

В 2008 году фирмой L-3 Communications-ED была разработана ЛБВ С-диапазона с применением автоэмиссионного катода. При скважности 100 был достигнут ток 120 мА, выходная мощность 100 Вт на частоте 5,0 ГГц. ЛБВ проработала 58 часов при скважности 100 и еще 80 часов при скважности 10.

К моменту постановки НИР «Автокатод» обзор открытых данных свидетельствовал, что:

- токовые характеристики лучших полевых эмиттеров из углеродных наноотростков (УНТ) позволяют использовать их во многих электронных устройствах, в том числе, и в высоковольтных;
- лучшие полевые эмиттеры из графена перспективны, но пока не обеспечивают достаточно больших полных токов полевой эмиссии;
- возможность УНТ и графеновых катодов долговечно работать в высоковольтных приборах при отборе больших плотностей токов и в условиях технического вакуума пока вызывает сомнение и требует проверки.
- изготовление эффективных полевых эмиттеров из УНТ и графена, требует использования чрезвычайно сложных технологий.

Основные причины выхода из строя полевых эмиттеров в высоковольтных электронных устройствах:

- разрушение под действием пондеромоторных сил;
- перегрев при отборе больших токов;
- распыление эмиттера ионами остаточного газа.

Меры по устранению выхода из строя полевых эмиттеров:

- работа ячеек в режиме относительно небольших значений отбираемой плотности тока;
- работа ячеек с распределением потенциала, обеспечивающего защиту от ионного потока;
- рассмотрение вопросов, связанных с работой ячеек в импульсном режиме;

Цель выполненной НИР:

разработка конструкций и технологий создания матриц из ячеек на основе многослойных гетерогенных углеродосодержащих полевых эмиттеров, для использования в катодах мощных электровакуумных ЭВП СВЧ с микросекундным временем готовности, работающих не менее 1600 часов при техническом вакууме с деградацией тока эмиссии не более 10% .

Разработанные технологии:

- базовая промышленная технология создания автоэмиссионных катодно-сеточных узлов на основе планарно-торцевых углеродосодержащих структур. Электропрочность диэлектрических слоев ~ 300 В/мкм;
- базовая промышленная технология изготовления ЭОС с автоэмиссионным КСУ на основе планарных структур с вертикальным расположением автоэмиттеров;
- технологический процесс глазурирования высокотемпературной алюмооксидной керамики.

Разработана и опробована технология глазурирования керамических подложек для лезвийных автоэмиссионных структур

Глазурированная керамика:

Керамика ВК-94, теплопроводность 20-25 Вт/м. град°К

Глазурь Г-1, теплопроводность 30-45 Вт/м. град°К

Коэффициенты линейного расширения совпадают

Композит устойчив к воздействию кислот

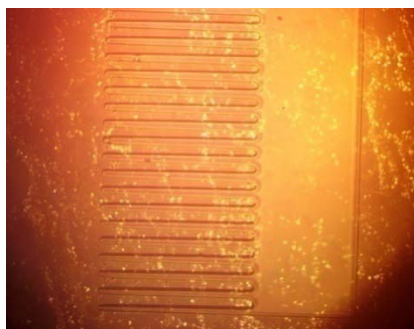


Рис.1. Изображение автоэмиссионной матрицы на подложке из глазурированной керамики ВК-94

Разработаны и испытаны экспериментальные образцы лезвийных автоэмиссионных структур

