

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

СЗ45Н

P13-84-461

4486/84

С.А.Корнев, Н.И.Балалыкин, И.Б.Енчевич*,
М.К.Михов*

ЭЛЕКТРОННАЯ ПУШКА
ДЛЯ ПОВЕРХНОСТНОЙ ОБРАБОТКИ
МАТЕРИАЛОВ

Направлено в журнал "Приборы
и техника эксперимента"

* Софийский университет, НРБ

1984

В последние годы в технике физического эксперимента по исследованию поверхностного взаимодействия материалов с электронными пучками используются электронные пучки с кинетической энергией $10 \div 250$ кэВ и средней плотностью мощности в импульсе $\geq 10^6$ Вт/см² с равномерным распределением плотности тока по поперечному сечению. Для формирования таких пучков используются электронные пушки с термическими и плазменными катодами^{/1,2/}. Разнообразие экспериментов /отжиг полупроводников, облучение металлов, разложение азидов тяжелых металлов и др./ требуют изменения плотности мощности и кинетической энергии пучка электронов. Это вызывает потребность в разработке электронных пушек с перестраиваемыми параметрами.

В данной работе рассматривается конструкция электронной пушки со взрывоэмиссионным катодом для поверхностной обработки материалов. В электронной пушке регулировка кинетической энергии осуществляется путем изменения амплитуды импульса ускоряющего напряжения, а регулировка плотности мощности пучка электронов при одной и той же кинетической энергии - варьированием плотности тока пучка электронов. Приводятся основные характеристики пушки.

Анализ характеристик известных взрывоэмиссионных катодов показал, что наиболее подходящим для рассматриваемой электронной пушки является графитовый катод^{/3,4/}, который формирует достаточно однородный по поперечному сечению электронный пучок, удовлетворяющий указанным выше требованиям. Однако регулировку плотности тока пучка в широком диапазоне путем изменения зазора между анодом и катодом произвести крайне затруднительно, т.к. необходимо выполнить условие формирования однородной катодной плазмы^{/4/}:

$$E_{\text{п}} \geq U/d = (300 \div 400) \text{ кВ/см}, \quad /1/$$

где: $E_{\text{п}}$ - средняя пороговая напряженность электрического поля в диоде; U - напряжение на диоде; d - зазор между анодом и катодом. Так, при $U = 100$ кВ максимальный допустимый зазор d из условия /1/ составляет $\approx 0,33$ см. Это, в свою очередь, накладывает ограничение на допустимую длительность импульса тока $\tau_{\text{п}}$ пучка электронов, определяемую временем переключения диода катодной плазмой. При скорости распространения катодной плазмы в сторону анода $v \approx 5 \cdot 10^8$ см/с расчетное значение $\tau_{\text{п}}$ составляет ≈ 70 нс, что резко снижает универсальность плоских графитовых катодов. Устранить этот недостаток может взрывоэмиссионный матричный катод из набора пучков графитовых волокон^{/5/}. Однако

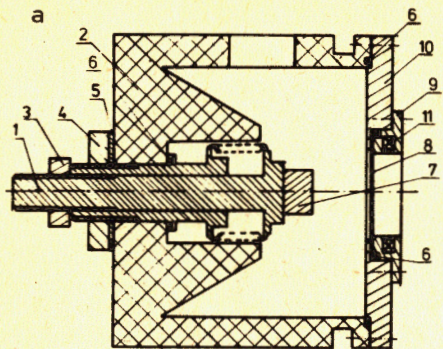
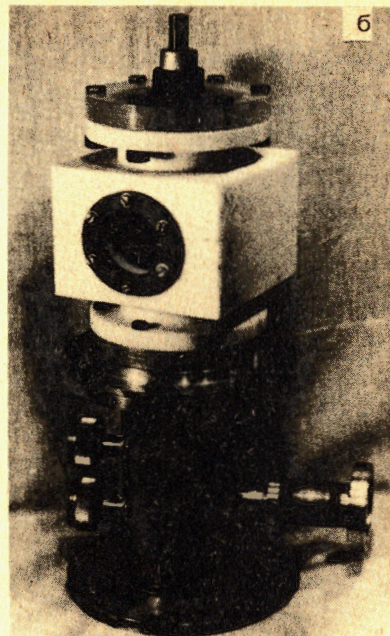


Рис.1. а - Конструкция электронной пушки: 1 - катодный узел; 2 - вакуумная камера; 3,4 - гайки; 5 - прокладка; 6 - резиновое уплотнение; 7 - катод; 8 - анод; 9,10 - анодный узел; 11 - пояс Роговского. б - Общий вид электронной пушки.



