

П-199

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



390 / 2-79

29 / 1-79

P9 - 11914

А.С.Пасюк, В.Б.Кутнер, Ю.П.Третьяков

О ВЛИЯНИИ МАТЕРИАЛОВ КАТОДА
НА ПАРАМЕТРЫ РАЗРЯДА
И ВЫХОД МНОГОЗАРЯДНЫХ ИОНОВ

1978

P9 - 11914

А.С.Пасюк, В.Б.Кутнер, Ю.П.Третьяков

О ВЛИЯНИИ МАТЕРИАЛОВ КАТОДА
НА ПАРАМЕТРЫ РАЗРЯДА
И ВЫХОД МНОГОЗАРЯДНЫХ ИОНОВ

Направлено в ПТЭ



Пасюк А.С., Кутнер В.Б., Третьяков Ю.П.

P9 - 11914

О влиянии материалов катода на параметры разряда и выход многозарядных ионов

В источнике многозарядных ионов исследованы катоды из вольфрама, вольфрама с присадками окиси алюминия, вольфрама с добавкой рения (27%), а также из молибдена, рения, тантала, карбидов ниобия и циркония.

Приводятся сравнительные данные токов многозарядных ионов, полученных из источников с катодами из вольфрама и тантала.

Установлено, что применение катода из тантала приводит к увеличению выхода многозарядных ионов и достижению более высокозарядных состояний.

На стенде ионных источников получены ионы Xe^{15+} , ток в импульсе составил 10 мкА.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1978

Pasyuk A.S., Kutner V.B., Tretyakov Yu.P.

P9 - 11914

Influence of Cathode Materials on Parameters of Discharge and Yield of Heavy Multicharged Ions

Cathodes from W, W with addition of Al_2O_3 , W with addition of Re(27%), Mo, Re, Ta, NbC, ZrC are investigated for ion sources of multicharged ions. The compared data on multicharged ion currents from sources with W and Ta cathodes are given. It was found, that the application of Ta cathode results in increase of yield of multicharged ions and in higher charged states. Xe^{15+} ions have been obtained in bunch tests. The currents was 10 mkA per pulse.

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

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research.

Dubna 1978

Дуговой источник многозарядных ионов /м.з.и./ с подогревным катодом, работающий в магнитном поле циклотрона, остается в настоящее время наиболее эффективным источником м.з.и.

В результате многих экспериментов установлено, что для получения высокозарядных ионов в дуговом ионном источнике необходимо иметь относительно высокое напряжение разряда /500-1000 В/ при большом токе дуги /15-20 А/. Однако, как выяснилось в ходе испытаний источников на стенде^{/1/} и эксплуатации на циклотроне, возможности увеличения тока многозарядных ионов с ростом тока и напряжения разряда ограничиваются, по-видимому, в основном из-за интенсивного разрушения катода и антикатода ионного источника.

Разрушение катода и антикатода, которое происходит в результате ионной бомбардировки со стороны разряда, во-первых, сокращает срок службы источника, во-вторых, приводит к изменению геометрии разряда за счет оседания распыленных материалов электродов на стенках разрядной камеры и, в-третьих, загружает разряд атомами распыленного вещества катода и антикатода. Последнее является, по-видимому, наиболее важным. Как известно, увеличение притока нейтральных частиц в разряд /в данном случае - атомов материалов катода и антикатода/ снижает выход м.з.и. из ионного источника^{/1,2/}.

По оценкам, приведенным в работе^{/3/}, концентрация атомов и ионов вольфрама в районе катода сравнима с концентрацией атомов и ионов газа в средней части разрядной камеры и даже может превышать ее.

В работе^{/4/} установлено, что распределение плотности атомов и ионов газа вдоль дугового разряда зависит от материала катода и антикатада.

Ток, напряжение разряда и расход рабочего газа являются основными параметрами, регулировкой которых достигается оптимальный режим работы ионного источника. Оптимальные величины этих параметров различны для разных ионов. Выход высокозарядных ионов увеличивается с уменьшением расхода газа вплоть до срыва дуги. Для всех параметров необходимо иметь возможность независимой регулировки в широких пределах. Пределы этих возможностей во многом определяются свойствами катода.

В работе^{/3/} установлено, что расход материала катода ΔM (г) мало зависит от рода и количества газа, подаваемого в разряд и выражается эмпирической формулой

$$\Delta M = A \cdot I \cdot U^2 \cdot t / Q,$$

где A - коэффициент пропорциональности, I (А) - ток разряда, U /кВ/ - напряжение разряда, t /час/ - время работы, Q - скважность импульсной работы источника /отношение периода следования импульсов к длительности импульса/.

Из изложенного выше и работ^{/5-8/} можно сделать вывод, что материал катода должен обладать хорошей теплопроводностью, высокой работой выхода, а также малым коэффициентом распыления и высокой точкой плавления.

