
ОБЩАЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ
ТЕХНИКА

УДК 621.315.592

ХОЛОДНЫЕ КАТОДЫ НА ОСНОВЕ СБОРКИ МИКРОКАНАЛЬНЫХ ПЛАСТИН ДЛЯ МАЛОМОЩНЫХ РЕНТГЕНОВСКИХ ТРУБОК

© 2021 г. З. М. Хамдохов^{a,*}, Г. В. Федотова^b,
П. С. Самодуров^b, М. А. Шерметова^c

^a *Институт информатики и проблем регионального управления КБНЦ РАН
Россия, 360000, Нальчик ул. И. Арманд, 37-а*

^b *ООО Баспик
Россия, 362011, Владикавказ, ул. Николаева, 44-6*

^c *НИУ МИЭТ
Россия, 124498, Москва, Зеленоград, пл. Шокина, 1*

*e-mail: hamdohov@mail.ru

Поступила в редакцию 19.02.2020 г.

После доработки 17.06.2020 г.

Принята к публикации 29.06.2020 г.

Описан простой и экономичный способ изготовления холодного катода (генератора электронов) для миниатюрного и маломощного рентгеновского излучателя. Автоэлектронный генератор содержит сборку из двух микроканальных пластин (м.к.п.) типа шеврон с эмиссионным углеродным слоем из токопроводящего клея Graphite 33, содержащего углеродные наноструктуры (у.н.с.). Рабочее напряжение не превышает 2000 В. Установлена зависимость выходного тока генератора электронов от расстояния между м.к.п. в сборке. Так, при увеличении зазора от 0.2 до 0.63 мм максимальная величина постоянного тока возрастает от 0.65 до 4 мкА, при дальнейшем увеличении зазора до 1.4 мм ток возрастает до 4.5 мкА. Установлено, что достижение максимального тока генератора электронов в импульсном режиме 53 мкА обеспечивается, если на первую в сборке м.к.п. со слоем у.н.с. на входном торце подавать импульсное напряжение амплитудой 800 В, частотой 2.3 кГц и скважностью 28, а на вторую м.к.п. — постоянное напряжение 1200 В, при этом зазор между м.к.п. в сборке равен 1.4 мм.

DOI: 10.31857/S0032816220060221

Изучению автоэмиссионных (холодных) катодов уделяется большое внимание в связи с перспективностью их использования в рентгеновских трубках. Авторы работы [1] предложили конструкцию маломощной рентгеновской трубки, в которой в качестве генератора электронного пучка используется одна или несколько включенных последовательно микроканальных пластин (м.к.п.). Известно, что стеклянная м.к.п. является электронным усилителем, содержащим большое число цилиндрических каналов с идентичными геометрическими размерами и вторично-эмиссионными свойствами. Постоянное рабочее напряжение стандартной м.к.п. составляет 400–1200 В, коэффициент усиления электронного потока — 100–10000. Каналы м.к.п. обладают уникальным свойством самонасыщения, т.е. при увеличении входного тока выходной ток растет и достигает предельной величины. При приложении к торцам одиночной пластины или м.к.п.-сборки напряжения на неподвижном металлическом электроде, прижатом вплотную к торцу м.к.п., вследствие автоэлектронной эмиссии возникает сравнитель-

но слабый электрический ток. В объеме м.к.п. эмиссионный ток умножается, и далее электронный поток с выходной поверхности м.к.п. попадает на анод.

Для работы подобного автоэмиссионного генератора электронов требуется приложить к м.к.п. напряжение до 3000 В при токе в несколько микроампер, так что рассеиваемая генератором мощность составит всего несколько милливольт. При этом, в отличие от традиционных рентгеновских трубок с подогревным катодом, в которых нити накаливания нагреваются при помощи отдельного источника тока, здесь требуется только источник напряжения и не предъявляются особые требования к охлаждению источника. Вместе с тем описанный в работе [1] прибор имеет существенный недостаток: напряжение на неподвижном электроде довольно велико, так как работа выхода электронов с гладкой внутренней поверхности электродов внутри м.к.п. довольно высока (от 2 до 5 эВ). Это накладывает ограничения на использование холодных катодов в рентгеновских трубках.

