

# МОЩНЫЙ ИМПУЛЬСНЫЙ МАГНЕТРОН С АВТОЭМИССИОННЫМ ЗАПУСКОМ С ТРЁХМОДУЛЬНОЙ КОНСТРУКЦИЕЙ КАТОДНОГО УЗЛА

И.П. Ли, В.А. Мельников, Н.И. Скрипкин, В.И. Капустин, Н.Е. Леденцова,  
А.В. Шуманов, Е.Н. Глушко, Д.В. Бычков  
Акционерное Общество «Плутон» (г. Москва)

## Аннотация

Работа посвящена практической реализации задачи по созданию линейки магнетронов с безнакальным запуском с импульсной мощностью в диапазоне от нескольких десятков до нескольких сотен киловатт. Указанная цель достигается в результате замены в мощных магнетронах накаливаемого катодного узла на трёхмодульную конструкцию узла, активная часть которого состоит из чередующейся комбинации высокоэффективных вторично-эмиссионных катодов и автоэмиссионных блоков, содержащих автоэлектронные катоды и активаторы. Создание линейки мощных магнетронов с безнакальным запуском позволит существенно повысить тактико-технические и эксплуатационные характеристики локационных устройств и аппаратуры.

*Ключевые слова:* катодно-подогревательные узлы (КПУ), автоэлектронные катоды (АЭК), вторично-эмиссионные катоды (ВЭК), висеры, магнетрон.

Одним из перспективных направлений в области развития электровакуумных приборов СВЧ диапазона длин волн является создание линейки безнакальных магнетронов.

В данной работе показана возможность создания мощных магнетронов с автоэмиссионным запуском с  $10 \leq P \cdot f_0^2 \leq 100$ , где  $P$  - выходная импульсная мощность магнетрона в МВт,  $f_0$ -частота в ГГц [1], что позволит: обеспечить: а) мгновенный запуск магнетрона в режим генерации; б) отказаться от использования достаточно мощных источников питания накала КПУ; в) существенно уменьшить массогабаритные размеры модуляторного устройства и аппаратуры в целом.

Цель работы может быть достигнута в результате замены в мощных магнетронах КПУ с косвенным накалом на трёхмодульную конструкцию катодного узла, активная часть которого содержит ВЭК, АЭК и активаторы АЭК.

В АО «Плутон» на протяжении длительного времени серийно выпускаются более 20 видов магнетронов с безнакальным запуском малой и средней мощности, срок службы которых составляет от нескольких сотен до десятка тысяч часов.

В подобном классе магнетронов инициирование начала генерации обеспечивается током автоэлектронной эмиссии с танталовых автокатодов, а поддержание режима генерации обеспечивается вторично-эмиссионными прессованными палладий-бариевыми катодами, которые одновременно являются активаторами АЭК [2-4].

В мощных магнетронах, в результате интенсивной обратной электронной бомбардировки, может происходить перегрев активной части катодного узла, что, с одной стороны, негативно отразится на эмиссионных и активирующих свойствах ВЭК и, с другой стороны, может привести к изменению геометрических размеров (Рис. 1), обуславливающим деградацию электрических параметров магнетрона и его преждевременный выход из строя.

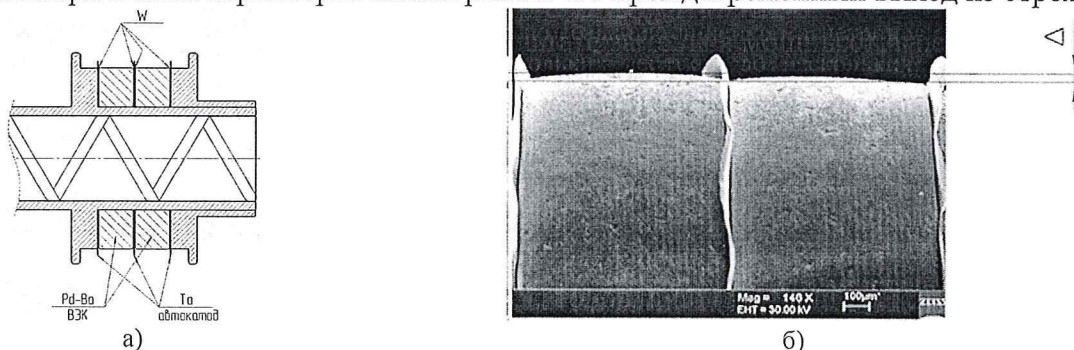


Рис. 1. а) Схематичное изображение конструкции стандартного двухмодульного КПУ магнетрона с безнакальным запуском; б) Катодный узел магнетрона с безнакальным запуском после длительной прокатки при температуре порядка  $\sim 1050^\circ\text{C}$  в течение 180 мин. (имитация условий работы КПУ в мощных магнетронах)

