

Раздел III. Нанотехнологии в медицинском приборостроении

УДК 621.315.519

С.А. Богданов, А.Г. Захаров, А.А. Лытjuk

ЕМКОСТНЫЕ СЕНСОРЫ ХИМИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН НА ОСНОВЕ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК

В работе представлены результаты моделирования емкостных свойств систем углеродных нанотрубок для исследования возможности их использования в медицине в качестве емкостных сенсоров, предназначенных для определения состава физиологических и биологических жидкостей. Результаты моделирования позволяют прогнозировать величину конденсаторной емкости на этапе проектирования и разработки емкостных сенсорных элементов на основе систем углеродных нанотрубок.

Углеродная нанотрубка; сенсор химических величин.

S.A. Bogdanov, A.G. Zaharov, A.A. Lytjuk

CARBON NANOTUBE-BASED CAPACITIVE SENSORS OF CHEMICAL QUANTITIES

Results of carbon nanotubes systems capacitive properties simulation for investigation of their possible usage as capacitive sensors, aimed for composition test of physiological and biological liquids are presented. Results of simulation allow prognosticating capacitance value on the stage of carbon nanotube-based capacitive sensors designing and developing.

Carbon nanotube; sensor of chemical quantities.

Малые размеры углеродных нанотрубок (УН), возможность управляемого варьирования на стадии их формирования электропроводностью, механической прочностью, магнитными и эмиссионными свойствами, а также высокая химическая стабильность, дают основание рассматривать УН как один из перспективных компонентов наноэлектроники [1, 2, 3]. В литературе широко обсуждается возможность создания на основе УН гетеропереходов, высокоэффективных низковольтных полевых эмиттеров, наноподшипников и наномоторов, нанореле и ячеек памяти, нанорезисторов и электромеханических нанотермометров, наноактуаторов и др. [4].

Известно применение УН с полупроводниковой проводимостью в качестве сенсоров для контроля химических веществ [5] – при воздействии некоторых веществ проводимость полупроводниковой УН изменяется в сотни раз, в то время как электрические свойства УН с металлической проводимостью изменяются не более чем на 30 %. Анализ известных методов получения и модификаций УН показывает, что процесс получения и отбора УН полупроводникового типа проводимости более трудоемок чем для УН с металлической проводимостью.

В работе представлены результаты моделирования емкостных свойств систем углеродных нанотрубок для исследования возможности их использования в медицине в качестве емкостных сенсоров контроля состава физиологических и

биологических жидкостей. В первом приближении рассматривалась однослойная углеродная нанотрубка с металлической проводимостью и характерными – диаметром $2a = 1,36 \text{ нм}$, длиной $L = 300 \text{ мкм}$.

Оценка конденсаторной емкости систем УН, помещенных в среду с диэлектрической проницаемостью $\epsilon = 1$, проводилась на основе аналитических соотношений, полученных методом средних потенциалов и приведенных в [6], для различных конфигураций электродов. Варьировались количество, размеры, а также взаимное расположение электродов.

Расчет конденсаторной емкости n соединенных между собой УН, расположенных в одной плоскости на расстоянии b друг от друга, параллельно проводящей плоскости (ПП) на расстоянии h от нее при выполнении условий $(n - 1) \cdot b \leq L$, $2h/b \geq 1$ осуществлялся согласно выражению

$$C \approx \frac{2\pi\epsilon nL}{\ln\left(\frac{2h}{a}\right) + (n-1)\ln\left(\frac{2h}{b}\right) - n(D+B)}, \tag{1}$$

в котором коэффициенты B и D определяются формулами $B = \frac{2}{n^2} \sum_{k=1}^{n-2} k \cdot \ln(n-k)$,

$$D = \ln\left(1 + \sqrt{1 + \left(\frac{2h}{l}\right)^2}\right) + \frac{2h}{l} - \sqrt{1 + \left(\frac{2h}{l}\right)^2} + 0,307.$$

Зависимость конденсаторной емкости такой системы электродов для случая $n = 2000$ УН и $b = 50 \text{ нм}$ от расстояния h до ПП изображена на рис. 1.

