

**ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА**

P7-84-774

Ю.П.Третьяков, В.Б.Кутнер, А.С.Пасюк

**ИОННЫЙ ИСТОЧНИК
ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ
МНОГОЗАРЯДНЫХ ИОНОВ И ПЛАЗМЫ
С ПОВЕРХНОСТЬЮ ТВЕРДОГО ТЕЛА**

Направлено на VII Всесоюзную конференцию
"Взаимодействие атомных частиц с твердым телом",
Минск, 1984 г.

1984

1. Источник многозарядных ионов /м.з.и./, использующий твердые рабочие материалы, был разработан в Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ в связи с новыми исследованиями в области ядерной и атомной физики и для решения ряда прикладных задач /производство поляядерных фильтров, исследования радиационной стойкости конструкционных материалов и др./^{1/}. Как основа разработки был использован циклотронный источник м.з.и. азота^{2/}, который получил дальнейшее усовершенствование при конструировании ионного источника для циклотрона У-300^{3/}. Из этого источника м.з.и. получены высокозарядные ионы газов^{4/}, в стендовых испытаниях зарегистрированы пучки ионов ксенона вплоть до Xe^{15+} /с интенсивностью в импульсе 10 мкА/^{5/}.

Чтобы осуществить в разряде ионизацию элементов, имеющих в виде твердых материалов, преимущественно металлов, было использовано катодное распыление рабочего вещества, расположенного на специальном электроде^{6/}. Источник м.з.и. с катодным распылением рабочего вещества был в дальнейшем усовершенствован^{7/} и в настоящее время используется на циклотронах У-400 и У-300 ОИЯИ.

Ионные источники такого типа нашли применение в инжекторах линейных ускорителей в ФРГ /Дармштадт/ и США /Беркли/, на циклотронах во Франции и Японии^{8/}, а также во внешнем инжекторе ускорителя ЭСУВИ и технологических установках УТИ в Харькове^{9/} и других установках.

В настоящей работе приведены данные по расходу материалов распыляемых электродов и катодов, полученные при использовании ионного источника на циклотронах Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ и в стендовых испытаниях. Представлены распределения ионов и атомов материалов электродов вдоль и поперек плазменного столба.

2. На рис.1 схематически представлены головка источника м.з.и. с катодным распылением рабочего материала и система электропитания ионного источника. Разрядная камера источника /3/ размещена в центре зазора электромагнита циклотрона. Катод /2/ ионного источника подогревается потоком электронов с нити /1/, представляющей собой вспомогательный катод прямого накала, питающийся от выпрямителя или генератора повышенной частоты /5 ÷ 10 кГц/ /9/. Электроны ускорены напряжением выпрямителя подогрева /10/. При подаче в разрядную камеру газа и включении выпрямителя дуги /11/ зажигается разряд. Антикотод /6/ находится под потенциалом катода /2/, что создает условия для осцилля-



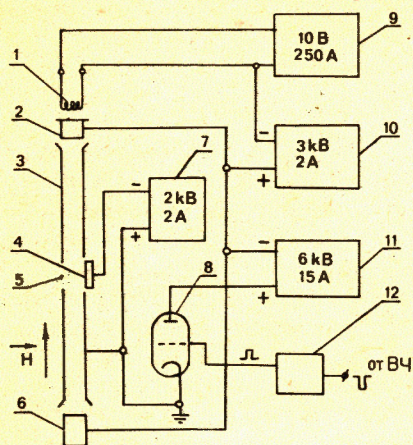


Рис.1. Схема головки ионного источника с катодным распылением рабочего вещества и система электропитания.

ций первичных и плазменных электронов. Электрод /4/, содержащий рабочее вещество, размещается в районе эмиссионной щели /5/ источника, т.е. в медианной плоскости циклотрона. При зажигании разряда в камере и наличии отрицательного потенциала на электроде от выпрямителя /7/ происходит катодное

распыление материала электрода /4/ и последующая ионизация распыленных частиц в разряде. Напряжением выпрямителя /7/ и регулировкой положения электрода с помощью соответствующего дистанционного механизма осуществляется оптимальная подача ионизируемого рабочего вещества.

Источник м.з.и. работает в непрерывном режиме ^{/2,9/} либо в импульсном, синхронно с генератором высокочастотного напряжения циклотрона. Этот режим осуществляется с помощью ключа /8/, который блоком /12/ синхронизируется с высокочастотным генератором.

