

ЭМИССИОННЫЕ СВОЙСТВА УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК

Бесов А.В.⁽¹⁾, Лаврив Л.В.⁽¹⁾, Копылова Л.И.⁽¹⁾, Симановский А.П.⁽¹⁾,
Рогозинская А.А.⁽¹⁾, Куницкий Ю.А.⁽²⁾

⁽¹⁾Институт проблем материаловедения им. И.Н. Францевича НАН Украины
ул. Кржижановского 3, Киев, 03142 Украина

⁽²⁾Институт металлофизики им. Г.В. Курдюмова НАН Украины
бул. Акад. Вернадского 36, Киев, 03142 Украина

Введение

Высокие эмиссионные характеристики углеродных нанотрубок уже около 10 лет привлекают внимание исследователей. Благодаря значительному эффекту усиления электрического поля вблизи головки нанотрубки, а также хорошей проводимости, электронные эмиттеры на основе нанотрубок уже сейчас составляют заметную конкуренцию традиционным коммерческим устройствам, использующим металлические и полупроводниковые источники электронов. Это позволяет разрабатывать на основе нанотрубок высокоэффективные низковольтные и низкотемпературные эмиттеры, а также полевые устройства для создания ярких и экономичных плоских дисплеев, источников света, вакуумных датчиков давления [1].

К матричным эмиттерам, созданным из массива нанотрубок, предъявляются жесткие требования - нанотрубки должны быть прямыми, расположенными перпендикулярно площадке, на которой они формируются, и иметь одинаковую длину и диаметр. Изогнутость и неперпендикулярность ответственны за нестабильность эмиссионного тока, что часто заставляет увеличивать расстояние между управляющим электродом и эмиттером.

Обсуждение

Для практических приложений углеродных нанотрубок (УНТ) в холодных эмиссионных катодах сохраняется задача достижения высокой пространственной однородности эмиссионных характеристик УНТ и снижения пороговой напряженности электрического поля. Подходы к решению этой задачи у разных групп разработчиков отличаются как способом получения УНТ, так и типом подложки.

Для формирования больших матриц углеродных нанотрубок используется химическое осаждение углеводородов над нанопористой поверхностью, в которой поры заполнены частицами металла-катализатора.

Исследователи Пекинского университета [2] использовали подложки из анодированного алюминия, приготовленного специальным образом. Нанотрубки, вырастающие из пор анодированного алюминия, имели открытые концы и довольно большой внутренний диаметр. Полевую электронную эмиссию полученных матриц исследовали в вакуумной камере при давлении остаточных газов, равном 10^{-8} Торр, и напряжении 1100 В. Анодом служил лист алюминия диаметром 5 мм. Площадь эмиттирующей поверхности составляла 2 мм^2 , а межэлектродное расстояние – 300 мкм. При напряженности поля $3,6 \text{ В/мкм}$ плотность тока эмиссии достигает $0,08 \text{ мА/см}^2$ и остается стабильной на протяжении 150 час.

Группа японских и американских исследователей [3] выполнила измерения работы выхода для однослойных нанотрубок методом фотоэлектронной эмиссии. Нанотрубки были получены методом лазерной абляции, очищены фильтрацией в присутствии ультразвукового облучения и нанесены методом распыления на GaAs подложку. Давление в камере анализатора составляло 2×10^{-9} Торр. На образец подавали напряжение около 9 В. Работа выхода составляла около 4,8 эВ для графита и однослойных нанотрубок.

Авторами в работе [4] измерение автоэлектронной эмиссии проводилось в условиях сверхвысокого вакуума. Углеродные нанотрубки, благодаря своему малому диаметру и большому отношению длины к диаметру, перспективны для создания низковольтных автоэлектронных эмиттеров. Проведенные исследования показали плотность тока эмиссии около 1 мА/см^2 , при среднем напряженности электрического поля $E=2,5 \div 3,0 \text{ В/мкм}$.

