

10

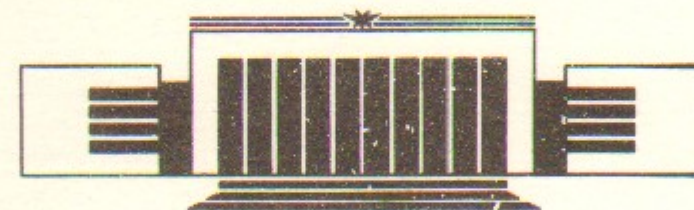


ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ СО АН СССР

В.Г. Шамовский

**ИОННЫЙ ИСТОЧНИК  
С ПОВЫШЕННЫМ РЕСУРСОМ РАБОТЫ**

**ПРЕПРИНТ 88-21**



НОВОСИБИРСК

Ионно-лучевая технология находит в настоящее время все более широкое применение во многих отраслях современного производства. В первую очередь — в производстве приборов современной электроники, где уровень развития этой технологии в значительной степени определяет все стороны прогресса в этой области (переход ко все более высокому уровню интеграции полупроводниковых приборов, их качество, надежность, массовость производства). Кроме того, обработка поверхностей различных материалов определенными сортами ионов придает им новые, а иногда и уникальные свойства. Существенно повышается их устойчивость к коррозии, износостойкость, микротвердость и т. д., что очень важно в производстве отдельных, особо ответственных деталей приборов и машин.

Определяющим элементом любой ионно-лучевой установки является ионный источник, от качества работы которого в заметной степени зависят ее эксплуатационные свойства. К ионному источнику, как правило, предъявляются довольно жесткие требования. При относительной простоте конструкции он должен отличаться надежностью и устойчивостью работы, стабильностью параметров пучка, простотой управления, наладки и обслуживания и, что весьма существенно, обладать возможно большим ресурсом непрерывной работы.

В существующих в настоящее время ионно-лучевых установках, которые интенсивно разрабатываются во всем мире, применяется большое количество типов ионных источников, различающихся как по принципам работы, так и по конструкции [1—6]. И, хо-

тя они в своей совокупности, в основном, перекрывают нужды ионно-лучевых технологий, анализ работы этих установок показывает, что ионный источник, как правило, является самым слабым их элементом, лимитирующим срок непрерывной работы установки (в типичных случаях это  $\sim 10$  часов). Связанная с этим необходимость частых профилактических ремонтов установки существенно снижает ее производительность, повышает трудоемкость, и заметно сказывается на качестве продукции.

В связи с этим нами была предпринята попытка разработки простого ионного источника удовлетворяющего перечисленным выше требованиям и имеющего возможно больший ресурс непрерывной работы.

Конструкция ионного источника схематически приведена на рис. 1. В генераторе плазмы газовый разряд горит между анодом 4 с выходным отверстием и накаливаемым катодом 8, выполненным из вольфрамовой проволоки диаметром 1.5 мм. Мощность, потребляемая накаливаемым катодом  $< 250$  Вт. Для повышения плотности плазмы в области выходного отверстия применен контрагирующий электрод 5, находящийся под плавающим потенциалом. Большая катодная полость, образованная электродом 6, работая как полый катод, в значительной степени разгружает термокатод и существенно облегчает условия горения разряда. Для уменьшения разрушения термокатода в результате катодного распыления в конструкции применен дополнительный электрод 7, находящийся под плавающим потенциалом. Существенно снижая плотность плазмы вблизи термокатода, этот электрод, не изменяя его тока эмиссии, уменьшает поток ионов из плазмы на термокатод, что, в свою очередь, резко уменьшает скорость его разрушения под действием ионной бомбардировки. Система формирования пучка образована выходным отверстием, эспандером 3 и обычной двухэлектродной системой экстрагирующих электродов 1 и 2.

Ионный источник испытывался на специальном стенде, состоящем из вакуумной камеры, откачивавшейся диффузионным насосом с эффективной скоростью откачки 500 л/с, и высоковольтного блока с необходимыми системами питания.

