

**ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА**

13-88-621

**К. Корнажински¹, К. Кищак¹, А. Лятушински,
Д. Мончка¹, Я. Партыка², Ю. В. Юшкевич**

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОЛЕКУЛЯРНЫХ
И МНОГОЗАРЯДНЫХ ИОНОВ
В ПРОЦЕССЕ ИОННОГО ЛЕГИРОВАНИЯ**

Направлено в Оргкомитет Международной
конференции по ионной имплантации,
ПНР, сентябрь 1988 г.

¹ Институт физики УМКС, Люблин, ПНР

² Политехнический институт, Люблин, ПНР

ВВЕДЕНИЕ

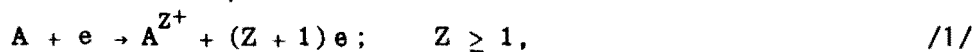
В связи с постоянным интересом к использованию ионных имплантаторов для модификации свойств поверхности твердого тела возникает необходимость создания конструкций ионных источников для получения ионов широкого круга химических элементов. Такие ионные источники должны обладать надежностью в эксплуатации и иметь достаточный срок работы.

На имплантаторе в ИФ УМКС /СРВР 01.06, г. Люблин/ и на масс-сепараторе в ЛЯП ОИЯИ используется несколько вариантов ионных источников с полым катодом^{1,2/}. Эти источники характеризуются простой конструкцией и относительно высокой эффективностью ионизации летучих и тугоплавких веществ. Описание данных источников, а также способов оптимизации их конструкций представлено в^{3,4/}. Показана их пригодность для процессов имплантации однозарядных ионов с дозами от 10^{12} до 10^{17} ионов на см^2 ^{5/}.

В настоящей работе представлены результаты исследования характеристик ионных источников с полым катодом и определены оптимальные условия получения молекулярных и многозарядных ионов ряда элементов для ионного легирования.

ИОННЫЙ ИСТОЧНИК

На рис. 1 показаны схемы конструкций используемых нами ионных источников с полым катодом. В замкнутом объеме цилиндрического катода /разрядная камера/ при достаточном давлении паров газов или веществ, поступающих из испарителя, и наличии анодного напряжения зажигается разряд, плазма которого занимает весь объем цилиндра. Разрядная камера помещена в однородное магнитное поле, силовые линии которого параллельны оси источника. Электрическое поле сосредоточено в биполярном слое между границей плазмы и внутренней поверхностью цилиндра. Поток электронов, эмитируемый с горячей поверхности катода, ускоряется в этом слое и при соударениях с атомами газа вызывает его ионизацию:



где Z - кратность заряда.

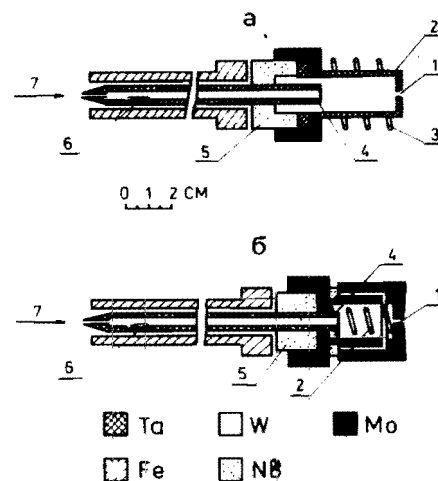


Рис. 1. Схема ионного источника. а - вариант I и б - вариант II. 1 - отверстие для извлечения ионов, 2 - полый катод, 3 - обогреватель, 4 - анод, 5 - изолятор, 6 - испаритель, 7 - ввод газа.

Существенный вклад в ионизацию вносят вторичные электроны, получаемые в процессе /1/. При компенсации внутреннего магнитного поля, образующегося при прохождении тока через катод, наружным полем B можно создать условия, при которых происходит постоянное удерживание электронов в разряде. Это увеличивает вероятность ионизации и, следовательно, плотность положительных ионов в разряде. Ионный ток I , вытягиваемый с поверхности плазмы через отверстие 1 /с учетом только одно- и двухзарядных ионов/, определяется выражением

$$I = I^+ + I^{++} = A e n_e Q \left(\frac{m}{K^2 T_0} \right)^{1/2} [\kappa_{0.1} + \kappa_{0.2} + A \left(\frac{16m}{K T_e} \right)^{1/2} n_e \kappa_{0.1} \kappa_{1.2}], \quad /2/$$

