

УДК 539.216

¹Б.А. Байтимбетова, ²Б.А. Аканаев, Б. Дуаметулы, ¹Б.Д. Сарсембаева
(¹Казахский национальный технический университет им. К.И.Сатпаева,
²Казахский национальный университет им. аль-Фараби,
Алматы, Республика Казахстан)

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ С СИСТЕМОЙ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК, ПОЛУЧЕННЫХ В АТМОСФЕРЕ АРОМАТИЧЕСКИХ УГЛЕВОДОРОДОВ

Аннотация. В статье рассмотрено дисперсия и развязки электромагнитных волн с системой углеродных нанотрубок, полученных, в атмосфере паров ароматических углеводородов. Расчетным путем показано что, в углеродных нанотрубках согласно дисперсионным соотношениям возможна не только развязка электромагнитных волн в прямом и обратном направлениях, но и активный прием, преобразование и передача сигнала через углеродные наносистемы.

Ключевые слова – нанотрубка, электромагнитные волны, дисперсия, развязка и показатель преломления.

Введение

Известно, что углеродные нанокompозиты используется для защиты от электромагнитного излучения как элементов, окружающих генераторы электромагнитных волн, так и электронного оборудования, чувствительного к внешним электромагнитным полям. Защитный материал наносится непосредственно на поверхность экранируемого объекта или предварительно расплавляется, формируется в виде листа и прессуется для образования нужной формы. Традиционные композиционные материалы, используемые для этих целей, включают матрицу, в которой диспергированы металлические проводящие волокна, сплавленные друг с другом и придающим композиту электропроводные свойства. Но они могут обеспечить защиту лишь от низкочастотных электромагнитных волн и не защищают объект от высокочастотного излучения. Модифицирование композита углеродными наноструктурами (нанотрубками и нанонитями) позволяют устранить этот недостаток. В последние годы нанотрубки стали одним из самых обсуждаемых материалов для применения в различных областях науки и техники [1-5]. Развитие СВЧ-устройств радиоэлектроники и энергетики, мощных энергетических установок приводит к тому, что возникающее при их работе электромагнитное излучение на частотах высших типов гармоник создает значительные помехи радиоэлектронной аппаратуре, работающей в СВЧ – области, и спутниковой связи. В связи с этим, проблема уменьшения помех и электромагнитной совместимости устройств становится актуальной [6].

Целью статьи является взаимодействие электромагнитного излучения с нанотрубчатой средой, полученных в атмосфере паров ароматических углеводородов методом магнетронного распыления графита на подложке из нержавеющей стали.

Методика эксперимента

Углеродные нанотрубки получены простейшим, экологическим чистым, модифицированным методом магнетронного реактивного распыления графита в возгоняемых парах ароматических углеводородов [7]. 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 дюралевои 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.

Результаты и обсуждение

Проведен анализ зависимости проводимости углеродных нанотрубок от их радиуса на основе полученных нами экспериментальных данных (рис.1). На рисунке 1 видны углеродные нанотрубки образующие в процессе напыления пленки. Отчетливо видны углеродные трубки длиной около 80нм, диаметром от 10 нм и выше. Плотность упаковки нанотрубок на поверхности образца составляет около 4-5 нанотрубок на 1 мк. Микрографические изображений представляет собой лес нанотрубок строго вертикальными к поверхности подложки.

