

Министерство образования и науки Российской Федерации

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ
Н.Г.ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра динамического моделирования и биомедицинской инженерии
наименование кафедры

**Разработка многолучевой электронной автоэмиссионной пушки с
использованием матричной наноструктуры**

АВТОРЕФЕРАТ МАГИСТЕРСКОЙ РАБОТЫ

студента 2 курса 206 группы

направления 12.04.04 «Биотехнические системы и технологии»
код и наименование направления

факультета нано- и биомедицинских технологий

наименование факультета

Уменушкина Алексея Андреевича

фамилия, имя, отчество

Научный руководитель

д.ф.-м.н., доцент

должность, уч. степень, уч. звание

подпись, дата

Е.П. Селезнев

инициалы, фамилия

Зав. кафедрой:

д.ф.-м.н., доцент

должность, уч. степень, уч. звание

подпись, дата

Е.П. Селезнев

инициалы, фамилия

Саратов 2017 г.

АВТОРЕФЕРАТ

Введение

Разработка и исследование автоэмиссионных катодов является одним из перспективных направлений современной вакуумной наноэлектроники.

Автокатод – эмиттер свободных электронов на основе автоэлектронной эмиссии. Автоэлектронная эмиссия – это переход электронов через потенциальный барьер за границу катода при создании у поверхности эмиттера сильного внешнего электрического поля, ускоряющего электроны от поверхности. Величина потенциального барьера у поверхности эмиттера зависит от напряженности, приложенного поля. При этом невозбужденные электроны могут преодолевать барьер (эффект туннелирования), создавая ток, плотность которого определяет данный процесс. Отсюда следует, что плотность тока напрямую зависит от напряженности поля.

Раньше в качестве исходных материалов для создания автокатодов использовались тугоплавкие металлы либо металлы переходных групп, однако такие автокатоде не могли работать длительное время из-за разрушений микроострий. В 70-х годах прошлого столетия появились первые сообщения об эмиссионных свойствах углеродных материалов, дальнейшее изучение которых показало перспективность данного направления. Наиболее известным и эффективным материалом для создания автокатаода являются углеродные нанотрубки. Благодаря высокому аспектному отношению, углеродные нанотрубки обладают высокой проводимостью и механической прочностью, что позволяет получить высокую плотность тока при низких значениях приложенного напряжения.

Целью данной магистерской работы является проведение теоретического расчета и экспериментальных измерений автоэмиссионного катода с наноструктурной эмиссионной поверхностью и оценки возможности применения данного автоэмиссионного катода.

В соответствии с поставленной целью в работе решались следующие задачи:

- теоретическое исследование автоэлектронной эмиссии и свойств материалов;
- разработка технологии, проектирование конструкции автоэмиссионного катода;
- компьютерное моделирование и расчет геометрии конструкции автоэмиссионного катода;
- экспериментальное исследование автоэмиссионного катода.

Актуальность данной работы определяется растущими потребностями применения автоэмиссионных катодов в радиоэлектронной промышленности и медицине. Автоэмиссионные катоды имеют ряд преимуществ по сравнению с другими источниками свободных электронов, благодаря которым нашли широкое применение в электронных пушках СВЧ-усилителей различного диапазона :

- отсутствие подогревательного элемента;
- высокая плотность тока;
- время готовности автоэмиссионного катода не превышает готовности твердотельных приборов.

В частности, из-за отсутствия накала и необходимости охлаждения, изготовление автоэмиссионных катодов является перспективным в медицине, например в рентгеновских трубках.

Научная новизна работы состоит в том, что разработана конструкция катодно-сеточного узла, позволяющая синтезировать наноструктурные автоэмиссионные центры на катоде с высокой точностью совмещенные с отверстиями в сетке. Также разработана технология синтеза матриц наноструктурных микроразмерных эмитирующих центров на поверхности катодной подложки. Было проведено экспериментальное исследование, в том числе электронная микроскопия.