Ионный ток из источника измерялся обычным цилиндром Фарадея с подавлением вторичной эмиссии, расположенным на расстоянии 120 мм от выходного отверстия. Измерение радиального распределения плотности ионного тока в сформированном пучке проводилось двумя способами: во-первых, с помощью линейного

зонда, представлявшего собой тонкую вольфрамовую нить, перемещавшуюся в направлении, перпендикулярном направлению распространения пучка (величина  $J(R)$  вычислялась по результатам измерения величины сигнала зонда), и во-вторых, по прохождению ионов в цилиндр Фарадея после ограничения сечения пучка набором диафрагм известной апертуры. Расстояние этих устройств от выходного отверстия источника 100 мм. Для контроля эффективности компенсации пространственного заряда сформированного ионного пучка вторичными электронами, специальным коллектором измерялся энергетический спектр вторичных ионов, идущих из пучка. Массовый анализ сформированного ионного пучка проводился с помощью магнитного анализатора с полем на постоянных магнитах ( $B \times L = 12$  кГс·см).

Испытания ионного источника с использованием аргона в качестве рабочего газа показали, что спокойный, малозумящий газовый разряд устойчиво горит в широком диапазоне токов разряда (0.1—5 А), давлений  $(0.8—10) \cdot 10^{-4}$  Торр, мощностей накала термокатода (180—250 Вт).

На рис. 2 приведена вольт-амперная характеристика газового разряда ионного источника и потребляемая им мощность в зависимости от тока разряда, измеренные в условиях, близких к оптимальным для формирования ионного пучка (давление в вакуумной камере  $1.4 \cdot 10^{-4}$ , мощность питания термокатода 210 Вт).

Измеренные в этих условиях зависимости тока ионного пучка от величины тока разряда при различных ускоряющих напряжениях приведены на рис. 3. Вид представленных здесь кривых характерен для ионно-оптических систем со свободной плазменной границей. Немонотонность роста ионного тока при увеличении тока разряда связана, очевидно, с изменением формы плазменной границы в эспандере, при изменении плотности плазмы.

Влияние изменения ее формы на формирование пучка хорошо иллюстрируют и результаты измерения профиля пучка, проведенные линейным зондом при постоянном токе разряда источника и при различных ускоряющих напряжениях (рис. 4).

Результат прямого измерения доли пучка, проходящего в цилиндр Фарадея после ограничения его сечения диафрагмами с известной апертурой, приведены в таблице.

Диаметр ограничивающей диафрагмы, мм		5	10	15
Максимальный угол расходимости, рад		$\pm 0.025$	$\pm 0.050$	$\pm 0.075$
Доля частиц, прошедшая в цилиндр Фарадея	При $U_{\text{ускор}} = 10$ кВ	0.59	0.81	0.85
	При $U_{\text{ускор}} = 15$ кВ	0.64	0.73	0.86

Видно, что 80% ионов обладают угловой расходимостью  $< 0.05$ . По результатам зондовых измерений поперечного профиля

пучка вычислялась величина  $K(R) = \frac{\int_0^R j(r)r \cdot dr}{\int_0^\infty j(r)r \cdot dr}$  (рис. 5). Здесь же

помечены результаты, приведенные в таблице. Как можно видеть, оба способа измерения поперечного профиля пучка достаточно хорошо согласуются между собой.

Была предпринята попытка измерить фазовый портрет пучка методом щелей (рис. 6). Результат этих измерений приведен на рис. 7. Вычисленный по этим измерениям фазовый объем пучка составляет величину 0.024 (см·рад). Здесь следует отметить следующее. В связи с относительно высокой плотностью тока в ионном пучке и малым поперечным размером отдельных его струек (см. рис. 5), пространственный заряд последних в принципе не может быть компенсирован вторичными электронами. Поперечная расходимость ионов в струйках под действием сил пространственного заряда приводит, как показывает оценка, к поперечному размеру струйки в месте его измерения, сравнимому с измеренным экспериментально. Поэтому, полученная и в этом случае величина фазового объема может служить лишь его верхней оценкой. Более детальные измерения этой величины на данном этапе не проводились в связи с их значительной трудоемкостью и достаточностью полученной информации для наших дальнейших целей.

При исследовании формирования ионного пучка контролирова-

лась эффективность компенсации его пространственного заряда вторичными электронами, которая, в принципе, может нарушаться как несовершенством канала транспортировки пучка, так и флуктуациями его интенсивности. Контроль осуществлялся посредством измерения энергетического спектра вторичных ионов, идущих из сформированного ионного пучка. В случае, когда компенсация невозможна (напряжение супрессора равно нулю), энергетический спектр вторичных ионов простирается до энергий 150—200 В. В нормальном же режиме формирования, при напряжении супрессора 2—2.5 кВ, максимальная регистрируемая энергия вторичных ионов не превышала 10—15 В, что свидетельствует о достаточной эффективности компенсации.

