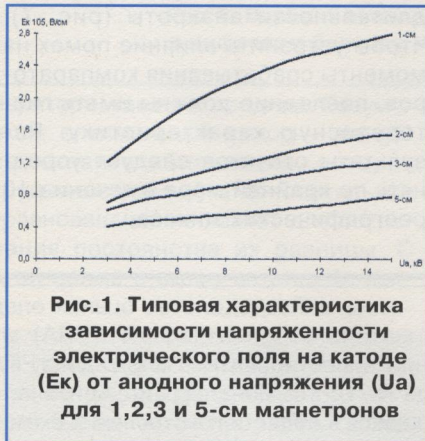


# Безнакальные с автоэлектронным магнетроны возбуждением

М. Копылов

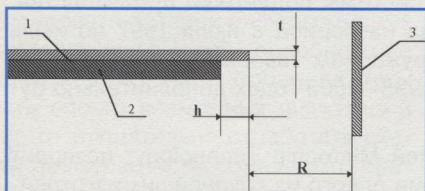
**Высоконадежные безнакальные магнетроны, о которых пойдет речь в статье, — результат длительных теоретических и экспериментальных исследований, поиска конструкторско-технологических решений по геометрии автоэлектронного (АЭ) эмиттера, выбору материала АЭ и вторично электронного (ВЭ) эмиттеров, активировке АЭ эмиттера и др. В итоге создан магнетрон, обладающий значительными преимуществами по сравнению с магнетронами с накаливаемым катодом. Редакция рада сообщить, что эта разработка получила Золотую медаль на очередном Всемирном салоне изобретений “Брюссель-Эврика” в ноябре 1996 года и желает ее автору дальнейших творческих успехов.**

Известно, что в магнетронах полный ток анода состоит из двух составляющих: тока возбуждения (например, термотока) и тока вторичной эмиссии. Током возбуждения может быть автоэлектронная (АЭ) эмиссия. Величина тока возбуждения, именуемая еще током “запуска”, составляет десятки доли процента от общего тока. Для достижения необходимого тока АЭ эмиссии напряженность электрического поля на катоды должна быть (107В/см. Величина же электрического поля на катоде магнетрона на два порядка ниже. На рис.1 показано расчетное



типичное значение напряженности электрического поля (Ек) в зависимости от анодного напряжения (Ua) для 1,2,3 и 5-см магнетронов.

АЭ эмиттером может быть кромка (ребро) шайбы из фольги или



**Рис.2. Взаимное расположение АЭ эмиттера (1), ВЭ эмиттера (2) и анода (3)**  
1 — выступающая часть АЭ эмиттера относительно ВЭ эмиттера;  
t — толщина АЭ эмиттера;  
R — расстояние между АЭ эмиттером и анодом

пленки тугоплавкого металла (Ta, W, Nb), выступающая над поверхностью ВЭ эмиттера h (рис.2). Типичная величина толщины фольги t (1—5)мкм. Величина h определяется из электродинамических характеристик магнетрона и должна быть равна или меньше эффективного размера облака синхронного пространственно заряда магнетрона. Она выражается формулой:

$$h \leq \frac{d_k}{2} \cdot \sqrt{\frac{1}{1 - 2 \frac{\omega_c}{\omega_0}}}, \quad (1)$$

где  $d_k$  — диаметр вторичноэмиссионного катода;

$\omega_n = \frac{2\pi f_0}{n}$ , ( $f_0$  — рабочая частота магнетрона,  $n$  — номер вида колебаний);

циклотронная частота  $\omega_c = \frac{e}{m} \cdot B$  ( $e, m$  — заряд и масса электрона соответственно,  $B$  — магнитная индукция).

Напряженность электрического поля на кромке АЭ эмиттера ( $E_k$ ) определяется из соотношения

$E_k = \beta \cdot U_a$  [1], где  $\beta = \frac{2}{\sqrt{\pi R t}}$  ( $R$  — зазор АЭ эмиттер-анод,  $U_a$  — анодное напряжение между катодом-анодом).

