

Перспективы использования крупноструктурных автоэммиттеров в электровакуумных приборах: расчеты и эксперименты

С.П. Морев¹, А.Н. Дармаев², К.В. Кузьмич³, Э.К. Муравьев³, В.М. Саблин³

¹АО «НПП «Исток» им. Шокина»

²АО Научно-технический центр ФСК ЕЭС

³АО НПП «Горий»

Аннотация: Представлены результаты расчетов и экспериментальные исследования крупноструктурных автоэммиттеров, предназначенных для использования в электровакуумных приборах.

Ключевые слова: Автоэмиссионные катоды, электронно-оптическая система, электровакуумные приборы.

1. Введение

Возможность получения стабильной автоэлектронной эмиссии катодов при техническом вакууме обуславливает повышенный интерес к исследованию материалов для автоэмиссионных катодов, в качестве которых рассматриваются различные модификации углеродных материалов (углеродные нанотрубки и волокна, острия из стеклоуглерода, алмазоподобные пленки и тому подобное), а также тугоплавкие материалы (молибден, вольфрам).

В докладе представлены материалы теоретических и экспериментальных исследований автоэмиссионных структур, обеспечивающих эмиссию электронного потока с усредненной плотностью тока $0,2 \text{ А/см}^2$ при непрерывном режиме работы и техническом вакууме.

2. Постановка задачи

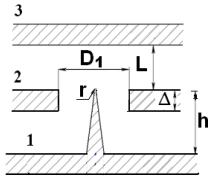
При разработке электровакуумных приборов (например, высоковольтных вакуумных триодов), использующих автоэмиссионные источники тока, среди первоочередных задач на передний план выходит задача долговременного обеспечения требуемого значения тока катода.

В работах [1,2] были представлены результаты экспериментальных исследований отдельных крупноструктурных автоэмиссионных ячеек с игольчатыми эмиттерами из различных материалов, работавших в непрерывном режиме при техническом вакууме. Однако наряду с достигнутыми рекордными значениями токов с отдельных ячеек значительная деградация величины тока происходила за относительно небольшой интервал времени. Этот процесс деградации носил нелинейный характер, при котором крутизна падения тока с течением времени уменьшалась. В конечном результате падение тока автоэммиттера могло быть скомпенсировано незначительным повышением потенциала на вытягивающем ток пучка электроде. Нарастание величины тока до требуемых значений может быть достигнуто либо эквидистантным размещением нескольких острийных автоэммиттеров в одной отверстии, либо размещением лезвийного автоэммиттера. При этом необходимо уточнить предпочтительность расположения в отверстии ячейки того или иного типа автоэммиттеров. Поскольку для крупноструктурных острийных автоэммиттеров разрушение острий вследствие бомбардировки их ионами не столь катастрофично по

сравнения с микроостриями автоэммиттеров, тем не менее, необходимо предусмотреть защиту острий от потока ионов.

3. Результаты расчетов и их обсуждение

Рассматривались игольчатый и лезвийный автоэммиттеры: (рисунок 1, таблица 1), которые размещались по центру отверстия в электроде (а), в середине кольцевой щели (б), лезвие в середине кольцевой щели (в).

Таблица 1. Параметры ячейки		
	диаметр отверстий D_1 , мм	0,48
	диаметр ширина щели D_2 , мм	0,48
	радиус кривизны острия r , мкм	3,00
	высота острия и лезвия h , мм	1,00
	толщина сетки Δ , мм	0,14
	расстояние от сетки до анода, мм	0,30

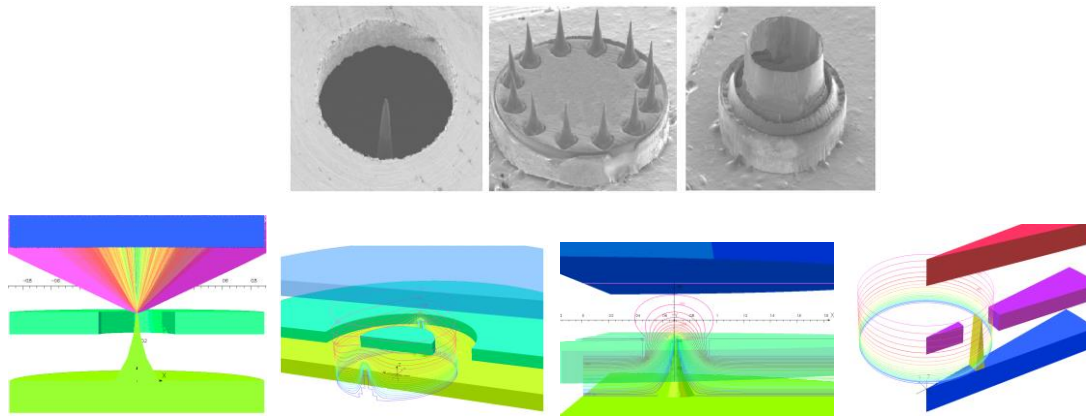


Рисунок 1. Типы рассмотренных автоэмиссионных ячеек: а) – игла в отдельном отверстии, б) – иглы в кольцевой щели, в) – лезвие в щели.