Фотография головки ионного источника циклотрона У-400 приведена на рис.2. Передняя стенка разрядной камеры источника с эмиссионной щелью снята. Хорошо видны распыляемый электрод, закрепленный винтом на подвижном охлаждаемом держателе, и сборник распыленного материала. На переднем плане помещены кольцевые изоляторы, введенные для уплотнения зазора между разрядной камерой и держателями катода и антикатода, распыляемые электроды /слева - до работы, справа - после цикла работы/; а также передняя стенка разрядной камеры и вкладыш с эмиссионной щелью. Уплотнение торцов разрядной камеры с помощью кольцевых изоляторов позволяет снизить поток вспомогательного газа и тем самым снизить потери м.з.и. в результате перезарядки как в источнике, так и в процессе ускорения. Сборник рабочего материала представляет собой съемную часть стенок разрядной камеры, которую можно после цикла работы источника вместе с вкладышем с эмиссионной щелью подвергнуть химической обработке с целью регенерации распыленного рабочего материала.

Некоторые конструкции источника позволяют поддерживать температуру стенок разрядной камеры в районе распыляемого электрода такой, что происходит испарение оседающего на стенках рабочего материала ^{/9,10/}. Это позволяет уменьшить расход рабочего вещества непосредственно с электрода.

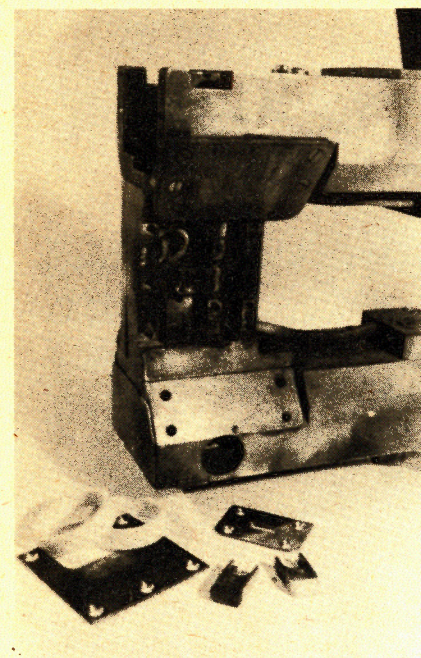


Рис.2. Головка ионного источника с катодным распылением рабочего вещества циклотрона У-400.

3. В ходе разработки и усовершенствования источников м.з.и. проводились испытания различных вариантов конструкции на стенде, который описан в работе ^{/4/}. Было исследовано влияние условий работы ионного источника на скорость распыления вольфрамового катода ^{/11/}. Установлено, что расход материала катода ΔM мало зависит от рода и количества газа, подаваемого в разряд, и выражается эмпирической формулой $\Delta M, r = A I U^2 t / Q$, где A - коэффициент пропорциональности; I, A - ток разряда; U, kV - напряжение разряда; $t, ч$ - время работы; Q - скважность импульсной работы.

По данным работы ^{/5/}, где приведены результаты исследований катодов из различных материалов: вольфрама, вольфрама с присадками окиси алюминия, вольфрама с добавкой рения ^{/27%/}, молибдена, рения, тантала, карбидов ниобия и циркония, - коэффициент пропорциональности A для металлов равен $1,0 \div 1,5$. По нашим оценкам ^{/11/}, концентрация атомов и ионов материала катода вблизи его поверхности в рабочих режимах может превышать концентрацию атомов и ионов газа /и рабочего материала/ в средней части разрядной камеры. Поэтому можно считать преобладающим процессом самораспыление катода. По результатам испытаний катодных материалов на стенде предпочтение было отдано танталовым катодам; на циклотронах фактор увеличения интенсивности был от $2 (Ar^{8+})$ до $10 (Fe^{9+})$.

Результаты стендовых испытаний источника при работе на твердых рабочих веществах от магния до тория представлены в табл.1. Использовались преимущественно чистые элементы, лишь при получении ионов фосфора распыляемый электрод был изготовлен из фосфорной меди /содержание атомов фосфора ~8%/, а ионы селена и свинца были получены из интерметаллического соединения $PbSe$. Проведенные опыты показали, что из исследуемого источника м.з.и. могут быть получены интенсивные пучки всех природных тяжелых элементов с отношением массы иона к заряду $A/Z_1 \sim 20$. Например, ток в импульсе ионов Th^{11+} составил 4,8 мА.