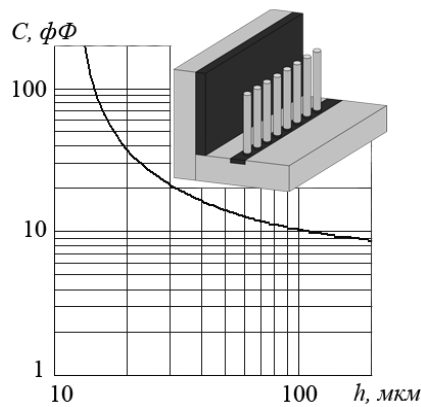


Рис. 1

Оценивалась также величина конденсаторной емкости для системы, состоящей из n соединенных между собой УН, расположенных в разных плоскостях, параллельных проводящей плоскости. Выражение для расчета емкости в этом случае имеет вид

$$C \approx \frac{2\pi\epsilon nL}{\ln\left(\frac{2h}{a}\right) + \sum_{m=1}^{n-1} \left(\ln\left(\frac{2h}{g_m}\right) + \frac{g_m}{L} \right) - nG}, \tag{2}$$

где $g_m = \sqrt{\left(\frac{m \cdot b}{2}\right)^2 + \left|\sin\left(\frac{m \cdot \pi}{2}\right)\right|} \cdot d^2$, d – расстояние между плоскостями с углеродными нанотрубками, b – расстояние между УН, расположенными в одной плоскости; $G = \ln\left(1 + \sqrt{1 + \left(\frac{2h}{l}\right)^2}\right) + \frac{2h}{l} - \sqrt{1 + \left(\frac{2h}{l}\right)^2} + 0,307$; h – наименьшее расстояние от УН до проводящей плоскости.

Зависимость конденсаторной емкости такой системы электродов для случая $n = 2000$ УН, $b = 50$ нм, $d = 100$ нм от расстояния h до ПП изображена на рис. 2.

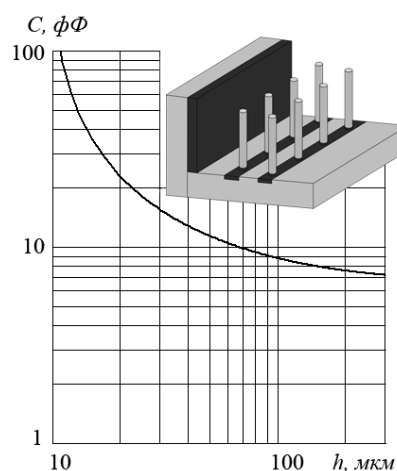


Рис. 2

Конденсаторная емкость n соединенных между собой УН, расположенных с постоянным шагом вдоль образующей кругового цилиндра радиусом R , параллельно проводящей плоскости оценивается выражением (2), в котором следует принять $g_m = 2R \sin\left(\frac{\pi \cdot m}{n}\right)$, кроме того h – расстояние от оси цилиндра до проводящей плоскости. Зависимость от расстояния h до ПП конденсаторной емкости такой системы электродов для случая $n = 2000$ УН, $R = 10$ мкм изображена на рис. 3.

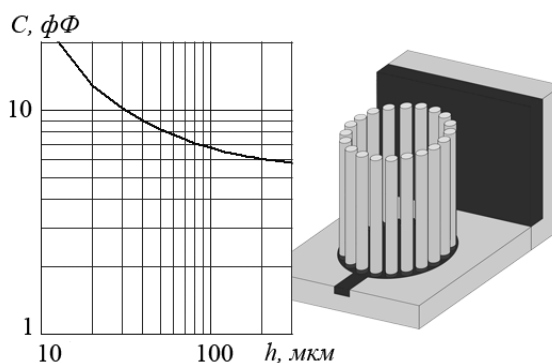


Рис. 3

Анализ полученных результатов показал, что наибольшей конденсаторной емкостью из рассмотренных систем УН обладает система первой конфигурации, однако ввиду возможной сложности реализации такой системы внимание следует обратить на систему электродов третьей конфигурации, в которой УН расположены по образующим цилиндра, так как известно [7], что УН образуются преимущественно группами, «пучками». Таким образом, величины конденсаторной емкости рассмотренных систем УН в вакууме находятся в диапазоне от 10 до 100 фФ.

