

**Объединенный  
институт  
ядерных  
исследований  
Дубна**

7-84-621

**В.Г.Новиков, Р.Тарашкевич**

**ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННЫЙ ИСТОЧНИК  
НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПЛАЗМЫ  
С ПОВЫШЕННЫМ СРОКОМ СТАБИЛЬНОЙ РАБОТЫ**

Направлено в журнал  
"Приборы и техника эксперимента"

**1984**

Получение потоков низкотемпературной плазмы различных химических элементов /или их смесей/ возможно многими способами: с помощью плазменной пушки <sup>1,2/</sup>, лазерного луча <sup>3/</sup>, с использованием электрической дуги, искрового разряда <sup>4/</sup>, взрывающихся проводников <sup>5/</sup> и т.д. Независимо от целей и способов получения плазменных потоков и сгустков естественно стремление стабилизировать работу источника плазмы, обеспечить наилучшую повторяемость основных параметров получаемой плазмы /скорость и концентрация частиц в сгустке, ионная и электронная температура и т.д./ от цикла к циклу в течение длительного периода эксплуатации источника, а также увеличить время надежной работы источника.

Электроэрозионные источники, работающие в импульсном режиме /см., например, <sup>4/</sup> /, обеспечивают до  $10^6$  срабатываний без замены отдельных узлов /электродов, прокладок/, однако в процессе их работы эрозионная зона на поверхности электродов приобретает форму постепенно углубляющегося кратера, что приводит к возрастанию нестабильности параметров потока получаемой плазмы и, в конечном итоге, к прекращению работы источника.

Нами разработан импульсный электроэрозионный источник, имеющий ресурс стабильной работы не менее  $10^7$  срабатываний. Он прост по устройству и легко поддается оперативной настройке.

Собственно источник представляет собой двухэлектродный вакуумный разрядник, один из электродов которого, имеющий цилиндрическую форму, помещен внутрь тонкостенной керамической трубки, в боковой стенке которой, на середине ее длины, имеется отверстие диаметром 1,5 мм /разрядный канал/. Второй электрод, снабженный сопловым отверстием, расположен на наружной поверхности этой трубки, так что оси разрядного канала и соплового отверстия совпадают. Соприкасающиеся поверхности электродов и трубки притерты с точностью не хуже 0,03 мм. С помощью специального привода в процессе работы источника внутренний электрод медленно перемещается внутри трубки вдоль ее оси с одновременным вращением вокруг этой оси. Схематическое изображение источника с приводом дано на рис.1. Здесь 1 - вакуумная камера, 2 - центральный /цилиндрический/ электрод, 3 - керамическая трубка с разрядным каналом "а", 4 - наружный электрод с сопловым отверстием "б", 5 - двигатель, 6 - преобразователь движения.

При подаче на электроды 2 и 4 высоковольтного импульса напряжения вдоль стенки разрядного канала возникает поверхностный разряд, создающий "затравочную" плазму, которая и обеспечивает дальнейшее развитие электрического разряда между электро-

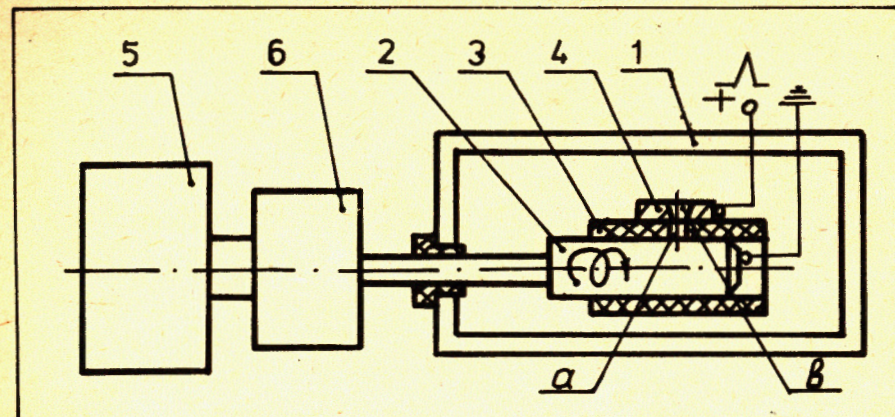


Рис. 1

дами 2 и 4. Образовавшаяся в результате эрозии электродов плазма истекает через сопловое отверстие "б" в вакуумный объем. На рис.2 приведена фотография светящегося "факела" истекающей из источника плазмы, виден источник, диагностический зонд и подводящие провода.