В настоящей работе приведены результаты испытаний некоторых материалов катодов источника многозарядных ионов с целью получения наибольшего выхода высокозарядных ионов рабочего газа и обеспечения надежности и достаточной длительности работы источника.

УСЛОВИЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Исследования ионных источников с катодами из различных материалов проводились на стенде ионных источников Лаборатории ядерных реакций^{/1/}.

Катоды из вольфрама и тантала исследовались также на циклотронах У-300 и У-200 ОИЯИ. Конструкция катода подобна описанной в работе^{/9/}. Эмиттирующая поверхность катода имеет размер 7x7 мм.

В качестве материалов катодов были использованы карбиды ниобия и циркония, рений, молибден, вольфрам, вольфрам с присадками окиси алюминия /кованный и некованный/, вольфрам с добавкой рения /27%/ и тантал.

В случае использования танталового катода антикатод был также из тантала. С катодами из других материалов устанавливался антикатод из молибдена.

Условия и методика проведения данных экспериментов аналогичны описанным в работе^{/3/}.

В качестве рабочего газа использовались аргон и ксенон.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ОБСУЖДЕНИЕ

Катод из карбида ниобия. При подаче напряжения подогрева и возникновении тока подогрева легко зажигается тлеющий разряд в камере /0,5 А; 500 В/. Отгаживание катода электронной бомбардировкой длится около 30 мин. Спустя это время удаётся зажечь дуговой разряд. При отгаживании катода значительно ухудшается вакуум /до 10^{-4} - 10^{-3} Тор/.

После 8 часов работы глубина кратера катода по центру со стороны разряда составляет 3,5 мм, края катода понижаются на 0,4 мм, т.е. по объёму этот материал расходуется примерно с той же скоростью, что и вольфрам^{/3/}. Со стороны нити накала в результате электронной бомбардировки образуется кратер глубиной 4 мм. В катоде появляются поперечные трещины.

Катод из карбида циркония. Газоотделение при прогреве катода из карбида циркония значительно меньше, чем в случае использования катода из карбида ниобия. Разряд в камере зажигается сравнительно легко. После 6 часов работы кратер в катоде со стороны разряда имеет глубину 2,9 мм. Углубление со стороны ни-

Таблица 1
Некоторые данные о материалах катодов

| Материал каатода | Рабочий газ | А, г/А.кВ ² час | Коэффициент теплопроводности/ 10^{10} , кал/см.с. град | Работа выхода, эВ | Коэфф. распыле- ния ионами, ат/ион | Коэфф. самораспы- ления |
|---------------------|----------------|-------------------------------|---|-------------------------|--|-------------------------------|
| | | | | | | |
| Вольфрам | аргон | 1,4 | 0,48 | 4,54 | 0,63 | 1,17 |
| | ксенон | 1,5 | | | | 4,9 |
| Тантал | аргон | 1,0 | 0,13 | 4,12 | 0,63 | 1,01 |
| | ксенон | 1,3 | | | | 3,3 |
| Молибден | аргон | 1,3 | 0,35 | 4,3 | 0,93 | 1,05 |
| | ксенон | 1,4 | | | | 2,2 |
| Рений | аргон | 1,1 | 0,17 | 4,7 | 0,97 | - |
| | ксенон | 1,4 | | | | - |

ти - 1 мм. После работы обнаруживаются трещины, как и в случае катода из карбида ниобия.

При работе с катодами из карбидов ниобия и циркония ток разряда не превышает 10 А, а напряжение дуги - 800 В.

Другие катоды. Некоторые сравнительные данные для исследуемых материалов катодов приведены в табл. 1.

В третьем столбце таблицы даны измеренные в настоящей работе средние значения коэффициентов А, характеризующих распыление материала катода в источнике многозарядных ионов. В таблице приведены рекомендуемые в справочнике¹¹ значения работы выхода. Коэффициенты распыления однозарядными ионами аргона и ксенона, измеренные Венером и др. при энергии ионов 600 эВ, взяты из обзора¹². Коэффициенты самораспыления были измерены авторами работы¹³ при энергии ионов 45 кэВ.

Традиционным катодным материалом, используемым нами в источнике, является вольфрам. Характер разрушения этого материала в катоде источника многозарядных ионов достаточно подробно описан в работах^{3,9}.

В случае использования катодов из вольфрама с присадками окиси алюминия и катодов из вольфрама с добавкой рения режимы источника и зарядовые спектры не отличаются от тех, которые получаются с катодом из вольфрама.

Тантал обладает низким коэффициентом теплопроводности и по сравнению с другими исследованными материалами наименьшей скоростью распыления.

Рений по названным свойствам мало отличается от тантала. Однако при использовании катода из рения только при токе до 8 А удается поддерживать в разряде достаточно высокое напряжение.

Тантал, несмотря на низкую работу выхода, позволяет при токе разряда до 15 А поддерживать напряжение на дуге до 1000 В.

Сравнительные данные выхода токов многозарядных ионов аргона, криптона, ксенона для катодов из вольфрама^{1,14} и тантала приведены в табл. 2.