Исследуя данную тему, в первую очередь, стоит обратить внимание на изучение стабильности наноуглеродных эмиттеров, и на механизмы их саморазрушения, которые зависят от условий проводимых экспериментов, а

также на поиск подходящих методов увеличения стабильности свойств автоэмиссии, т.к. данные, полученные в результате исследований в этой области, не полностью изучены. Стабильность эмиссионных свойств автокатодов в процессе использования, главным образом, определяет возможность практического применения их в медицине и радиоэлектронной промышленности. К тому же, немаловажным является рассмотрение самой оценки потенциала различных возможностей практического применения автоэмиссионных катодов.

Содержание. Работа состоит из трех глав: теоретическое исследование, теоретический расчет и эксперимент.

В первой главе проведен обзор различных работ по автоэлектронной эмиссии, описаны материалы и их свойства.

Во второй главе производится теоретический расчет и компьютерное моделирование.

Расчет геометрических параметров производился в программе "Анализ". Численный анализ электронной пушки заключается в расчете тока пучка, электростатического потенциала, эквипотенциальных поверхностей и электронных траекторий при заданных размерах электродов пушки и заданных значениях потенциала на этих электродах. Электронный пучок имитируется методом крупных частиц. Самосогласованная задача расчета электростатического потенциала и траекторий крупных частиц решается методом последовательных приближений. Расчет показал, что оптимальная конструкция будет со следующими геометрическими параметрами: $d_{к-с} = 0,05$ мм, $d_c = 0,05$ мм. (рис.1.)

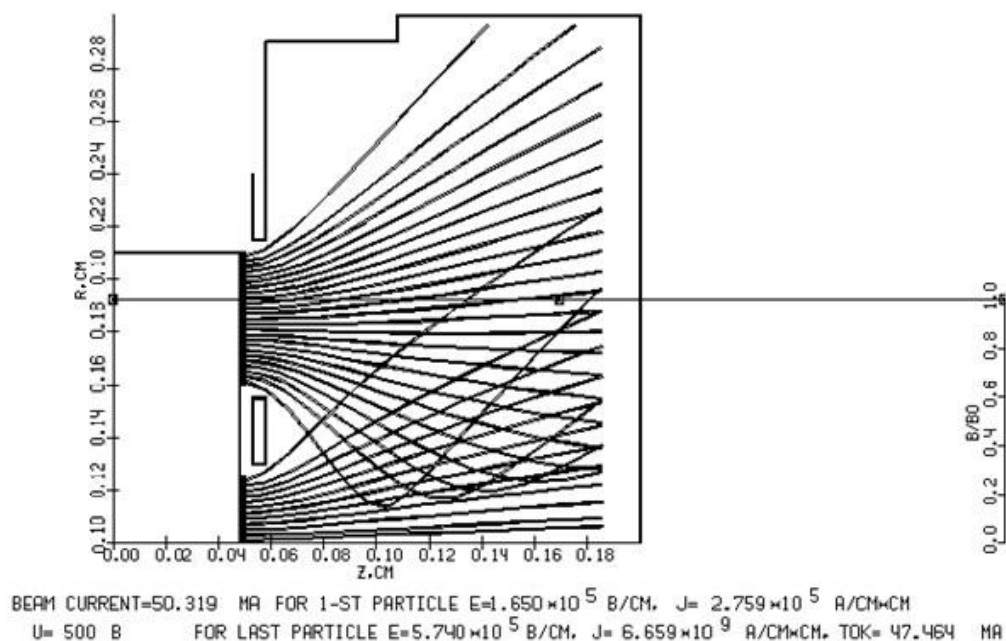


Рис. 1. Расчет автоэмиссионной пушки в программе «Анализ»: $d_{к-с}= 0,05$ мм, $d_c=0,05$ мм, толщина сеткодержателя 0.5 мм, а диаметр отверстия в сеткодержателе увеличен с 2.8 до 3.8 мм

Трёхмерное моделирование было проведено при помощи хорошо апробированного программного обеспечения Lorentz-3EM. Данная программа реализует метод граничных элементов для моделирования распределения полей, а также поддерживает итерационный метод при самосогласованном решении задач траекторного анализа с учетом поля пространственного заряда электронного пучка. Суть метода граничных элементов состоит в преобразовании дифференциального уравнения в частных производных, описывающего поведение неизвестной функции внутри и на границе области, в интегральное уравнение, определяющее только граничные значения, и затем отыскании численного решения этого уравнения[14]. Если требуется найти значение потенциала во внутренних точках области, то их можно вычислить, используя известные решения на границе. Поскольку все обусловленные численными расчетами приближения связаны только с границей, размерность задачи уменьшается на единицу и получаемая система уравнений оказывается меньшей по сравнению с исходной системой дифференциальных уравнений.

