

Электронная пушка для клинотронов миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов

В. Г. Чумак, С. А. Чурилова

*Радиоастрономический институт НАН Украины,
61002, г. Харьков, ул. Краснознаменная, 4*

Статья поступила в редакцию 19 февраля 2002 г.

Описывается электронная пушка с металлопористым пропитанным катодом, предназначенная для СВЧ приборов О-типа повышенной мощности. Пушка обеспечивает ток катода плотностью до 100 А/см^2 .

Описано електронну гармату з металопористим просоченим катодом, призначену для НВЧ приладів О-типу підвищеної потужності. Гармата забезпечує струм катода густиною до 100 А/см^2 .

Введение

В клинотронах мм и субмм диапазонов длин волн используются диодные пушки без компрессии, формирующие тонкие ленточные электронные потоки [1]. Катодами для этих пушек долгое время служили металлопористые вольфрамово-бариевые камерные L-катоды. Эти катоды обеспечивают большую плотность тока, устойчивы к воздействию остаточных газов, имеют достаточно длительный срок службы. Однако, как отмечается в литературе [2, 3], разные участки поверхности L-катода могут существенно различаться по эмиссионным свойствам: плотность тока на различных участках может иметь значения от нескольких десятков мА/см^2 до нескольких десятков А/см^2 . Кроме того, наличие камеры затрудняет создание малогабаритных и сложных по конфигурации катодов.

В известной мере этих недостатков лишены металлопористые вольфрамово-бариевые пропитанные катоды. Они обладают большой плотностью тока, имеют повышенную устойчивость к ионной бомбардировке, допускают многократное пребывание на воздухе после активирования, более долговечны по сравне-

нию с L-катодом [2, 3]. Отсутствие камеры позволяет создавать различные по форме компактные и надежные катодно-подогревательные узлы и, соответственно, пушки, что особенно важно при разработке приборов мм и субмм диапазонов длин волн.

В настоящей работе представлена разработанная для клинотронов электронная пушка, в которой катодно-подогревательный узел создан на основе пропитанного катода.

Катодно-подогревательный узел

При проведении работы экспериментально исследовались и сравнивались характеристики катодно-подогревательных узлов (КПУ) с пропитанным катодом и L-катодом.

КПУ с пропитанным катодом схематически представлен на рис. 1.

Вольфрамово-бариевая пропитанная губка катода (1) плотно насажена на молибденовый керн (2), являющийся основой узла подогревателя. Подогреватель (3) в виде спирали из вольфрамово-рениевой проволоки помещен в керамическую трубку (4) и засыпан порошком обожженной окиси алюминия (5). Герметичность узла подогревателя достигается с помощью танталового колпачка (6) с одной сторо-

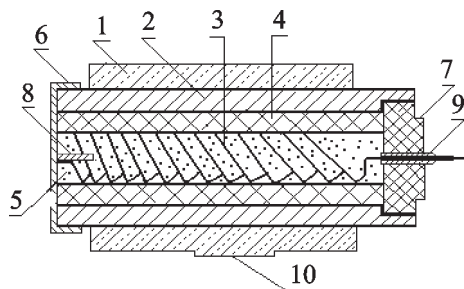


Рис. 1. Катодно-подогревательный узел: 1 – вольфрамовая губка катода, 2 – керн, 3 – подогреватель, 4 – трубка керамическая, 5 – порошок, 6 – колпачок, 7 – втулка, 8 – штырь, 9 – трубка, 10 – выступ катода

ны и завальцованной керамической втулки (7) с другой. Фиксация подогревателя в керне осуществляется при помощи молибденового штыря (8) со стороны колпачка (6) и танталовой трубки (9) со стороны втулки (7).

Вольфрамовая губка катода представляет собой цилиндр с площадкой, на которой находится прямоугольный выступ (10) с размерами основания, соответствующими поперечному сечению ленточного электронного пучка. Она изготавливается из штабика пористого вольфрама пористостью порядка 40 % путем токарной и фрезерной обработки без пропитки вольфрама медью или парафином. Такая конфигурация губки позволила применить более надежный и технологичный узел подогревателя, чем в электронных пушках с L-катодом.

Для КПУ с пропитанным катодом представилось возможным использовать спиральный подогреватель из вольфраморениевой проволоки, витки которого изолированы друг от друга порошком обожженной окиси алюминия, а от молибденового керна – керамической трубкой.

В КПУ с L-катодом [1] узел подогревателя представлял собой печку с керамическим основанием, в которое запечены молибденовые стержни. Эти стержни служили каркасом для танталовой ленты подогревателя. Воздушный зазор между витками подогревателя часто яв-

лялся причиной их закорачивания при работе прибора в магнитном поле.

