

# МАГНЕТРОНЫ ИМПУЛЬСНОГО ДЕЙСТВИЯ – ВСЕ ДЕЛО В КАТОДЕ

И.Ли ork@pluton.msk.ru

Современная СВЧ-техника характеризуется большим разнообразием типов генераторов. Особое место среди них занимают магнетроны. Благодаря высокому КПД, компактности, надежности, стабильности, большой мощности генерируемых колебаний они широко применяются в радиолокационных и навигационных системах, медицине и в других отраслях. Но создание долговечных магнетронов со стабильными и воспроизводимыми параметрами возможно лишь в случае применения высокоэффективных и надежных катодных систем, сохраняющих свои свойства при воздействии различных дестабилизирующих факторов. Магнетроны с такими катодами созданы в ОАО "Плутон".

Особенностью работы катодов в магнетронах является то, что они подвергаются очень большим нагрузкам в результате интенсивной "бомбардировки" потоками электронов и ионов. Для оценки этих нагрузок можно воспользоваться соотношением  $S = P_u f_o^2$  [1], где  $P_u$  – импульсная мощность магнетрона в МВт,  $f_o$  – частота генерируемых колебаний в ГГц. Параметр  $S$  используется для классификации магнетронов по мощности (табл.1).

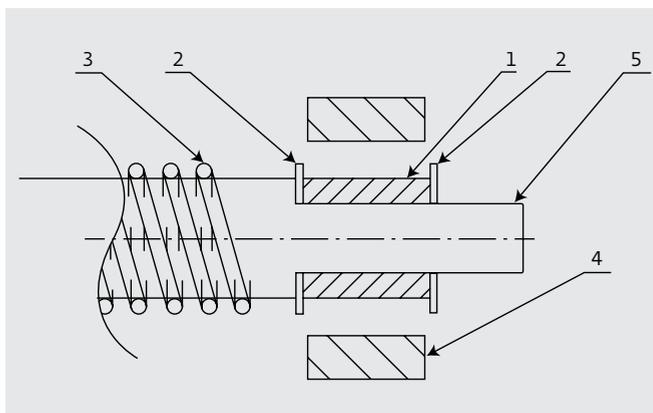
Все магнетроны, выпускаемые в РФ и за рубежом, можно разбить на две группы, отличающиеся типами катодов: магнетроны с накаливаемым

**Таблица 1.** Классификация магнетронов по частотно-мощностным характеристикам

Значение $P_u f_o^2$	Класс магнетрона
Не более 1,0	Маломощный
От 1 до 10	Средней мощности
От 10 до 100	Мощный
Свыше 100	Сверхмощный

катодом и магнетроны с "холодным", не накаливаемым, катодом (магнетроны с безнакальным запуском).

В магнетронах первой группы инициирование и поддержание генерации обеспечивается нагревом до рабочей температуры термо-вторично-эмиссионным катодом. В зависимости от уровня



**Рис.1.** Конструкция катодного узла сверхмощного магнетрона 2-мм диапазона длин волн: 1 – металлокерамический катод из соединения иридия с лантаном; 2 – концевые экраны; 3 – подогреватель; 4 – анод; 5 – сердечник катода



Рис.2. Катодно-подогревательный узел магнетрона

выходной мощности используются оксидные катоды (как правило, в маломощных магнетронах), различные модификации металлопористых катодов (преимущественно в магнетронах с малой и средней мощностью), металлосплавные катоды, изготовленные из интерметаллических соединений металлов платиновой группы и редкоземельных металлов (в мощных и сверхмощных магнетронах) [2-10].

Среди магнетронов, серийно выпускаемых в ОАО "Плутон", несомненный интерес представляют различные модификации сверхмощных ( $P_{\text{н}} f_0^2 > 100$ ) магнетронов 2-мм диапазона длин волн (рис.1, 2). За счет модернизации конструкции катодно-подогревательного узла (КПУ) и разработки специальной технологии изготовления иридий-лантановых катодов ресурс работы этих магнетронов будет повышен до 2000 ч.