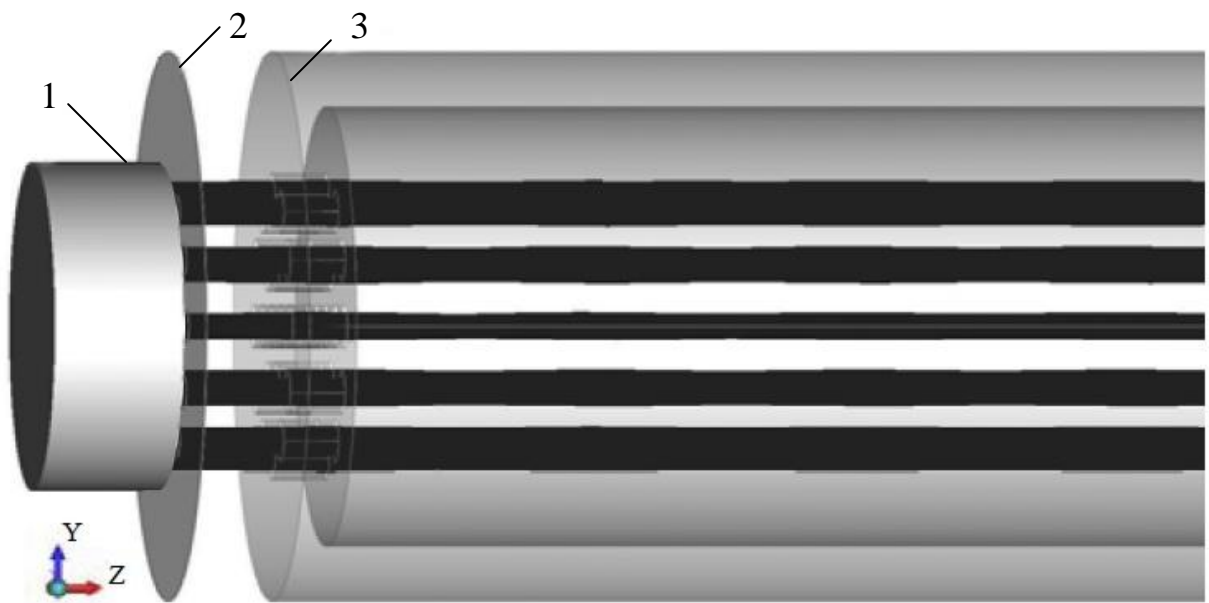


Рис. 2. Электронная пушка с автоэмиссионным катодом, 1 – автоэмиссионный катод, 2 - управляющая сетка, 3 – анодная сетка. Lorentz-ЗЕМ

