

Автоэмиссионные катоды на основе микроканальных пластин

*З.М. Хамдохов¹, З.Ч. Маргушев¹, Э.З. Хамдохов²,
Р.Ш. Тешев², М. Д. Бавижев³*

¹*Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук,
г. Нальчик, Россия*

²*Кабардино-Балкарский государственный университет
им. Х.М. Бербекова, г. Нальчик, Россия*

³*Научно-исследовательский центр АО НПП «Радий», г. Москва, Россия*

hamdohov@mail.ru

Существующие способы получения катодов с низкими значениями поля не позволяют создавать приборные структуры, удовлетворяющие требованиям разработчиков систем. В работе рассмотрены автоэмиссионные катоды большой площади с однородными эмиссионными свойствами рабочей поверхности и низкими рабочими напряжениями (<1кэВ). Проведено исследование катода Спиндта с количеством кремниевых микроострий до 6000 и плотностью упаковки $\sim 1 \cdot 10^5 \text{ см}^{-2}$. Электродуговым методом на микроострия осаждались пленки из нитрида титана и углерода. Показано, что катод имеет невысокую однородность эмиссии из-за проблемы воспроизведения микроострий только одинаковой формы и размеров. Создан катод на основе микроканальной пластины с каналами диаметром 6 мкм, внутри которых электродуговым способом сформированы графитоподобные наноструктуры. Установлено, что в результате усиления электронного потока в каналах микроканальной пластины можно значительно снизить рабочее напряжение (<1кэВ) и получить высокую однородность эмиссии при предельно допустимом значении выходного тока.

Ключевые слова: автоэмиссионный катод; микроканальная пластина; электрическое поле; усиление тока

Для цитирования: Автоэмиссионные катоды на основе микроканальных пластин / З.М. Хамдохов, З.Ч. Маргушев, Э.З. Хамдохов и др. // Изв. вузов. Электроника. – 2018. – Т. 23. – № 6. – С. 630–634. DOI: 10.24151/1561-5405-2018-23-6-630-634

Field Emission Cathodes Based on Microchannel Plates

*Z.M. Khamdokhov¹, Z.Ch. Margushev¹, E.Z. Khamdokhov²,
R.Sh. Teshev², M.D. Bavizhev³*

¹*Institute of Informatics and Problems of Regional Management of Caucasus RAS,
Nalchik, Russia*

²*H.M. Berbekov Kabardino-Balkarian State University, Nalchik, Russia*

³*RPE «Radium», Moscow, Russia*

hamdohov@mail.ru

Abstract: The results of studying the field emission properties of various conductors show the perspective of their use in the devices of microelectronics, X-ray tubes and light sources. For smooth conductor surfaces with an electron work function of about

2 to 5 eV, the electric field, at which an insignificant emission appears, is extremely high (about 107 V/cm), which creates certain limitations on the methods of the cathode formation. The existing methods of obtaining the cathodes with the low values of field permit to create the device structures, complying with the requirements of the developers of the systems. Therefore, in connection with this studying the methods of creating auto-emission cathodes of large area with homogeneous emission properties of the working surface and low operating voltages (<1 keV) is actual. In the paper the Spindt cathode with an amount of silicon micro-tips up to 6000 and the packing density Of $1 \cdot 10^5 \text{ cm}^{-2}$ has been studied. By an electric arc method the arc of titanium and carbon nitride films was deposited on the micropoint. It has been shown that the cathode has low emission uniformity due to the problem of reproducing the micro-points of the same shape and size. A cathode has been constructed on the basis of a microchannel plate with 6 μ diameter channels, inside of which the graphite-like nanostructures were formed by the electric arc method. It has been found that as a result of the enhancement of the electron flux in the channel of the multichannel plates it is possible to significantly reduce the operating voltage (<1 keV) and to obtain a high emission uniformity at the maximum permissible value of the output current.

Keywords: filed emission cathode; microchannel plate; the electric field; increasing the current

For citation: Khamdokhov Z.M., Margushev Z.Ch., Khamdokhov E.Z., Teshev R.Sh., Bavizhev M.D. Field emission cathodes based on microchannel plates. *Proc. Univ. Electronics*, 2018, vol. 23, no. 6, pp. 630–634. DOI: 10.24151/1561-5405-2018-23-6-630-634

Результаты системных исследований автоэмиссионных свойств различных проводников показывают перспективность их использования в СВЧ-приборах, рентгеновских трубках и источниках света в качестве катодов. Для гладких поверхностей проводников с работой выхода электрона от 2 до 5 эВ электрическое поле, при котором появляется незначительная эмиссия, чрезвычайно высоко (около 10^7 В/см), что создает определенные ограничения на применение методов формирования катодов.

