на кривой dI/dt . Это говорит о появлении аномального сопротивления токонесящей плазмы, которое связано, по-видимому, с развитием в ней неустойчивостей типа ионно-звуковой и бунемановской. Условия для их развития возникают за счет снижения начальной плотности плазмы в результате термической очистки поверхности анода от молекулярного слоя, абсорбированного из состава остаточного газа, присутствующего в камере при вакууме около 10^{-6} Тор .

Покадровая съемка разряда в видимом диапазоне с экспозицией 100 нс выявила существенные различия в пространственном распределении плотности токонесящей плазмы при двух тепловых режимах анода. Она показала, что при „холодном“ аноде разряд охватывает как торцевую, так и боковую его поверхности, а распределение тока на поверхности неоднородно (видны электродные пятна). При „горячем“ аноде основная часть разрядного тока контрагируется на торце, а электродные пятна отсутствуют.

Изменение плотности плазмы и связанное с ним возникновение аномального сопротивления приводят также к изменению динамики эмиссионных процессов. На рис. 2, а приведено сравнение временной эволюции энергетического спектра „анодного“ компонента, снятой при „холодном“ и „горячем“ аноде. Видимо, что во втором случае в спектре в течение всего разряда присутствует группа более высокоэнергетичных ионов, в результате чего спектр в определенные моменты времени имеет „двугорбую“ структуру. Заметим, что наибольшую энергию имеют ионы, испущенные при $t=6-8\text{ мкс}$, когда напряжение на электродах имеет тормозящую ионы поляриность. Это означает, что имеет место не только электростатический, но и диссипативный механизм ускорения ионов. Таким образом, для создания на основе МВР эффективного ионного источника для рассматриваемых целей, необходимо соблюдение следующих условий. Во-первых, энергия инициирующего лазера должна лежать в диапазоне $2-3E_{II}$. Во-вторых, анод должен прогреваться до температуры около 2000 K .

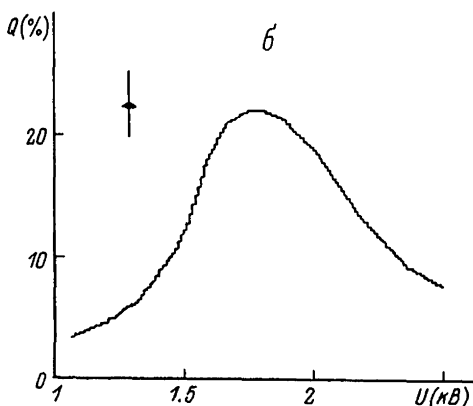
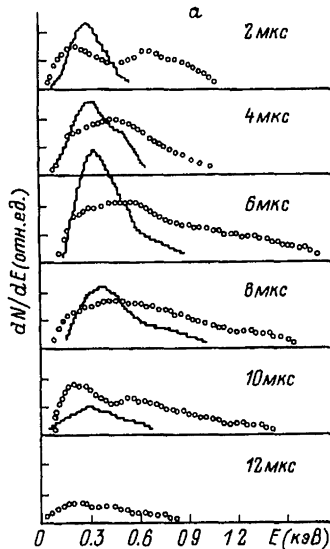


Рис. 2. а) Эволюция энергетического спектра ионов Mo^{+1} , эмиттируемых в течение разряда (сплошная линия – «холодный» анод, прерывистая – анод при температуре 2000 К). б) Зависимость эффективности МВР источника от напряжения накопителя.

Измерения эффективности источника «Off-Line» проводились на установке, схема которой приведена в [3]. Моделирование выхода на поверхность анода анализируемых частиц проводилось путем напыления на нее небольшого количества (около 1 монослоя) атомов элементов, близких по массе и потенциалу ионизации нуклидам, синтезируемым в реальных условиях. В качестве таких

элементов были выбраны Та и Аи, точное количество напыленных атомов контролировалось кварцевыми датчиками. Эффективность источника определялась как отношение числа однозарядных ионов напыляемого элемента в выходном пучке к числу напыленных атомов. Результаты, полученные при напылении Та и Аи, совпадают в пределах точности измерений, поэтому в дальнейшем приводятся результаты только для Аи, как элемента с более высоким потенциалом ионизации ($W_i = 9.2$ эВ). На рис. 2, б приведена зависимость эффективности источника Q по отношению к атомам напыляемого элемента от напряжения накопителя. Видно, что максимум эффективности достигается при $U = 1.5-2$ кВ. Средняя энергия при этом составляет примерно 1 кэВ. При больших энергиях разряда эффективность снижается за счет увеличения количества ионов с высокой зарядностью.

Измерение эмиттанса источника проводилось методом „двух щелей“. Ионный пучок формировался системой дебаевских сеток на расстоянии 40 см от МВР и доускорялся до энергии 4 кэВ. Эмиттанс выходного ионного пучка составлял 2000 мм·мрад, что при экстраполяции до энергии 100 кэВ дает значение 400 мм·мрад, которое хорошо вписывается в аксептанс существующих масс-сепараторов (до 1000 мм·мрад).

Таким образом, результатом исследования эмиссионных характеристик МВР в абляционном режиме МВР явилось создание ионного источника для анализа короткоживущих изотопов трудноионизируемых элементов, обладающего эффективностью около 20 % по отношению к изотопам с потенциалом ионизации не ниже 9.2 эВ и временем жизни порядка 10^{-5} с. По указанным параметрам источник превосходит известные источники и позволяет существенно расширить состав изотопов, попадающих в диапазон регистрации.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Обухов В.А., Райко В.И. // Атомная энергия. 1986. Т. 60. В. 2. С. 114-119.
- [2] Kirchner R. // Nucl. Instr. and Meth. 1981. V. 186. P. 275-293.
- [3] Белов М.Е., Быковский Ю.А., Грузинова А.Е., Лагода В.Б. // Препринт МИФИ, М., 1990. № 003-90. С. 5.
- [4] Belov M.E., Bykovskiy U.A., Gruzinov A.E., Lagoda V.B. Abstracts of Trian. Intern. Dynam. Mass. Spectrom. Symp. 1989, p. 12.
- [5] Меринов Н.С., Острцов Л.Н., Петров В.А., Поротников А.А. Материалы П Всес. конф. по плазменным ускорителям, Минск, 1973. С. 54-59.

Поступило в Редакцию
26 июля 1990 г.