

С 345Н
0-345

2761 / 2-76

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

ДУБНА



0-345

19/II-76

13 - 9584

В.П.Овсянников

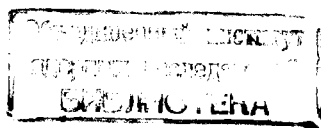
ЭЛЕКТРОННАЯ ПУШКА
ИСТОЧНИКА МНОГОЗАРЯДНЫХ ИОНОВ "КРИОН-1"

1976

13 - 9584

В.П.Овсянников

ЭЛЕКТРОННАЯ ПУШКА
ИСТОЧНИКА МНОГОЗАРЯДНЫХ ИОНОВ "КРИОН-1"



Введение

Разработка криогенного электронно-лучевого источника ядер для синхрофазотрона ЛВЭ ОИЯИ потребовала в варианте "Крион-1" ^{/1,2/} создания электронно-оптической системы, формирующей аксиально-симметричный электронный пучок со следующими параметрами:

- первеанс $P = 10 \div 16 \cdot 10^{-6} \text{ A/V}^{3/2}$,
- ускоряющее напряжение $U_a = 2 \div 7,5 \text{ кВ}$,
- диаметр пучка $2r = 3 \text{ мм}$,
- длина пучка $L = 1200 \text{ мм}$,
- плотность $j \sim 100 \text{ A/см}$,
- токооседание на структуру при токе $1 \text{ A} \sim 10^{-6} \text{ A}$.

Использование электронного пучка с высокими значениями первеанса и плотности и с минимальными пульсациями обуславливает выбор системы формирования. Применение электронных пушек с электростатической компрессией и бриллюэновской системой фокусировки затруднительно из-за сложности согласования с магнитным полем сверхпроводящего соленоида и зависимости величины пульсаций от ускоряющего напряжения ^{/3/}.

Наиболее целесообразной представляется фокусирующая система, содержащая электронную пушку, не экранируемую от магнитного поля, тем более, что величина напряженности магнитного поля применяемого фокусирующего соленоида ^{/4/} обеспечивает необходимое превышение над соответствующим бриллюэновским.

Высокая плотность электронного пучка может быть обеспечена применением катодов с высокой плотностью тока эмиссии и возможной магнитной компрессией ^{/5/}.

Применение автоэммиттеров, обладающих большой плотностью тока эмиссии, осложняется сравнительно высокой нестабильностью и трудностями при создании многоострижных систем^{6,7/}. Термокатоды с током эмиссии до 100 A/cm^2 /импрегнированные, катоды из гексаборида лантана и пр./ работают при высокой температуре, что предъявляет повышенные требования к конструкции катодно-подогревного узла^{8/}.

В данной работе приведены описание конструкции и результаты испытаний электронной пушки с эффективным катодно-подогревным узлом, предназначенной для формирования сильно замагниченных электронных пучков с первеансом $10-13 \text{ мкA/V}^{3/2}$ и средней плотностью тока $\sim 30 \text{ A/cm}^2$.

II. Конструкция электронной пушки

Общий вид электронной пушки "Крион-1" представлен на *рис. 1*.

К массивному медному аноду /1/ через керамический кольцевой изолятор крепится катодно-подогревный узел, представляющий собой отдельный блок /рис. 2/.

Для увеличения экономичности катодно-подогревного узла применена система эмиссионного подогрева основного катода /4/, укрепленного в танталовом держателе /6/, представляющем собой цилиндр с прорезями, расположенными в два яруса /рис. 3/. Прорези каждого яруса смещены относительно друг друга на 60° . Для увеличения тепловой развязки в некоторых случаях верхний ярус разрезается дополнительно /рис. 3а/. Габаритные размеры держателя следующие:

- диаметр эмиттирующей поверхности катода - 3 мм,
- толщина стенки стакана - 0,2 мм,
- внешний диаметр стакана - 8,4 мм,
- высота стакана - 5 мм.