На рис. 8 приведен массовый спектр ионного пучка, полученный с помощью массанализатора. Видно, что ионный источник генерирует достаточно чистый пучок ионов аргона с небольшой, ~1%, примесью двухзарядных ионов.

Ресурсные испытания ионного источника проводились на арго-не в течение 100 часов. После проведенных испытаний сколько-нибудь заметных разрушений деталей конструкции, включая термокатод, обнаружено не было. Это позволяет надеяться, учитывая, кроме того, высокую стабильность генерированного пучка и простоту управления его параметрами, на успешное использование источников такого типа в ионно-лучевых промышленных установках.

В заключение автор считает долгом выразить благодарность Н.С. Диканскому за интерес к работе и Г.Ф. Балыкову за помощь в подготовке экспериментов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. J.H. Freeman, Nucl. Instr. and Meth. 22 (1963) 306.
2. B. Cobic, D. Tosic, B. Perovic. Nucl. Instr. and Meth. 24 (1963) 358.
3. G. Sidenius, Proc. Int. Conf. on Electromagnetic Isotop Separation Marburg, (1979) 423.
4. J. Illigen, R.K. Kircnner, and j. Shulte. IEEE Trans. Nucl. Sci NS-19, (1979) 35.
5. H. Baumann, K. Bethge Nucl. Instr. and Meth. 189 (1981) 107.
6. N. Sakudo, K. Tokiguchi, H. Koike, I. Kanomata. Rev. Sci. Instr 48 (1977) 762.

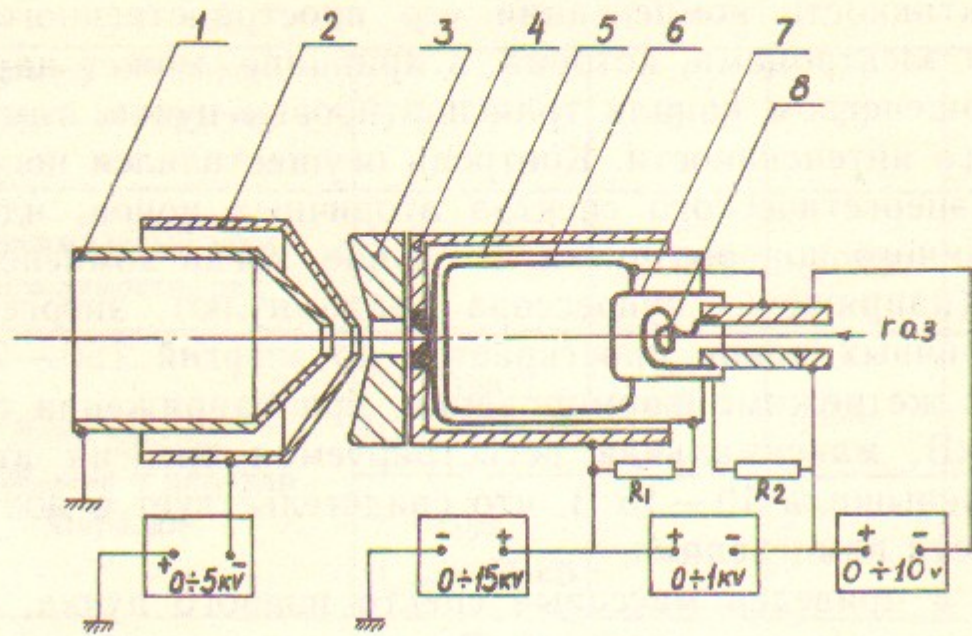


Рис. 1. 1,2—электроды системы формирования пучка; 3—экспандер; 4—анод; 5—контрагирующий электрод; 6—полый катод; 7—дополнительный электрод; 8—термокатод.