В приложениях, характеризующихся высокими скоростями и маневренностью движущихся

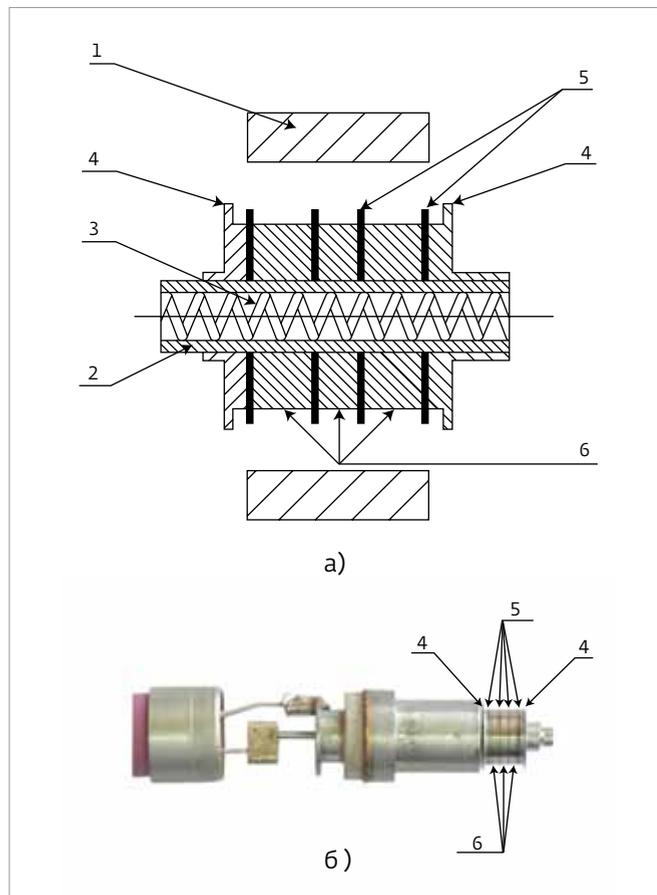


Рис.3. Катодный узел магнетрона с безнакальным запуском: а) конструкция катода; б) реальный катодный узел: 1 – анод; 2 – kern катода; 3 – технологический подогреватель (во время эксплуатации не используется); 4 – концевые экраны; 5 – автоэлектронные катоды; 6 – вторично-эмиссионные катоды

Таблица 2. Некоторые сравнительные характеристики магнетронов с накаливаемыми катодами и магнетронов с безнакальным запуском

Параметр	Магнетроны с накаливаемым термо-вторично-эмиссионным катодом	Магнетроны с "холодным" (безнакальным) катодом
Необходимость в нагреве катода	Есть	Нет
Температура катода при запуске магнетрона в режим генерации, °C	800–1100, в зависимости от типа катода	Температура окружающей среды (до -60°C)
Время готовности магнетрона	До 5 мин и более, в зависимости от конструктивно-технологического варианта КПУ	С первого импульса
Срок службы магнетрона, ч	Не более 3000	Не менее 5000

**Таблица 3.** Основные технологические параметры при производстве магнетронов с безнакальным запуском

Тип катода	Коэффициент использования палладия, %	Длительность тренировки в динамическом режиме, ч	Выход годных приборов, %
Катод из сплава ПдБ-2	15–20	16–24	45–60
Прессованный Pd-Va-катод	70–75	Не более 4–5	70–80

целей, особое внимание уделяется не только надежности и долговечности, но и времени готовности аппаратуры, где используются магнетроны. Время готовности магнетронов с накаливаемыми катодами колеблется от нескольких секунд (прямокальные катоды) до нескольких минут (катоды с косвенным накалом). Препятствием для снижения времени готовности является необходимость разогрева катода до рабочей температуры. В отдельных случаях снижение времени готовности магнетронов достигается в результате кратковременной подачи на подогреватель повышенного напряжения накала (форсированный режим) или за счет поддержания катода в нагретом состоянии ("дежурный" режим).