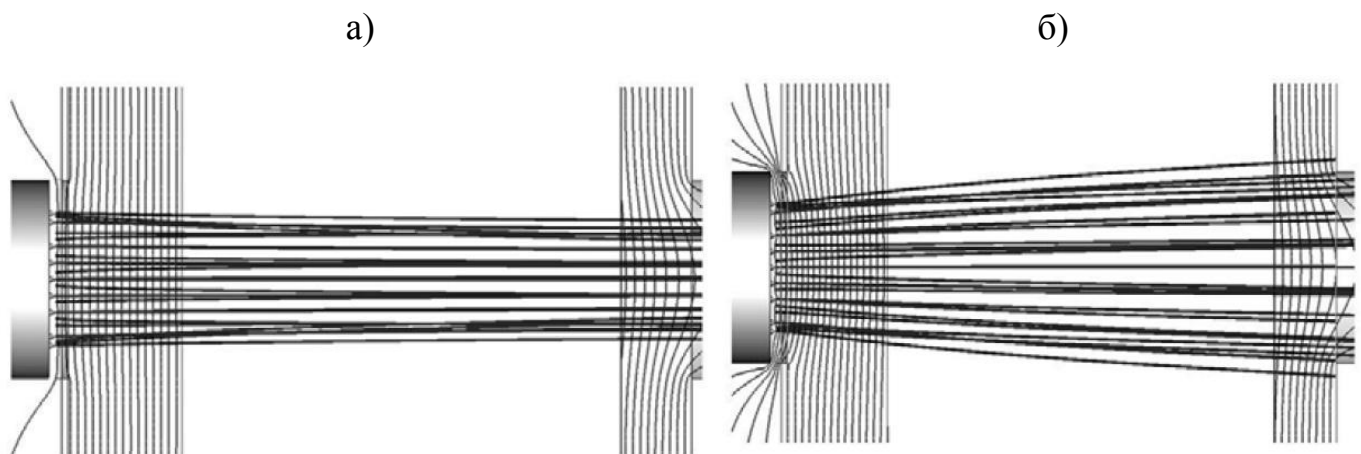


Рис. 3. Фрагменты триодной ЭП (рис. 8.). Распределение электрического поля и электронные траектории в зазорах катод-сетка- анод. а) $(U_c/U_a)_{opt.} = 0,5$; б) $(U_c/U_a) = 0,7$. Lorentz-ЗЕМ.

В третьей главе описана конструкция и процесс сборки(рис.4.), и проведен эксперимент. Представлена схема испытаний(рис.5.) и результаты эксперимента(рис.6.).

Испытания проводились при непрерывной откачке в импульсном режиме. Схема испытаний представлена на рисунке 23. Регистрация значений автоэмиссионного тока на аноде осуществлялась с помощью осциллографа и измерительного сопротивления $R_{и}$. Балластное сопротивление R_6 в

измерительной схеме предназначалось для защиты автоэлектронных эмиттеров от микропробоев в процессе откачки катодной поверхности. Подогреватель в данном случае использовался как технологическое устройство для обезгаживания макета, путем прогрева в течение 3 часов при температуре $T=400-500^{\circ}\text{C}+$.

Время готовности определялось по длительности переднего фронта импульса тока автоэлектронной эмиссии.

Ток автоэмиссионного катода определяется осциллографическим методом по импульсу измеряемых токов.