На рис. 2 приведены зависимости тока накала от напряжения накала для КПУ с L-катодом (кривая 1) и пропитанным катодом (кривые 2, 3). Кривые 2 и 3 получены для КПУ с различным холодным сопротивлением подогревателя: $R = 0.095$ Ом и $R = 0.069$ Ом соответственно. У подогревателя L-катада $R = 0.202$ Ом. Необходимая рабочая температура катодов исследуемых образцов КПУ достигалась при токе накала порядка 6.5 А. Как видно из рис. 2, при таком токе напряжение накала для КПУ с L-катодом примерно в 2 раза выше, чем с пропитанным катодом.

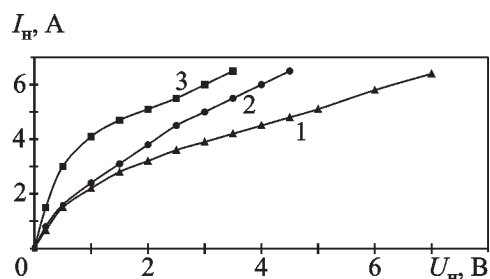


Рис. 2. Зависимость тока накала КПУ от напряжения накала:

1 – КПУ с L-катодом, 2 и 3 – КПУ с пропитанным катодом при различных холодных сопротивлениях подогревателя (2 – 0.095 Ом, 3 – 0.069 Ом)

Электронная пушка

Разработанная диодная пушка с КПУ на основе пропитанного катода, формирующая тонкий ленточный электронный пучок, схематически изображена на рис. 3.

Выступ катода (1) вставлен в прямоугольное отверстие фокусирующего электрода (2) заподлицо с его поверхностью, обращенной к аноду (3) пушки, чем устраняется экранирование фокусирующим электродом электрического поля на катоде [1]. Выступ катода может иметь форму как сплошной прямоугольной призмы, так и прямоугольной призмы с вырезами, что дополнительно дает возможность

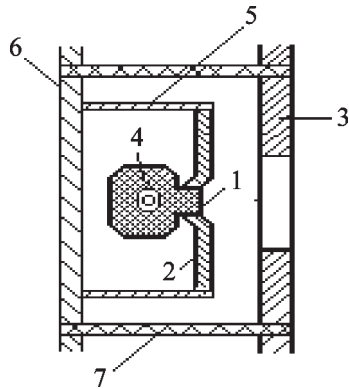


Рис. 3. Электронная пушка:
 1 – выступ катода, 2 – фокусирующий электрод,
 3 – анод, 4 – КПУ, 5 – тепловой экран, 6 – пластина,
 7 – керамический столбик

снизить влияние ионной бомбардировки на работу катода [4]. Геометрия фокусирующего электрода рассчитана по Пирсу [5], поверхность его силицирована для предотвращения паразитной эмиссии. Чтобы избежать потери тепла, КПУ (4) закрыт тепловым экраном (5) и вместе с ним закреплен на танталовой пластине (6), которая изолирована от анода керамическими столбиками (7). Для обеспечения необходимого теплового режима работы КПУ тепловой экран и танталовая пластина имеют перфорацию. В целях снижения амплитуды пульсаций пучка в электронной пушке предусмотрено широкое анодное отверстие [1]. Компактность КПУ с пропитанным катодом позволила уменьшить размер пушки, определяющий длину прибора.

Сравнение пушек с пропитанным катодом и L-катодом было проведено на основе анализа недокальных характеристик катодов [6]. Недокальные характеристики позволяют определить “характеристическое” напряжение накала, соответствующее режиму ограничения тока эмиссионной способностью катода. Обычно в таком режиме работают пушки в клинотронах мм и субмм диапазонов длин волн.

Были измерены недокальные характеристики исследуемых катодов в пушках одинаковой геометрии и при одном и том же анодном напряжении $U_a = 2$ кВ. Площадь эмитирующей поверхности составляла $S = 5 \cdot 10^{-3}$ см²

(0.2×2.5 мм), зазор анод-катод – 0.8 мм. Результаты измерений представлены на рис. 4: кривая 1 – недокальная характеристика для пропитанного катода, кривая 2 – для L-катода. “Характеристическим” напряжением является значение напряжения накала, соответствующее точке недокальной характеристики, касательная к которой проходит через начало координат [6]. Полученные экспериментальные данные для наглядности сведены в таблицу.

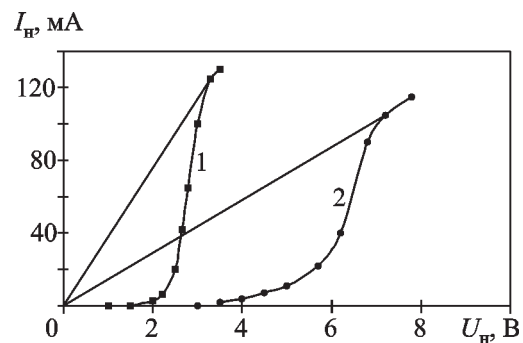


Рис. 4. Недокальные характеристики:
 1 – пропитанный катод; 2 – L-катод

Таблица.