Упрощенная электрическая схема генератора импульсного напряжения и тока приведена на рис.3. Накопителем мощности служат 6 линий Блюмляйна /на схеме показаны 2 из них/, которые могут быть соединены в последовательные или параллельные группы в за-

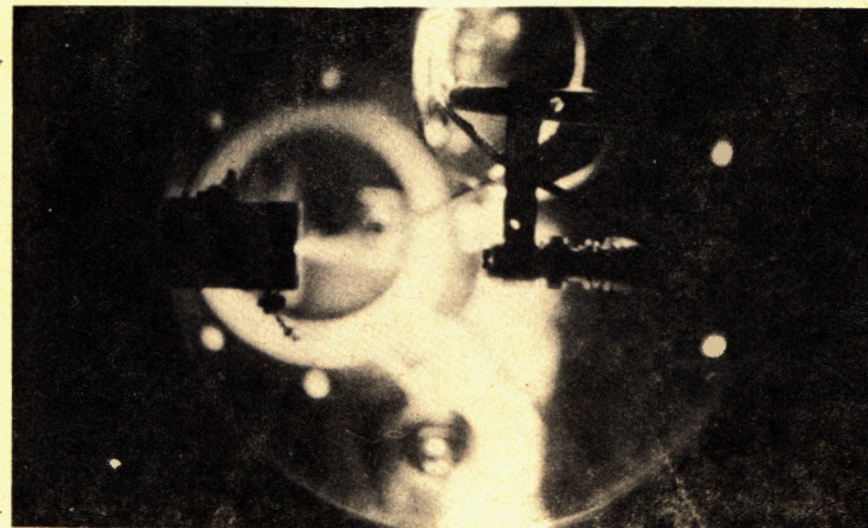


Рис. 2

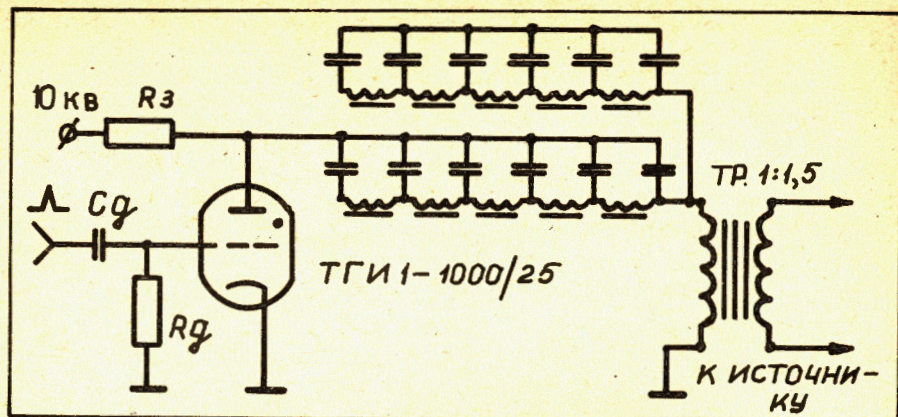


Рис. 3

висимости от требований эксперимента, зарядное напряжение варьируется в пределах  $3 \pm 16$  кВ. В большинстве испытаний источника использовалось параллельное соединение всех 6 линий, при этом зарядное напряжение линий составляло 10 кВ /на источник трансформировалось 15 кВ/, амплитуда рабочего тока источника 1000 А, длительность импульса тока /по основанию/ 2 мкс, импульсы тока униполярные.

Первоначально предполагалось изготавливать внешний /неподвижный/ электрод из материала с высокой температурой плавления и высокой удельной теплотой сублимации. Оказалось, однако, что степень эрозии электродов в большей мере существенно зависит от полярности их друг относительно друга, т.е. от направления протекающего между ними тока. Независимо от материала электродов, заметной эрозии всегда подвергался тот электрод, который при работе источника являлся катодом. Так, например, в источнике с внешним электродом из свинца /анод/ и внутренним из вольфрама /катод/ после наработки более 48 ч визуально заметной эрозии подвергся только внутренний, вольфрамовый электрод. После же переплюсовки электродов всего часа работы источника эрозийный кратер на внешнем электроде достиг /в глубину/ 0,3 мм и срабатывания его стали нерегулярными. На внутреннем электроде оказался слой напыленного свинца. По-видимому, эти явления объясняются катодным распылением и близкими к нему механизмами.

Оказалось также, что потенциал плазмы на выходе источника при любой полярности электродов равен, с точностью до ошибки измерения, потенциалу внутреннего электрода. Все это однозначно определило удобный для практической работы вариант электрической схемы запитки источника: внутренний электрод заземлен, а на наружный подается положительный импульс напряжения /хотя возможны и другие варианты, например, оба электрода - под плавающим потенциалом, наружный электрод - анод/.