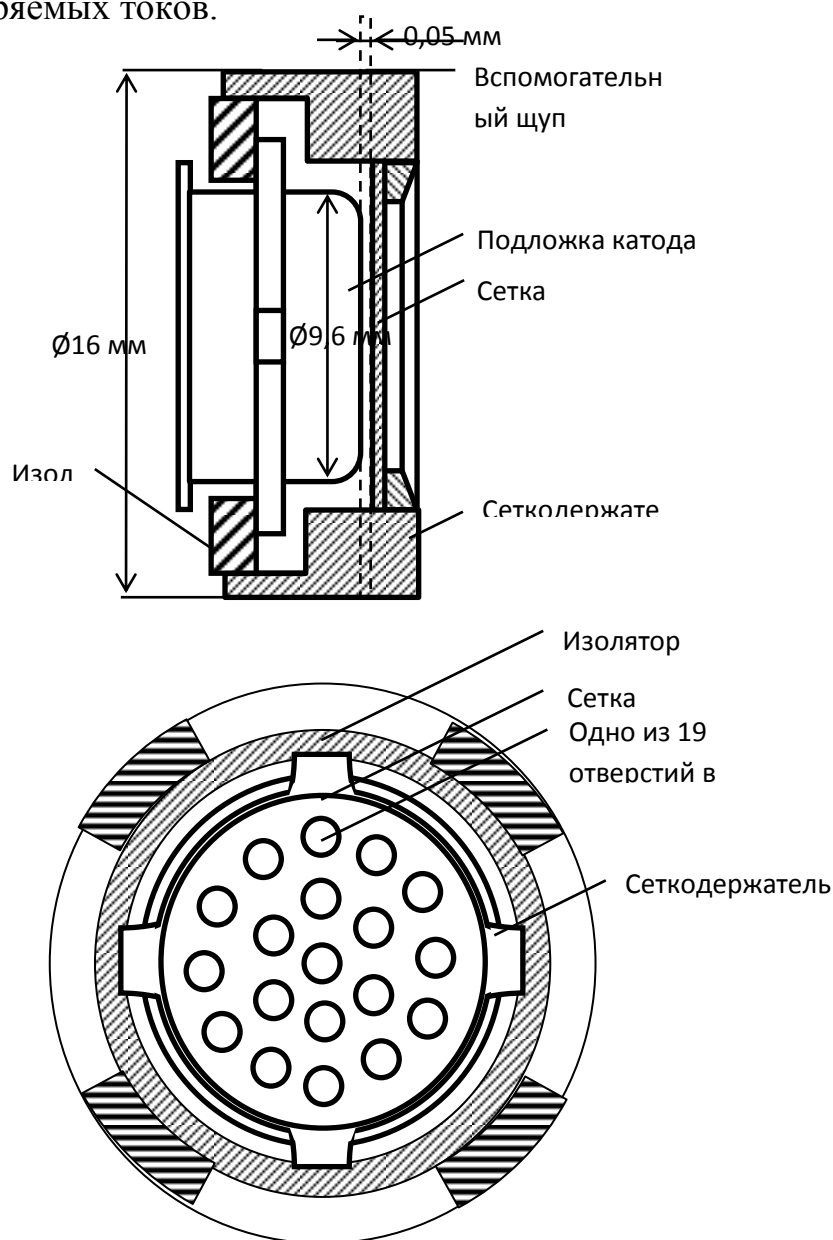


Рис.4.Схематическое изображение автоэмиссионного катода с основными геометрическими параметрами.

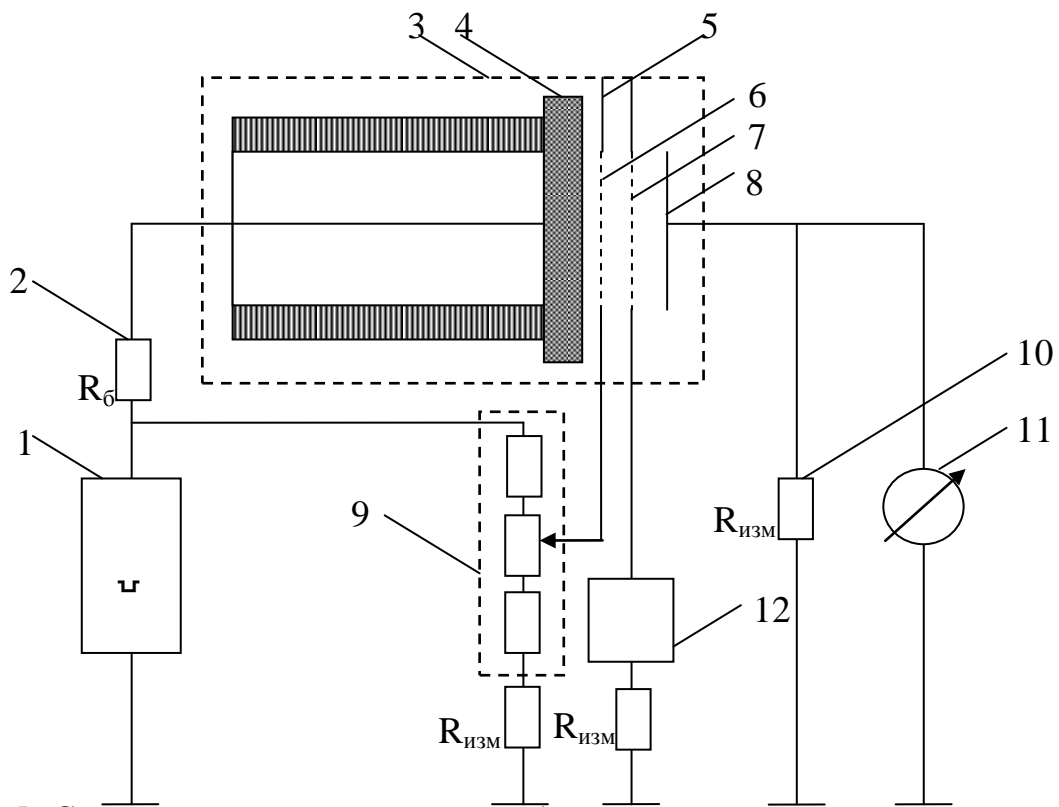


Рис.5. Схема испытаний опытных образцов импульсной автоэмиссионной электронной пушки: 1 – импульсный источник напряжения, 2 - балластное сопротивление, 3 – вакуумная камера, 4 – автоэмиссионный катод, 5 – сеткодержатель, 6 – сетка, 7 – анод, 8 - коллектор, 9 – делитель напряжения, 10 – измерительное сопротивление, 11 – осциллограф, 12 – источник постоянного напряжения.