а их соотношение приблизительно равно

$$\frac{I^+}{I^{++}} = \frac{\kappa_{0.1}}{2\kappa_{0.2}} \left[1 + A \frac{a \cdot m \cdot Q}{(K^3 T_e T_0^3)^{1/2}} \right], \quad /3/$$

где A - постоянная, определяемая геометрией ионного источника; e - заряд электрона; n_e - концентрация электронов в плазме; $\kappa_{0.1}$ и $\kappa_{0.2}$ - постоянные процесса ионизации атома в одно- и двухзарядный ион; $\kappa_{1.2}$ - постоянная процесса ионизации однозарядного иона в двухзарядный; m - масса атома; K - постоянная Больцмана; T_e - температура электронов; T_0 - температура атомов; a - коэффициент перезарядки двукратно заряженного иона; Q - скорость подачи газа в ионный источник.

Из уравнений /2/, /3/ следует, что основными параметрами для работы источника являются n_e - определяющая ток разряда I_a ,

T_e - зависящая от анодного напряжения U_a , геометрические размеры разрядной камеры /постоянная A /, T_0 - в первом приближении равная температуре стенок разрядной камеры. В определенных геометрических и температурных условиях работы ионного источника отношение концентрации однократно и двукратно заряженных ионов прежде всего зависит от потока вещества Q , температуры электронов T_e и атомов T_0 , коэффициента перезарядки α , определяемого родом соударяющихся частиц и их относительными скоростями.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

На рис. 2-4 показаны основные характеристики ионных источников. На рис. 2 представлены зависимости ионных токов от анодного напряжения, тока разряда и тока катушки (I_B), создающего внешнее магнитное поле. Ионные токи измерялись цилиндром Фарадея /с точностью до 2%/ в коллекторе электромагнитного масс-сепаратора. Данные кривые получены для ионов одно-, дву-, трех- и четырехкратно заряженного ксенона, одно- и двукратно заряженного мышьяка, селена и индия, а также моле-

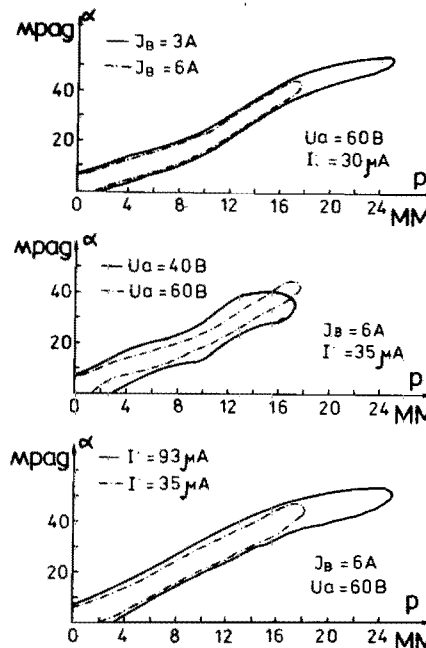


Рис. 3. Эмиттанс ионных пучков.

кулярных ионов In_2^+ , Se_2^+ и As_2^+ . Ход представленных кривых /рис. 2а и б/ согласуется с формулой /2/. Кривые на рис. 2в позволяют выбрать величину тока катушки / $I_B \approx 4,5$ А/ для компенсации магнитного поля.

Кроме величины ионного тока, извлекаемого из источника при проведении процесса имплантации, важным фактором является форма ионного пучка, так как она определяет возможность его эффективного использования.

На рис. 3 показаны кривые эмиттанса ионных пучков, полученных при разных условиях работы ионного источника /кривые в третьем квадранте являются зеркальным изображением первого/.

Как видно из рисунка, основным фактором, влияющим на эмиттанс пучка, является величина ионного тока. В процессе имплантации нами использовался ионный ток до $200 \mu A$, и при этом 80% его величины было сосредоточено на 20% площади эмиттанса.

Представленные зависимости на рис. 2 и 3 позволяют определить оптимальные условия работы ионного источника /например, $U_a = 600$ В, $I_a = 2$ А; $I_B = 5$ А/ для имплантации молекулярных и многозарядных ионов. В таких условиях были вычислены зависимости отношений ионных токов I^+/I^{++} и I^+/I_2^+ в функции температуры испарителя $T_{и}$, которая определяет поток нейтральных атомов Q . Полученные результаты для In и Se показаны на рис. 4. В соответствии с формулой /3/ наблюдается увеличение соотношения I^+/I^{++} с ростом температуры испарителя, т.е. с повышением давления паров ионизируемого вещества в разрядной камере. Аналогичная зависимость получена и для отношения I^+/I_2^+ . Следовательно, при имплантации ионов типа I^{++} и I_2^+ температура испарителя должна быть минимальной.