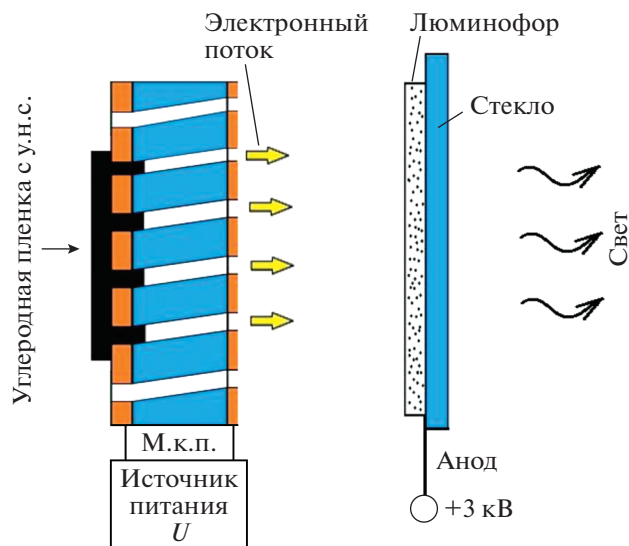


Рис. 1. Схема катода на основе м.к.п. с люминесцентным экраном.

В отличие от генератора электронов, описанного в [1], в работах [2, 3] предложена конструкция холодного катода на основе м.к.п., на торцевую поверхность которой нанесена автоэмиссионная углеродная пленка, содержащая углеродные наноструктуры (у.н.с.) — эмиссионные центры, т.е. эмиттером электронов служит углеродная пленка с у.н.с., а не металлический электрод. Благодаря низкой работе выхода электронов (<1 эВ) углеродные наноструктуры (графен, углеродные нанотрубки, нанографиты, наноалмазы) являются более перспективными материалами для создания холодных эмиссионных катодов. Их применение обеспечивает существенное снижение напряжения питания катода. Максимальный ток катода зависит в основном от количества и качества у.н.с., образовавшихся в углеродной пленке. Однако приготовление углеродной среды с высокими эмиссионными свойствами является сложной научно-технической задачей.

Цель данной работы — изучение возможности создания простого и экономичного источника холодных катодов для маломощных рентгеновских трубок на основе м.к.п. с эмиссионной средой из углеродных наноструктур, работающих при небольших токах и напряжениях. Нами предложен и описан ниже холодный катод на основе м.к.п. с эмиссионной пленкой из токопроводящего клея Graphite 33 бельгийского производства, который широко используется для создания контактов на твердых подложках [4].

Мы использовали пластины м.к.п. с контактами из хрома и с диаметром рабочей поверхности 18 мм и толщиной 0.3 мм (PCO-Алания, г. Владикавказ, ООО ВТЦ “Баспик”). Диаметр каналов в

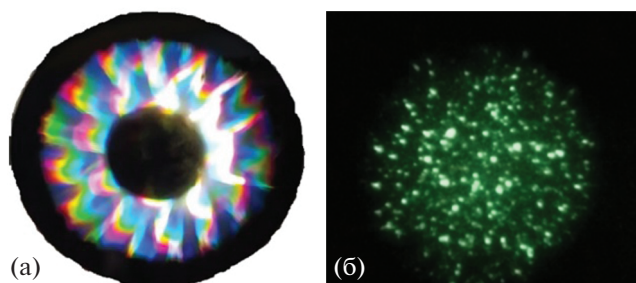


Рис. 2. Фотография углеродной пленки в центре м.к.п. (а) и ее автоэмиссионное изображение (б).

м.к.п. составлял 6 мкм, угол наклона каналов — 5° . На торцевую поверхность м.к.п. с помощью аэрозольного клея Graphite 33 наносили сплошной углеродный слой диаметром 7 мм и толщиной ~ 20 мкм. Для отжига лаковой составляющей пленку прогревали до 90°C на воздухе при атмосферном давлении в течение 1 ч. Схема катода на основе м.к.п. с люминесцентным экраном показана на рис. 1.

На рис. 2а приведена фотография углеродной пленки в центре м.к.п., а на рис. 2б — ее автоэмиссионное изображение.

Как показали измерения вольт-амперных характеристик катода, при приложении напряжений в диапазоне 600–1200 В на выходе катода возникает слабый электрический ток величиной до

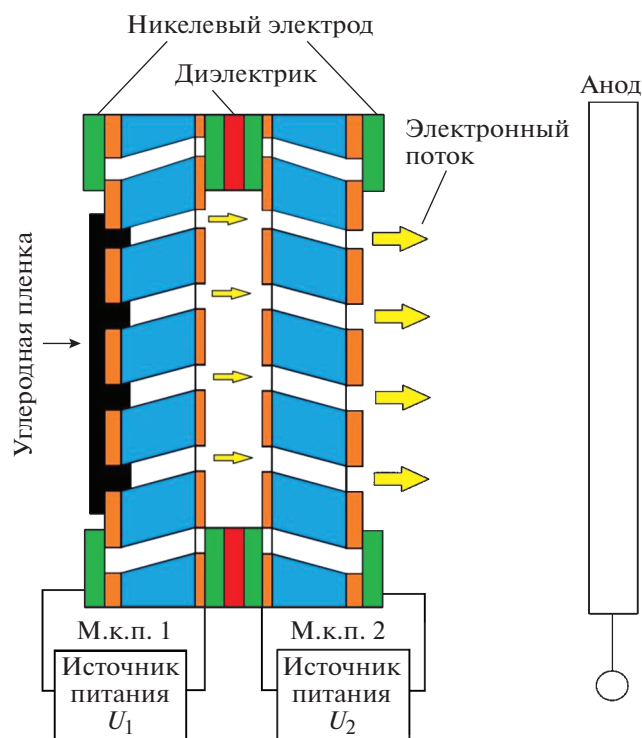


Рис. 3. Сборка из двух м.к.п. типа шеврон.