при всех его преимуществах он обладает существенным недостатком - формируемый электронный пучок неоднороден по поперечному сечению вследствие неравномерного расположения пучков волокон. В данной работе для устранения этого недостатка предложен катод из углеродной ткани, свернутой в рулон. В этом случае расположение углеродных волокон равномерно, и этим созданы условия для формирования однородной катодной плазмы.

Малый диаметр волокон позволяет получить высокий коэффициент усиления электрического поля в диоде. Последнее означает, что при относительно низких питающих напряжениях на электронной пушке или при больших зазорах между анодом и катодом реализуется условие /1/. Например, при $E = 400$ кВ/см, напряжении на диоде $U = 100$ кВ, коэффициенте усиления электрического поля $K = 100$ получаем в результате вычислений допустимый максимальный зазор между анодом и катодом $d = 25$ см. Изменяя зазор d в этих пределах, можно варьировать плотность тока по закону Чайльда-Ленгмюра^{1/6}. Кроме того, большой диапазон величины d позволяет формировать электронные пучки различной длительности. Так, при скорости катодной плазмы $v \approx 5 \cdot 10^6$ см/с и $d = 5$ см максимально допустимая длительность импульса тока пучка электронов τ_u может составлять ~ 1 мкс.

На рис.1а приведена конструкция электронной пушки для поверхностной обработки материалов, на рис.1б - ее фотография. Вакуумная камера изготовлена из капралона. Вакуумная откачка пушки может проводиться как со стороны самой камеры, так и со сто-

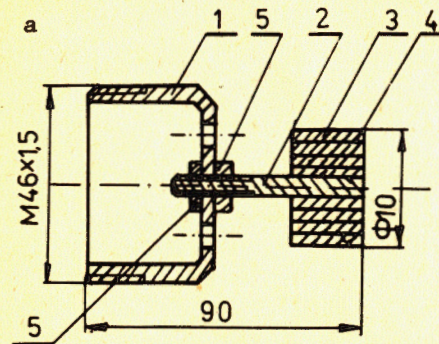
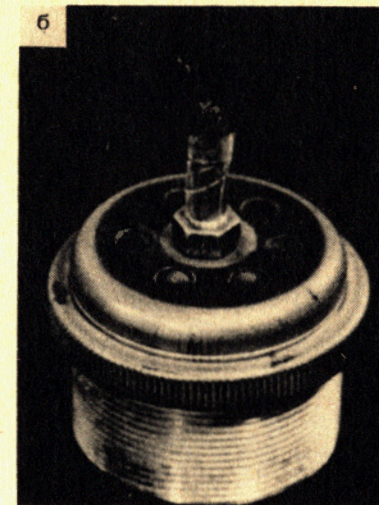


Рис.2. а - Конструкция катода: 1 - переходник; 2 - металлический стержень; 3 - углеродная ткань; 4 - клейкая лента; 5 - гайка, б - Общий вид катода.



роны выходного фланца через сетчатый анод. К выходному фланцу пристыковывается переходная камера для установки облучаемых образцов. Давление остаточного газа в вакуумной камере пушки составляет $\sim 10^{-6}$ Тор. Откачка проводится вакуумным агрегатом. Анодом является металлическая сетка из нержавеющей стали с коэффициентом прозрачности 0,7 или фольга из бериллия толщиной 100 мкм. Катод выполнен на основе углеродной ткани с саржевым переплетением толщиной 0,58 мм и средним диаметром волокон $8 \div 10$ мкм. Содержание углерода в ней составляет 99,2%. Рентгенофлуоресцентный анализ показал, что в химический состав ткани входят следующие элементы, расположенные в порядке уменьшения процентного содержания: Al, Si, Ti, Fe. На рис.2а представлена конструкция катода, на рис.2б - его фотография. Сборка катода проводится следующим образом. На металлический стержень наворачивается углеродная ткань в виде рулона и верхний конец закрепляется оправкой. Далее стержень с углеродной тканью устанавливается на переходник. При сборке важно выполнять требование перпендикулярности плоскости рулона углеродной ткани, обращенной в сторону анода, к оси стержня. Плавная регулировка расстояния между анодом и катодом без нарушения вакуумных условий в камере пушки осуществляется через сильфон резьбовой передачей в пределах 2 см. Измерение формируемого тока пучка электронов проводится интегрирующим поясом Роговского, установленным за анодом на расстоянии 0,5 см.