Таблица 1

Выход ионов твердых веществ из источника в исследованиях на стенде

Элемент	Режимы разряда				Вспомог. ток	Ток ионов ионизируемого элемента в импульсе, мА										Полный ток ионов, мА	Условия анализа			
	U _a	I _a	U _p	I _p		I ₁₊	I ₂₊	I ₃₊	I ₄₊	I ₅₊	I ₆₊	I ₇₊	I ₈₊	I ₉₊	I ₁₀₊			I ₁₁₊	I ₁₂₊	
12 Mg	660	7,5	520	2,9	Ar	18	85	32	3,0	0,4	0,06	0,005					140	77	3,7	15
13 Al	300	8,2	980	1,9	Xe	22	59	20	3,4	0,25	0,04						106	26	3,6	15
14 Si	620	II	1900	2,5	Xe	12	46	35	1,6	0,18	0,018						104	40	3,6	24
15 P	1000	5,3	1000	1,0	Ar	3	6,3	5,5	1,2	0,26	0,03						16	18	3,6	17
20 Ca	600	9,5	540	1,8	Xe	3	23	22	1,4	4,5	1,0	0,18	0,035				66	40	3,6	17
21 Sc	500	8	1700	0,64	Xe	1,3	18	19	4,9	0,8	0,05	0,01					45	74	3,6	17
22 Ti	750	16	1250	2,4	Xe	2,1	8,5	14	1,4	8,8	1,1	0,33	0,035				45	45	4,4	22
23 V	900	15	1400	1,6	Xe	6,3	19	12	1,4	6,4	1,1	0,15	0,03				59	74	4,4	21
24 Cr	1200	16	850	1,0	Xe	3,7	11	5,2	10	8,8	3,3	0,55	0,06	0,002			48	65	4,4	21
25 Mn	650	8,5	800	0,7	Xe	5	16	18	11,3	6,1	1,6	0,39	0,09	0,026	0,001		56	83	4,4	26
26 Fe	480	13	600	1,6	Xe	3	13	14	6,4	1,7	0,33	0,12	0,04	0,004			38	76	5,6	25
27 Co	500	15	790	1,3	Xe	13	19	15	10	2,5	0,53	0,05	0,01	0,002			59	70	3,6	17
28 Ni	800	6	1000	1,0	Xe	-	23	24	16	6,7	1,5	0,44	0,08	0,03			73	60	3,6	17
29 Cu	540	10	400	2,3	Ar	-	30	32	35	26	6,6	1,9					150	70	3,6	17
30 Zn	400	7,5	560	1,6	Xe	-	70	55	29	9,5	3,95	0,76	0,2	0,024			170	93	3,6	15
32 Ge	900	5,5	2000	0,5	Ar	8,4	17	9,5	11	6,4	1,35	0,48	0,09				54	77	5,6	20
34 Se	950	10	500	0,65	Xe	-	3,9	9,5	7,6	3,8	1,35	0,56	0,18	0,01			23	32	5,3	22
40 Zr	1100	5	1100	0,8	Ar	-	6,9	4,1	5,9	3,72	1,41	1,0	0,47	0,15	0,04		24	34	3,6	16
41 Nb	700	20	880	1,6	Xe	0,7	4,8	6,8	11	17,3	3,8	1,1	0,33	0,044	0,004		29	45	4,4	24
42 Mo	380	9,5	940	1,8	Xe	-	24	25	23	16,8	9,4	2,0	3,4				100	30	3,6	15
48 Cd	900	10	200	1,0	Ar	-	14	18	28	37	22	11,3	3	0,74	0,11	0,025	146	30	4,4	20,5
49 In	540	II	1250	0,65	Ar	-	1,7	3,3	6,4	7,4	4,4	3,2	1,2	0,33	0,018		29	65	5,3	26
50 Sn	840	II	550	0,75	Xe	-	1,6	2,6	3,3	2,9	3,0	3,7	1,3	0,13			18	40	4,5	22
57 La	760	II	850	1,1	Xe	-	8,5	7,7	7,9	5,5	5,0	3,3	2,0	0,9	0,042		57	57	4,4	20
72 Hf	650	7	760	1,0	Ar	3,9	4,1	3,6	4,5	4,71	2,33	0,6	0,21	0,05	0,01		24	72	5,3	18
73 Ta	470	9,8	970	1,5	Ar	-	-	-	11,4	18,9	12,5	8,4	3,0				54	65	3,6	15
74 W	360	9	980	1,4	Xe	-	20	17,1	13,1	6,8	3,3	0,7	0,12				61	65	3,6	15
75 Re	580	20	540	2,8	Ar	-	15	14	12,4	14,3	8,6	6	0,9	0,6			86	66	5,7	18
82 Pb	950	10	500	0,65	Xe	-	1,3	4,9	5,3	8,95	8,8	7	3,9	2,1			42	46	5,3	22
83 Bi	860	8,5	480	0,6	Ar	-	2,4	2,8	5,6	6,3	4,2	2,0	1,2	0,91	0,22	0,03	30	55	3,6	17
90 Th	1200	10	750	0,9	Ar	-	1,6	4,3	8,6	6,8	15	18	18	12	4,8		89	53	5,3	17