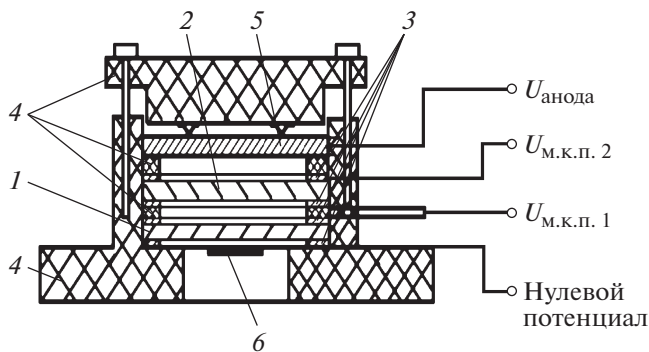


Рис. 4. Конструкция устройства из двух м.к.п. для выполнения исследований: 1 — м.к.п. 1; 2 — м.к.п. 2; 3 — никелевое контактное кольцо; 4 — изоляторы; 5 — анод; 6 — углеродная пленка.

десятих долей микроампер. Максимальный ток катода составил 0.2 мкА при напряжении 1200 В. Естественно было предположить, что источником автоэлектронов служат углеродные наноструктуры в графитовом слое клея Graphite 33.

Для увеличения выходного тока холодного катода мы предложили использовать сборку из двух м.к.п. типа шеврон. При шевронной сборке взаимное расположение каналов в м.к.п. имеет V-образную форму, как показано на рис. 3. При подаче напряжения на пластины сборки электронный поток, который возникает в первой пластине (м.к.п. 1) с эмиссионной углеродной пленкой из графитового клея, усиливается во второй пластине (м.к.п. 2) сборки, после чего подается на анод.

Конструкция катодного устройства, состоящего из двух м.к.п. с у.н.с. на входе м.к.п. 1 показана схематически на рис. 4.

На рис. 5 приведены фотографии устройства в корпусе из фторопласта (рис. 5а) и контактного кольца из никеля (рис. 5б) толщиной 0.2 мм. Схема установки для измерения эмиссионного тока катода из двух м.к.п. представлена на рис. 6.

Измерения тока проводились в вакуумной камере при давлении порядка 10^{-6} Торр. Анодом служила пластинка из нержавеющей стали X20H80 диаметром 18 мм и толщиной 0.3 мм. Расстояние d между м.к.п. на первом этапе измерения тока составляло 0.2 мм, напряжение на м.к.п. 2 — 1200 В. Результаты измерения зависимости тока катода I_A от напряжения U_1 на м.к.п. 1 представлены ниже:

U_1 , В	655	667	677	689	700	710	740	750	764	774	786	800
I_A , мкА	0.09	0.09	0.1	0.12	0.13	0.15	0.35	0.39	0.45	0.53	0.55	0.65

Согласно приведенным данным, при максимальном напряжении $U_1 = 800$ В ток катода достигает $I_A = 0.65$ мкА.

Далее было обнаружено, что при указанных выше напряжениях на м.к.п. 1 и м.к.п. 2 увеличение расстояния между пластинами до 0.63 мм приводит к росту тока до 4 мкА, а при последующем увеличении расстояния до 1.4 мм ток возрастает до 4.5 мкА.

Также был измерен максимальный ток генератора электронов при работе в импульсном режиме при следующих условиях: на м.к.п. 1 подавали импульсы напряжения амплитудой 800 В, частотой 2.3 кГц и скважностью 28, а на м.к.п. 2 — постоянное напряжение 1200 В. При этом величина зазора между пластинами была равна 1.4 мм. Максимальный ток в импульсном режиме составил 53 мкА.

Таким образом, предложен простой и экономичный способ изготовления холодного катода (генератора электронов) на основе сборки двух м.к.п. типа шеврон с эмиссионным углеродным слоем из токопроводящего клея Graphite 33. Генератор электронов может быть использован для питания миниатюрного маломощного рентгеновского излучателя и не требует источника высоких напряжений (достаточно рабочего напряжения до 2000 В).