Автоэмиссионные свойства автокатодов из углеродных нанотрубок, допированных и недопированных бариером, изучены группой авторов [5]. Исследования проводили в диодном пробнике, находящемся в вакуумной камере (5×10^{-7} Торр). Величина напряженности электрического поля для чистых нанотрубок

составляла – 4,45 В/мкм, а для допированных бариом – 3 В/мкм, что на 30% меньше, чем у чистых нанотрубок. В качестве анода здесь использовалась стеклянная пластина, покрытая проводящим слоем ИТО и слоем люминофора. Межэлектродное расстояние составляло около 300 мкм. Полученная работа выхода электронов составляла 0,77 эВ.

В НИИФП им. Ф.В.Лукина [6] для проведения автоэмиссионных испытаний методом трафаретной печати из порошков нанотрубок изготавливались плоские катоды. Автоэмиссионные свойства катодов измеряли в диодном пробнике. Исследования показали, что при напряженности приложенного поля 5 В/мкм, разброс эмиссионных токов составил $\pm 0,25$ мкА при средней плотности тока 4,25 мкА/мм². Важной характеристикой эмиссионных эмиттеров в диодной конструкции является отношение прямого тока к обратному, которое в изготовленных образцах составляют более 10^5 , что намного превосходит аналогичную величину для полупроводниковых приборов.

В лаборатории ИПМ НАНУ накоплен большой опыт по синтезу углеродных нанотрубок, новых углеродных соединений, экзо- и эндофуллеренов, а также композитов на их основе. Представляют интерес углеродные наноструктуры в виде цилиндрических трубок со срезанными концами, а также нанотрубки остроконечной формы, которые получены электродуговым методом в жидкой фазе. Синтезируемые углеродные наноструктуры перспективны для их использования в автокатадах. Известно, что игольчатая, а также остроконечная формы являются хорошим источником электронов, что существенно влияет на рабочие характеристики автоэмиссионных катодов. В настоящее время проводятся исследования по отработке режимов синтеза новых углеродных наноструктур и композитов на их основе различными методами, т.е. подбираются количественный и качественный составы электродов, химический состав жидкой фазы, а также катализаторы.

В лаборатории создана специальная вакуумная установка для измерения эмиссионных свойств углеродных

наноструктур. Автоэмиссию этих материалов исследовали в вакуумной камере с разрежением 10^{-6} мм рт. ст. при напряжении до 10^4 В в диодном исполнении. Анодом служила стеклянная пластина, покрытая проводящим слоем ИТО и слоем люминофора. Межэлектронное расстояние составляло 200 мкм. Оптимальные составы используются в катодолюминесцентных источниках света.

Многообразие полученных в лаборатории форм и модификаций УНТ позволяет надеяться на успех в поиске материалов с оптимальными параметрами.

Выводы

В сообщении приведен обзор некоторых методов получения и возможных вариантов применения наноструктур в качестве эмиссионных материалов.

Рассмотрено применение нанотрубок на примере полевой, фотоэлектронной и автоэлектронной эмиссии.

Показано, что применение углеродных нанотрубок вместо металлических или полупроводниковых эмиттеров позволяет значительно улучшить рабочие параметры таких приборов.

Литература

1. А.В. Елецкий. Углеродные нанотрубки и их эмиссионные свойства// УФН.-2002, том 172, вып. 4. с. 401-438.
2. Appl. Phys. Lett. 2001, 78, p. 3127.
3. <http://perst.isssph.Kiae.ru/Infom/perst/2001/111/perst.htm>
4. Бучнев Л.М., Масутов А.Л., Котосонов А.С. и др. Углеродные слои с нанотрубками: синтез, структура, автоэлектронная эмиссия. III межд. конф. „Углерод: фундаментальные проблемы науки, материаловедение, технология”. Москва, 13-15.10. 2004, с.-69.
5. Никольский К.Н., Батурин А.С., Бормашов В.С. и др. Автоэмиссионные исследования допированных углеродных нанотрубок. Водородное материаловедение и химия углеродных наноматериалов. VIII межд. конф. Судак 14-20.09. 2003 - с. 824-825.
6. <http://perst.isssph.Kiae.ru/Inform/perst/2003/3-18/perst.htm>