

*Смирнов В.А., Акимов П.И., Антонов В.В.,
Гладышев Д.А., Грызлов А.В., Потапов Ю.А.,
Сигалаев В.Н., Симонов А.С., Судаков Ю.С., Чудин В.Г.
АО «НПП «Торий»*

Источники электронов для ускорителей

Приведены конструкции катодно-подогревательных узлов с металлопористыми эмиттерами для ускорителей электронов, разработанные с применением плазменной технологии формирования вольфрамовой матрицы, что позволяет уменьшить скорость испарения эмиссионного вещества и увеличить долговечность эмиттеров.

Ключевые слова: Ускорители электронов, катодные узлы, металлопористый катод, плазменная технология изготовления эмиттера, долговечность.

Ускорители электронов, конструкции катодно-подогревательных узлов для которых описываются в данной работе, применяются для дефектоскопии, в досмотровой технике и в многофункциональных станциях электронной обработки. Основные требования, предъявляемые к катодно-подогревательному узлу (КПУ), это виброустойчивость, т.к. ускорители могут быть закреплены на конструкциях, движущихся в процессе работы, и долговечность, связанная с высокой стоимостью приборов. Необходимую долговечность не менее 10000 часов, предполагается получить за счет использования плазменной технологии формирования вольфрамовой матрицы эмиттера [1, 2]. К настоящему времени получена апробация эмиссионной долговечности таких катодов в серийно выпускаемом мощном 5÷6 МВт многолучевом клистроне [3]. При плотности тока 4÷5А/см², длительности импульса 140÷250 мкс и частоте следования импульса 50 Гц приборы с №№128012, 128061 и 128032 проработали в динамическом режиме соответственно по 20859, 15527 и 14970 часов. Эксплуатация приборов продолжается.

Первая конструкция КПУ разработана для ускорителя, используемого в дефектоскопии, в частности, для проверки качества сварных труб при толщине шва 300 мм. Пушка ускорителя выполнена в виде триодной системы, включающей катод, управляющий электрод (с положительным потенциалом $U_{упр} = 4,5$ кВ относительно катода) и анод, ускоряющий электроны пучка до энергии 40 кэВ. Пушка работает в импульсном режиме с $\tau_{имп} = 5$ мкс, ток $I_{имп} = 400$ мА, на частоте 200 Гц ÷ 400 Гц. На рисунке 1 представлены схема КПУ-1 (а) и его внешний вид (б).

Поток электронов с катода ускоряется в электродинамической структуре резонаторов и при попадании на вольфрамовую мишень с энергией $U_{вых} = 6÷8$ МэВ и диаметре пучка 1 мм генерирует рентгеновское излучение на выходе. Большие напряжения ускоряющей структуры приводят к бомбардировке катода ионами остаточных газов и не захваченными в процессе ускорения электронами. Для предотвращения разрушения катода в его центре сделано отверстие диаметром 1,2 мм, через которое ионы и электроны попадают на обратный коллектор под катодным потенциалом и рассеивают свою энергию в тепло.

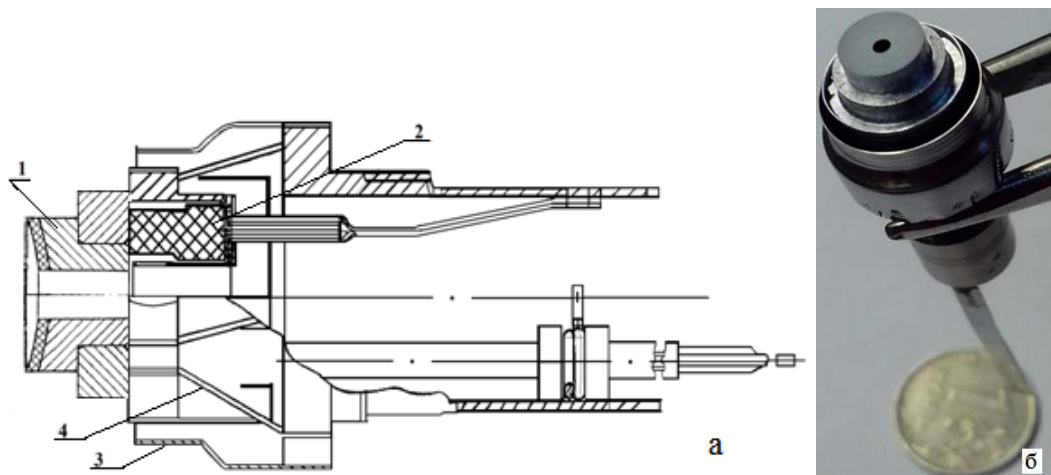


Рис. 1. КПУ-1, а – схема КПУ-1: 1 – эмиттер, 2 – подогреватель, 3 – блок экранов, 4 – стержневые тепловые развязки, б – внешний вид КПУ-1.