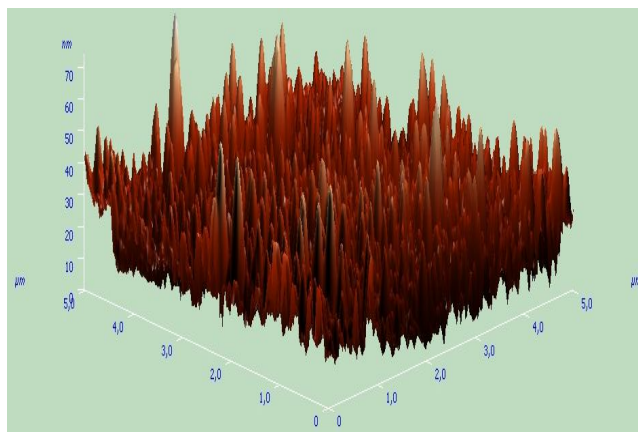


Рис. 1. АСМ изображения углеродных нанотрубок, полученных методом магнетронного распыления графита на подложке из нержавеющей стали

Результаты и обсуждение

Рассмотрена задача дисперсии и развязки электромагнитных волн с углеродных нанотрубок. Такая задача возникает при анализе качества полученных нанотрубок для целей покрытия, например, фюзеляжа летательных аппаратов - «невидимок».

Кристаллы в ряде электромагнитных процессов могут быть представлены набором атомных цепочек, нанотрубок и наноструктур. Изолированная заряженная частица излучает электромагнитные волны. Поэтому заряд, совершающий под действием падающего света установившиеся колебания, испускает электромагнитное излучение.

При большом числе зарядов каждый из них находится под действием электрического поля. Каждый колеблющийся заряд испускает волны, распространяющиеся в данной среде.

Быстрая заряженная частица при движении в кристалле под малым углом к одной из кристаллографических осей (оси Z) последовательно взаимодействует с различными цепочками атомов кристалла, расположенными параллельно оси Z. При столкновении с каждой цепочкой атомов углеродных нанотрубок в этом случае существенны корреляции между последовательными столкновениями частицы с атомами цепочки. Корреляции приводят к тому, что движение частицы в поле цепочки атомов определяется в основном непрерывным потенциалом цепочки атомов–потенциалом цепочки, усредненным вдоль ее оси Z. В результате возникает задача о взаимодействии электромагнитных волн в цилиндрически симметричном потенциале нити. При этом вся цепочка атомов выступает как единый объект [8].

Углеродные нанотрубки благодаря их микроскопическим размерам обладают ярко выраженными квантовыми свойствами. В частности, квантовомеханические расчеты показывают, что волновая функция электрона в нанотрубке должна быть суперпозицией двух колебаний с близкими длинами волн, причем сложение мод должно приводить к пространственным биениям в распределении электронной плотности. Если длина волны каждой из мод примерно равна расстоянию между соседними атомами углерода, то масштаб биений охватывает сразу несколько атомов.

Так как движение атомов углеродных нанотрубок всегда можно разложить на два взаимно перпендикулярные колебания, то достаточно рассмотреть лишь линейный осциллятор. Чтобы

определить с классической точки зрения поглощение и диэлектрическую постоянную, связанную с колебаниями заряда, необходимо решить уравнение движения осциллятора в поле при определенных краевых условиях.

Пусть OZ ось совпадает с осью матриц, содержащие углеродные нанотрубки, состоящих из цепочки атомов. В том же направлении распространяется электромагнитная волна \vec{E} . Таким образом, уравнение движения n -го осциллятора в цепочке имеет вид:

$$m \ddot{\vec{r}}_n + m\omega_0^2 \vec{r}_n - \chi \left[(\vec{r}_{n+1} - \vec{r}_n) + (\vec{r}_{n-1} - \vec{r}_n) \right] = q\vec{E}_n \quad (1)$$

где m - удельная масса цепочки, q -заряд цепочки, χ - упругая константа цепочки нанотрубок, ω_0 - собственная круговая частота атомов углеродных нанотрубок, ω - круговая частота колебаний поля \vec{E} .

Каждый атом состоит из частицы с массой m и зарядом q , связанной с упругой силой, пропорционально смещению, с более тяжелым ядром, заряд которого равен по величине и противоположен по знаку заряду q .