Задача создания КПУ со стабильными эмиссионными и механическими свойствами в условиях интенсивной обратной электронной бомбардировки решена в результате замены накаливаемого катодного узла в мощных магнетронах на трёхмодульный узел, активная часть которого содержит один или несколько автоэмиссионных блоков (АЭБ) и два или более вторично-эмиссионных катодов со стабильными вторично-эмиссионными свойствами, устойчивыми к ионной и электронной бомбардировкам (Рис. 2). Автоэмиссионный блок состоит из автокатада и двух активаторов, размещенных по обеим его сторонам.

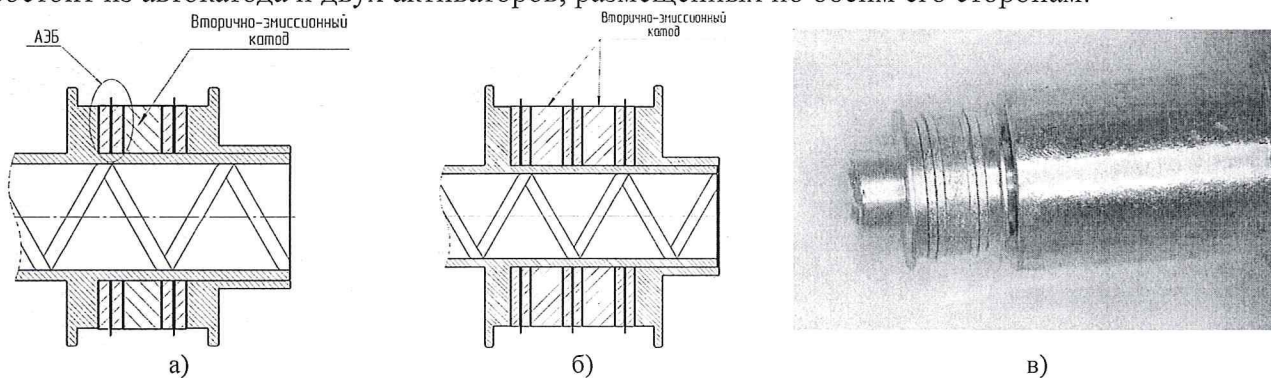


Рис. 2. Конструкция трёхмодульного КПУ: а, б) схематичное изображения конструкции 3-модульных КПУ; в) пример трёхмодульного катодного узла магнетрона с безнакальным запуском

При создании конструкции трёхмодульного КПУ были использованы результаты исследований, выполненные в АО «Плутон», из которых следует, что аномально высокие значения автоэлектронной эмиссии с АЭК обеспечиваются эмиссией с вискеро́в, сформированных на торцевой поверхности танталовых АЭК в результате специального термополевого активирования катодного узла (Рис. 3) [5-7].

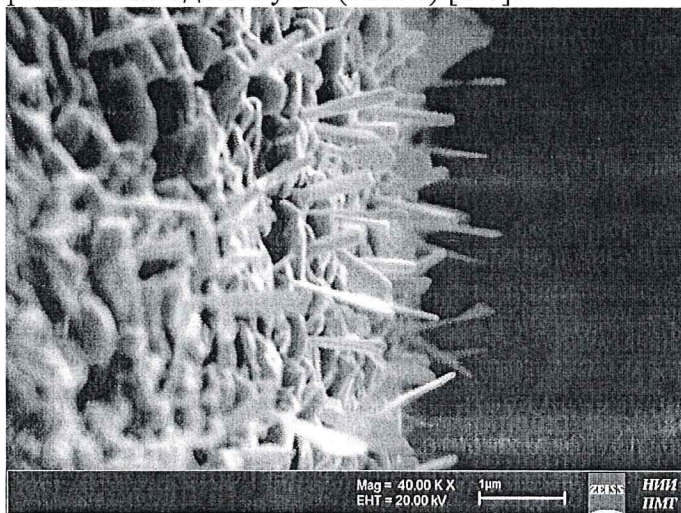


Рис. 3 Вискеры на АЭК при увеличении  $M \sim 40\,000^{\times}$

Исследования, выполненные в растровом электронном микроскопе, снабжённом рентгеновским микроанализатором показали, что вискеро́в, сформированные на танталовой подложке (АЭК), предположительно, состоят из палладия и частично или полностью покрыты кристаллитами оксида бария, в избытке содержащимися в материалах активатора и ВЭК.

