

VIII Международный симпозиум
«Горение и плазмохимия»
Международная научно-техническая конференция
«Энергоэффективность-2015»

**ВОЛЬТАМПЕРНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК,
ПОЛУЧЕННЫХ ПРИ МАГНЕТРОННОМ РАСПЫЛЕНИИ ГРАФИТА С
ПОМОЩЬЮ АРОМАТИЧЕСКИХ УГЛЕВОДОРОДОВ**

Турсынгазын М.¹, Б.А. Байгимбетова¹, В.Э.Никулин²

Казахский национальный исследовательский технический университет им. К.И.Сатпаева¹, Алматы.

Казахский национальный университет им. аль-Фараби², Алматы

Последние годы ознаменовались интенсивным развитием нового направления науки и техники - нанотехнологий, позволяющих создавать новые материалы и структуры, обладающие принципиально новыми свойствами. Среди таких структур большой интерес представляют углеродные нанотрубки (УНТ). Углеродные нанотрубки чрезвычайно привлекательны для современных высоких технологий благодаря своим механическим и электронным свойствам, миниатюрным размерам, и инертности углерода. Благодаря большому отношению длины к диаметру и хорошей электропроводности вблизи концов УНТ уже при малых напряжениях возникает большая напряженность электрического поля, приводящая к появлению автоэлектронной эмиссии. Таким образом, углеродные нанотрубки являются перспективными для создания на их основе низковольтных автоэлектронных эмиттеров. Уже первые эксперименты подтвердили уникальные автоэмиссионные характеристики УНТ [1-3].

Важнейшей характеристикой любого материала в электронике принято считать вольтамперную характеристику. Именно она дает максимальную оценку электрических свойств материала. И после, можно уже говорить о пригодности данного материала в качестве того или иного элемента в электронной технике.

Целью работы является анализ исследования ВАХ углеродных нанотрубок, полученных при магнетронном распылении графита с помощью ароматических углеводородов.

Углеродные нанотрубки получены простейшим, экологическим чистым, модифицированным методом магнетронного реактивного распыления графита в возбуждаемых парах ароматических углеводородов [4]. При наличии ароматических углеводородов давление в камере составляло $5 \cdot 10^{-3}$ Торр, после напуска аргона давление в рабочей камере установили $6 \cdot 10^{-2}$ Торр, распыление материала производилось при токе 150мА и напряжении 200-300В рис.1.

В качестве подложек использовался нержавеющая сталь Х18Н10Т. Подложки крепились на дюралевом столике, на расстоянии 3-5 см над мишенью. Напыление проводилось в течение 40 минут. Микроскопические исследования выполнены на сканирующем атомно-силовом микроскопе (АСМ) МТ-MDT Integra Prima.

В случае нанотрубок вольтамперную характеристику снимают через ток автоэлектронной эмиссии. Это явление возникает при воздействии на заземленный проводник внешнего электрического поля. В результате такого воздействия электроны проводимости, первоначально находящиеся в прямоугольной потенциальной яме, получают возможность выхода за пределы проводника, вследствие квантового туннелирования. Прямые измерения вольтамперную характеристики (ВАХ) индивидуальных нанотрубок

VIII Международный симпозиум
«Горение и плазмохимия»
Международная научно-техническая конференция
«Энергоэффективность-2015»

представляют собой технически трудную задачу. Это связано, с одной стороны, миниатюрными размерами нанотрубок, затрудняющими выполнение надежных измерений

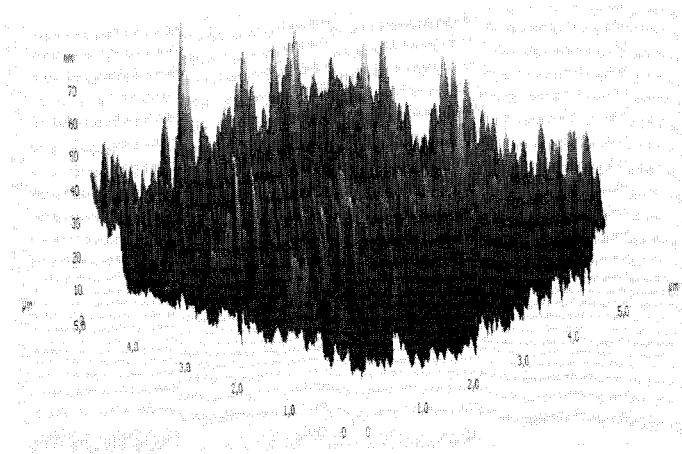


Рис. 1 – АСМ изображения углеродных нанотрубок, полученных методом магнетронного распыления графита на подложке из нержавеющей стали