Предполагаем, что у атома нет ни постоянного, ни наведенного полями магнитного момента. Поэтому намагниченность равно нулю и каждая частица ведет себя как некая фиктивная средняя частица. Это означает, что каждая частица находится под действием силы электрического поля, и атом ведет себя как гармонический осциллятор, а всю твердую структуру можно представить, как систему гармонических осцилляторов.

Энергия электромагнитного излучения поглощается, когда выполняется (1)

Переходя к дипольному моменту единицы объема, перепишем уравнение (1) в виде:

$$\ddot{\vec{P}}_n + \omega_0^2 \vec{P}_n - \frac{\chi}{m} \left[(\vec{P}_{n+1} - \vec{P}_n) + (\vec{P}_{n-1} - \vec{P}_n) \right] = \frac{e^2}{mV_0} \vec{E}_n \quad (2)$$

где- $\vec{P}_n = \frac{q \vec{r}_n}{V_0}$ -дипольный момент единицы объема.

Если считать длину электромагнитной волны λ , распространяющейся по углеродной нанотрубке, намного больше периода цепочки нанотрубки, то удельные дипольные моменты \vec{P}_n являются медленно меняющимися функциями. Тогда уравнение (5.2) можно представить в виде:

$$\ddot{\vec{P}}(r) + \omega_0^2 \vec{P}(z) - qa^2 \frac{d^2 \vec{P}(z)}{dz^2} = \frac{e^2}{mV_0} \vec{E}(z) \quad (3)$$

где a - период цепочки.

Рассмотрим сначала одномерную модель кристалла углеродной нанотрубки- цепочку из n одинаковых атомов, у которых крайние атомы жестко связаны с подложкой и неподвижны. Считая, что вначале нанотрубка не облучается электромагнитным полем:

$$\ddot{\vec{P}} + \omega_0^2 \vec{P}_n = \frac{q}{m} \left[(\vec{P}_{n+1} - \vec{P}_n) + (\vec{P}_{n-1} - \vec{P}_n) \right] = \frac{q}{m} (\vec{P}_{n+1} - 2\vec{P}_n + \vec{P}_{n-1}) \quad (4)$$

найдем собственные колебания системы. Будем искать решение в виде стоячей волны

$$r_n = A \sin kz \sin \omega t, \quad (5)$$

где $k=2\pi/\lambda$, $z=na$ - координата n -го атома ($n=0,1,2,\dots n-1$)

Каждая гармоническая составляющая суперпозиции определяют свою собственную гармоническую стоячую волну с волновым числом.

В таком виде решение автоматически удовлетворяет граничному условию $r_0=0$.

Граничное условие для другого конца цепочки $r_{n-1}=0$, будет удовлетворено, если $\sin ka(n-1) = 0$. Отсюда получим спектр собственных значений волнового числа k :

$$k_i = \frac{\pi_i}{a(n-1)} \quad (6)$$

где a – диаметр нанотрубок, $i=1,2,\dots, (n-2)$ (при $i=0$ и $n-1$ значение $\sin kz=0$, т.е. решение вообще не допускает движения).

Таким образом, смещение n -го атома можно представить в виде суперпозиции стоячих волн вида

$$r_{ni} = A_i \sin(k_i na) \sin \omega_i t \quad (7)$$

Подставив выражение r_{ni} в уравнение движения, найдем

$$\omega_i = 2 \sqrt{q/m} \sin(k_i a/2) \quad (8)$$

где ω – круговая частота колебаний поля \vec{E} .