4. В таблице 2 представлена часть элементов периодической системы Д.И.Менделеева, ионы которых были получены из описываемого здесь источника м.з.и. Значительная часть ионов ускорена на циклотронах Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ. Так, на циклотроне У-300 ускорены ионы от Li⁺ /ток выведенного пучка > 10 мкА/ до Bi¹³⁺ /ток выведенного пучка 0,04 мкА/77/. На циклотроне У-400 основное внимание уделяется получению пучков ионов разделенных изотопов ^{12/}, здесь до энергий ≥ 6 МэВ/нуклон ускорены ионы изотопов ²⁶Mg, ⁴⁸Ca, ⁴⁹Ti, ⁵⁰Ti, ⁵³Cr, ⁵⁴Cr, ⁵⁸Fe, ⁶⁴Ni, ⁷⁰Zn, ⁷⁶Ge. Результаты представлены в табл.3.

Переход от ионов одного элемента к ионам другого в источнике м.з.и. с катодным распылением рабочего вещества связан лишь с установкой соответствующего распыляемого электрода. Вместе с тем технология изготовления электродов для каждого элемента, а в случае использования разделенных изотопов - для каждого изотопа, является сугубо индивидуальной, а в отдельных случаях достаточно сложной. В качестве исходного вещества для получения

Таблица 2

Элементы, ионы которых получены из источника с катодным распылением рабочего вещества

Элемент	Исходный материал						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
3 Li	хп						
4 Be	ос						
5 B	охп						
6 C	оп						
12 Mg	оп	оп					
13 Al	оп						
14 Si	оп						
15 P	оп						
16 S	с						
20 Ca	оп	оп					
21 Sc	оп						
22 Ti	оп	оп					
23 V	оп						
24 Cr	оп	оп					
25 Mn	ос						
26 Fe	оп	оп					
27 Co	ос						
28 Ni	ос						
29 Cu	оп						
30 Zn	оп						
32 Ge	оп						
34 Se	охп						
40 Zr	ос						
41 Nb	оп						
42 Mo	оп						
48 Cd	ол						
49 In	ол						
50 Sn	ол						
57 La	ос						
72 Hf	ос						
73 Ta	ос						
74 W	ос						
75 Re	ос						
82 Pb	ол						
83 Bi	ол						
90 Th	ол						

В рамках - элементы, ионы которых ускорены на циклотроне
 * - использованы разделенные изотопы

Способ изготовления электрода
 P резание
 C сварка (диффузионная, точ)
 П пайка, склеивание
 Л впрессовка в основание
 ГП горячее прессование в вакууме
 ХП холодное прессование

Таблица 3

Разделенные изотопы металлов, ускоренные на циклотроне У-400

Ускоряемый ион	Исходное вещество	Содержание изотопа в электроде, ат.%	Вещество после регенерации	Интенсивность внутреннего пучка, част/с
²⁶ Mg ³⁺	MgO	37	MgO	1,2·10 ¹³
⁴⁸ Ca ⁵⁺	CaO	20	CaO	2,4·10 ¹²
⁴⁹ Ti ⁵⁺	TiO ₂	II	TiO ₂	1,0·10 ¹³
⁵⁰ Ti ⁵⁺	TiO ₂	10	TiO ₂	9,6·10 ¹²
⁵³ Cr ⁵⁺	Cr ₂ O ₃	17	-	6,0·10 ¹²
⁵⁴ Cr ⁶⁺	Cr	36	Cr	6,3·10 ¹²
⁵⁸ Fe ⁶⁺	Fe	9I	Fe	1,0·10 ¹³
⁶⁴ Ni ⁶⁺	Ni	78	-	3,5·10 ¹²
⁷⁰ Zn ⁸⁺	Zn	45	-	4,0·10 ¹¹
⁷⁶ Ge ⁸⁺	Ge	74	-	1,0·10 ¹²