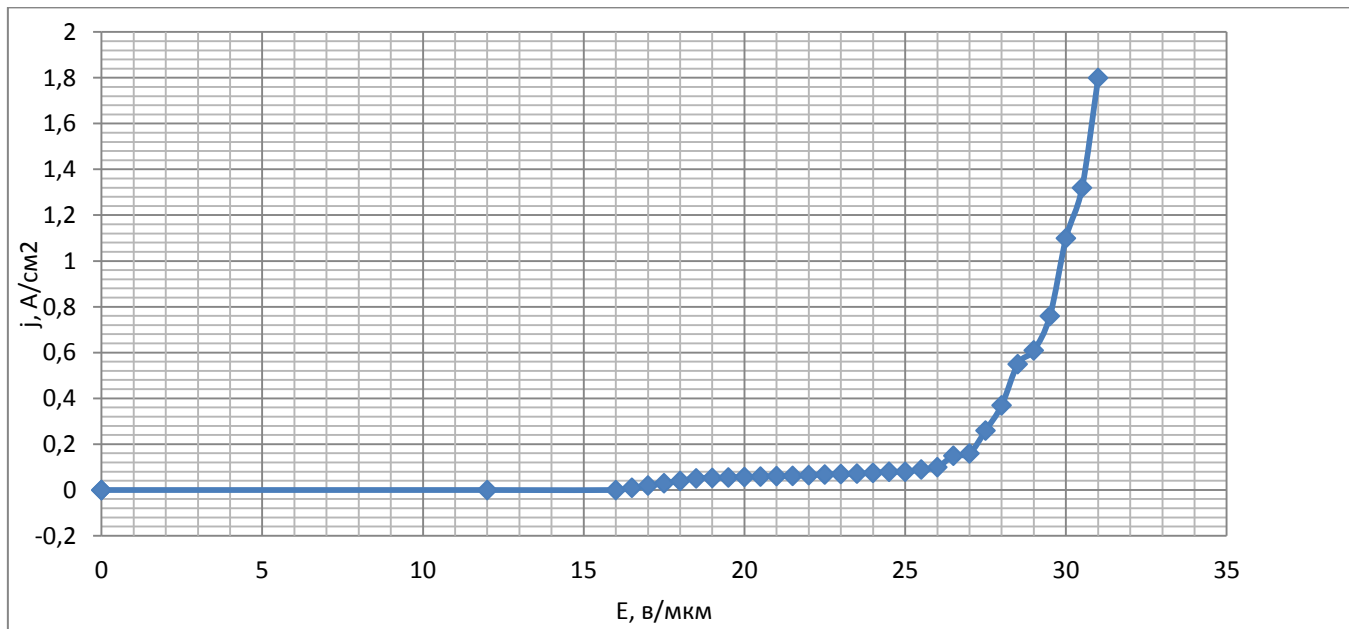


Рис.6. Усредненная ВАХ для одной из 19 эмитирующих областей.

Заключение

В данной работе был изготовлен макет автоэмиссионного катода на основе углеродных нанотрубок. Было проведено исследование автоэлектронной эмиссии, особенностей и свойств материалов, способов получения нанотрубок. Также были затронуты проблемы деградации и стабильности работы автоэмиссионных катодов. Был проведен теоретический расчет геометрии и электрических полей на основе компьютерного моделирования. Было проведено экспериментальное исследование макета в составе ЭП. На основе теоретического исследования и полученных экспериментальным путем результатов были сделаны следующие выводы:

- Опираясь на работы [10-13] и исследование, проведенное в данной работе, можно с уверенностью заявить, что стеклоуглерод марки СУ-2000 обладает необходимыми свойствами для выращивания на его основе углеродных нанотрубок и является перспективным материалом для производства автоэмиссионных катодов.
- Разработанная конструкция катодно-сеточного узла, позволяет синтезировать наноструктурные автоэмиссионные центры на катоде с высокой точностью совмещенные с отверстиями в сетке, экспериментальные значения плотности тока достигли $j=1,8\text{A}/\text{cm}^2$ при напряженности $E=31\text{В}/\text{мкм}$.