В качестве катода подогревателя /5/ при использовании основного катода из гексаборида лантана применялась вольфрамовая спираль /рис. 3б/. Держатель катода

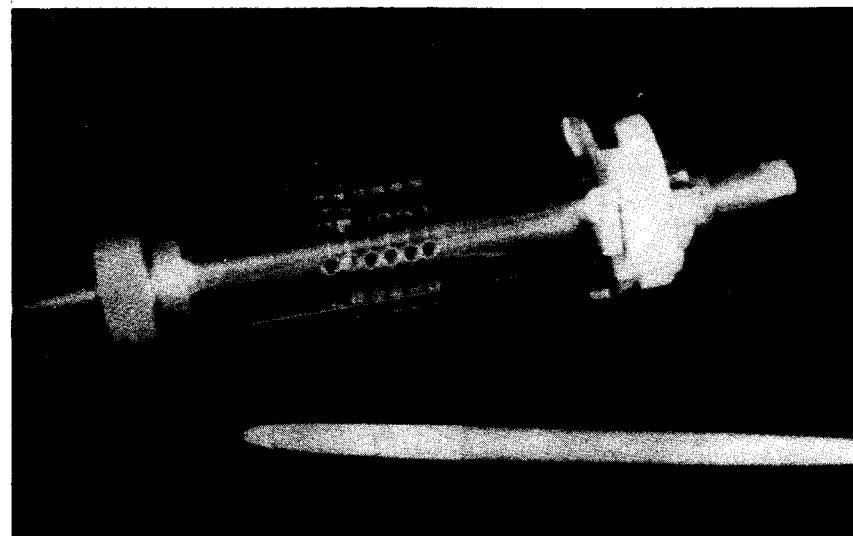
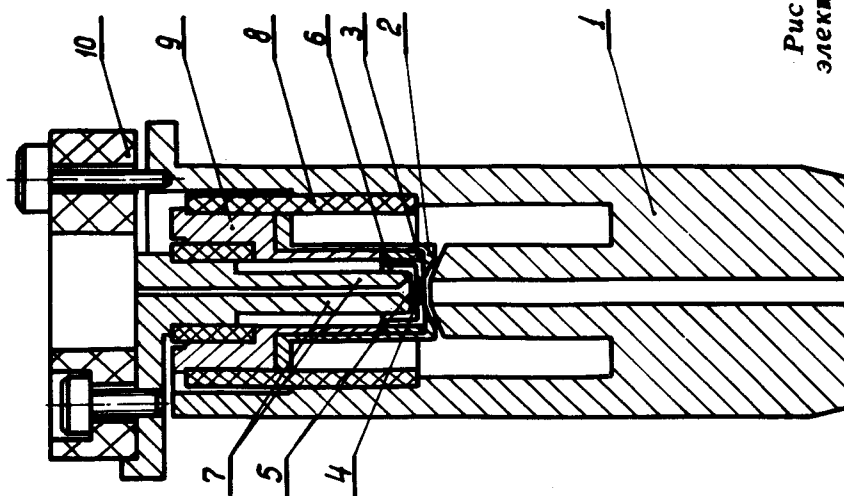


Рис. 1. Общий вид электронной пушки.

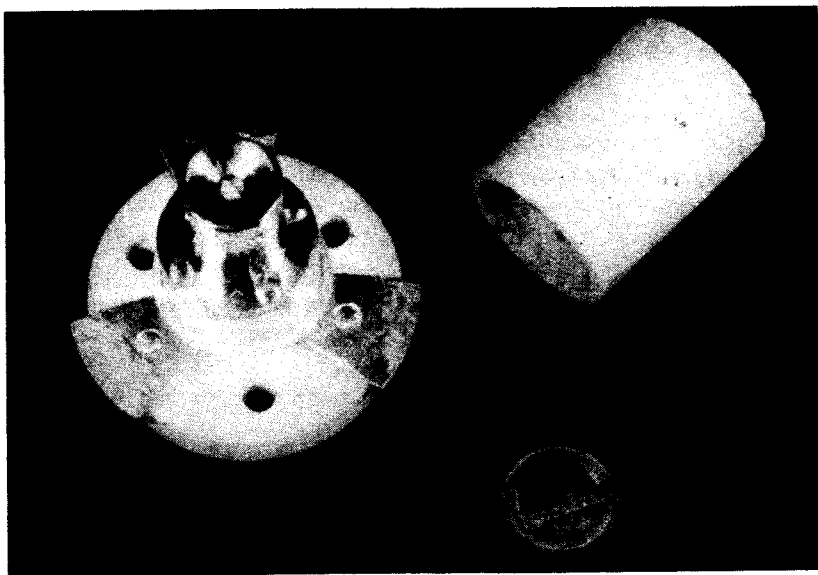


Рис. 2. Общий вид катодно-подогревного узла.