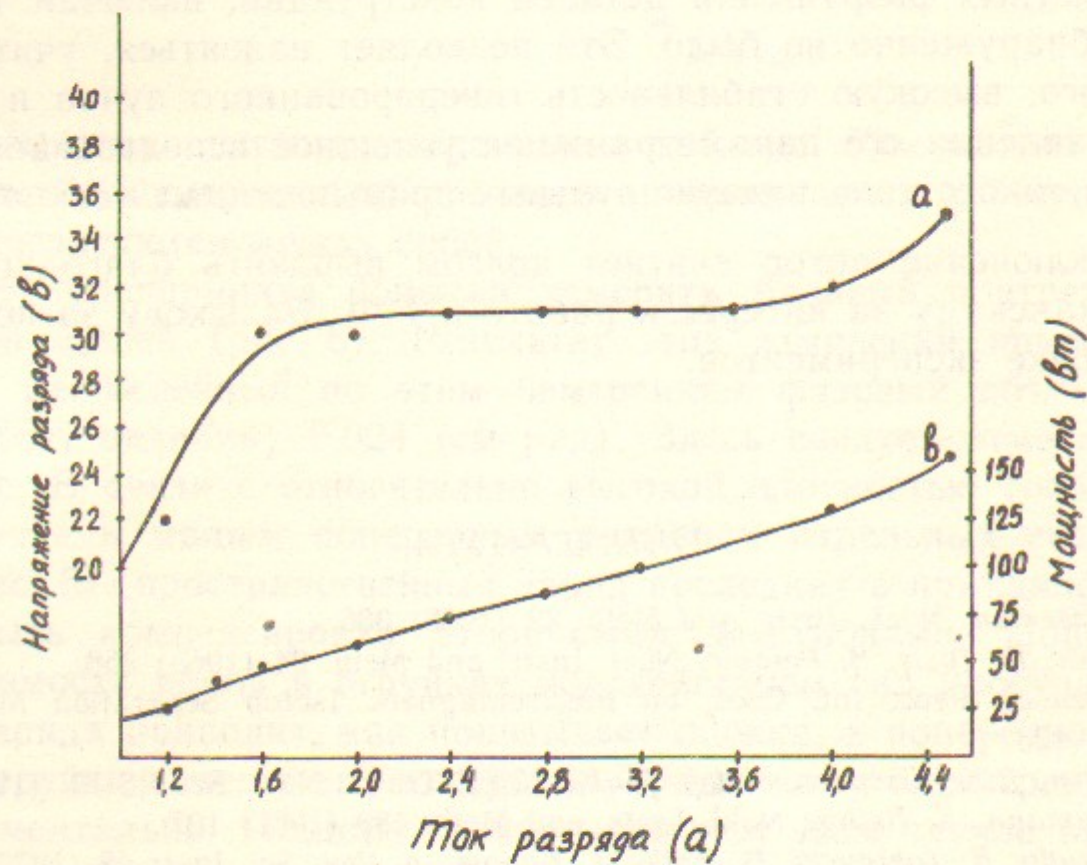


Рис. 2. *a*—вольтамперная характеристика разряда; *b*—мощность потребляемая разрядом.