Для сопоставления результатов расчетов основные геометрические параметры ячеек и потенциалы на электродах были выбраны одинаковыми. Результаты расчета показали, что размещение лезвия в щели приводит к катастрофическому падению тока в ячейке и необходимости повышения потенциала по сравнению с размещением игольчатого автоэммиттера в отверстии. Использование игольчатого автоэммиттера в щели тоже приводит к уменьшению тока (хотя и не столь значительному) и приращению тока в такой ячейке за счет размещения большего количества острий происходит до тех пор, пока острия не начнут экранировать друг друга.

Таблица 2. Параметры образцов

№	Тип	Напряжение, кВ	Полный ток, мА	Поле на острие, 10^8 В/м
1	игла в отверстии	3,0	14,9	3,769
2	игла в щели	3,0	3,53	3,494
3	лезвие в щели	3,0	$4.0 \cdot 10^{-25}$	0.8

Для защиты игольчатых эммиттеров от бомбардировки ионами, может быть использован подход, предложенный в работе [3].

На рисунке 2 представлен результат расчета триодной ячейки с защитой от

бомбардировки острий ионами.

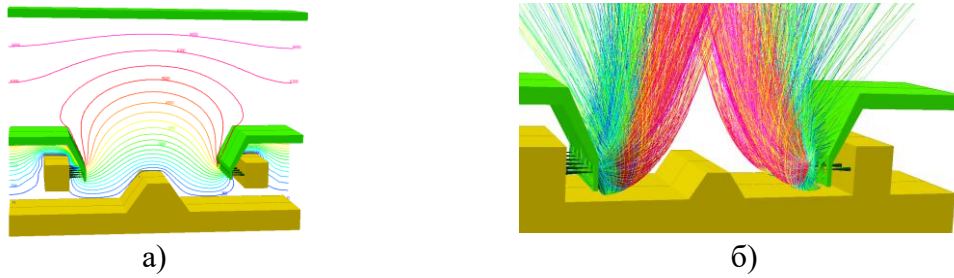


Рисунок 2. Распределение потенциала (а) и электронный поток (б) в триодной ячейке. Потенциал на сетке $U_g=6\text{кВ}$, потенциал на аноде $U_a=10\text{кВ}$, ток с одного острия $I=8\text{мА}$

4. Результаты экспериментальных исследований ячейки с групповым расположением автоэммиттеров

Экспериментально исследовался макет электронной пушки (рисунок 3), в которой размещались до четырех крупноструктурных автоэмиссионных ячеек из разных материалов (таблица 1). На управляющий электроды и анод пушки подавался одинаковый потенциал и, вследствие этого, электронный поток распространялся в эквипотенциальном пространстве. Измерения проводились при непрерывной откачке при давлении остаточных газов $5.0 \cdot 10^{-7} - 6.0 \cdot 10^{-8}$ Торр. Режим испытаний непрерывный.

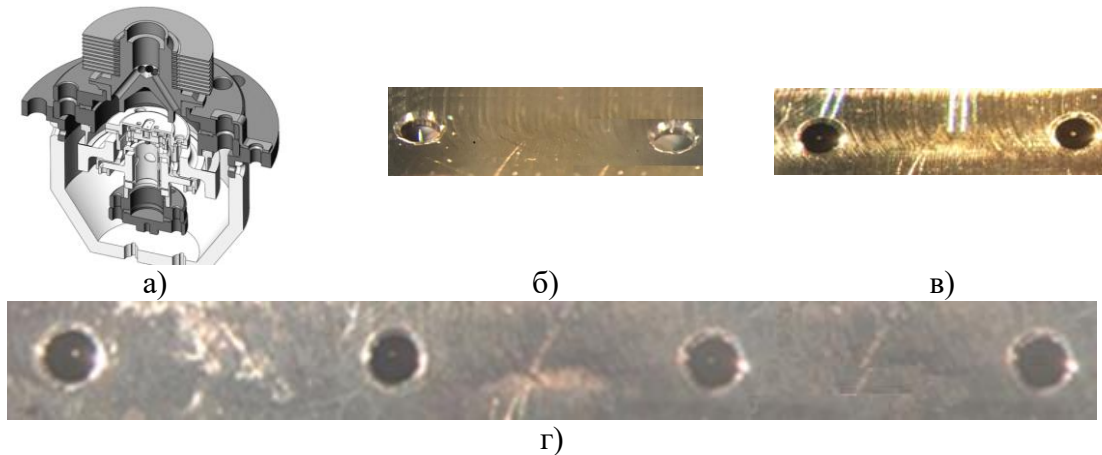


Рисунок 3. Экспериментальный макет (а), увеличенное изображение одного острия (б), двух острий (в) и трех острий (г), установленных в макете

Максимальные значения достигнутых катодных токов для автоэммиттеров, выполненных из вольфрама составили $6,0\text{мА}$ при напряжении 6130В . Токи на сетку составляли от 1 до 20% катодного тока.