Отсюда видно, что число различных колебаний равно числу возможных значений волнового числа k_i , т.е. $n-2$, или, другими словами, числу колебательных степеней свободы рассматриваемой цепочки:

$$\omega_{\max} = 2 \omega/m, \quad \lambda_{\min} = 2a \quad (9)$$

$$\pi_{\text{дл}} = a \sqrt{\chi/m}, \quad V_{\text{дл}}/V_{\text{кор}} = \pi/2 \quad (10)$$

При взаимодействии такой нанотрубки с электромагнитным полем уравнение (3) необходимо решить совместно с уравнением Максвелла для волны электрического поля:

$$\frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial z^2} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} = \frac{\partial^2 \vec{P}}{\varepsilon_0 c^2 \partial t^2} \quad (11)$$

Ищем решение системы уравнение (5.3), (5.11) в виде:

$$\vec{P} = \frac{1}{2} \vec{P}_0 e^{-i(\omega t - kz)} + \text{к.с.} \quad (12)$$

$$\vec{E} = \frac{1}{2} \vec{E}_0 e^{-i(\omega t - kz)} + \text{к.с.} \quad (13)$$

Подставляя формулы (5.12) в уравнения (5.3) и (5.11) получаем:

$$\frac{\omega^2}{c^2} - k^2 = - \frac{\alpha}{\omega_0^2 + \frac{q}{m} k^2 a^2} \quad (14)$$

где $\alpha = \frac{\omega_0^2 e^2}{\varepsilon_0 m c^2 V_0}$

Отсюда:

$$k = \pm \left(\frac{\gamma \cdot \omega^2 / c^2 - \omega_0^2 + \omega^2 \pm \sqrt{\gamma \omega^2 / c^2 - (\omega_0^2 + \omega^2)^2 + 4\alpha\gamma}}{2\gamma} \right)^{1/2} \quad (15)$$

$$\gamma = qa^2 / m$$

Таким образом, при данной частоте существует четыре волновых числа (и следовательно, 4-показателя преломления, связанного с k соотношением:

$$n = c / \omega k \quad (16)$$

где n - показатель преломления, c - скорость света, k - волновой вектор ω - круговая частота колебаний поля \vec{E} .

Показано, что две волны движутся в одном направлении, две – с теми же значениями показателей преломления движутся в противоположном. Итак, в одном и том же направлении при фиксированной частоте даже в изотропной среде могут распространяться волны с разными показателями преломления рисунок 2. Это важно в средах типа нанотрубок, характеризующихся так называемой пространственной дисперсией, когда диэлектрическая проницаемость зависит не только от частоты, но и от волнового вектора [9-10].

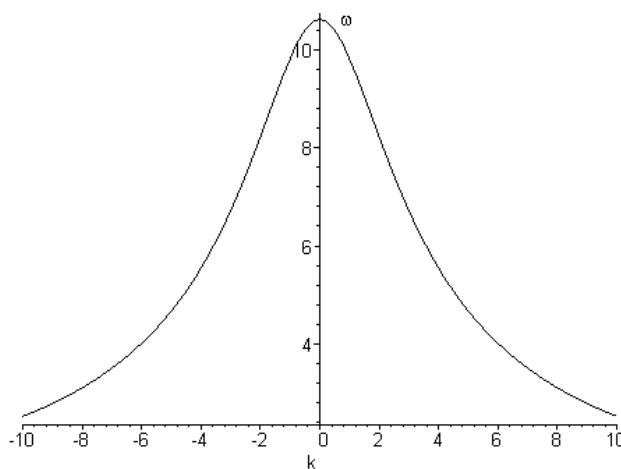


Рис. 2. Зависимость резонансной частоты ω от волнового вектора k

Заключение

Анализ показывает, что в углеродных нанотрубках согласно дисперсионным соотношениям возможна не только развязка электромагнитных волн в прямом и обратном направлениях, но и активный прием, преобразование и передача сигнала через углеродные наносистемы. Такие системы найдут применение как при создании дисплеев на основе углеродных нанотрубок, так и элементов объемных параллельных процессоров.

Причем обе эти системы могут быть совмещены в одном узле в виде тонкого свернутого листа. Для использования такого суперкомпьютера достаточно развернуть этот лист- экран-компьютер. При использовании углеродных наносистем ожидается появление электронных устройств, быстроедействие и разрешение которых допускает моделирование любых процессов в реальном масштабе времени.