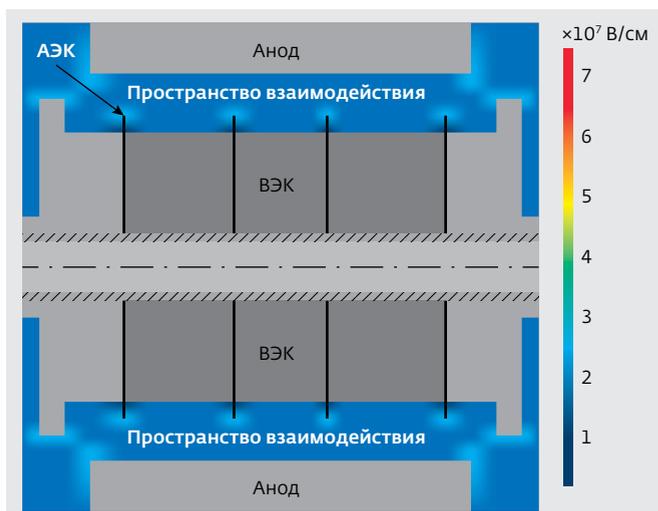
Однако как форсированный, так и "дежурный" режимы неблагоприятно сказываются на эксплуатационных параметрах магнетронов: форсированный режим снижает надежность подогревателей, а "дежурный" режим, вследствие напыления продуктов испарения с катода на элементы приборов, снижает их электрическую прочность, изменяет частоту генерируемых колебаний и др.

Кардинальное решение проблемы по снижению времени готовности было достигнуто в результате создания магнетронов с безнакальным запуском, заслуженно являющихся гордостью ОАО "Плутон" [11–15]. Сегодня предприятие выпускает более 14 типов магнетронов сантиметровой и миллиметровой диапазонов длин волн с безнакальным запуском. От магнетронов с накаливаемыми катодами они отличаются большей долговечностью и малым временем готовности (табл.2).

Готовность с первого импульса достигается за счет специальной конструкции катодного узла. Катоды безнакальных магнетронов состоят из чередующихся автоэлектронных катодов (АЭК) – колец из танталовой фольги толщиной около 4 мкм – и вторично-эмиссионных катодов (ВЭК) – втулок протяженностью от долей до нескольких миллиметров, изготовленных из материала со стабильными вторично-эмиссионными свойствами (рис.3). Инициирование генерации обеспечивается током полевой эмиссии с АЭК, а генераторный режим поддерживается ВЭК. При подаче на анод высоковольтного импульсного напряжения на острых краях АЭК концентрируется значительное по величине электрическое поле (рис.4), благодаря чему в пространстве взаимодействия магнетрона формируется электронный поток с АЭК. Он под воздействием скрещенных электрического и магнитного полей бомбардирует эмитирующую поверхность ВЭК. В результате в пространстве взаимодействия образуется пространственный заряд определенной конфигурации – "спица", который, взаимодействуя с ВЧ-полем магнетрона, обеспечивает генерацию электромагнитных колебаний.

Следует упомянуть, что ранее в магнетронах с безнакальным запуском использовались "литые" палладий-бариевые катоды из сплава ПдБ-2. Эти магнетроны имели ряд несовершенств, которые были устранены только после замены ПдБ-2-катодов на прессованные [16–19] (табл.3).

В заключение отметим, что сегодня в ОАО "Плутон", наряду с работами по совершенствованию типовых технологий изготовления катодов,

**Рис.4.** Распределение напряженности электрического поля в пространстве взаимодействия магнетрона с безнакальным запуском

ведутся интенсивные исследования по созданию катодов для мощных и сверхмощных магнетронов миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов длин волн с безнакальным запуском, а также для различных типов ЛБВ с малым (менее 2-3 с) временем готовности.

