

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники

УДК 621.38:620.3

Рабец
Евгений Олегович

Автоэлектронная эмиссия из массивов углеродных нанотрубок и графеновых
лезвий

АВТОРЕФЕРАТ

на соискание степени магистра технических наук
по специальности 1-41 80 03 «Нанотехнологии и наноматериалы в
электронике»

Научный руководитель
Данилюк Александр Леонидович
Кандидат физико-математических
наук, доцент

Минск 2020

КРАТКОЕ ВВЕДЕНИЕ

Термин "вакуумная микроэлектроника" используется для описания приборов или компонентов, имеющих микронные геометрические размеры (с нанометрическими допусками на эти размеры), принцип действия которых основан на движении свободных электронов в вакууме согласно законам классической физики.

Автоэлектронная эмиссия — физическое явление, состоящее в том, что электроны покидают твердое тело, в котором они находятся в качестве свободных носителей заряда (это может быть металл или полупроводник), под действием сильного электрического поля, приложенного к поверхности.

Интересным бытовым применением вакуумной микроэлектроники представляется разработка плоских панельных дисплеев, обеспечивающих изображение высокого качества и высокой яркости (в том числе и для цветного телевидения). Много внимания уделяется созданию электронных пушек с автоэмиссионными катодами и ионных источников, вопросам сканирующей туннельной микроскопии и др.

Автоэмиссионные дисплеи имеют ряд существенных преимуществ по сравнению с существующими плоскими дисплеями, особенно в бортовых устройствах и комплексах. Однако время их жизни значительно меньше, чем требуется для устройств отображения информации (не менее 60 тыс. часов), что ограничивает область их применения. Критическими элементами, определяющими время жизни автоэмиссионных дисплеев, являются эмиссионные элементы. Поэтому исследования по разработке новых материалов и конструкций автоэмиссионных элементов являются актуальными.

Общая характеристика работы

Актуальность темы магистерской диссертации.

В последние годы одним из новых и быстро развивающихся направлений в современной электронике является вакуумная микро- и наноэлектроника. Широко исследуются возможности создания электронных компонентов, работающих в миллиметровом и субмиллиметровом диапазоне на основе полевых эмиссионных катодов. Развитие полевых эмиссионных приборов открывает перспективы создания устройств, способных найти широкое применение в различных областях электроники. В частности, это вакуумные интегральные микросхемы для микропроцессоров электронно-вычислительной техники. Изучается возможность создания приборов на основе полевых острых катодов с несколькими управляющими электродами, что делает актуальными схемотехнические решения, основанные на многоэлектродных электронных лампах.

Кроме того, вакуумные устройства более устойчивы, чем полупроводниковые приборы, к экстремальным условиям, например, для работы при повышенных температурах и воздействии различного рода излучений и радиации.

Цели и задачи исследования. Целью является анализ процессов автоэлектронной эмиссии из массивов углеродных нанотрубок и графеновых лезвий.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- выполнить анализ процессов автоэлектронной эмиссии из углеродных и кремниевых наноструктур;
- разработать методику моделирования автоэлектронной эмиссии из углеродных и кремниевых наноструктур;
- выполнить моделирование коэффициентов усиления электрического поля, тока эмиссии и рабочего напряжения вакуумного автоэмиссионного устройства и сравнить с экспериментальными данными.

Объектом исследования является углеродные и кремниевые наноструктуры.

Предметом работы является закономерности автоэлектронной эмиссии из углеродных и кремниевых наноструктур.

Связь работы с приоритетными направлениями научных исследований и запросами реального сектора экономики. Работа выполнена в Центре «Наноэлектроники и новых материалов» НИЧ Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники за время обучения в магистратуре.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту. На защиту выносятся следующее основное положение:

Для достижения плотности тока эмиссии 1 А/см^2 из массива УНТ, высота которых 1 мкм и диаметр 12 нм , необходимо обеспечить расстояние между УНТ $4,14 \text{ мкм}$; при этом необходимая величина рабочего напряжения составит от 195 до 335 В при коэффициенте усиления поля от 62 до 721 в зависимости от расстояния между основанием катода и анодом от 2 до 40 мкм , а достижение плотности тока эмиссии 1 А/см^2 из графеновых лезвий, высотой $10\text{-}100 \text{ мкм}$ и толщиной $1\text{-}30 \text{ нм}$, обеспечивается рабочим напряжением от 200 до 1000 В при зазоре между вершиной лезвий и анодом 1 мкм и от 500 до 3000 В при таком зазоре равном 3 мкм .

Личный вклад соискателя. Все основные результаты и выводы получены соискателем самостоятельно. Во время работы над диссертацией соискателем были изучены математические модели расчета электрофизических параметров из углеродных и кремниевых наноструктур. Разработка моделей проводилась совместно с научным руководителем, кандидатом физико-математических наук, доцентом Данилюком А. Л.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из титульного листа, общей характеристики работы, введения, четырех глав, заключения, списка использованных источников из 27 наименований, графического материала. Полный объем диссертации составляет 56 страницы, в том числе 34 рисунка.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В **первой главе** описаны процессы автоэлектронной эмиссии, применение автоэлектронной эмиссии, матричные катоды, изготовление матриц кремниевых микрокатодов.

Во **второй главе** рассмотрены методика моделирования автоэлектронной эмиссии и предварительные оценки плотности тока автоэлектронной эмиссии, коэффициенты усиления напряженности электрического поля для УНТ.

В **третьей главе** представлены результаты расчета плотности тока автоэлектронной эмиссии в массивах УНТ, сравнительных анализ массивов лезвийных и острийных катодов, исследование полевого эмиссионного катода.

В **четвертой главе** представлены результаты расчетных и экспериментальных данных. В ходе сравнения имеющихся экспериментальных и расчетных данных установлено, что экспериментальный анодный ток имеет большие значения при тех же значениях потенциала. Однако при увеличении отрицательного потенциала на управляющих электродах разница между расчетным и экспериментальным токами уменьшается.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1 Установлены закономерности влияния на электрические характеристики катодного узла, содержащего УНТ и графеновые лезвия таких параметров, как размеры нанотрубок и лезвий графена (аспектного отношения), зазора между вершиной катода и анодом, падения напряжения между катодом и анодом, расстояния между нанотрубками в их массиве, а также между графеновыми лезвиями в их массиве.

2 Показано, что ток эмиссии из углеродных нанотрубок и графеновых лезвий определяется их аспектными отношениями, зазором между вершиной катода и анодом, падением напряжения между катодом и анодом, расстоянием между УНТ и лезвиями в их массиве.

3 Установлено, что рост аспектного отношения приводит к уменьшению падения напряжения на катодном узле при заданной плотности тока автоэлектронной эмиссии до определенного предела, после которого уменьшения напряжения не происходит.

4 Установлены нелинейные закономерности роста падения напряжения на катодном узле с увеличением зазора между вершиной катода и анодом.

5 В ходе сравнения имеющихся экспериментальных и расчетных данных установлено, что экспериментальный анодный ток имеет большие значения при тех же значениях потенциала. Однако при увеличении отрицательного потенциала на управляющих электродах разница между расчетным и экспериментальным токами уменьшается.