Использование слоя графитового клея Graphite 33 в качестве автоэмиссионного источника хо-

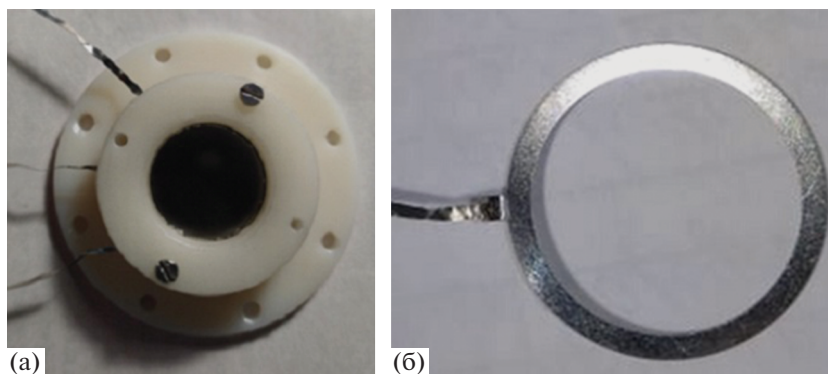


Рис. 5. Фотографии: а — катода из двух м.к.п., б — никелевого контактного кольца.

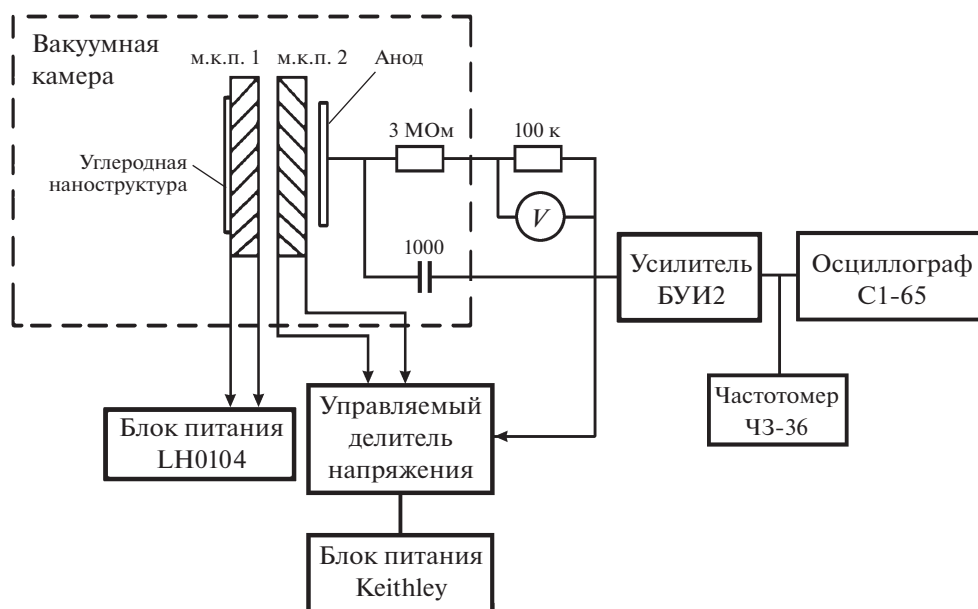


Рис. 6. Схема установки, предназначенной для измерения эмиссионного тока.

лодного катода позволяет значительно снизить стоимость холодного катода на основе м.к.п. и упростить технологию его изготовления, при этом применение сборки из двух м.к.п. дает возможность заметно увеличить выходной ток катода. Если нанести на торец м.к.п. сплошной углеродный слой, по толщине превышающий диаметр канала, то он перекроет каналы м.к.п. При этом глубина проникновения пленки в канал будет примерно равна диаметру канала. При использовании для напыления тонкой пленки каналы не закроются. Для создания электрического контакта на сплошную углеродную пленку в работе [3] осаждали слой меди, поскольку коэффициент диффузии углерода в меди крайне низкий. В нашем эксперименте углеродный слой не контактирует непосредственно с контактом, т.е. с кольцевым электродом из никеля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Elam W.T., Kelliher W.C., Hersbyn W., Delong D.P. Patent US № 8081734B2, Dec. 20, 2011.
2. Khamdokhov Z.M., Margushev Z.Ch., Khamdokhov E.Z., Teshev R.Sh., Bavizhev M.D. // Semiconductors. 2019. V. 53. № 15. P. 63.
<https://doi.org/10.1134/S1063782619150090>
3. Хамдохов З.М., Маргушев З.Ч., Хамдохов Э.З., Тешев Р.Ш., Бавижев М.Д. // Изв. вузов. Электроника. 2018. Т. 23. № 6. С. 630.
<https://doi.org/10.24151/1561-5405-2018-23-6-630-63>
4. https://supply24.online/oborudovanie_masterskih/himicheskie-preparaty/zaschitnye-i-ekraniruyuschie-obolochki/tokoprovodyashee-pokrytie-kontakt-chemie-33-200