Учитывая, что величина диэлектрической проницаемости различных физиологических и биологических жидкостей, как правило, $\varepsilon \gg 1$, а также высокую чувствительность современных цифровых измерителей емкостей с автоматической балансировкой моста, можно сделать вывод о том, что на основе систем углеродных нанотрубок могут быть построены емкостные сенсорные устройства. Данные емкостные сенсоры, основанные на таких уникальных свойствах УН, как сверхминиатюрные размеры, высокая стойкость к воздействию агрессивных сред, механических напряжений, радиации и высоких температур, высокая электропроводность, могут найти применение в области медицинского приборостроения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Елецкий А.В.* Углеродные нанотрубки // Успехи физических наук. – 1997. – Т. 167. – № 9. – С. 945–972.
2. *Елецкий А.В.* Углеродные нанотрубки и их эмиссионные свойства // Успехи физических наук. – 2002. – Т. 172. – № 4. – С. 401–438.
3. *Елецкий А.В.* Механические свойства углеродных наноструктур и материалов на их основе // Успехи физических наук. – 2007. – Т. 177. – № 3. – С. 233–274.
4. *Лозовик Ю.Е., Попов А.М.* Свойства и нанотехнологические применения нанотрубок // Успехи физических наук. – 2007. – Т. 177. – № 7. – С. 786–799.
5. *Дьячков П.Н.* Углеродные нанотрубки: строение, свойства, применения. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006. – 293 с. (Серия: Нанотехнология)
6. *Иосель Ю.А., Кочанов Э.С., Струнский М.Г.* Расчет электрической емкости. – Л.: Энергоиздат, 1981. – 288 с.
7. *Лейченко А.С., Лупарев Н.В., Стариков П.А.* Применение наноструктурированных углеродных материалов в перспективных источниках света // Нано- и микросистемная техника. – 2007. – № 9. – С. 15–20.

Богданов Сергей Александрович

Технологический институт федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южный федеральный университет» в г. Таганроге.

E-mail: bogdanov_sa@mail.ru.

347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44, тел.: (8634)371663.

Кафедра физики, доцент, к.т.н.

Bogdanov Sergey Alexandrovich

Taganrog Institute of Technology – Federal State-Owned Educational Establishment of Higher Vocational Education «Southern Federal University».

E-mail: bogdanov_sa@mail.ru.

44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia, Phone: (8634)371663.

Department of Physics, associate professor, Cand. Eng. Sc.

Захаров Анатолий Григорьевич

Технологический институт федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южный федеральный университет» в г. Таганроге.

E-mail: physics@egf.tsure.ru.
347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44, тел.: (8634)371663.
Кафедра физики, профессор, д.т.н.

Zaharov Anatoly Grogorievich

Taganrog Institute of Technology – Federal State-Owned Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”.

E-mail: physics@egf.tsure.ru.
44, Nekrasovskiyy, Taganrog, 347928, Russia, Phone: (8634)371663.
Department of Physics, professor, Doct. Eng. Sc.

Лытjuk Александр Анатольевич

Технологический институт федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южный федеральный университет» в г. Таганроге.

E-mail: realspolock@gmail.com.
347928 г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44, (8634)371663.
Кафедра физики, аспирант.

Lytjuk Alexander Anatolevich

Taganrog Institute of Technology – Federal State-Owned Educational Establishment of Higher Vocational Education «Southern Federal University».

E-mail: realspolock@gmail.com.
44, Nekrasovskiyy, Taganrog, 347928, Russia, Phone: (8634)371663.
Department of Physics, post-graduate student.

УДК 534:535

Г.Ю. Джуплина, И.Б. Старченко

**ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОПТИКОАКУСТИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА
В СРЕДЕ С НАНОРАЗМЕРНЫМИ РАССЕИВАТЕЛЯМИ**

Описана модель импульсного лазерного возбуждения звука. Описана теоретически временная зависимость давления в бегущей акустической волне, излучаемой в поглощающую среду.

Оптикоакустический эффект; лазерный импульс; акустическое давление.

G.Yu. Dzhuplina, I.B. Starchenko

**THEORETICAL MODEL OF OPTIKOAKUSTICHESKY EFFECT IN THE
ENVIRONMENT WITH NANORAZMERNYMI DIFFUSERS**

The model of pulse laser excitation of a sound is described. Theoretical time dependence of pressure in the running acoustic wave radiated in absorbing environment is presented.

Optoacoustical effect; laser impulse; acoustic pressure.

Оптикоакустический эффект заключается в возникновении акустического сигнала вследствие теплового расширения среды при поглощении светового импульса лазера. Исследование распространения звука и света в среде с наноразмерными рассеивателями является важной научной проблемой, так как это явление может быть использовано для медицинской диагностики. Нанотрубки имеют сильную адгезию к бактериальным клеткам и сильно поглощают лазерное излучение.