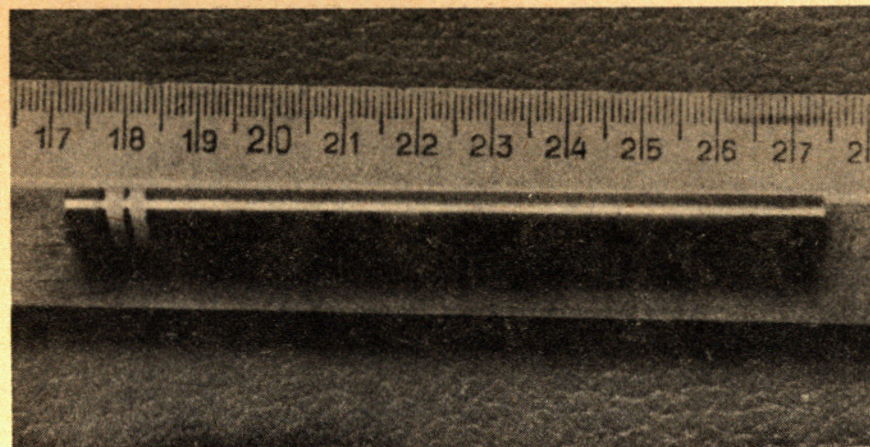


Рис. 4

В выбранном варианте электрического включения источник прошел непрерывные испытания на ресурс свыше  $10^7$  срабатываний /1,5 мес. работы с частотой 3 Гц/ без заметного износа наружного электрода /оба электрода были медными/. На рис.4 приведена фотография центрального электрода источника после наработки в течение 32 ч.

Интегральные характеристики потока плазмы из источника были измерены методом напыления тонких пленок на изолирующие и металлические подложки с последующим их анализом на интерференционном микроскопе МИИ-4. В таблице приведены данные о толщине напыленной на подложку пленки в зависимости от расстояния от центра напыленного слоя /подложка на расстоянии 6 см от источника,  $J_{разр} = 1,2$  кА, 80000 срабатываний, ц. электрод медный/. График этого распределения представлен на рис.4. Его обработка дает полное число частиц в напыленном слое  $\sim 2,5 \times 10^{17}$ , т.е.  $\sim 3 \times 10^{12}$  частиц в импульсе. Примерно 90% из них попадают в конус с полным углом раствора  $\sim 15^\circ$ . В напыленном слое не обнаружено каких-либо неоднородностей или вкраплений /в отличие, например, от аналогичных пленок, получаемых методом взрывающихся проволок/<sup>5/</sup>. Близкие по параметрам пленки были получены при напылении на подложки свинца, алюминия, железа, углерода, латуни.

Таблица

r, мм	0	2	4	6	8	10	12
$\delta, \text{Å}$	1550	1340	1050	700	300	140	50

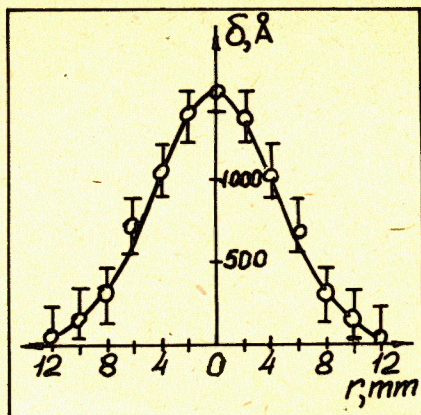


Рис. 5

Несмотря на далеко не полный характер приведенных здесь данных об исследованиях потоков плазмы, полученной с помощью нашего источника, можно с уверенностью сказать о возможности его применения как в качестве прибора для получения и последующего исследования направленных потоков плазмы и ее компонентов, так и для разного рода прикладных задач, например, для получения тонких пленок электропроводных элементов и соединений.

В заключение выражаем искреннюю благодарность З.А.Тер-Мартirosяну, А.В.Скрипнику, И.П.Лушникову за полезные обсуждения и помощь в изготовлении и наладке аппаратуры.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Георге В. и др. ОИЯИ, 9-9999, Дубна, 1976.
2. Карташев К.Б. и др. ЖЭТФ, 1970, 59, с. 779.
3. Плютто А.А. и др. АЭ, 1957, 3, с. 153.
4. Быковский Ю.А. и др. ОИЯИ, Р9-83-501, Дубна, 1975.
5. Chose W.G., Moran H.K. "Exploding Wires". Plenum Press, New-York, vol. I-IV, p. 1959-1968.

Рукопись поступила в издательский отдел  
10 сентября 1984 года.

Новиков В.Г., Тарашкевич Р.

7-84-621

Электроэрозионный источник низкотемпературной плазмы  
с повышенным сроком стабильной работы

Приведены данные о работе источника электроразрядной плазмы с повышенным сроком стабильной работы. Даны основные характеристики потока плазмы на выходе источника, полученные зондовыми исследованиями и анализом напыленных пленок.

Работа выполнена в Отделе новых методов ускорения ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1984

Перевод О.С.Виноградовой

7-84-621