Параметры	КПУ с пропитанным катодом	КПУ с L-катодом
“Характеристическое” напряжение накала, В	3.3	7.2
Рабочее напряжение накала, В	3.3	7.2
Рабочий ток накала, А	6.5	6.7
Мощность, потребляемая КПУ, Вт	21.45	48.24

Они показывают, что потребляемая мощность разработанных КПУ более чем в 2 раза ниже мощности, потребляемой КПУ с L-катодом, при этом величина тока катода в первом случае больше (см. рис. 4).

Измерялись также плотности тока исследуемых катодов. Зависимости плотности тока от анодного напряжения приведены на рис. 5.

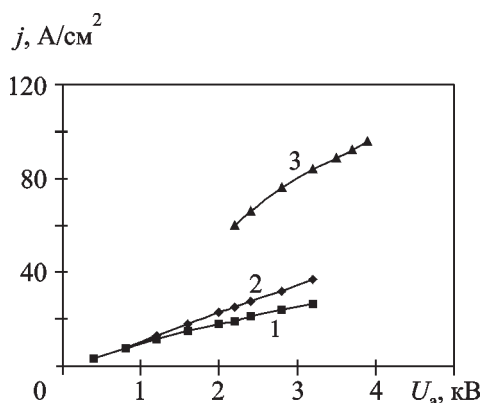


Рис. 5. Зависимость плотности тока от анодного напряжения: 1 – для L-катода, 2 – для пропитанного катода, 3 – для пропитанного катода с меньшей площадью эмитирующей поверхности

Из рисунка видно, что плотность тока для пропитанного катода (кривая 2) выше, чем для L-катода (кривая 1). В условиях опыта при $U_a = 3$ кВ она составляла 35 А/см² и 25 А/см² соответственно. При исследовании характеристик клинотронов с электронными пушками, использующими катоды с площадью эмитирующей поверхности $S = 5 \cdot 10^{-3}$ см², наблюдались более высокие плотности тока. Для пропитанных катодов они достигали значений $j_a \sim 50$ А/см².

В коротковолновой части мм и субмм диапазонов длин волн в клинотронах используются ленточные пучки с меньшим сечением – 0.1×2.5 мм. Площадь эмитирующей поверхности катода при этом составляет $S = 25 \cdot 10^{-4}$ см². Известно, что с уменьшением площади эмитирующей поверхности катода плотность тока увеличивается [1, 3, 7]. При указанных

размерах пучка плотность тока для пропитанных катодов достигает значений $j_a \sim 80 \div 100$ А/см². В качестве примера на рис. 5 (кривая 3) приведены измеренные значения плотности тока для рабочих ускоряющих напряжений клинотрона 2-мм диапазона длин волн. Этот прибор обеспечивал выходную мощность $P \sim 2.0$ Вт при ускоряющем напряжении $U_a \sim 3.0$ кВ на частоте $f \sim 155$ ГГц. Масса прибора с магнитной системой составляла порядка 1.2 кг.

Заключение

Разработана и испытана электронная пушка с катодно-подогревательным узлом на основе вольфрамово-бариевого пропитанного катода, которая, по сравнению с ранее используемой пушкой, позволяет:

- 1) формировать тонкие электронные пучки с увеличенной плотностью тока;
- 2) более чем в 2 раза понизить мощность, потребляемую КПУ;
- 3) повысить надежность и технологичность КПУ;
- 4) уменьшить длину прибора, габариты и вес магнитной фокусирующей системы.

Все это способствует созданию клинотронов мм и субмм диапазонов длин волн с улучшенными выходными и эксплуатационными характеристиками. Предложенная электронная пушка может также найти широкое применение в приборах с длительным взаимодействием О-типа, использующих ленточные электронные пучки (ЛОВ, ЛБВ, генераторах дифракционного излучения, оротронах и др.).

Литература

1. Г. Я. Левин, А. И. Бородкин, А. Я. Кириченко, А. Я. Усиков, С. А. Чурилова. Клино́трон. Киев, Наукова думка, 1992, 200 с.
2. С. И. Евстигнеев, А. А. Ткаченко. Катоды и подогреватели электровакуумных приборов. Москва, Высшая школа, 1975, 196 с.
3. А. И. Мельников. Вопросы радиоэлектроники. Сер.1. Электроника. 1965, № 7, с. 167-180.

4. Г. Я. Левин, С. А. Чурилова, В. Г. Чумак. Радиофизика и электроника. 1999, 4, № 3, с. 125-127.
5. Дж. Р. Пирс. Теория и расчет электронных пучков. Москва, Советское радио, 1956, 216 с.
6. Ю. Н. Набоков, В. Н. Дудкин. Электронная техника. Сер.10. Технология и организация производства. 1968, № 1, с. 98-107.
7. Е. М. Гершензон, М. Б. Голант, А. А. Негирев, В. С. Соловьев. Лампы обратной волны миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов волн. Москва, Радио и связь, 1985, 136 с.

Electron Gun for Millimeter and Submillimeter-Wave Clinotrons

V. G. Chumak and S. A. Churilova

The electron gun with the impregnated cathode is described. This gun has been elaborated for the microwave O-type devices with the increased output power. It secures the cathode current density up to 100 A/cm².