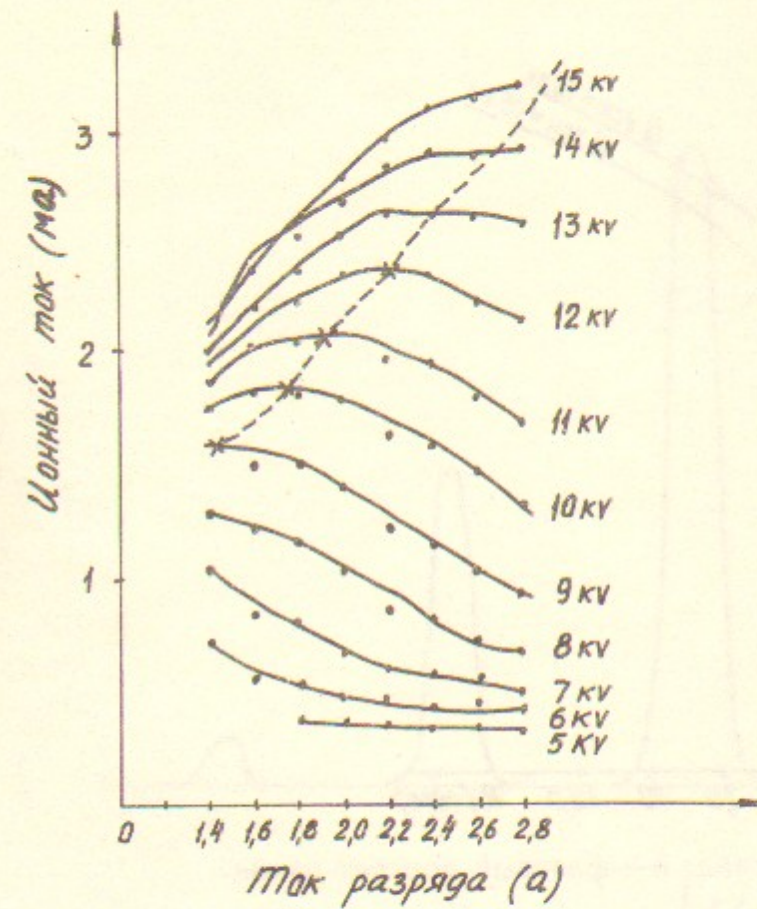


Рис. 3. Зависимость ионного тока от тока разряда при различных вытягивающих напряжениях (пунктиром помечено оптимальное значение вытягивающего напряжения).

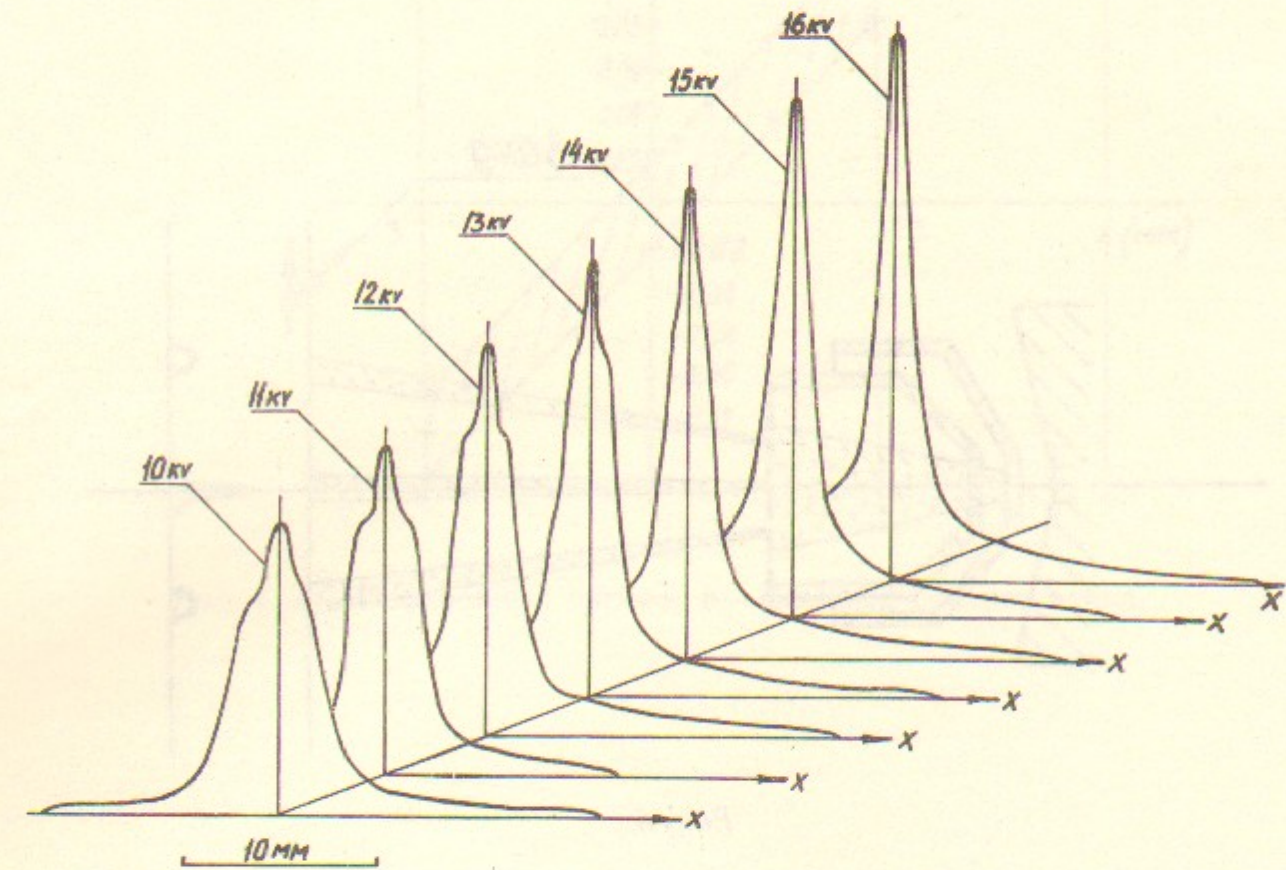


Рис. 4. Профиль сформированного ионного пучка в зависимости от вытягивающего напряжения, измеренный линейным зондом (относительные единицы).