Измерение характеристик электронной пушки проводилось на экспериментальном стенде^{17/}, схематично показанном на рис.3. В качестве генератора импульсного напряжения использовался про-

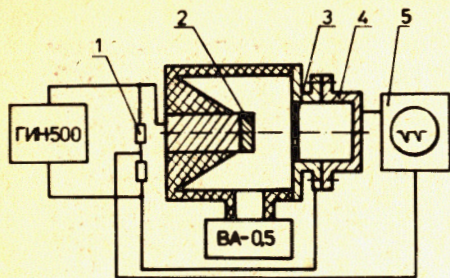


Рис.3. Схема экспериментального стенда: 1 - высокоомный делитель напряжения; 2 - катод; 3 - анод; 4 - система диагностики параметров электронного пучка; 5 - широкополосный осциллограф.

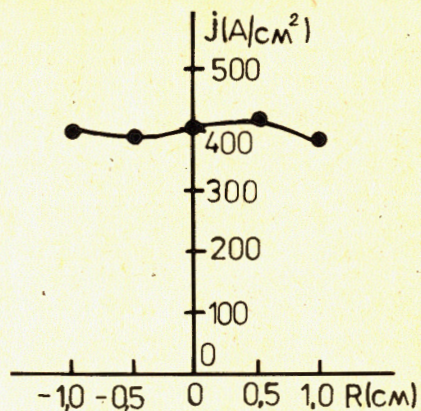


Рис.4. Распределение плотности тока по поперечному сечению /на диаметре катода/, напряжение на пушке - 100 кВ.

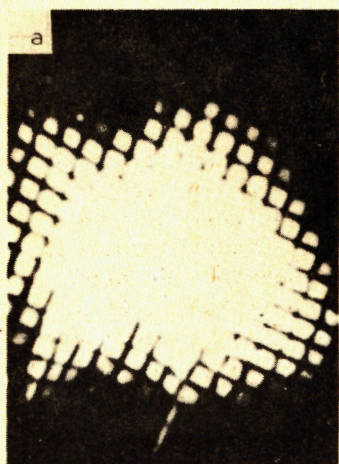


Рис.5. Автографы электронных пучков на винипрозе.

мысленный генератор Аркадьева-Маркса типа ГИИ-500, первичным коммутатором его является водородный тиратрон, что увеличивает ресурс работы генератора без перестроек разрядников и улучшает временную стабильность импульса напряжения. Частота следования импульсов тока пучка электронов составляет 0,2 Гц.

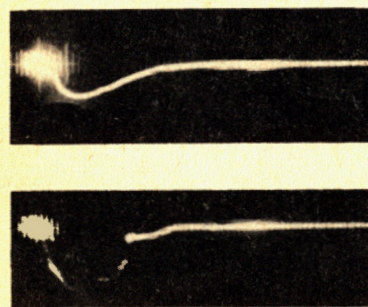


Рис.6. Типичные осциллограммы тока пучка электронов: устойчивый режим токоотбора электронов /а/ без нарушения плоскостности катода по отношению к аноду и неустойчивый режим /б/ при нарушении плоскостности. Время развертки луча осциллографа 100 нс/см, чувствительность осциллографа - 2 кА/см.

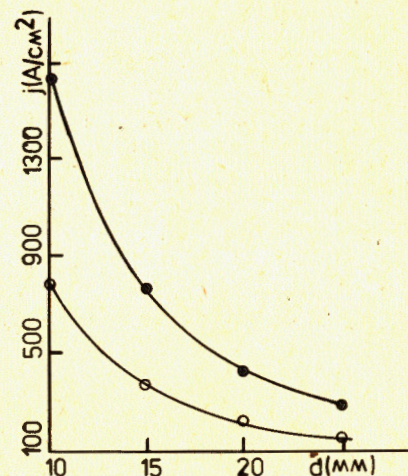


Рис.7. Зависимость плотности тока пучка электронов j от расстояния d между анодом и катодом при напряжении на пушке: \circ - 100 кВ; \bullet - 150 кВ.

Измерение однородности плотности тока по поперечному сечению проводилось секционированным коллектором с диафрагмами диаметром 1 мм. Они показали достаточно удовлетворительную однородность пучка на диаметре катода; неоднородность плотности тока не превышает 15% /рис.4/. Автограф пучка электронов на винипрозе, дающий качественное представление о размерах и характере плотности пучка, приведен на рис.5а, а для сравнения с ним на рис.5б /5/ представлен автограф пучка, формируемого матричным взрывозмиссионным катодом. Как уже указывалось выше, для стабильной работы катода необходимо произвести сборку катода без нарушения плоскостности эмиттирующей поверхности относительно анода. На рис.6 приведены осциллограммы тока пучка, которые показывают это влияние.

Зависимость плотности тока j от расстояния между анодом и катодом /рис.7/ указывает на возможность широкого диапазона регулирования плотности тока, что в конечном итоге приводит к варьированию плотности мощности в импульсе тока пучка электронов.