На рисунке 2 представлена схема эмиттера. Основание (1) изготавливается по традиционной технологии металлопористых катодов, а поверхностная вольфрамовая матрица толщиной 100 мкм (2) – по плазменной [2]. Плазменное напыление снижает скорость испарения (рис. 3) и увеличивает однородность эмиссии [4], что наряду с малой плотностью тока позволяет понизить рабочую температуру. Выбор металлопористых катодов, обусловлен также необходимостью обеспечения высокой электропрочности.

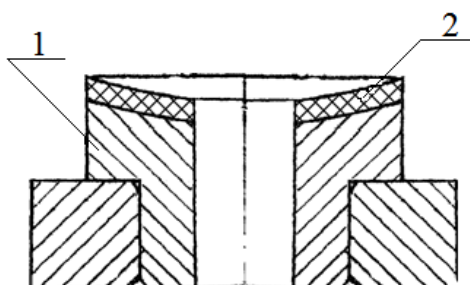


Рис. 2. Схема эмиттера с плазменным покрытием, 1 – основание, изготовленное по традиционной технологии, 2 – плазменное покрытие.

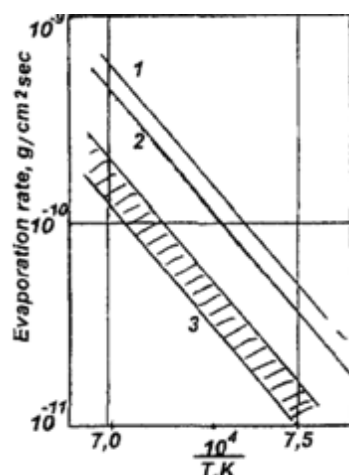


Рис. 3. Зависимость скорости испарения барьерной компоненты от температуры катодов [4]: 1 – ММ (W+Os); 2 – СММ (W+Os/Os); 3 – плазменный катод после 7500 часов работы при 1380 К.

Стержневые тепловые развязки и экраны обеспечивают высокую экономичность КПУ и его термоциклическую (включение-выключение накала) устойчивость. Катод большую часть времени находится в режиме готовности (80% по накалу), а при просвечивании изделий накал достигает полной мощности.

Характеристики КПУ-1:

диаметр металлопористого эмиттера 6 мм;

ток накала $I_{\text{нак}} = 5 \text{ А}$;

напряжение накала $U_{\text{нак}} = 5,5 \div 6 \text{ В}$;

плотность эмиссионного тока $j = 1,5 \text{ А/см}^2$.

Проведенное пирометрирование (см. рис. 4) показывает, что рабочая температура эмиттера не превышает $1000 \text{ }^\circ\text{C}$. Прогнозируемая эмиссионная долговечность такого КПУ при условии вакуума в приборе не хуже $1 \cdot 10^{-7} \text{ мм.рт.ст.}$ не менее 100 тыс. часов.

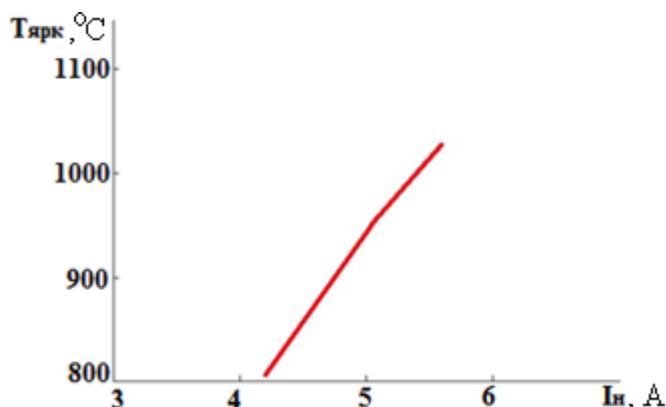


Рис. 4. Данные пирометрирования КПУ-1.