В таблице помещены полученные нами экспериментальные данные, показывающие возможность получения атомарных, молекулярных, одно- и многократно заряженных ионов различных элементов, а также даны исходные рабочие вещества, температура испарителя, величина ионного тока и время имплантации в образец пло-

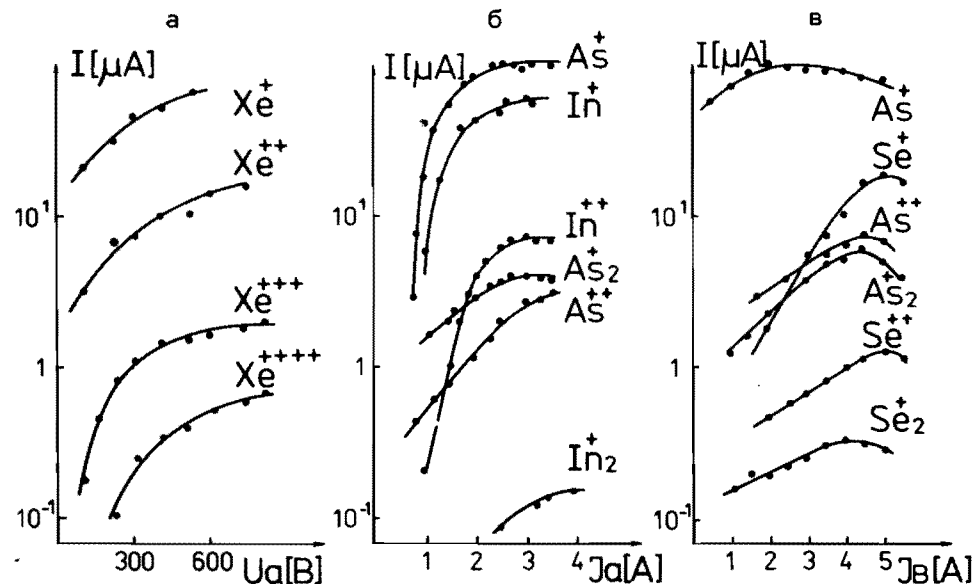


Рис. 2. Зависимости ионных токов от анодного напряжения, тока разряда и тока катушки, создающей внешнее магнитное поле.

1	2	3	4	5
Ga ⁺		900	77	12
Ga ₂ ⁺	Ca	800	0,9	538
Ga ⁺⁺		800	6,7	287
As ⁺		300	104	9
As ₂ ⁺	As	250	4	120
As ⁺⁺		250	3,5	549
Se ⁺		400	23	42
Se ₂ ⁺	Se	350	0,2	2400
Se ⁺⁺		350	8	240
Se ⁺	Se + CCl ₄	200	55	17
Kr ⁺	Kr	-	50	19
Ag ⁺		850	13	74
Ag ₂ ⁺	Ag + CCl ₄	800	3	641
Ag ⁺⁺		800	0,13	3700
Cd ⁺	Cd	200	50	12
In ⁺		750	95	10
In ₂ ⁺	In	600	11	44
In ⁺⁺		600	0,25	7690
Te ⁺	Te	300	30	32
Xe ⁺			100	10
Xe ⁺⁺	Xe	-	20	96
Xe ⁺⁺			0,2	14400
Hg ⁺	Hg	-	18	53
Tl ⁺	Tl	500	63	15
Tl ⁺⁺			6	320
Pb ⁺	Pb	500	52	18
Pb ⁺⁺			28,3	68

ло показано в экспериментах, где измерялись остаточная активность изотопа ¹⁵²Tb, имплантированного в алюминий /методом многократного снятия слоев/, и распределение по глубине /методом SIMS/ ионов Ti⁺ и Ti⁺⁺ в GaAs-мишени. На рис. 5а представлены зависимости толщины слоев R, после снятия которых в мишени оставалось 50, 10, 1 и 0,1% начальной активности от энергии внедрения^{/7/}. Из рис. 5б видно, что распределения по глубине ионов Ti⁺, имплантированных с ускоряющим напряжением 150 кВ, и ионов Ti⁺⁺ с напряжением 75 кВ, совпадают и согласуются с расчетами /сплошная линия/^{/5/}.