Применение матричных автоэмиссионных катодов на основе углеродных нанотрубок дает возможность производства и развития электровакуумных приборов в медицине и радиоэлектронной промышленности.

Список используемой литературы

1. Ландау Л.Д., Лившиц Е.М. Механика. М.: Наука, 1965
2. М.И. Елинсон, Г.Ф. Васильев, Автоэлектронная эмиссия. 1958
3. Н.В. Егоров, Е.П. Шешин. Автоэлектронная эмиссия. Принципы и приборы. 2011
4. Д. И. Трубецков, Вакуумная микроэлектроника. Соросовский образовательный журнал, № 4, 1997.
5. Шешин Е.П. Структура поверхности и автоэмиссионные свойства углеродных материалов. М.:МФТИ. Физматгиз. 2001
6. Dyke W.P., Charbonnier F.M., Strayer R.W., Floyd R., Barbour J.P., Trolan J.K. Electrical Stability and life of the heated field emission cathode.// J. Appl. Phys. 31. 5. 1960
7. M. L. Terranova, S. Orlanduccia, E. Tamburria, F. Toschia, V. Guglielmotta, V. Sessaa, M. Rossib. Cold Cathodes Assembled by Microsized Carbon Nanotubes (CNT) Systems IVEC 2009
8. Sedrakyan T A, Mishchenko E G, Raikh M E Phys. Rev. B 73245325 (2006), Булашевич К.А., Роткин В.В. Письма в ЖЭТФ 75 239 (2002)
9. А.В. Елецкий. Холодные полевые эмиттеров на основе углеродных нанотрубок, УФН Сентябрь 2010
10. Сеницын Н.И. и др. Углеродные нанокластерные структуры – один из материалов эмиссионной электроники будущего // Радиотехника 2000. №2. С.9
11. М.П. Апин, Н.А. Бушуев, Ю.А. Григорьев, и др. Многолучевые электронные пушки с сеточным управлением на основе углеродных nanoострийных матричных катодов с полевой эмиссией для перспективных СВЧ ЭВП// Материалы научно-технической конференции «Электронные приборы и устройства СВЧ», Саратов, 2007 С.82-90
12. Григорьев Ю. А., Шалаев П. Д., Бурцев А. А., Пименов В. Г., Рехен Г. А. Исследование вакуумных автоэмиссионных микродиодов с

изменяющимся зазором // Нано микросистемная техника №7(96), 2008
С.47-52.

13. Григорьев Ю. А., Бурцев А. А., Шалаев П. Д., Пименов В. Г.
Исследование вакуумных автоэмиссионных катодов с углеродными
микро- наноструктурами // Вестник Саратовского государственного
технического университета №3(35) Выпуск 2, 2008. С.87-94.
 14. К. Бреббия, Ж. Теллес, Л. Вроубел. Методы граничных элементов,
МОСКВА «МИР» 1987
 15. Spindt G.A. A thin-film field-emission cathode // J. Appl. Phys. 1968. V.39.
No.6. P.3504-3505.
 16. Spindt G.A., Brodie I., Hemphey L., Westerberg E.R. // J. Appl. Phys. 1976.
V.47. No.12. P.5248-5263.
 17. Spindt G.A., Holland G.A., Stowe R.D. // Appl. Surt. Sci. 1983. V.16. No.1-2.
P.268-272.
 18. Brodie I., Spindt G.A. Vacuum Microelectronics//Advances in Electronics and
Electronic Physics.1992, Vol.83. P. 1-106.
 19. Павлов, В.Г. Влияние объемного заряда эмитированных электронов на
полевую электронную эмиссию [Текст] / В.Г. Павлов // ЖТФ. – 2004. – Т.
74. – № 12. – С. 72-79
- Сильноточный катод на основе нанотрубок (США, Северная Каролина) //
IEEE Trans