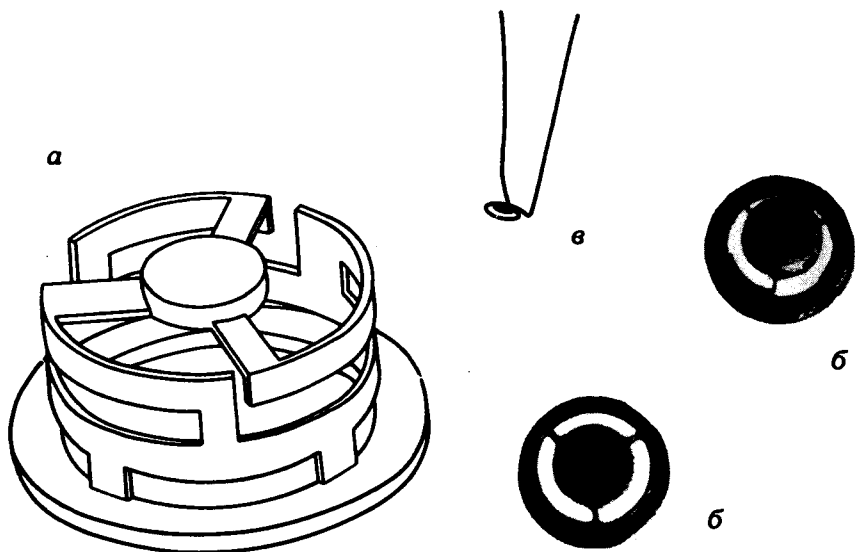


Рис. 3. Основной катод с держателем /а,б/ и катодно-подогреватель /в/.

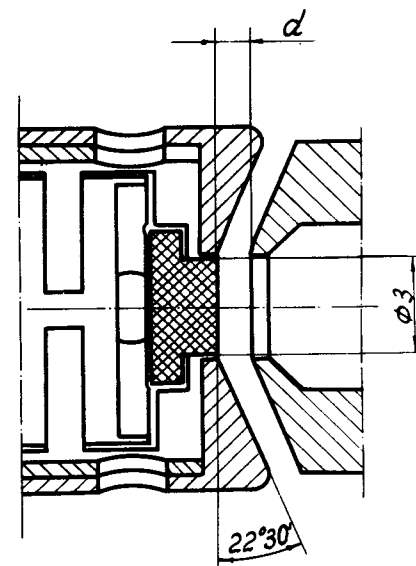


Рис. 4. Геометрические параметры промежутка катод-анод.

через медную втулку /3/, регулиующую положение катода и фокусирующего электрода /2/, крепится к катодному цилиндру /9/. Держатель катода-подогревателя /7/ и катодный цилиндр собраны на опорном изоляторе /10/.

Геометрические параметры промежутка катод-анод представлены на рис. 4. Расстояние катод-анод "d" в экспериментах изменялось от 0,6 до 0,8 мм. Действие сильной анодной линзы компенсировалось магнитным полем на катоде, превышающим соответствующее бриллюэновское в несколько раз.

Рассмотренная конструкция электронной пушки достаточно удобна при экспериментальной работе. Необходимая точность зазоров катод-анод, катод-фокусирующий электрод обеспечивается точностью изготовления соответствующих деталей, в основном точностью обработки цилиндрических поверхностей.

III. Испытательный стенд

Экспериментальная отработка электронной пушки производилась в стенде /рис. 5/, представляющем собой установку, состоящую из фокусирующего соленоида /4/ напряженностью 3 кЭ, вакуумной системы, секционированной трубки дрейфа /5/, электронного коллектора /6/ и экстрактора ионов /7/. Вакуумная система, включающая в себя форвакуумную ступень, а также ступени высоковакуумную /два последовательно соединенных диффузионных насоса с ловушкой Поста/ и сверхвысоковакуумную /электросорбционный насос ЭСН-1 /3/ и азотитный насос /2//, не отличается от рассмотренной