Вторая конструкция КПУ-2 разрабатывалась на замену катода в пушке ускорителей в импортных системах досмотра. Это накладывает особые требования – необходимость воспроизводства параметров источника питания и геометрических размеров КПУ. Пушка имеет диодную структуру с ускоряющим напряжением $U_a = 16 \text{ кВ}$, импульсный ток с катода $I_{\text{имп}} = 200 \text{ мА}$. Металлопористый эмиттер изготавливается по плазменной технологии, схема которого представлена на рисунке 5.

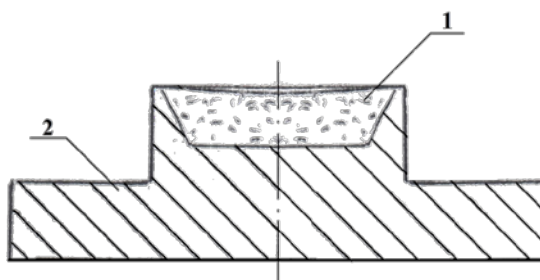


Рис. 5. Металлопористый эмиттер, изготовленный по плазменной технологии, 1 – вольфрамовая губка, 2 – молибденовый керн.

Характеристики КПУ-2:

диаметр металлопористого эмиттера 3 мм;

ток накала $I_{\text{нак}} = 3 \text{ А}$;

напряжение накала $U_{\text{нак}} = 4 \div 4,4 \text{ В}$;

плотность эмиссионного тока $j = 2,8 \text{ А/см}^2$.

Досмотровые приборы работают попеременно на частотах 200 и 400 Гц, на выходе ускорителя энергия электронов составляет 4 МэВ. К этим приборам предъявляются

требования по долговечности не менее 15000 часов. На рисунке 6 представлена схема, а на рисунке 7 - собранный КПУ-2 без наружного экрана.

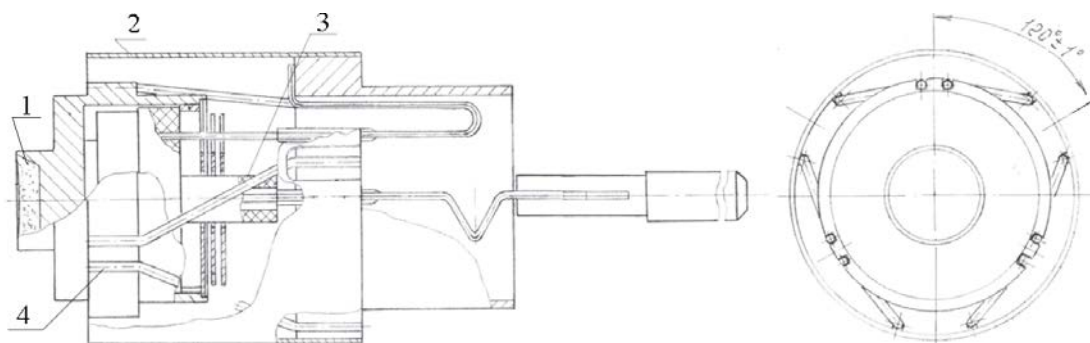


Рис. 6. Схема КПУ-2, 1 – эмиттер, 2 – блок экранов, 3 – подогреватель, 4 – стержневые тепловые развязки.

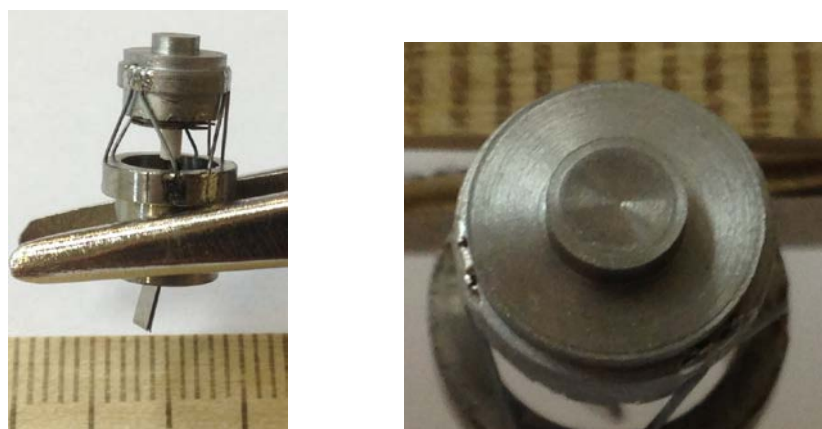


Рис. 7. Внешний вид КПУ-2, а – вид сбоку (зажат пинцетом), б – вид сверху.