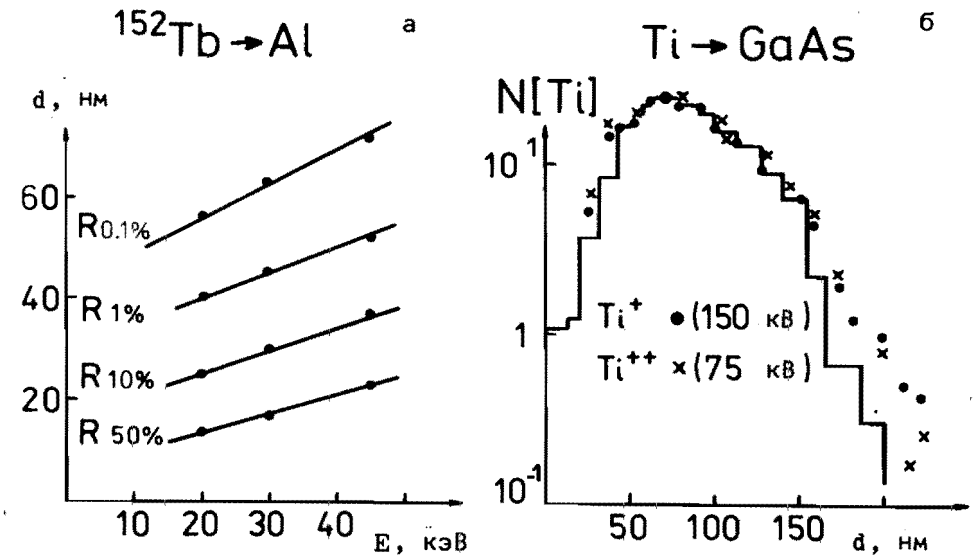


Рис. 5. Зависимость глубины внедрения от энергии имплантируемых ионов /а/, распределение по глубине тонов Ti⁺ и Ti⁺⁺ в GaAs /б/.

Возможность увеличения энергии ионных пучков существенна при изучении поверхности твердого тела методами PIXE, SIMS и др.^{/8/}. А уменьшение энергии имплантированных ионов необходимо, например, при имплантациях в кристаллический германий для получения тонкого переходного слоя /окна/ типа Р для GeLi-детекторов. Такая возможность показана в работах^{/9,10/} при имплантациях в суперчистый германий ионов Ga и Li. Кроме того, проводя последовательно процесс внедрения ионов типа I⁺⁺, I⁺ и I₂⁺, можно получать различную форму распределения имплантированных ионов в твердом веществе, изменяя ее от гауссовской /для ионов одного типа/ до равномерной по всей глубине.

ЛИТЕРАТУРА

1. Zuk W., Kiszczak, Maczka D. Prace Naukowe ITE, Polit. Wroclawska 1978, No.221.
2. Афанасьев В.П. и др. ОИЯИ, 13-4763, Дубна, 1969.
3. Latuszynski A., Maczka D., Yushkevich Yu.V.- In: Proc. 4th Int. Conf. on Ion Implantation, Berchtesgaden, FRG, 1981, p.106.

4. Latuszaynski A et al. - Vacuum, 1986, 30, p.263.
5. Maczka D. et al. - NIM, 1987, B21, p.521.
6. Maczka D., Gromova I.I., Zuk W. - Nucleonika, 1978, 22, p.921.
7. Киселевич М. и др. ОИЯИ, 14-8304, Дубна, 1974.
8. Dearnaley G. et al. Ion Implantation. North-Holland Publ. Co., Amsterdam-London, 1973.
9. Slapa M. et al. - In: Proc. 3th Ann. Denver X-Ray Conf., University of Denver, USA, 1981, p.1.
10. Голиков В.М. и др. ОИЯИ, 13-83-669, Дубна, 1983.

Рукопись поступила в издательский отдел
11 августа 1988 года.

Корнажински К. и др. 13-88-621
Использование молекулярных и многозарядных
ионов в процессе ионного легирования

Представлены результаты исследования рабочих характеристик ионных источников с полым катодом, определены оптимальные условия получения молекулярных и многозарядных ионов ряда элементов для ионного легирования.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1988

Перевод О.С.Виноградовой

Kornarzynski K. et al. 13-88-621
The Use of Molecular and Multicharged
Ions During Ionic Implantation

The experimental results on hollow-cathode ion source investigation are presented, the optimal conditions for production of molecular and multicharged ions of a number of elements for ionic implantation are obtained.

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

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1988