ЛИТЕРАТУРА

1. Елецкий А.В. Углеродные нанотрубки// УФН -1997 -V.167. -№9. -С.945-972.
2. Дьячков П.Н. Углеродные нанотрубки: строение, свойства, применения. // М.:БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006. -293с.
3. Kosiak M. et al. Superconductivity in ropes of single-walled carbon nanotubes// Phys. Rev. Lett. –2001. – V.86. –P. 2416–2419.
4. Tang Z.K. et al. Ultra-small single walled carbon nanotubes and their superconductivity properties. // Synthetic Met. –2003. –V.133-134. –P.689-693.
- 5 Елецкий А.В. // Перспективы применения углеродных нанотрубок. Российские нанотехнологии. – Т.2. – № 5-6. – 2007. – С. 6-17.
6. Сусяев В.И., Кузнецов В.Л., Мазов И.Н., Журавлев В.А., Кулешов Г.Е. Электромагнитный отклик от композиционного материала на основе многостенных углеродных нанотрубок //Доклады ТУСУРа -№2 (22), -1 часть, -2010. –С. 56-58
7. Байтимбетова Б.А., Верменичев Б.М. Способ получения углеродных наноструктур путем магнетронного реактивного распыления графита в возгоняемых парах ароматических углеводородов //Патент 2013/0803.1
8. Ахизер А.И., Шульга Н.Ф. Электродинамика высоких энергий в веществе. -М.:Наука, 1993. -344 с.
9. Борисенко В.Е. Нанoeлектроника – основа информационных систем XXI века // Сор. образ. жур. – 1997. -№5. –С. 100-104.
- 10.Аканаев Б.А., Байтимбетова Б.А., Манабаев Н. Аномальная магнитная восприимчивость и поглощение электромагнитного излучения углеродными нанотрубками // Вестник КазНУ. Сер. Физ. -2003. - №2(15). -С. 75-80.

LITERATURA

1. Eletsckii A.V. Uglerodnye nanotrubki //UFN -1997 -V.167. -N.9. -P.945-972.
2. Dyachkov P.N. Uglerodnye nanotrubki: stroenie, svoistva, primeneniya. // M.:BINOM. Laborotora snanii, 2006. -293s.
3. Kosiak M. et al. Superconductivity in ropes of single-walled carbon nanotubes// Phys. Rev. Lett. –2001. – V.86. –P. 2416–2419.
4. Tang Z.K. et al. Ultra-small single walled carbon nanotubes and their superconductivity properties. // Synthetic Met. –2003. –V.133-134. –P.689-693.
- 5 Eletsckii A.V. //Perspektvi primeneniya uglerodnih nanotrubok. Rossickie nanotechnology. -2007. -T. 2. № 5-6. C. 6-17.
6. Suslyayev V.I., Kuznetsov V.L., Mazov I.N., Juravlev V.A., Kuleschov G.E. Electromagnitny otklik ot kompozitsionnogo materiala na osnove mnogostennykh uglerodnye nanotrubki //Doklady TUSURa -№2 (22), -1 chast, -2010. –S. 56-58
7. Baitimbetova B.A., Vermenichev B.M. Sposob polucheniya uglerodnih nanostructur putem magnetronnogo reaktivnogo raspileniya graphite v voztgonyaiemih parah uglevodородов //Patent. 2013/0803.1.
8. Achizer A.I., Xhulga N.F. Elektrodinamika vysokich energii v vechestve. -M.:Nauka, 1993. -344 s.
9. Borisenko V.E. Naneolectrinika – osnova informazionnyh system XXI veka // Sor. obraz. jur. – 1997. -№5. –S. 100-104.
- 10.Аканаев В.А., Байтимбетова В.А., Манабаев Н. Аномальная магнитная восприимчивость I poglachenie electromagnitnogo izlucheniya uglerodnymi nanotrubkami // Vestnik KazNU. Ser. Физ. -2003. -№2(15). -S. 75-80.