Третий вариант КПУ-3 входит в состав излучателя, предназначенного для комплектования мощных линейных ускорителей электронов, составляющих основу многоканальных, многофункциональных станций электронной обработки [5], используемых, например, для стерилизации потоком электронов различных продуктов питания и медицинских изделий. Пушка представляет собой триодную структуру с параметрами $U_{упр} = 12,9$ кВ, $U_a = 50$ кВ, работающую в импульсном режиме с $\tau_{имп} = 15$ мкс, ток $I_{имп} = 800$ мА, на частоте 400 Гц. Электроны с энергией 50 кэВ из пушки попадают в ускоряющую структуру, где 60% электронов захватывается в процессе ускорения. Выходная энергия электронов может регулироваться от 7 до 10 МэВ. Схема КПУ-3 представлена на рисунке 8.

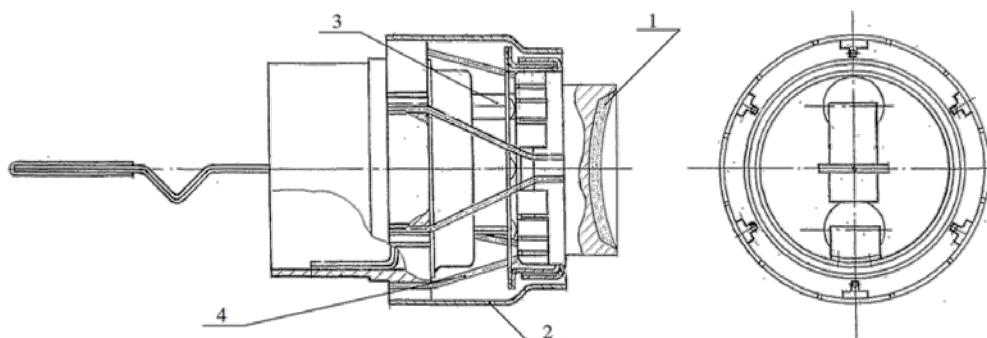


Рис. 8. Схема КПУ-3, 1 – эмиттер, 2 – блок экранов, 3 – подогреватель, 4 – стержневые тепловые развязки.

Для повышения долговечности прибора эмиттер КПУ-3 был изготовлен по плазменной технологии.

Характеристики КПУ-3:

диаметр металлопористого эмиттера 8,6 мм;

ток накала $I_{\text{нак}} = 3,25$ А;

напряжение накала $U_{\text{нак}} = 6 \div 6,5$ В;

плотность эмиссионного тока $j = 1,37$ А/см².

Долговечность этих приборов не менее 10000 часов, средняя мощность ускоренного пучка регулируется от 1 до 15 кВт, полоса сканирования 40÷60 см. Внешний вид ускорительной секции линейного резонаторного излучателя электронов представлен на рисунке 9.



Рис. 9. Ускорительная секция излучателя электронов.

Таким образом, разработано несколько типов КПУ с металлопористыми эмиттерами и повышенной эмиссионной долговечностью для ускорителей электронов.

Библиографический список

1. Смирнов В.А. Высокоэффективные металлопористые (импрегнированные) катоды для электровакуумных приборов; «Вакуумная наука и техника» Материалы X Юбилейной научно-технической конференции. Судак, 2003. С. 436-442.
2. Корнохин А.А., Крылов А.В., Кузнецов Г.И., Логачев П.В., Масленников О.Ю., Потапов Ю.А., Смирнов В.А., Судаков Ю.С. Сильноточный источник электронов для ускорителя-инжектора; «Вакуумная наука и техника» Материалы XV научно-технической конференции с участием зарубежных специалистов. Сочи, 2008. С. 191-195.
3. Дроздов С.С., Масленников О.Ю., Смирнов В.А., Судаков Ю.С. Многолучевой источник электронов для мощных электровакуумных приборов; «Вакуумная наука и техника» Материалы XI научно-технической конференции с участием зарубежных специалистов. Судак, 2004. С. 312-316.
4. Смирнов В.А. Катоды со специальными характеристиками для сверхмощных электровакуумных приборов; «Вакуумная наука и техника» Материалы VIII научно-технической конференции с участием зарубежных специалистов. Судак, 2001. С. 208-211.
5. Акимов П.И., Грызлов А.В., Гладышев Д.А., Невский П.В., Сигалаев В.Н., Чудин В.Г. Модернизация конструкции электронной пушки линейного ускорителя электронов; «Вакуумная наука и техника» Материалы XXII научно-технической конференции с участием зарубежных специалистов. Феодосия, 2015. С. 279-283.