ионов использовались чистые металлы, начиная с Mg и кончая Th, неметаллы B, Se, графит, монокристаллы Si, Ge. Кроме чистых элементов использовались химические соединения LiF, MgO, CaF₂, CaO, TiO₂, Cr₂O₃, Fe₂O₃, Fe₂S, PbSe, а также сплавы и конструкционные материалы дюралюминий, фосфорная медь, титановый сплав OT-4, ферромарганец, нержавеющая сталь, нихром. Как правило, ионизируемое вещество помещается только в рабочей части электрода, обращенной к плазме разряда и непосредственно подверженной катодному распылению. В этом случае соединение рабочей части электрода, имеющей толщину 1-6 мм, с основанием электрода, изготовленным из конструкционного материала /медь, нержавеющая сталь/ производится одним из известных способов: пайкой, склеиванием, диффузионной сваркой в вакууме или точечной электросваркой. При этом должны быть обеспечены прочность и хорошая электропроводность распыляемой части электрода и отвод тепла от бомбардируемой ионами поверхности. В отдельных случаях электрод может быть полностью выполнен из рабочего материала. Используемые материалы и способ изготовления электродов для каждого элемента указан в табл.2.

Методы пайки металлов и сплавов хорошо известны^{/13/}. Для соединения с основанием электрода из полупроводников /Si, Ge, PbSe /, а также Th были использованы методы, применяемые для изготовления контактов в полупроводниковой технике. Легкоплавкие металлы /Cd, In, Sn, Pb, Bi / были вплавлены в углубления в медном основании электрода^{/14,15/}. В этом случае для хорошего смачивания металлом медное основание необходимо предварительно залудить припоем с большим содержанием рабочего вещества, например, сплавом Вуда при изготовлении электрода из Bi.

Электроды из металлоидов и непроводящих соединений изготавливаются с помощью разработанной в Лаборатории ядерных реакций специальной технологии - горячего динамического прессования электродов в вакууме^{/16/}. Этот метод является основным методом изготовления электродов при использовании в качестве рабочего вещества разделенных изотопов, которые по технологии получения и регенерации, а также по условиям хранения имеются в виде окислов или солей. Рабочая часть электрода, изготовленного методом горячего динамического прессования, представляет собой однородную твердую суспензию рабочего материала в пластичном металле /например, меди, серебре, золоте/, армированную проволокой, закрепленной в проводящем /медном/ основании. Этапы изготовления распыляемого электрода и вид электрода до и после работы показаны на рис.3. Слева на рисунке - основание электрода, подготовленное для армировки; просверлены отверстия для закрепления проволочной арматуры. Рядом - основание, снабженное арматурой, на основании сделана насечка для улучшения качества соединения рабочей части с основанием. Основание помещают в пресс-форму, куда засыпают хорошо перемешанную смесь порошков рабочего материала /например, окисла или соли изотопа/ и связующего



Рис.3. Распыляемые электроды для ионного источника циклотрона У-400.

металла и прижимают пуансоном. Под воздействием давления и температуры, достаточных для пластической деформации связующего металла, образуется прочный, распыляемый рабочий слой, в котором равномерно распределено рабочее вещество. Одновременно

осуществляется диффузионное соединение распыляемого рабочего слоя с основанием. Чтобы предотвратить окисление связующего металла и нежелательное воздействие атмосферы на рабочий материал процесс изготовления электрода ведется в вакууме. Справа на рис.3 показаны готовый электрод и электрод с полностью распыленным в процессе работы рабочим слоем /крайний справа/. Электроды, изготовленные методом горячего динамического прессования, обладают хорошими эксплуатационными качествами и не имеют тех недостатков, которые отмечены в работе^{/15/} для электродов из солей и окислов металлов.

В некоторых случаях возможно холодное прессование электродов в обычных условиях. Таким способом были изготовлены электроды для ускорения ионов Li, Se, B и Zn. В качестве рабочих материалов были использованы LiF, элементарные Se и B, металлический Zn.