Следует отметить, что структура, состоящая из вискеро́в на поверхности АЭК, является самовосстанавливающейся системой при условии, что температура узла близка к условиям режима активирования КПУ. В магнетронах это проявляется в росте тока автоэлектронной эмиссии до номинального уровня и выше при повторном активировании КПУ после деградации АЭК в результате отравления, искрений, пробоев и др. факторов.

Конструкция трёхмодульного КПУ была апробирована в мощном серийно-выпускаемом магнетроне с накаливаемым катодным узлом.

#### Технические характеристики исходного магнетрона с накаливаемым КПУ

Допустимая импульсная мощность в пределах 100-150 кВт; анодное напряжение - не более  $U_a=18$  кВ; длительность импульса 0,25 нс; время готовности не более 3 мин. Срок службы - не менее 500 час.

#### Технические характеристики опытного магнетрона с 3-х модульным КПУ

Полученная импульсная мощность 140 кВт; анодное напряжение - не более  $U_a=18$  кВ; длительность импульса 0,25 нс; достигнут безнакальный запуск в режим генерации, в том числе при температуре – 60°C. Параметры магнетрона после испытаний в режиме генерации в течение ~100 час (по состоянию на сегодняшний день), - остались неизменными.

В опытном магнетроне использовался 3-модульный КПУ, состоявший из трех автоэмиссионных блоков и двух ВЭК в виде втулок из пористого вольфрама ( $\Pi = 26-28 \%$ ), пропитанных совместно-осаждённым алюминатом бария-кальция состава  $3\text{BaO} \cdot 0,5\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ .

#### **Выводы**

Результаты исследований показали, что заменой накаливаемых катодных узлов, использующихся в серийно-выпускаемых мощных магнетронах, на трёхмодульные КПУ, содержащие автоэмиссионные блоки и ВЭК со стабильными вторично-эмиссионными, теплофизическими и механическими свойствами, устойчивыми к деградирующему воздействию ионной и обратной электронной бомбардировок, - можно достичь искомой цели - создать линейку магнетронов с мгновенной готовностью с импульсной мощностью от нескольких десятков до нескольких сотен киловатт.

1. Петроченков В.И. Оптимизация характеристик магнетрона // Электронная техника. Серия 1, СВЧ-техника, Вып. 2(505), 2010г., стр. 3-11.
2. Ли И.П., Поливникова О.В. Прессованный металлогалогенный палладий-бариевый катод // Электронная техника. Серия 1. СВЧ-техника. Вып. 1 (512), 2012г., стр. 21-24.
3. Ли И.П., Петров В.С., Поляков В.С., Силаев А.Д., Харитонов Н.Е., Минин А.А., Гайдар А.И. Одновременное активирование автоэлектронного и вторично-эмиссионного катодов магнетрона с безнакальным запуском // Известия ВУЗов. Электроника. № 3 (107), 2014г., стр. 30-37.
4. Капустин В.И., Ли И.П., Шуманов А.В., Москаленко С.О., Буш А.А., Лебединский Ю.Ю. Физический механизм работы палладий-бариевых катодов СВЧ-приборов // ЖТФ. Том 89, вып. 5, 2019г., стр. 771-780.
5. Ли И.П. Наноструктуры в палладий - бариевых катодах СВЧ приборов // Электроника. Наука. Технологии. Бизнес № 5, 2018г., стр. 144-151.
6. Ли И.П., Комиссарчик С.В., Лифанов Н.Д. Магнетрон с безнакальным запуском со специальным активированием автоэлектронных катодов // Патент РФ № 2494489, приоритет изобретения с 10.02.2012г.
7. Ли И.П., Мельников В.А., Лифанов Н.Д. и др. Импульсный магнетрон с безнакальным запуском с трёхмодульным активным телом в катодном узле // Патент РФ № 2776305, приоритет изобретения с 29.11.2021 г.