Графитоподобные наноструктуры (графен, углеродные нанотрубки, нанографиты, наноалмазы) имеют низкую работу выхода (< 1 эВ), что делает их широко применимыми в качестве эмиссионных сред [1–3]. Так, в работе [4] показано, что на нанокластерах углерода возбуждение эмиссии имеет место при пониженных полях (10^4 – 10^5 В/см). Актуальна технология получения эмиссионных центров на основе нанокластерных структур в углеродных пленках, полученных методом пиролиза гептана [5]. Для синтеза углеродных нанокластерных структур также применяется хорошо изученный электродуговой метод [6]. В работе [7] предложен альтернативный способ получения катодов с низкими значениями поля, в котором используется эффект топографического усиления электрического поля на микроостриях. Однако, несмотря на большое количество работ, в настоящее время не созданы приборные структуры, удовлетворяющие требованиям разработчиков систем.

Цель настоящей работы – разработка и исследование альтернативного способа получения автоэмиссионных катодов большой площади с однородными эмиссионными свойствами поверхности и приемлемыми величинами пороговых напряжений.

Исследована эмиссия матричного автоэмиссионного катода Спиндта с количеством кремниевых микроострий до 6 000 и плотностью упаковки $\sim 1 \cdot 10^5 \text{ см}^{-2}$. Для формирования микроострий использованы методы планарной технологии. На микроострия электродуговым методом последовательно осаждали барьерную и эмитирующую пленки из нитрида титана и углерода соответственно. Технология нанесения этих покрытий на установке УВНИПА описана в работах [8, 9]. Для осаждения углеродных пленок применялся электродуговой испаритель с катодом, состоящий из трех частей: охлаждаемого водой основания из титана марки ВТ1-0, графитового держателя из углеродного материала марки МПГ-6, имеющего форму усеченного конуса, и графитовой вставки (расходного материала). Графитовую вставку диаметром 4 мм помещают в отверстие в центре графитового конуса так, что ее верхняя плоскость оказывается на 8 мм выше поверхности конуса. Графит распыляют на торце вставки. В состав установки

входит система магнитной сепарации непрерывной углеродной плазмы, которая позволяет получить практически гладкую поверхность пленки без микрочастиц углерода.

Катод Спиндта (рис.1) исследовался в диодной схеме (рис.2). В качестве катода использовалась автоэмиссионная матрица, в качестве анода – стеклянный экран с люминофорным покрытием. Расстояние между катодом и анодом 250 мкм, рабочее напряжение 3 кВ, ток ~ 1 мкА. Испытания проводили в вакууме $1 \cdot 10^{-6}$ торр. Катод питался от импульсного блока питания (100 мкс, 50 Гц).

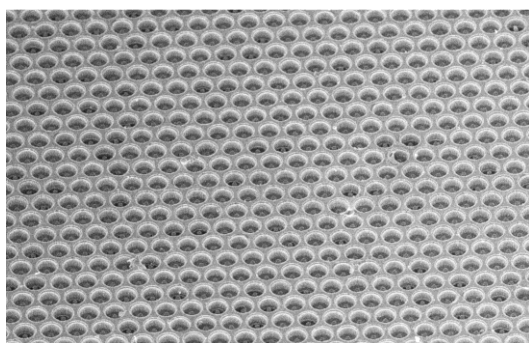


Рис.1. РЭМ-изображение матрицы эмиттеров
Fig.1. SEM - image of the emitter matrix

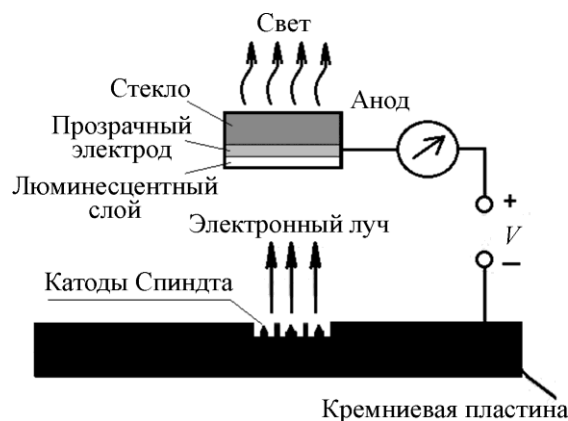


Рис.2. Схема исследования ВАХ катодов
Fig.2. Diagram of the investigation of the CVC of cathodes