## ЛИТЕРАТУРА

1. **Петроченков В.И.** Расчет электрических характеристик магнетрона на основе приближенной аналитической модели. – Радиотехника и электроника, 1994, №11, с.1825-1844.
2. **Никонов Б.П.** Оксидный катод. – М.: Энергия, 1978.
3. **Кудинцева Г.А., Мельников А.И., Морозов А.В., Никонов Б.П.** Термоэлектронные катоды. – М.-Л.: Энергия, 1966.
4. **Коржавый А.П., Редега К.П.** Материалы для катодов с низкими значениями первого критического потенциала. – Обзоры по электронной технике, 1987, сер.6, вып.2 (1269).
5. **Green M.C., Skinner H.B., Tack R.A.** Osmium-tungsten alloys and their relevance to improved M-type cathodes. – Appl. Surface Science, 1981, v.8, №12, p.13-35.
6. **Yamamoto S., Taguchi S., Aida T., Kawase S.** Some fundamental properties of  $Sc_2O_3$  mixed matrix impregnated Cathode. – Appl. Surface Science, 1984, v.17, №14, p.504-516.
7. **Вирин Я.Л., Дюбуа Б.Ч.** Эмиссионные свойства металлопористых катодов на основе осмия. – Известия АН СССР, 1979, сер. физическая, т.43, №3, с.662.
8. А.С. №1299376, 1986. Способ изготовления металлопористого термокатода./Семенов Л.А., Ли И.П., Рухляда Н.Я. и др.
9. **Ли И.П., Рухляда Н.Я.** Создание поверхностных структур с заданными свойствами с помощью концентрированных потоков частиц. – Физика и химия обработки материалов, 2005, №1, с.61-65.
10. **Lee I.P., Maslennikov O.Yu., Roukhlyada N.Ya.** Modification of the dispenser cathode surface with a pulse plasma. – Fourth IEEE International Vacuum Electron Source Conference, IVESC 2003, Seoul, Korea, 2003, p.313-314.
11. А.С. №2040821, 1991. СВЧ-прибор М-типа./Махов В.И., Бондаренко Б.В., Копылов М.Ф.

12. Патент РФ №2019877. Приоритет 17.04.1991. Магнетрон с безнакальным катодом./Пипко Ю.А., Семенов Л.А., Галактионова И.А. и др.
  13. Патент РФ № 2380784. Приоритет с 24.10.2008. Магнетрон с безнакальным запуском./Ли И.П., Дюбуа Б.Ч., Каширина Н.В. и др.
  14. **Васильева Е.В., Дюбуа Б.Ч., Ермолаев Л.А., Култашев О.К.** Эмиссионные свойства сплавов Pt-Wa, Ir-La, Os-La. – Радиотехника и электроника, 1966, т.11, вып.11, с.1150.
  15. **Дюбуа Б.Ч.** Современные эффективные катоды. – Радиотехника и электроника, 1999, №4, с.55.
  16. **Ли И.П., Поливникова О.В.** Прессованный катод. – Электронная техника. Сер.1. СВЧ-техника, 2012, №1, с.21-24.
  17. **Ли И.П., Бондаренко Г.Г.** Использование водородно-вакуумной обработки порошков палладия для получения эффективных металлосплавных катодов безнакального магнетрона. – Перспективные материалы, 2012, №1, с.30-34.
  18. **Ли И.П., Петров В.С., Поляков В.С.** и др. Анализ современных представлений о синтезе наноразмерных эмиссионных гетероструктур на поверхности палладий-бариевого катода при активировании. – Известия вузов. Электроника, 2012, №3, с.19-25.
  19. **Харитонова Н.Е., Ли И.П., Силаев А.Д.** и др. Исследование путей повышения качества прессованных палладий-бариевых катодов. – Материалы XXII Международной конференции "Радиационная физика твердого тела", 2012.
- .....