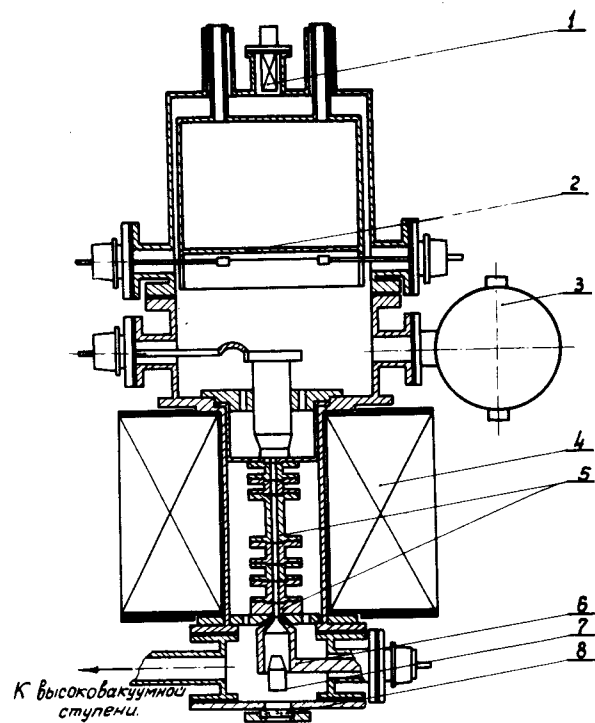


Рис. 5. Общий вид вакуумного стенда.

в работах /9, 10/. После откачки стенда до высокого вакуума и кратковременного прогрева заливается азот в ловушку азотитного насоса и включается ЭСН-1. Высоковакуумная ступень отсекается. В дальнейшем вакуум в системе поддерживается только насосами сверхвысоковакуумной ступени и непрерывно улучшается от $2 \cdot 10^{-8}$ до $5 \cdot 10^{-9}$ Тор. После незначительного отепления азотита и откачки продуктов газовой выделения электросорбционным насосом новое охлаждение азотита приводит к кратковременному улучшению вакуума до $7 \cdot 10^{-10}$ Тор. Контроль вакуума производился датчиком МИ-12-8, установленным над ловушкой азотита /1/. Дрейфовая трубка состоит из 7 секций, выполненных из нержавеющей стали с внутренним диаметром 5 мм. Длина дрейфовой трубки ~20 см. Медный электронный коллектор имеет вид цилиндра и охлаждается водой вне вакуумной системы. Экстрактор ионов, имеющий потенциал ниже катодного, исключает прохождение части электронов на стенки вакуумной камеры. Такая система позволяет контролировать состояние поверхности катода через смотровое стекло /8/.

В стенде испытывались электронные пушки, формирующие электронные пучки с током 2,5 А при напряжении 4 кВ. Длительность импульса ~10 мс. Рабочий вакуум в таком режиме, измеренный датчиком над азотитом, $\sim 2 \cdot 10^{-8}$ Тор. Токооседание на структуру наблюдалось только в области последней секции, что может быть объяснено спадом магнитного поля. Время непрерывной работы стенда при испытании электронной пушки на долговечность превысило 200 ч.

IV. Основные результаты

При работе электронной пушки в источнике "Крион-1" и на стенде формировались электронные пучки с первичным 10 ± 13 мА/В^{3/2} и током до 2,5 А.

Некоторые характеристики электронных пучков представлены в таблице.

Таблица

Мощность подогрева, Вт	Ток, А	Напряже- ние, кВ	Первеанс, $P, \text{мкА/В}^{3/2}$	Расстояние катод-анод, мм	Поле на на- тоде, $E_k, \text{эВ}$	Соответств. бриллюэнов- ское поле $E_0, \text{эВ}$	$\frac{E_k}{E_0}$
24	1	2	11,18	0,8	3000	800	3,75
24	2	3,2	11,04	0,8	12000	1000	12
24	2,5	4	9,88	0,8	3000	1089	2,7
21	0,58	1,25	13,18	0,6	3000	700	4,5

*/ Катод из гексаборида лантана (LaB_6).

Режим активации вольфрамовой нити накала при работе с катодом из гексаборида лантана не отличается от рассмотренного в работе ^{/8/}. Время работы неактивированного катода-подогревателя из вольфрамовой проволоки $\phi 0,2$ мм при отборе тока в 20 мА при напряжении подогрева 400 В не превысило 40 ч.