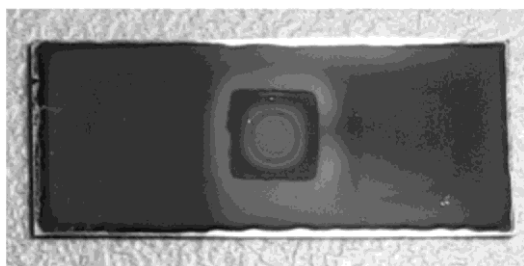


Рис.3. Кремниевая пластина с матрицей эмиттеров
Fig.3. Silicon wafer with emitter matrix

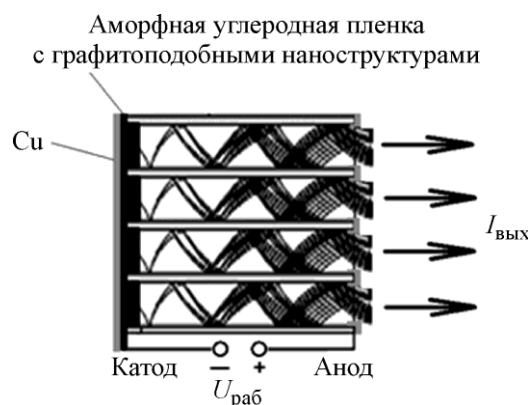


Рис.4. Схема катода на основе МКП
Fig.4. Diagram of cathode based on MCP

Матрица эмиттеров (кремниевых «колодцев») с острыми внутри расположена в центре кремниевой пластины размером $7 \times 18 \times 0,47$ мм (рис.3). Неоднородность картины катодолуминесценции анода (экрана) позволяет предположить, что массивы острий ячеек Спиндта не являются идентичными. Одним из способов решения этой проблемы может быть предлагаемый альтернативный способ формирования автокатодов большой площади на основе микроканальной пластины (МКП), выполняющей в электронно-оптических преобразователях функцию усилителя потока электронов и состоящей из большого числа каналов, идентичных по геометрии и вторично-эмиссионным свойствам.

Рабочее напряжение и коэффициент усиления электронного потока для МКП составляют порядка 400–1000 В и 10^2 – 10^3 соответственно. Отметим, что при увеличении входного тока МКП выходной ток растет и достигает предельного значения (эффект глубокого насыщения МКП). В работе [10] предложен способ создания автоэмиссионного катода на основе МКП с каналами, заполненными графитоподобными наноструктурами. Таким образом, нет необходимости формировать регулярную структуру в виде периодических микроострий.

Для изготовления катодов с опорной структурой из МКП использовались образцы диаметром 24,8 мм и с каналами диаметром 6 мкм, изготовленные в ООО «Микроканальные системы» (г. Гатчина). Электродуговым способом внутри каналов МКП сформированы регулярно расположенные эмиттеры по схеме, приведенной на рис.4. На торцевую поверхность МКП методом одновременного электродугового распыления графита и катализатора (нихрома) внутрь каналов наносилась углеродная пленка. Затем последовательно без напуска воздуха в вакуумную камеру термическим испарением электропроводящего материала (меди) наносился контактный электрод на углеродный слой. Слой из меди наносился на противоположную торцевую поверхность МКП и выполнял функцию ускоряющего электрода для вторичных электронов каналов МКП. Анод формировался в виде катодолуминесцентного экрана.

Результаты проведенных исследований показали, что для образцов автоэмиссионных диодов, изготовленных описанным способом, наблюдается хорошая однородность автоэмиссии с поверхности большой площади ($\sim 3 \text{ см}^2$). Предельный выходной ток $\sim 1 \text{ mA/cm}^2$ достигается при $U_{\text{раб}} \sim 400 \text{ В}$. Значительное снижение рабочих напряжений достигается за счет усиления электронного потока в каналах МКП.