5. Взвешивание электродов и измерение оптических спектров атомов и ионов низких зарядностей в области расположения распыляемого электрода показали, что расход распыляемого материала пропорционален среднему току в цепи электрода и напряжению. Оптимальный расход материала электрода определяется условиями, в которых работает ионный источник, и особенностями его конструкции. Например, на стенде ионных источников, где магнитное поле не превышает 0,5 Тл, расход больше, чем на циклотронах, где поле порядка 2 Тл.

На стенде были измерены оптические спектры разряда в ионном источнике при использовании в качестве рабочего материала молибдена, а в качестве вспомогательного газа - ксенона^{/17/}. На рис.4 показано распределение интенсивности линии иона Mo⁴⁺ вдоль столба разряда. Пунктиром показаны верхняя и нижняя границы распыляемого электрода. По-видимому, при заданном размере эмиссионной щели для получения максимального тока ионов электрод должен перекрывать щель по длине. На циклотроне У-300 в двух вариантах начальной ионной оптики были использованы эмиссионные щели длиной 22 и 12 мм, соответствующий размер распыляемой грани

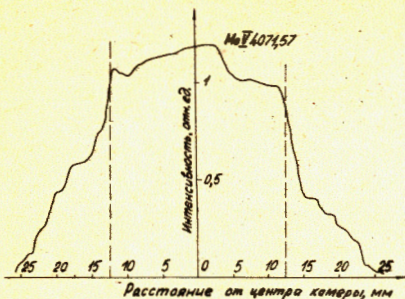


Рис.4. Распределение интенсивности линии Mo V с $\lambda = 4071,5 \text{ \AA}$ вдоль столба разряда.

электрода был 25 и 15 мм. Такие же электроды использовались и в стендовых испытаниях. На циклотроне У-400 при длине эмиссионной щели 10 мм использован электрод с длиной распыляемой грани 12 мм. Ширина распыляемой грани /размер в направлении поперек магнитного поля/ была во всех ионных источниках 6 мм. Расход распыляемого материала на стенде был до 200 мг/ч /при размере распыляемой грани 25x6 мм²/ ¹⁰. На циклотроне У-300 при тех же размерах поверхности электрода он составлял 40 ÷ 100 мг/ч ¹⁴. С уменьшением площади распыляемой грани до 15x6 мм² максимальный расход уменьшился до 50 мг/ч ¹². Герметизированный источник м.з.и. циклотрона У-400 /в котором также изменено расположение распыляемого электрода/ ⁷ позволяет снизить поток вспомогательного газа. Замечено, что в этом источнике уменьшен также расход твердого рабочего вещества. Так, расход магния в ионном источнике циклотрона У-400 был 15 мг/л, в то время как в источнике циклотрона У-300 расход составил 25 мг/ч ⁷.

На рис.5 приведены результаты фотометрической обработки спектров поперечного распределения атомов и ионов молибдена и ксенона в медианной плоскости циклотрона, т.е. на половине высоты разрядной камеры и электрода. Распределения вдоль столба разряда материалов катода и антикатода приведены в работах ¹⁸.

6. Многолетний опыт эксплуатации источников м.з.и. с катодным распылением рабочего вещества показал, что он является надежным и удобным в эксплуатации прибором. Источник позволяет получать на ускорителях /в том числе на ускорителях для технологических целей ⁹/ интенсивные пучки многозарядных ионов практически всех элементов периодической системы Д.И.Менделеева. Данный источник м.з.и. успешно используется для изучения оптических спектров многозарядных ионов ¹⁸. Для анодной плазмы в ионном источнике с распылением рабочего материала характерна высокая концентрация содержания в ней многозарядных ионов как вспомогательных газов, так и различных твердых веществ. Ионный источник описанного типа является, по-видимому, весьма перспективным для изучения взаимодействия плазмы, содержащей многозарядные и тяжелые ионы, с поверхностью твердого тела.

Авторы благодарны академику Г.Н.Флерову и профессору Ю.Ц.Оганесяну за внимание к работам с источниками многозарядных ионов.