Байтімбетова Б.А., Аканаев Б.А., Дуаметұлы Б, Сәрсембаева Б.Д.

Ароматикалық көмірсутектер атмосферасында алынған көміртекті нанотүтікшелі жүйенің электромагниттік сәулеленумен әсерлесуі

Түйіндеме. Мақалада ароматикалық көмірсутектер буы атмосферасында алынған көміртекті нанотүтікшелі жүйенің электромагниттік сәулеленумен әсерлесуі қарастырылған. Көміртекті нанотүтікшелерде дисперсиялық қатынасқа сай бір немес кері бағытта электромагниттік толқындар түйіні ғана активті қабылдауы емес, көміртекті наножүйелер арқылы сигналдар түрлендіріледі және өтеді.

Түйін сөздер – нанотүтікше, электромагниттік толқындар, түйін және сыну көрсеткіш.

Байтімбетова Б.А., Аканаев Б.А., Дуаметұлы Б, Сәрсембаева Б.Д.

Взаимодействие электромагнитного излучения с системой углеродных нанотрубок, полученных в атмосфере ароматических углеводородов

Аннотация. В статье рассмотрено дисперсия и развязки электромагнитных волн с системой углеродных нанотрубок, полученных, в атмосфере паров ароматических углеводородов. Расчетным путем показано что, в углеродных нанотрубках согласно дисперсионным соотношениям возможна не только развязка электромагнитных волн в прямом и обратном направлениях, но и активный прием, преобразование и передача сигнала через углеродные наносистемы.

Ключевые слова – нанотрубка, электромагнитные волны, дисперсия, развязка и показатель преломления.

Baitimbetova B.A., Akanaev B.A., Duametuly B, Sarsembaeva B.D.

Interaction of electromagnetic radiation with a system of carbon nanotubes produced in an atmosphere of aromatic hydrocarbons

Summary. The article reviews the dispersion and decoupling of electromagnetic waves with a system of carbon nanotubes produced in an atmosphere of a vapor of aromatic hydrocarbons. One of the more significant findings to emerge from this study is carbon nanotubes that according to the dispersion relations can not only denouement of electromagnetic waves in forward and reverse directions, but also an active reception, conversion and signal transmission through carbon nanosystems.

Key words - nanotube, electromagnetic waves, dispersion, isolation and refractive index.

УДК 622.054

**В.Г. Голубев, К.С. Надиров, М.К. Жантасов, Г.Ж. Бимбетова,
Х.А. Аширбаев, К.С. Затыбеков**

(Южно-Казахстанский государственный университет им. М. Ауэзова,
Шымкент, Республика Казахстан)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРАЕВОГО УГЛА СМАЧИВАНИЯ НЕФТЯНОГО КЕРНА КУМКОЛЬСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ РАСТВОРАМИ НПАВ

Аннотация. В данной работе на основании экспериментальных исследований представлены результаты определения краевого угла смачивания нефтяного керна Кумкольского месторождения растворами НПАВ. Приведена зависимость краевого угла смачивания поверхности нефтяного керна Кумкольского месторождения растворами НПАВ от концентрации НПАВ на границе раздела «нефть - водный раствор НПАВ». Определено, что с увеличением концентрации НПАВ в пластовой воде наблюдается значительное снижение значения краевого угла смачивания поверхности нефтяного керна

Ключевые слова: экспериментальные исследования, краевой угол смачивания, концентрация НПАВ, нефтяной керн.

В процессе вытеснения нефти поверхностно-активные вещества оказывают влияние на следующие взаимосвязанные факторы [1-12]:

- межфазное натяжение на границе нефть - вода и поверхностное натяжение на границах вода - порода и нефть - порода, обусловленное их адсорбцией на этих поверхностях раздела фаз;
- отношение подвижностей вытесняемого и вытесняющего флюидов (за счет уменьшения вязкости нефти или подвижности вытесняющего агента);