Таким образом, пониженные значения рабочих напряжений ($< 1 \text{ кВ}$) и высокая однородность эмиссии при предельно допустимой величине выходного тока (до 1 А) свидетельствуют об эффективности применения МКП с каналами, заполненными графитоподобными наноструктурами, для изготовления автоэмиссионных катодов. Неоднородность эмиссии катодов Спиндта обусловлена проблемой воспроизведения микроострий одинаковой формы и размеров.

Литература

1. Using horizontal carbon nanotubes in field emission cathodes / V. Zhigalov, V. Petukhov, A. Emelianov et al. // IEEE Young Researches in Electrical and Electronic Engineering (ELConRus). – 2017. – P. 1449–1451.
2. Характеризация автоэмиссионных катодов на основе пленок графена на SiC / P.B. Конакова, O.B. Охрименко, A.M. Светличный и др. // ФТП. – 2015. – № 49. – Вып. 9. – С. 1278–1281.
3. Соминский Г.Г., Тумарева Т.А. Разработка и совершенствование полевых эмиттеров на основе содержащих углерод материалов // Изв. вузов. ПНД. – 2009. – Т. 17. – № 3. – С. 17–54.
4. Автоэлектронная и взрывная эмиссия из графеноподобных структур / Г.Н. Фурсей, М.А. Поляков, А.А. Кантонистов и др. // ЖТФ. – 2013. – Т. 83. – № 6. – С. 71–77.
5. Савельев С.Г., Симицын Н.И., Торгашиев Г.В., Григорьев Ю.А. Исследование пленочных углеродных катодов, полученных методом пиролиза гептана: материалы Международной межвузовской конф. «Современные проблемы электроники и радиофизики СВЧ». – Саратов, 2001. – С. 138.
6. Effect of thermal annealing on the properties of a C/Ni heterostructure / E.Z. Khamdokhov, Z.M. Khamdokhov, V.S. Kulikauskas et al. // J. of Surface Investigation. X-ray, Synchrotron and Neutron Techniques. – 2014. – Vol. 8. – No. 6. – P. 12997–1301.
7. Spindt C.A., Brodie I., Humphry L., Westerberg E.R. Physical properties of thin-film field emission cathodes with molybdenum cones // J. of Appl. Phys. – 1976. – Vol. 47. – No.12. – P. 5248.
8. Хамдохов А.З., Хамдохов Э.З. Способ получения однофазных пленок нитрида титана // Патент России № 2497977. 2013. Бюл. № 31.
9. Получение углеродных пленок методом электродугового распыления графита в магнитном поле / Э.З. Хамдохов, Р.Ш. Тешев, З.М. Хамдохов и др. // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. – 2014. – № 12. – С. 68–73.
10. Хамдохов Э.З., Хамдохов З.М. Способ изготовления катода на основе массива автоэмиссионных эмиттеров // Патент России № 2640355. 2016.

Поступило 05.06.2018 г.; принято к публикации 25.09.2018 г.

Хамдохов Залим Мухамедович – кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник Института информатики и проблем регионального управления Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук (Россия, 360000, г. Нальчик, ул. И.Арманд, 37а), hamdohov@mail.ru

Маргушев Заур Чамалович – кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник Института информатики и проблем регионального управления Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук (Россия, 360000, г. Нальчик, ул. И.Арманд, 37а), zmargush@ya.ru

Хамдохов Эльдар Залимович – аспирант кафедры информатики, электроники и компьютерных технологий Кабардино-Балкарского государственного университета им. Х.М. Бербекова (Россия, 360000, г. Нальчик, ул. Чернышевского, 173), el_ham@mail.ru

Тешев Руслан Шахбанович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой электроники и информационных технологий Кабардино-Балкарского государственного университета им. Х.М. Бербекова (Россия, 360000, г. Нальчик, ул. Чернышевского, 173), teshev.r@mail.ru

Бавижев Мухамед Данильевич – доктор физико-математических наук, профессор, вице-президент Научно-исследовательского центра АО «НПП «Радий» (Россия, 125057, г. Москва, ул. Часовая, д.28), mbavizhev@npp-radiy.ru