Таблица 2

Сравнительные данные выхода многозарядных ионов из источников с катодами из вольфрама и тантала

| Материал катода | Рабочий газ | Ток ионов по зарядности в импульсе, мА | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------|-------------|--|--------------------|----|------|------|------------------|----|------------------|-----|------|-------|------|------|------|------|-----|-----|--|
| | | I _D (A) | U _D (B) | I+ | 2+ | 3+ | 4+ | 5+ | 6+ | 7+ | 8+ | 9+ | 10+ | 11+ | 12+ | 13+ | 14+ | 15+ | |
| Тантал | Аргон | 13 | 1100 | 25 | 28 | 35 | 12 | 10 | 2,8 | 1,2 | 0,2 | | | | | | | | |
| | | 6 | 900 | 20 | 37 | 42 | 25 | 7 | 1,6 | 0,4 | 0,1 | | | | | | | | |
| Тантал | Криптон | 10 | 1100 | 25 | 14 | 10 | 13 ¹⁾ | 6 | 3,7 | 1,1 | 0,12 | 0,015 | | | | | | | |
| | | 13 | 450 | 11 | 17 | 40 | 47 | 32 | 20 | 7 | 2,5 | 0,2 | 0,02 | | | | | | |
| Тантал | Ксенон | 13 | 1100 | 27 | 18 | 16 | 14 | 16 | 20 ²⁾ | 9,1 | 4,9 | 2,5 | 0,8 | 0,14 | 0,06 | 0,01 | | | |
| | | 13 | 950 | 12 | 12,5 | 10,5 | 10 | 11 | 5 | 2,8 | 0,9 | 0,12 | | | | | | | |

Примечание: Имеется вклад ионов 1/ - N⁺ , 2/ - O⁺ .

Катод из тантала по сравнению с катодом из вольфрама дает интенсивность ионов Ar⁸⁺ в 2 раза больше, Kr¹⁰⁺ - в 6 раз, Xe¹²⁺ - в 7 раз; получен ток ионов Xe¹⁵⁺, равный 10 мкА в импульсе.

За счет применения катода из тантала при ускорении на циклотроне У-300 ионов с зарядом 7+ и выше и на циклотроне У-200 ионов Ne⁵⁺ удалось увеличить интенсивность пучков в 1,5 - 2 раза.

ВЫВОДЫ

1. Катоды из карбидов ниобия и циркония не дают увеличения интенсивности пучков высокозарядных ионов и не увеличивают срока службы катода. Кроме того, надежность работы источника из-за раскалывания катодов снижается.

2. При использовании катодов из молибдена, рения, вольфрама, вольфрама с присадками окиси алюминия и вольфрама с добавкой 27% рения не наблюдается существенного различия в выходе многозарядных ионов.

3. Несмотря на то, что тантал по сравнению с вольфрамом имеет меньший коэффициент теплопроводности и более низкую работу выхода, применение катодов из тантала приводит к заметному увеличению выхода высокозарядных ионов и появлению более высокозарядных состояний.

В заключение авторы выражают благодарность академику Г.Н.Флерову за постоянное внимание к работе с ионными источниками.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пасюк А.С., Третьяков Ю.П., Горбачев С.К. АЭ, 1968, 24, с.21.
2. Романов Н.П., Пасюк А.С. Оптика и спектроскопия, 1968, 24, в.3, с.337.

3. Пасюк А.С., Третьяков Ю.П., Станку В. ПТЭ, 1965, 3, с.42; ОИЯИ, 1644, Дубна, 1964.
4. Кулькина Л.П., Пасюк А.С. ЖТФ, 1966, 36, в.4, с.726.
5. Makov B.N. IEEE Trans. on Nucl. Sci., 1976, v.NS-23, No. 2, p.1035.
6. Anderson C.E., Ehlers K.W. Rev. Sci. Instr., 1956, v. 27, No. 10, p.809.
7. Wolf B. GSI Darmstadt, 1972, GSI-Bericht, 72-6.
8. Ревуцкий Е.И., Скоромный Г.М., Мелешков С.И. Труды Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. ВИНТИ, М., 1970, т.1, с.418.
9. Морозов П.М., Маков Б.Н., Иоффе М.С. АЭ, 1957, 2, в.3, с.272.
10. Беляев А.И., Жемчужина Е.А., Фирсанова Л.А. Металлургия чистых металлов и элементарных полупроводников. Металлургия, М., 1969.
11. Фоменко В.С., Подчерняева И.А. Эмиссионные и адсорбционные свойства веществ и материалов. Атомиздат, М., 1975.
12. Behrisch R. Ergebn. der Exakt. Naturwissensch., 1964, B.35, s.318.
13. Almen O., Bruce G. Nucl.Instr. and Meth., 1961, v.II, p.257.
14. Пасюк А.С., Кутнер В.Б. ОИЯИ, P7-4289, Дубна, 1969.

Рукопись поступила в издательский отдел
26 сентября 1978 года.