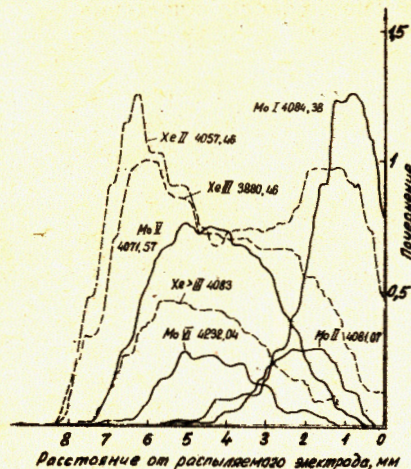


Рис.5. Поперечное распределение интенсивностей линий и атомов Mo и Xe.

ЛИТЕРАТУРА

1. Флеров Г.Н. Вестник АН СССР, 1984, вып.4, с. 35-48.
2. Морозов П.М., Маков Б.Н., Иоффе М.С. Атомная энергия, 1957, т. 2, вып. 53, с. 272-275.
3. Пасюк А.С. и др. ПТЭ, 1963, №5, с. 23-25.
4. Пасюк А.С., Третьяков Ю.Ц., Горбачев С.К. Атомная энергия, 1968, т. 24, вып. 1, с. 21-25.
5. Пасюк А.С., Кутнер В.Б., Третьяков Ю.П. ПТЭ, 1980, №1, с. 41-44.
6. Третьяков Ю.П. и др. ОИЯИ, Р7-4477, Дубна, 1969; Ат.энергия, 1970, т. 28, вып.5, с. 423.
7. Третьяков Ю.П. и др. Труды VII-го Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц, Дубна, 14-16 окт., 1980; 1981, Дубна, т.1, с. 81-84.
8. Schulte H., Jacobi W., Wolf B. IEE Trans. on Nucl.Sci., 1976, No 5-23, p. 1072-1048; Gavin B. et al. IEEE Trans. on Nucl.Sci., 1981, NS-28, No 3, p. 2684-2686.
9. Бредихин М.Ю., Ильенко Б.П. Препринт ХФТИ АН УССР, ХФТИ 81-25, Харьков, 1981; Бредихин М.Ю., Ильенко Б.П. ПТЭ, 1984, №4, с. 133-134.
10. Третьяков Ю.П. и др. Труды II Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Москва, 11-18 ноября 1970 г., "Наука", М., 1972, т. 1, с. 122-126.
11. Пасюк А.С., Третьяков Ю.П., Станку В. ОИЯИ, 1644, Дубна, 1964; ПТЭ, 1965, №3, с. 42-45.
12. Богомоллов С.Л. и др. Труды VIII Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Протвино, 19-21 окт. 1982, т.1, с. 112-115, Дубна, 1983.
13. Петрухин П.Е., Лоуманов С.И., Николаев Г.А. "Металлургия", М., 1973.

14. Третьяков Ю.П., Пасюк А.С. Труды IV Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. "Наука", М., 1975, т. 2, с. 43-45.
15. Leible K., Wolf B.H. Conference Series Number 38. The Institute of Physics, Bristol and London, 1977, p.96-102.
16. Третьяков Ю.П., Плотко В.М. Авт.свид.СССР №679083 от 16.09.77, ОИПОТЗ, 1981, №22, с. 308.
17. Третьяков Ю.П. ОИЯИ, Р7-80-641, Дубна, 1980.
18. Романов Н.П., Стриганов А.Р. Оптика и спектроскопия, 1969, 27, вып.4, с. 17-24; ЖТФ, 1966, 36, вып.4, с. 726-734.

СООБЩЕНИЯ, КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ, ПРЕПРИНТЫ И СБОРНИКИ ТРУДОВ КОНФЕРЕНЦИЙ, ИЗДАВАЕМЫЕ ОБЪЕДИНЕННЫМ ИНСТИТУТОМ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ, ЯВЛЯЮТСЯ ОФИЦИАЛЬНЫМИ ПУБЛИКАЦИЯМИ.

Ссылки на СООБЩЕНИЯ и ПРЕПРИНТЫ ОИЯИ должны содержать следующие элементы:

- фамилии и инициалы авторов,
- сокращенное название Института /ОИЯИ/ и индекс публикации,
- место издания /Дубна/,
- год издания,
- номер страницы /при необходимости/.

Пример:

1. *Первушин В.Н. и др. ОИЯИ, Р2-84-649, Дубна, 1984.*

Ссылки на конкретную СТАТЬЮ, помещенную в сборнике, должны содержать:

- фамилии и инициалы авторов,
- заглавие сборника, перед которым приводятся сокращенные слова: "В кн."
- сокращенное название Института /ОИЯИ/ и индекс издания,
- место издания /Дубна/,
- год издания,
- номер страницы.

