

БЕЗНАКАЛЬНЫЕ МАГНЕТРОНЫ – ВЧЕРА, СЕГОДНЯ, ЗАВТРА

М.Зыбин, к.т.н.
info@pluton.msk.ru

Одно из существенных достижений последних 30 лет в области разработки и производства вакуумных СВЧ-приборов – создание и промышленное производство безнакальных магнетронов, т.е. магнетронов с безнакальным, или "холодным", катодом. О том, каковы основные преимущества, области применения и перспективы развития этих устройств рассказывается в статье.

Использование безнакальных магнетронов позволяет создавать новую аппаратуру с высокими характеристиками:

- мгновенная готовность к работе без использования режимов дежурного и форсированного накала, которые резко снижают надежность и долговечность аппаратуры;
- возможность мгновенного кратковременного выключения и переключения режимов работы аппаратуры, в том числе многократного изменения скважности в 100 и более раз;
- повышенная за счет использования "холодного" катода магнетрона долговечность и надежность даже при повышенных нагрузках на катод;
- повышенная надежность за счет исключения отказов цепи накала магнетрона, накального трансформатора и накальных реле и переключателей;
- отсутствие модуляции электронного потока магнетрона и его спектра частот электромагнитным полем, создаваемым током накала;
- уменьшенная масса аппаратуры за счет исключения накального трансформатора, накальных реле и переключателей и облегчения источника питания;
- уменьшенная стоимость эксплуатации и производства аппаратуры за счет снижения ее энер-

гопотребления и упрощения эксплуатации и конструкции.

Работы по созданию безнакального магнетрона начались в ОАО "Плутон" (<http://pluton.msk.ru>) в 1974 году, а их серийный выпуск – в 1984 году.

Сегодня кажется странным, что за 25 лет промышленного выпуска магнетронов, обладающих большими преимуществами перед накаливаемыми магнетронами, их производство не получило широкого распространения в мире. При этом другие подобные достижения, например многолучевые клистроны, освоены многими производителями. Вероятно, основными причинами медленного распространения безнакальных магнетронов являются сложность катодной технологии, основанной на взаимодействии автоэлектронного и вторично-электронного катодов, а также особенности связи размеров каждого из этих катодов с конструктивными параметрами пространства взаимодействия и режимом работы магнетрона.

Первые безнакальные магнетроны были недолговечны, так как в них использовались импрегнированные вторично-эмиссионные эмиттеры, которые даже в накаливаемых магнетронах плохо работали при температурах ниже 900°C. Для обеспечения длительной и стабильной работы магнетрона с "холодным" катодом в 1990 году импрегнирован-

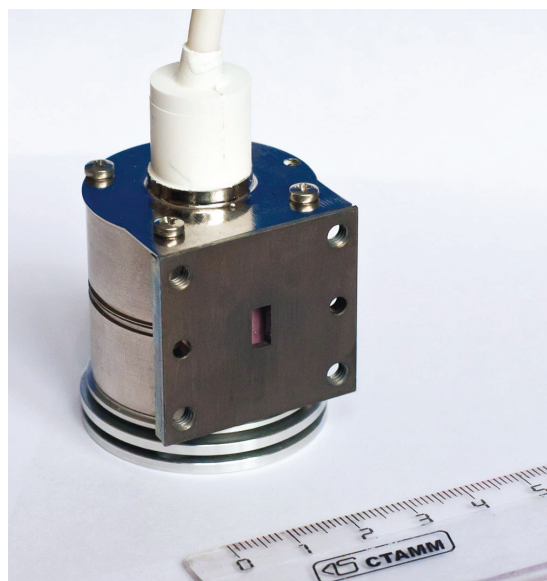
ные эмиттеры были заменены на палладий-бариевые. Это позволило к 2000 году разработать более 10 безнакальных магнетронов 2- и 3-см диапазона длин волн, многие из которых имеют долговечность 5000–10000 ч. В 2002 году была закончена разработка первого 8-мм безнакального магнетрона. Испытанные образцы имели долговечность 5000 ч. В настоящее время в ОАО "Плутон" разработано и производится более пяти (с учетом модификаций – 12) безнакальных магнетронов 8-мм диапазона длин волн разных уровней мощности.

Сегодня безнакальные магнетроны выпускаются в диапазоне частот от 8 до 40 ГГц, при импульсной мощности от 1,5 до 50 кВт и напряжениях анода от 4,5 до 12,5 кВ (см. рисунок). Режимы работы этих магнетронов существенно отличаются – длительности импульса от 0,05 до 6 мкс, скважность от 200 до 50000. Модельный ряд включает коаксиальные, связочные и разнорезонаторные безнакальные магнетроны с фиксированной или перестраиваемой частотой. Конструкции магнетронов и технология их производства продолжают совершенствоваться.

Безнакальные магнетроны успешно используются в навигационной аппаратуре морских и речных портов, в РЛС самолетов и вертолетов, в охранной аппаратуре, включая переносную, в метеорадарах. Расширение области использования в технике и быту и рост производства безнакальных магнетронов можно обеспечить несколькими путями. Первый – разработка более мощных магнетронов в освоенном диапазоне частот. Это вполне реальный путь, так как при увеличении выходной мощности растет напряжение анода магнетрона и, следовательно, улучшаются условия для автоэмиссии катода. Однако потребность в мощных магнетронах мала из-за их большой массы, высокой цены и сложности эксплуатации, связанной с большим напряжением питания.

Второй путь – продвижение в область частот 80–150 ГГц. Этот путь очень перспективен, но требует значительных инвестиций в разработку катода, способного обеспечить необходимую плотность тока эмиссии при ужесточении требований к технологии его изготовления.

Третий, возможно, самый перспективный путь – найти новые эффективные области применения безнакального магнетрона, основываясь на его преимуществах перед другими мощными источниками СВЧ-энергии. Прекрасным примером реализации этого пути для накаливаемых магнетронов служит производство нескольких десятков миллионов в год магнетронов для СВЧ-печей в разных странах мира.



Безнакальный магнетрон Ka-диапазона с минимальной импульсной мощностью 16 кВт и массой 360 г

Для безнакальных же магнетронов очень перспективным, по мнению автора, является их использование для зажигания топлива в двигателях автомобилей. Согласно Pat. Appl.US 2007/0240660 A1, при использовании СВЧ-энергии для зажигания топлива в камере сгорания двигателя расход топлива сократится в 1,5 раза, а выброс CO уменьшится примерно в 10 раз. Легко подсчитать, что в крупных городах только легковые автомобили дадут за первые 10 тыс. км пробега экономию примерно 500 л бензина или около 1000 долл. При массовом производстве стоимость безнакального магнетрона вместе с источником питания будет относительно невысока. Долговечность безнакального магнетрона 5–10 тыс. ч обеспечит пробег автомобиля 200–500 тыс. км без замены магнетрона.

Можно внести значительный вклад в решение экологических проблем крупных городов, если перевести автомобильный транспорт на экономичные и экологически чистые двигатели, запускаемые СВЧ-энергией безнакальных магнетронов. При этом требуемые инвестиции в десятки раз меньше, чем необходимо для перевода автомобильного транспорта на электромобили и на строительство (для их обеспечения электроэнергией) большого числа дополнительных электростанций близ крупных городов, что снова ухудшит там экологическую обстановку.

Таким образом, безнакальные магнетроны, специально приспособленные для конкретных приложений, могут эффективно применяться в различных отраслях техники. ●