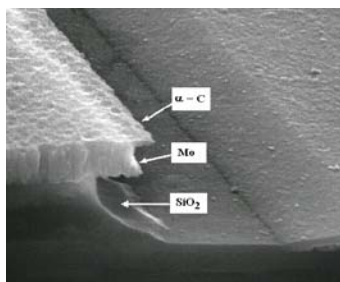


Рис.2. Микрофотография лезвийного автоэммитера

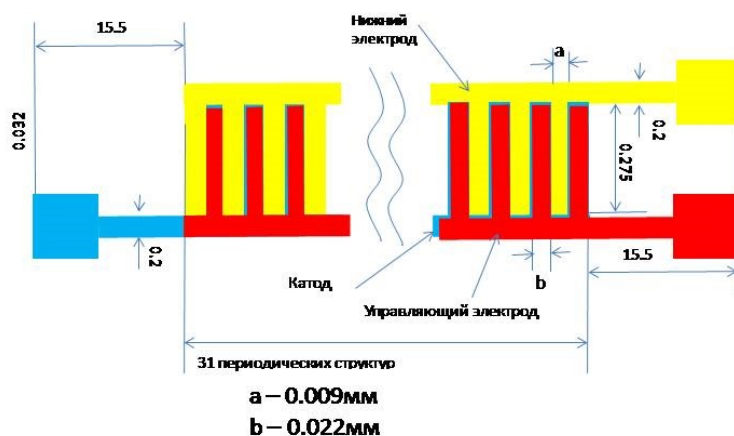


Рис.3. Схема автоэмиссионной матрицы с автокатодами лезвийного типа

Лезвийные структуры

Толщина лезвия эмиттера ~0,02 мкм

Толщина изолирующего слоя ~ 0,6 мкм

Толщина металлического слоя 0,3 мкм

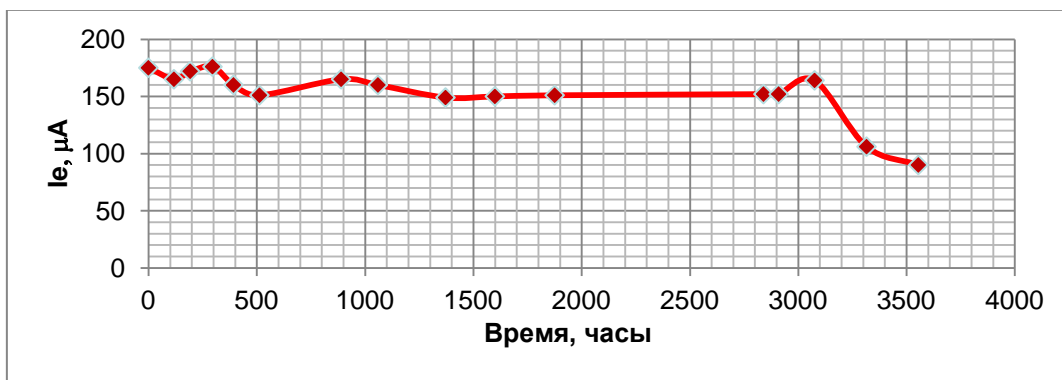


Рис. 4. Измерения тока эмиссии экспериментального образца на испытательном стенде после тренировки

Параметры и характеристики экспериментального образца

№ п/п	Наименование параметра	Ед. измерения	Значения
1	Усредненная по катоду плотность тока эмиссии	А/см ²	0,59
2	Потенциал на управляющем электроде	В	158
3	Потенциал катода отрицательный	В	1000
4	Время готовности	нс	85
5	Деградация тока эмиссии в рабочем режиме при предельных плотностях тока на 1600 часов работы	%	8,5

Разработаны и испытаны экспериментальные образцы ЭОС с автоэмиссионным КСУ на основе планарных структур с вертикальным расположением автоэммиттеров

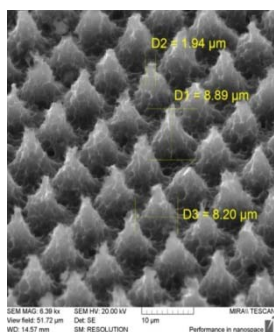


Рис.5. Микрофотография планарных структур с вертикальным расположением автоэммиттеров

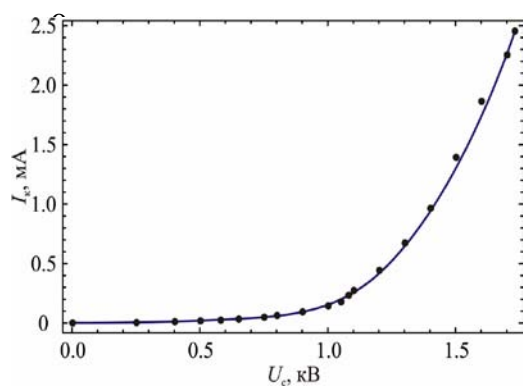


Рис.6. ЭОС с автоэмиссионным КСУ

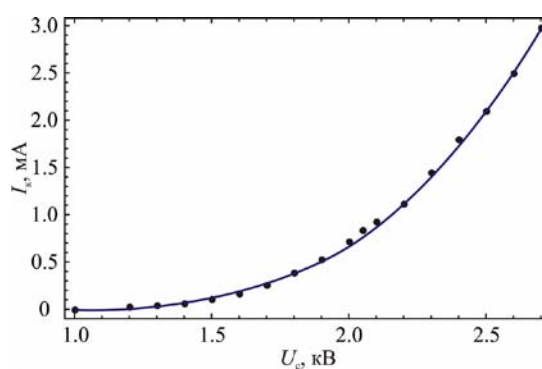
*Многослойные планарные структуры с вертикальным расположением автоэммиттеров из стеклоуглерода
непрерывный режим*

Достигнутая плотность упаковки 10^6 острий на 1см^2

Экспериментальный образец №1
плотность тока 0.264А/см^2
напряжение анода 10000 В .
напряжение на сетке 1730В (17.3%).



Экспериментальный образец № 2
плотность тока 0.32А/см^2
напряжение анода 15000 В .
напряжение на сетке 2700В (18.3%).



Достоинства и недостатки разработанных технологий

Достоинства:

- работоспособность при техническом вакууме;
- разработанные технологии не требуют применения импортных комплектующих;
- широкая сфера возможного применения

Недостатки:

- результаты теоретического и экспериментального исследования автоэмиссионных структур с импульсным режимом управления током показали, что при использовании автоэмиссионных структур с низкими значениями управляющих напряжений в СВЧ усилителях для обеспечения необходимой формы импульса необходимо существенно уменьшать балластное сопротивление в цепи питания катода;
- малая величина сопротивления приводит к сильной тепловой деформации структуры за счет емкостных токов и токов микропробоев, неограниченных балластным сопротивлением;
- для устойчивой работы необходим поиск компромисса между величиной управляющего напряжения и величиной тока катода. Стремление снижать управляющее напряжение кажется мало оправданным, как с точки зрения эффективной работы схемы, так и с точки зрения аппаратуры применения.

Планы по дальнейшему использованию и развитию результатов НИР

Постановка НИР для разработки основного функционального узла вакуумного СВЧ прибора – электронной пушки с матрицами рассмотренных автоэммиттеров, обеспечивающих долговечность не менее 1600 часов с деградацией не более 10% при плотности тока эмиссионного пятна не менее 0,2-0,5 А/см².

Постановка ОКР по разработке устройств для ЭВП СВЧ на базе автоэлектронных источников тока.