Для теоретической оценки вольтамперной характеристики однослойных нанотрубок используют зависимость Фаулера – Нордгейма [5]. Оно записано для плотности тока автоэлектронной эмиссии и имеет вид:

$$J = C_1 E^2 \exp\left(-\frac{C_2}{E}\right)$$

здесь:

$$C_1 = \frac{e^3}{8\pi h t^2(y) \varphi} \quad (1)$$

$$C_2 = \frac{8\pi \sqrt{2m}}{3he} \cdot \varphi^{3/2} v(y) \quad (2)$$

где φ – работа выхода электрона для данного проводника, $y = e(eE)^{1/2} / \varphi$, функции $t(y)$ и $v(y)$ представляют собой медленно меняющиеся зависимости, хорошо аппроксимируемые выражениями $t \approx 1$ и $v \approx 1 - y^2$. Работа выхода электрона для углеродных нанотрубок $\varphi = 5,26$ эВ.

Проведем теоретический расчет вольтамперной характеристики по формуле (1). Зададим диапазон напряжений $U = 1...50$. Как мы видим выражение Фаулера – Нордгейма имеет прямую связь с напряженностью электрического поля, а не с напряжением. Поэтому примем, что нанотрубка находится в однородном электрическом поле. Выражение, связывающее напряжение и напряженность электрического поля имеет вид:

$$E = \frac{U}{d} \quad (4)$$

где $d = 10$ нм – длина нанотрубки.

Известно, что плотность электрического тока имеет связь с силой тока следующим выражением

$$I = \int_S J dS \quad (5)$$

Здесь S – площадь плоскости, которая образует нанотрубку. Положим, что диаметр рассматриваемой нанотрубки $D = 1,5$ нм. Тогда площадь S будет равна

$$S = d \cdot \pi D \quad (6)$$

$$S = 10_{\text{нм}} \cdot 3,14 \cdot 1,5_{\text{нм}} = 4,712 \cdot 10^{-17} \text{ м}^2$$

Воспользуемся для расчета вольтамперной характеристики формулами (1) и (6). Так, например для значения напряжения $U=30$ В, значение тока будет иметь значение $I = 4,6 \cdot 10^{-15}$ А.

По расчетным данным графически получены вольтамперные характеристики углеродных нанотрубок.

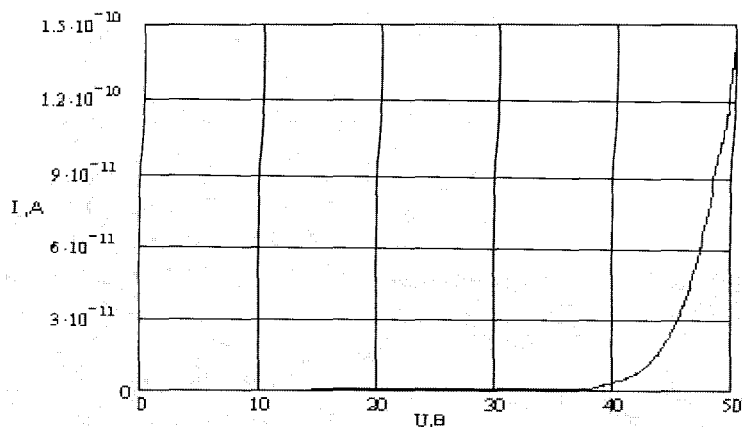


Рис. 1 – ВАХ однослойной нанотрубки

Результаты показывают, что ток проходящий через нанотрубку, возрастает с увеличением напряжения. Особый всплеск начинается при напряжении $U > 35$. Заметим что при напряжении до 50 В, порядок значения тока значительно меньше (нА).

Литература

1. De Heer W.A., Châtelain A., Ugarte D. A carbon nanotube field-emission electron source // Science. 1995. V.270, P. 1179-1180.
2. Collins P.G., Zettl A. A simple and robust electron beam source from carbon nanotubes // Appl. Phys. Lett. 1996. V.69, P.1969-1971.
3. Wang Q.H., Setlur A.A., Lauerhaas J.M., Dai J.Y., Seelig E.W., Chang R.P.H. A nanotube-based field emission flat panel display // Appl. Phys. Lett. 1998. V.72, №22, P. 2912-2913.
4. Байтимбетова Б.А., Верменичев Б.М. Способ получения углеродных наноструктур путем магнетронного реактивного распыления графита в возгоняемых парах ароматических углеводородов // Патент 2013/0803.1.
5. Елецкий А.И. Холодные полевые эмиттеры на основе нанотрубок // УФН. Т.180. -№9. –С. 897-930