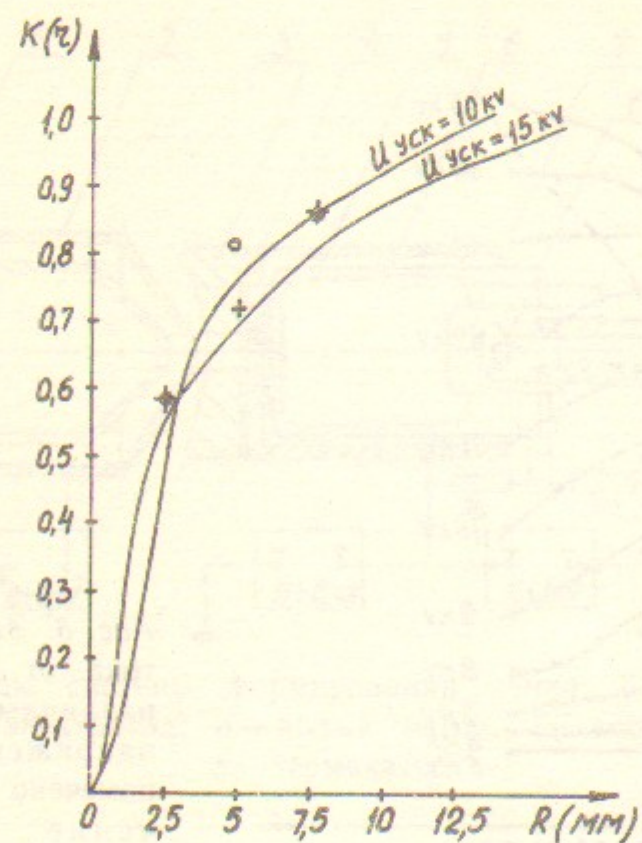


Рис. 5. а — Измеренный сигнал; б — фазовый портрет пучка.

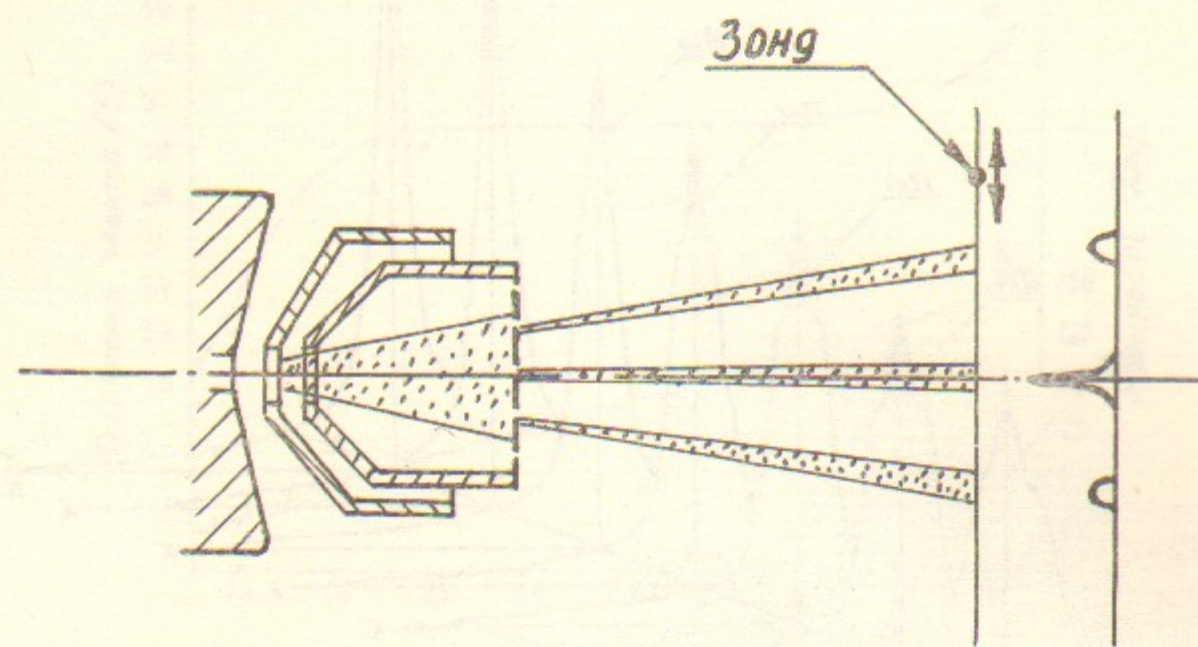


Рис. 6.