Так, для 3-см магнетрона с  $U_a = 7,5$  кВ, межэлектродным зазором  $R = 0,7$  мм и толщиной АЭ эмиттера  $t = 2$  мкм  $\beta = 600$  см<sup>-1</sup> (для цилиндрической конструкции электродов)

$$E_k \cong 0,5 \cdot 10^7 \text{ В/см.}$$

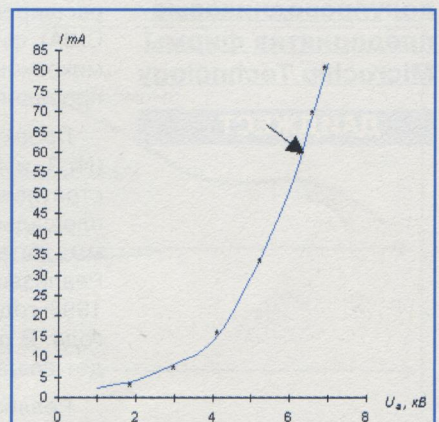
Однако, как показывают расчеты, подтверждаемые экспериментальными данными, при работе выхода  $\Phi \sim 4,12$ эВ АЭ эмиссия на несколько

порядков меньше необходимой для возбуждения магнетрона.

В результате активировки АЭ эмиттера активными элементами ВЭ эмиттера (Ba, Sr, Ca) путем адсорбции активных веществ из их паров или потока работа выхода, например, Ta понижается с 4,12эВ до 1,18эВ (система Ta — BaO) [2].

Импульсная вольтамперная характеристика пленочного эмиттера тугоплавких металлов, активированных Ba, приведена на рис.3. Эта характеристика хорошо совпадает с формой характеристики, предсказываемой теорией Фаулера—Нордгейма. Стрелкой на рисунке показано напряжение возбуждения, составляющее 0,8—0,85 анодного напряжения магнетрона, рабочее напряжение которого равно 7,5кВ. Ему соответствует ток АЭ эмиссии, составляющий 60—70мА. Необходимая же величина почти на порядок меньше — всего 8—10 мА.

Экспериментально установлено, что характер и закономерность приведенной характеристики остаются практически неизменными как в те-



**Рис.3. Импульсная вольтамперная характеристика автоэмиттера из танталовой фольги толщиной 4 мкм, активированного Ba; межэлектродный зазор - 0,85 мкм**



**Основные параметры безнакальных магнетронов  
3 см диапазона длин волн**

Наименование параметра	МИ-430	МИ-454	МИ-460	МИ-461
Импульсная мощность, кВт	25	10	25	35
Анодное напряжение (импульсное, номинальное), кВ	7,5	6,5	7,5	9,0
Анодный ток (импульсный, номинальный), А	7,5	5,5	8,5	10
Рабочий диапазон частот, ГГц	9,345±0,03 9,375±0,03 9,430±0,03	9,430±0,03	8,880-9.250	8,880-9.250
Область устойчивой работы, % IaN	±20	±20	±20	±20
Длительность импульса, мкс	0,3-15	0,04-1,0	0,04-1,0	0,04-1,0
Коэффициент заполнения, не более	0,0025	0,002	0,002	0,002
Скорость нарастания фронта модулирующего импульса, кв/мкс	35-45	80-90	50-70	75-100
Масса, кг	1,35	1,2	1,7	2,3
Габариты (max), мм	117x92x75	107x75x68	145x122x71	145x113x60

чение срока службы (10000 и более часов), так и при длительном хранении (не менее 10 лет).

Этот факт, наряду со стабильным и высоким (~3) значением коэффициента ВЭ катода, обеспечивает высокую надежность и долговечность

безнакального магнетрона с АЭ возбуждением.