При работе электронной пушки в источнике "Крион-1" токооседание на структуру составило величину менее 1 мкА, что неудивительно при превышении поля на катоде над соответствующим бриллюэновским более чем в 10 раз.

Таким образом, при использовании эффективных термомиттеров можно создать удовлетворительные системы формирования высокопервеансных электронных потоков с высокой плотностью тока. Для катодов из LaB_6 первеанс электронной пушки постоянно уменьшается из-за изменения геометрии промежутка катод-анод и в среднем за 100 ч работы падает с 10 мкА/В^{3/2} до 7,5÷8 мкА/В^{3/2}.

Распределение плотности электронов по радиусу пучка при принятых экстремальных параметрах промежутка катод-анод и сильной замагниченности потока отличается от равномерного и носит квазиполый характер ^{/10/}. Экспериментальные измерения не производились из-за сложности ввода зондов внутрь криогенной магнитной системы. Однако, как показано в работах ^{/11/}, для электронных потоков с магнитным сопровождением экспериментально измеренное распределение плотности по радиусу хорошо совпадает с рассчитанным на ЭВМ.

Для решения проблемы высокопервеансного электронного потока с равномерным распределением электронов по радиусу и большой длительности, как известно ^{/12/}, необходимо использовать электронную пушку с "теневой" сеткой и сеткой в аноде. Разработка такой пушки является следующим этапом развития электронно-лучевых ионных источников.

Созданная электронно-оптическая система успешно применена в экспериментах по ионизации углерода, азота, аргона, ксенона ^{/1, 2/}.

В заключение автор выражает глубокую благодарность Е.Д.Донцу за руководство работой и участие в экспериментах, А.И.Пикину, В.В.Сальникову, Н.И.Чернышову за помощь в работе. Автор искренне признателен токарю ПТО ЛВЭ В.Н.Соловьеву за изготовление деталей электронной пушки.

Литература

1. Е.Д.Донец, В.И.Илющенко, А.И.Пикин, В.П.Овсянников. IV Всесоюзное совещание по ускорителям заряженных частиц. М., Наука, 1974.
2. Е.Д.Донец, А.И.Пикин. ЖТФ, том XIV, вып. 11 /1975/.
3. И.В.Алямовский. Электронные пучки и электронные пушки. М., "Сов.радио", 1966.
4. В.Г.Аксенов, Е.Д.Донец, А.И.Пикин, А.Г.Зельдович, Ю.А.Шишов. ОИЯИ, Р8-8563, Дубна, 1975.
5. K.Amboss. Studies of a Magnetically Compressed Electron Beam, IEEE transactions on electron devices, vol. ED-16, numb. 11, 1969.
6. Г.Н.Фурсей, Г.К.Карцев. Стабильность АЭЭ и миграционные процессы, подготавливающие развитие вакуумной дуги. ЖТФ, X, вып. 2 /1970/.
7. Г.Н.Фурсей, И.Д.Вентова и др. Исследование условий формирования эффективных сильноточечных автоэмиссионных катодов на основе тугоплавких металлов. ЖТФ, X, вып. 5 /1972/.
8. Е.Д.Донец, В.И.Илющенко, В.А.Альперт. ОИЯИ, Р7-4469, Дубна, 1969.
9. Е.Д.Донец, В.И.Илющенко, В.А.Альперт. ОИЯИ, Р7-4124, Дубна, 1968.
10. Г.П.Егоров, Я.И.Местечкин и др. Распределение плотности тока в электронных лучах. Электронная техника, серия "Электроника СВЧ", №4. Изд. ЦНИИ "Электроника", М., 1975.
11. Тезисы докладов и рекомендаций научно-технических конференций, совещаний и семинаров по электронной технике. Экспериментальные методы исследования электронных пучков, серия "Электроника СВЧ", №1 /23/ Изд. ЦНИИ "Электроника", М., 1975.
12. Стапранс, Макьюн, Рютц. СВЧ электровакуумные приборы большой мощности с линейным электронным пучком. Proceedings of the IEEE, vol. 61, No. 3, 1973.

Рукопись поступила в издательский отдел
3 марта 1976 года.