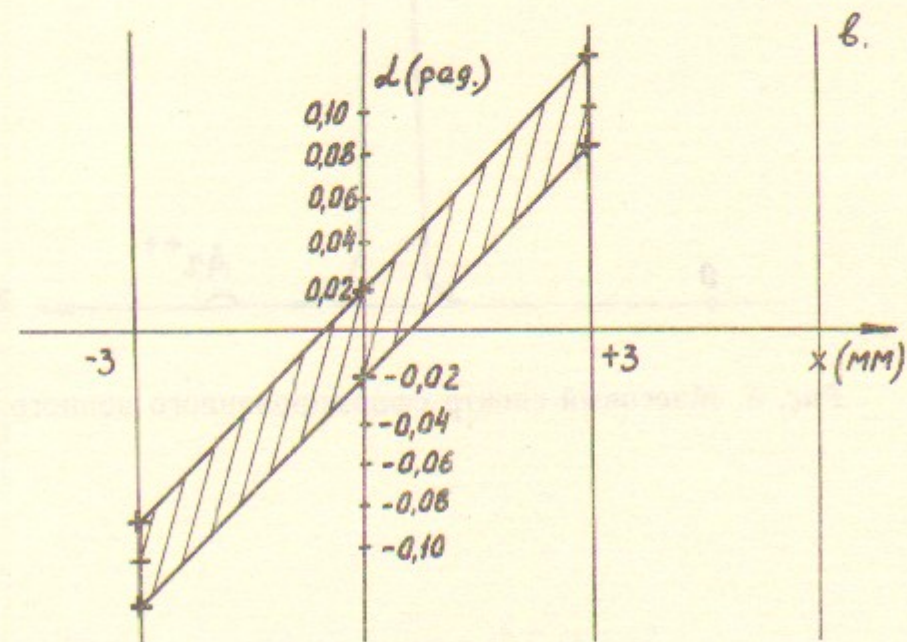
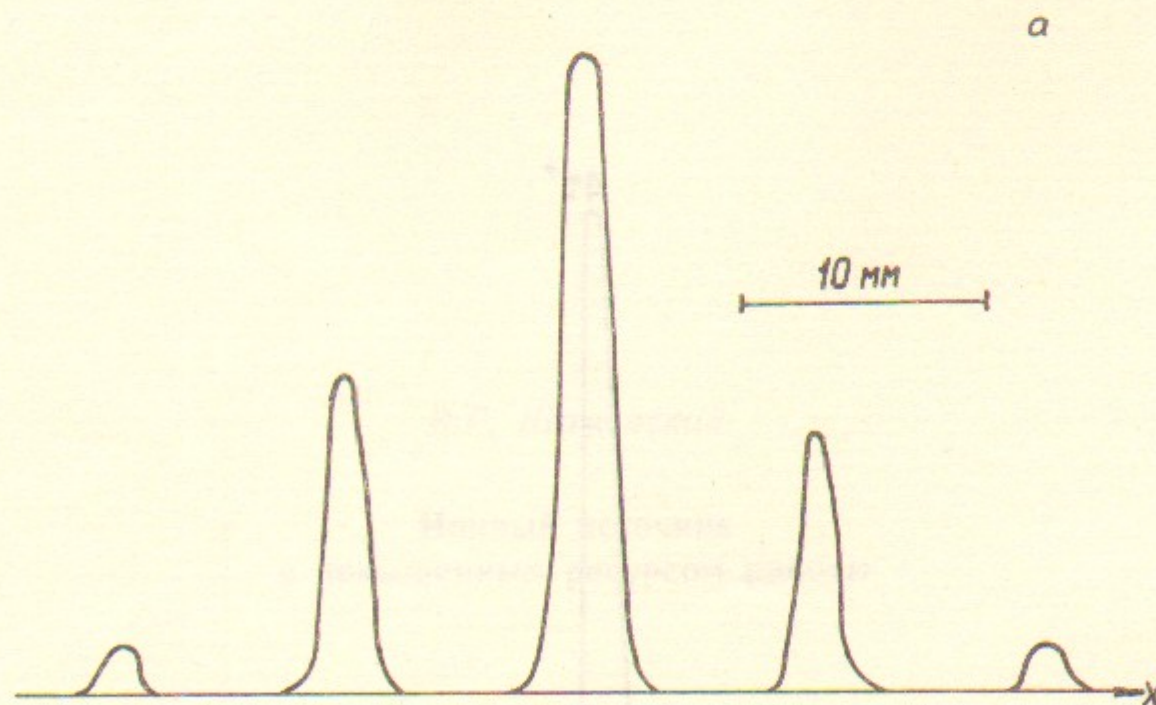