Таким образом, экспериментальные характеристики показывают, что рассмотренная электронная пушка позволяет формировать электронные пучки в соответствии с предъявляемыми к ним требованиями.

В заключение авторы выражают благодарность Ю.С.Короткину за проведение рентгенофлуоресцентного анализа.

ЛИТЕРАТУРА

1. Крейнделъ Ю.Е. Плазменные источники электронов. Атомиздат, М., 1977.
2. Месяц Г.А. В кн.: XVIII Всесоюзная конференция по эмиссионной электронике. Тезисы докладов. "Наука", М., 1981, с.27.
3. Коренев С.А. ПТЭ, 1983, № 6, с.133.
4. Смирнов В.П. ПТЭ, 1977, № 2, с.7.
5. Бурцев В.А. и др. ЖТФ, 1977, т.48, № 7, с.1494.
6. Вавилов С.П. Импульсная рентгеновская техника. "Энергия", М., 1981.
7. Коренев С.А. ОИЯИ, 9-81-703, Дубна, 1981.

Рукопись поступила в издательский отдел
2 июля 1984 года.

НЕТ ЛИ ПРОВЕЛОВ В ВАШЕЙ БИБЛИОТЕКЕ?

Вы можете получить по почте перечисленные ниже книги, если они не были заказаны ранее.

	Труды VI Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1978 /2 тома/	7 р. 40 к.
	Труды VII Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц, Дубна, 1980 /2 тома/	8 р. 00 к.
	Труды УШ Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Протвино, 1982 /2 тома/	11 р. 40 к.
D11-80-13	Труды рабочего совещания по системам и методам аналитических вычислений на ЭВМ и их применению в теоретической физике, Дубна, 1979	3 р. 50 к.
D2-81-543	Труды VI Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1981	2 р. 50 к.
D10,11-81-622	Труды Международного совещания по проблемам математического моделирования в ядерно-физических исследованиях. Дубна, 1980	2 р. 50 к.
D17-81-758	Труды II Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1981.	5 р. 40 к.
P18-82-117	Труды IV совещания по использованию новых ядерно-физических методов для решения научно-технических и народнохозяйственных задач. Дубна, 1981.	3 р. 80 к.
D2-82-568	Труды совещания по исследованиям в области релятивистской ядерной физики. Дубна, 1982.	1 р. 75 к.
D9-82-664	Труды совещания по коллективным методам ускорения. Дубна, 1982.	3 р. 30 к.
D3,4-82-704	Труды IV Международной школы по нейтронной физике. Дубна, 1982.	5 р. 00 к.
D11-83-511	Труды совещания по системам и методам аналитических вычислений на ЭВМ и их применению в теоретической физике. Дубна, 1982.	2 р. 50 к.
D7-83-644	Труды Международной школы-семинара по физике тяжелых ионов. Алушта, 1983.	6 р. 55 к.
D2,13-83-689	Труды рабочего совещания по проблемам излучения и детектирования гравитационных волн. Дубна, 1983.	2 р. 00 к.
D13-84-63	Труды XI Международного симпозиума по ядерной электронике. Братислава, Чехословакия, 1983.	4 р. 50 к.

Заказы на упомянутые книги могут быть направлены по адресу:
101000 Москва, Главпочтамт, п/я 79
Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований

**ТЕМАТИЧЕСКИЕ КАТЕГОРИИ ПУБЛИКАЦИЙ
ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ**

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

Корнев С.А. и др.

P13-84-461

Электронная пушка для поверхностной обработки материалов

Описана конструкция плазменной электронной пушки диодного типа для поверхностной обработки материалов. Регулировка плотности мощности осуществляется изменением плотности тока. При этом плотность тока определяется расстоянием между анодом и катодом, которое регулируется без нарушения вакуумных условий в диоде. В пушке применен углеродно-волоконистый катод. Параметры электронного пучка: плотность тока $100 \div 1600 \text{ А/см}^2$, энергия электронов $100 \div 150 \text{ кэВ}$.

Работа выполнена в Отделе новых методов ускорения ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1984

Перевод О.С.Виноградовой

Korenev S.A. et al.

P13-84-461

Electron Gun for Surface Processing of Materials

The construction of the plasma electron cannon (type of diode) for surface processing is described. The alternation of current density adjusts power density. Thereby current density is determined by the distance between plate and cathode. The distance is regulated without deterioration of vacuum conditions in the diode. The carbon-fibrous cathode is used in this cannon. Parameters of the electron beam: current density - $100 \div 1600 \text{ A/cm}^2$, electron energy - $100 \div 150 \text{ keV}$.

The investigation has been performed at the Department of New Acceleration Methods, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1984