References

1. Zhigalov V., Petukhov V., Emelianov A., Golisnikov A., Petrya M. Using horizontal carbon nanotubes in field emission cathodes. *IEEE Young Researches in Electrical and Electronic Engineering (ELConRus)*, 2017, pp. 1449–1451. (in Russian).
2. Konakova R.V., Okhrimenko O.B., Svetlichnyi A.M., Ageev O.A., Volkov U. Yu., Kolomyitsev A.S., Itev I.L., Spiridonov O.B. Characterization field emission cathode based on graphene films on SiC. *Fizika i tekhnika poluprovodnikov = Semiconductors*, 2015, vol. 49, no. 9, pp. 1278–1281. (in Russian).
3. Sominsky G. G., Tumareva T. A. Development and improvement of field emitters based on carbon-containing materials. *Izvestiya vuzov «PND» = Proceedings of universities «PND»*, 2009, vol. 17, no. 3, pp. 17–54. (in Russian).
4. Fursey G. N., Polyakov M. A., Cantonistov, A. A., Yafasov A. M., Pavlov B. S., Bogevolnov V. B. // Field and explosive emission from graphene-like structures // *Zhurnal tekhnicheskoy fiziki = Technical Physics*, 2013, vol. 83, no.6., pp. 71–77. (in Russian).
5. Saveliev S. G., Sinityn N.I., Torgashov G. V., Grigoriev Yu. A. // Study of the carbon film cathodes obtained by pyrolysis of heptanes. *Proceedings of the international interuniversity conference «Modern problems of Radiophysics and electronics microwave»*. Saratov, 2001, p.138. (in Russian).
6. Khamdokhov E. Z., Khamdokhov Z.M., Kulikauskas V. S., Chernykh P. N., Serushkin S. V., Migunova E. S. Effect of thermal annealing on the properties of a C/Ni heterostructure. *The Journal of Surface Investigation. X-ray, Synchrotron and Neutron Techniques*, 2014, vol. 8, no. 6, pp. 12997–1301.
7. Spindt C.A., Brodie I., Humphry L., Westerberg E.R. Physical properties of thin-film field emission cathodes with molybdenum cones. *J. of Appl. Phys.*, 1976, vol. 47, no. 12, p. 5248.
8. Khamdokhov A.Z., Khamdokhov E.Z. *Method of producing a single-phase titanium nitride films*. Patent RF, no. 2497977, 2013. (in Russian).
9. Khamdokhov E.Z., Teshev R.S., Khamdokhov Z.M., Khamdokhov A.Z., Kalajokov Z.H., Kalajokov H.H. Obtaining carbon films by the method of electric arc sputtering of graphite in a magnetic field. *Poverkhnost'. Sinkhrotronnyye i neytronnyye issledovaniya = The Journal of Surface Investigation. X-ray, Synchrotron and Neutron Techniques*, 2014, no. 12, pp. 68–73. (in Russian).
10. Khamdokhov E.Z., Khamdokhov Z.M. *Method of manufacturing a cathode based on an array of field emission emitters*. Patent RF, no. 2640355, 2016. (in Russian).

Submitted 05.06.2018; Accepted 25.09.2018.

Information about the authors:

Zalim M. Khamdokhov – Cand. Sci. (Phys.-Math.), Leading Researcher of the Institute of Informatics and Problems of Regional Management of Kabardino-Balkarian Scientific Center, Russian Academy of Science (Russia, 360000, Nalchik, I. Armand str., 37-a), hamdohov@mail.ru

Zaur Ch. Margushev – Cand. Sci. (Phys.-Math.), Leading Researcher of the Institute of Informatics and Problems of Regional Management of Kabardino-Balkarian Scientific Center, Russian Academy of Science (Russia, 360000, Nalchik, I. Armand str., 37-a), zmargush@ya.ru

Eldar Z. Khamdokhov – PhD student of the Informatics, Electronics and Computer Technology Department, H.M. Berbekov Kabardino-Balkarian State University (Russia, 360004, Nalchik, Chernyshevsky str., 173), el_ham@mail.ru

Ruslan Sh. Teshev – Dr. Sci. (Eng.), Prof., Head of the Electronics and Information Technology Department, H.M. Berbekov Kabardino-Balkarian State University (Russia, 360004, Nalchik, Chernyshevsky str., 173), teshev.r@mail.ru

Mukhamed D. Bavizhev – Dr. Sci. (Phys.-Math.), Vice President of RPE «Radium» (Russia, Moscow, 125057, Chasovaya str., 28), mbavizhev@npp-radiy.ru