Пример:

Колпаков И.Ф. В кн. XI Международный симпозиум по ядерной электронике, ОИЯИ, Д13-84-53, Дубна, 1984, с.26.

Савин И.А., Смирнов Г.И. В сб. "Краткие сообщения ОИЯИ", № 2-84, Дубна, 1984, с.3.

Рукопись поступила в издательский отдел
5 декабря 1984 года.

Внимание организаций и лиц, заинтересованных в получении публикаций Объединенного института ядерных исследований

Принимается подписка на препринты и сообщения Объединенного института ядерных исследований.

Установлена следующая стоимость подписки на 12 месяцев на издания ОИЯИ, включая пересылку, по отдельным тематическим категориям:

ИНДЕКС	ТЕМАТИКА	Цена подписки на год
1.	Экспериментальная физика высоких энергий	10 р. 80 коп.
2.	Теоретическая физика высоких энергий	17 р. 80 коп.
3.	Экспериментальная нейтронная физика	4 р. 80 коп.
4.	Теоретическая физика низких энергий	8 р. 80 коп.
5.	Математика	4 р. 80 коп.
6.	Ядерная спектроскопия и радиохимия	4 р. 80 коп.
7.	Физика тяжелых ионов	2 р. 85 коп.
8.	Криогеника	2 р. 85 коп.
9.	Ускорители	7 р. 80 коп.
10.	Автоматизация обработки экспериментальных данных	7 р. 80 коп.
11.	Вычислительная математика и техника	6 р. 80 коп.
12.	Химия	1 р. 70 коп.
13.	Техника физического эксперимента	8 р. 80 коп.
14.	Исследования твердых тел и жидкостей ядерными методами	1 р. 70 коп.
15.	Экспериментальная физика ядерных реакций при низких энергиях	1 р. 50 коп.
16.	Дозиметрия и физика защиты	1 р. 90 коп.
17.	Теория конденсированного состояния	6 р. 80 коп.
18.	Использование результатов и методов фундаментальных физических исследований в смежных областях науки и техники	2 р. 35 коп.
19.	Биофизика	1 р. 20 коп.

Подписка может быть оформлена с любого месяца текущего года.

По всем вопросам оформления подписки следует обращаться в издательский отдел ОИЯИ по адресу: 101000 Москва, Главпочтамт, п/я 79.

Третьяков Ю.П., Кутнер В.Б., Пасюк А.С., P7-84-774
Ионный источник для исследований взаимодействия многозарядных ионов и плазмы с поверхностью твердого тела

Описан эффективный источник многозарядных ионов с катодным распылением рабочего материала, выполненный на основе циклотронного источника с подогревным катодом и осцилляцией электронов. Из источника получены ионы высоких зарядностей вплоть до Xe^{15+} . Интенсивность пучков многозарядных ионов, извлеченных из эмиссионной щели площадью $15 \div 20 \text{ мм}^2$, составляет от десятков мкА до нескольких десятков мА. На циклотроне ускорены ионы металлов вплоть до Bi^{18+} . Описаны методы изготовления распыляемых электродов из различных рабочих материалов. Приведены данные по расходу материалов распыляемых электродов и катодов. Представлены распределения ионов и атомов материала электродов вдоль и поперек плазменного столба.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1984

Перевод авторов

Treryakov Yu.P., Kutner V.B., Pasyuk A.S. P7-84-774
An Ion Source for Studies of the Interactions of Multiply-Charged Ions and Plasma with Solid Surfaces

An effective high charge state ion source with the cathode sputtering of material, based on a cyclotron ion source with an indirectly heated cathode and electron oscillation, is described. Highly-charged ions up to Xe^{15+} are produced by this source. The intensity of the multiply-charged ion beams, extracted through an emission slit $15-20 \text{ mm}^2$ in area, lies in the range from tens of μA to several tens of mA. Metall ions up to Bi^{18+} have been accelerated in the cyclotron. The methods of manufacturing a sputtering electrode from various materials are described. Some data on the expenditure of sputtering electrode and cathode materials are given. The distributions of sputtering electrode ions and atoms along and across the plasma column are presented.

The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear Reactions, JINR.
Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1984