На рисунке 4 представлены аналогичные фото для эмиттера из вольфрама после работы в течение 5 часов в непрерывном режиме. Измерения показали, что изменения кривизны эмиттера не происходит.

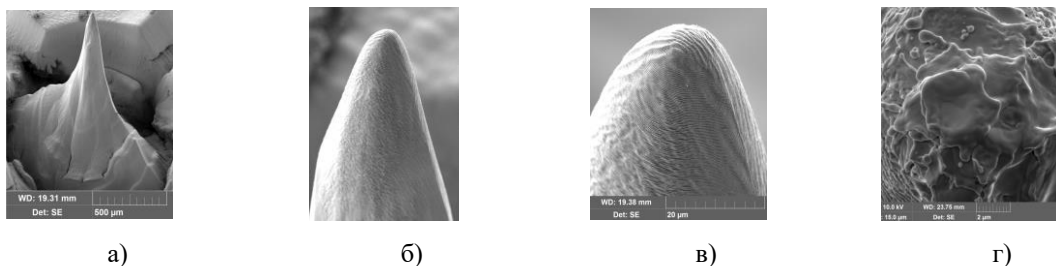


Рисунок 4. Фото вольфрамового автоэммиттера (а-в) до работы и после работы (г)

Зависимости токов от времени для вольфрамового эмиттера представлены на рисунке 5.

Как следует из анализа рис.5 при меньших значениях токов долговечность работы вольфрамового автоэмиттера увеличивается.

Наблюдаемая деградация катодного тока может быть легко скомпенсирована подстройкой потенциала на сетке.

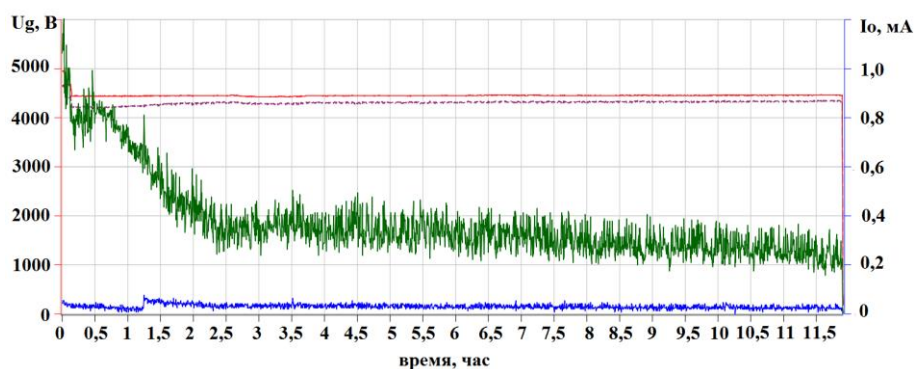


Рисунок 5. Зависимость тока вольфрамового острейного катода от времени

3. Заключение

Максимальные значения токов в непрерывном режиме на коллектор макета составили 5,4 мА при потенциале на сетке и аноде 5 кВ. Величина тока на сетке не превосходила 5% катодного тока.

Показано, что при вакууме $4 \cdot 10^{-8}$ Торр и долговечности испытания более 10 часов в непрерывном режиме вольфрамового катода с током 0,35 мА и напряжением катод-сетка 4600 В, деградация тока катода не превосходит 10 мкА/час.

Испытаны в непрерывном режиме двухлучевая и трехлучевая электронные пушки в диодном и триодном режиме. При этом токи с отдельных автоэмиттеров суммируются, и прогнозируемая величина тока с катодной матрицей из ста автоэмиттеров, может составлять не менее 35 мА.

Показано, что при кратковременной (~2-3 минуты) работе в непрерывном режиме и усредненной плотности тока с острия вольфрамового автоэмиттера, не превышающей, по крайней мере, $1000-3000 \text{ A/cm}^2$, изменения радиуса кривизны острия не происходит.

Список литературы

1. Морев С. П. и др. Экспериментальное исследование электронных пушек с крупноструктурными автоэмиссионными ячейками //Современные технологии в науке и образовании-СТНО-2020. – 2020. – С. 9-12.
2. Шестеркин В. И. и др. Улучшение свойств автоэмиссионных ячеек из стеклоуглерода при формировании острий с высоким аспектным отношением методом лазерного фрезерования //Радиотехника и электроника. – 2016. – Т. 61. – №. 9. – С. 896-904.
3. Морев С. П. и др. Электронно-оптические системы с автоэмиссионными катодными матрицами планарного типа для мощных СВЧ-приборов //Радиотехника и электроника. – 2013. – Т. 58. – №. 4. – С. 399-399.