Рис. 7. а — Измеренный сигнал; б — фазовый портрет пучка.

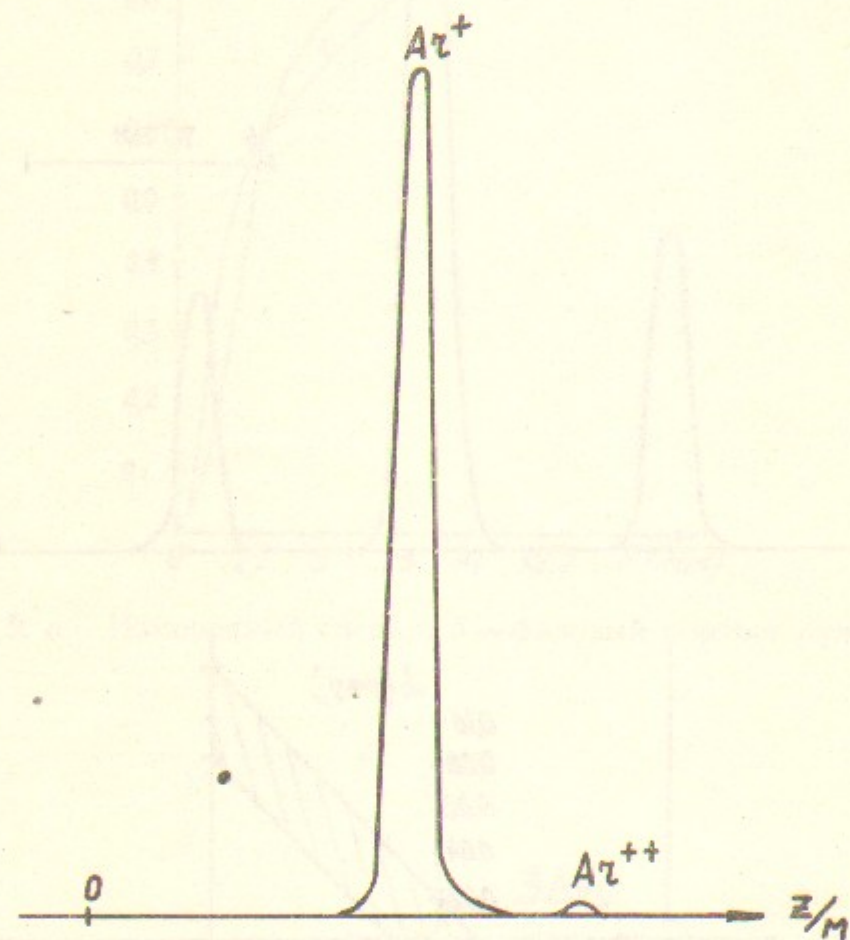


Рис. 8. Массовый спектр сформированного ионного пучка.

*В.Г. Шамовский*

**Ионный источник  
с повышенным ресурсом работы**

Ответственный за выпуск С.Г.Попов

Работа поступила 22 января 1988 г.  
Подписано в печать 11.02. 1988 г. МН 00416  
Формат бумаги 60×90 1/16 Объем 1,1 печ.л., 0,9 уч.-изд.л.  
Тираж 150 экз. Бесплатно. Заказ № 21

*Набрано в автоматизированной системе на базе фото-  
наборного автомата ФА1000 и ЭВМ «Электроника» и  
отпечатано на ротапинтере Института ядерной физики  
СО АН СССР,  
Новосибирск, 630090, пр. академика Лаврентьева, 11.*