Конструкция катодного узла, состоящая из АЭ и ВЭ эмиттеров описана в патенте №2007777 [3]. Основные результаты разработки доложены на международных конференци-

ях по АЭ эмиссии в Японии (Нагохама, 1991 год), Австрии (Вена, 1992 год), в США (Нью-Порт, 1993 год), а также описаны в статьях [4–6].

В числе достоинств и преимуществ безнакальных магнетронов по сравнению с магнетронами с накаливаемым катодом можно назвать “мгновенную” (с первого импульса) готовность без затрат энергии на разогрев катода и высокую долговечность (более 10000 часов). Существенно повышается надежность магнетрона. Значительно упрощается схема передающего устройства. Из схемы исключаются 40 – 50 радиокомпонентов, поскольку отпадает необходимость в высокопотенциальном трансформаторе, управляющем устройстве и регуляторе напряжения в цепи накала, задающем и блокинг-генераторах, реле времени и др. Применение безнакальных магнетронов уменьшает массу и габариты локатора на 15%, снижает его себестоимость, одновременно повышая эксплуатационную надежность. В таблице приведены основные параметры некоторых безнакальных магнетронов 3-см диапазона волн.

## ЛИТЕРАТУРА

- Бондаренко Б.В., Акоюн Р.Л.** Расчет эмиссионных характеристик пленочных автокатодов, “Радиоэлектроника и электроника” 1972, XVII, 5, 1059
- Фоменко В.С., Подчерняева И.А.** “Эмиссионные и адсорбционные свойства веществ и материалов”. – М., Атомиздат, 1975
- “Магнетрон”, патент РФ № 2007777 с приоритетом от 15 апреля 1992г.
- М.Ф. Копылов, В.В. Бондаренко, В.И. Махнов.** High-Performance Heating Free Magne-

- tron with Field Emission Excitation. – IV MC 91 Technical Digest, 1991, Nagahama, Japan, p.p. 74–75
- М.Ф. Копылов.** Design and technology features of heating-free magnetrons with autoemission excitation. – J. Vas. Technol. B 11(2), Mar/Apr 1993, B 481
- М.Ф. Копылов.** Activation, stadilization degradation, and lifetime predictions of refractory thin films emitters operated in cold cathode magnetrons. – J. Vac.

- Sci. Technol. B 12(2), Mar/Apr 1994, B 700
- М.Ф. Копылов.** Design and technology features of heating-free magnetrons with autoemission excitation. – J. Vas. Technol. B 11(2), Mar/Apr 1993, B 481
- М.Ф. Копылов.** Activation, stadilization degradation, and lifetime predictions of refractory thin films emitters operated in cold cathode magnetrons. – J. Vas. Sci. Technol. B 12(2), Mar/Apr 1994, B 700

## Американский рынок пассивных компонентов

### ДАЙДЖЕСТ

Согласно прогнозам фирмы Freedonia Group, объем продаж пассивных компонентов на рынке США к 2000 году достигнет 16 млрд. долл. (среднегодовые темпы прироста 5,0%). К классу пассивных компонентов фирма относит соединители; конденсаторы; дроссели, катушки индуктивности и трансформаторы; СВЧ компоненты; резисторы; кварцевые генераторы, фильтры и пьезоэлектрические компоненты. Отмечается, что самые высокие темпы прироста объема продаж, превышающие среднегодовые, будут характерны для волоконно-оптических и специальных разъемов и СВЧ компонентов для автомобильных систем и беспроводных систем связи следующего поколения.

Объем отгрузок к 2000 году составит 14 млрд. долл. (среднегодовые темпы прироста 5,3%). Однако несмотря на большой рост предложения в сравнении со спросом, торговый дефицит США на рынке пассивных компонентов увеличится по сравнению с уровнем 1995 года (1,8 млрд. долл.). Вместе с тем расширение производственных мощностей американских предприятий наряду с уменьшением спроса в конце концов приведет к сокращению импорта этих изделий.

*Microwave Journal, 1996, v.39, N9, p. 45*