

УДК 53.086

*А. А. Терехова**

**ПРИМЕНЕНИЕ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК
В ЭЛЕКТРОТЕХНИКЕ**

Углеродные нанотрубки – это протяженные цилиндрические свернутые графитовые полоски толщиной до нескольких десятков нанометров и длиной до нескольких сантиметров, имеющие углеродистую каркасную структуру. Под данной структурой подразумевают большие молекулы, связанные между собой только атомами углерода. На концах нанотрубок обычно образуются полусферические головки (рис. 1).

Углеродные нанотрубки бывают разных форм и размеров – прямые и извилистые, однослойные и многослойные. Несмотря на то, что на первый взгляд они кажутся хрупкими, на самом деле они являются довольно прочным материалом, что было доказано путем многих исследований. Было выяснено, что углеродным нанотрубкам присущи

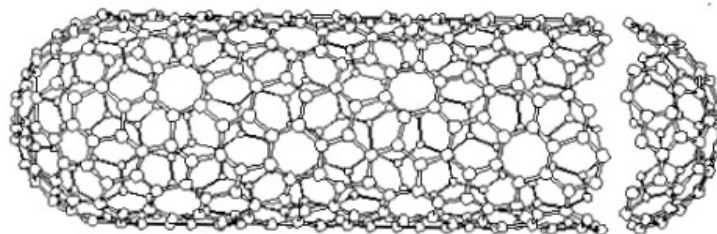


Рис. 1. Идеализированная модель однослойной углеродной нанотрубки [1]

такие свойства, как растяжение и изгиб, т.е. под действием различных

* Работа представлена в отборочном туре программы У.М.Н.И.К. 2016 г. в рамках Одиннадцатой межвузовской научной студенческой конференции Ассоциации «Объединенный университет им. В. И. Вернадского» «Проблемы техногенной безопасности и устойчивого развития» и выполнена под руководством канд. техн. наук, доц., зав. каф. АиКСУ ФГБОУ ВО «ТГТУ» И. А. Дьякова.

механических нагрузок элементы не ломаются и не рвутся, а это говорит о том, что они могут подстраиваться под разное напряжение.

Благодаря таким характеристикам, как изгиб, прочность и проводимость углеродные нанотрубки используют во многих областях: в качестве добавок к полимерам, в качестве поглотителя электромагнитных волн, при изготовлении различных датчиков и конденсаторов, для преобразования электроэнергии, в производстве композитов с целью усиления их структуры и свойств.

Многочисленные эксперименты, проведенные разными учеными, показывают, что углеродные нанотрубки являются наиболее прочным и жестким из всех известных материалов – материалом с рекордно высокими значениями пределом прочности на растяжение (~60 ГПа) и модуля Юнга (≈ 1 ТПа). Это связано с совершенством структуры и сильной химической sp^2 -связью между атомами углерода, которые составляют нанотрубку [3].

Нанотрубки также являются хорошими теплопроводниками вдоль трубки, проявляя свойства так называемой беспрепятственной проводимости или сверхпроводимости. Однако поперек оси нанотрубки обладают высокими теплоизоляционными свойствами [3].

Интересная особенность углеродных нанотрубок заключается в том, что они могут быть металлическими или полупроводящими в зависимости от их диаметра и хиральности. В результате синтеза обычно получается смесь трубок, две трети которых имеют полупроводящие свойства и одна треть — металлические [2].

Металлические трубки обычно имеют кресельную структуру (рис. 2, а), а полупроводниковые – зигзагообразную (рис. 2, б) и спиральную (рис. 2, в).

Металлические и полупроводниковые углеродные нанотрубки, различающиеся между собой проводимостью тока – металлические могут проводить ток при температуре 0 °С, а полупроводниковые – только при повышенных температурах.

Широкое использование углеродных нанотрубок в электротехнике возможно благодаря тому, что они могут пропускать токи плотностью выше, чем наиболее проводящие металлы, такие как, например, медь. Так однослойные нанотрубки пропускают токи плотностью до 10⁹ А/см², а многослойные – до 100 мкА/см², а медь при таких значениях плотности тока плавится. Кроме того, при сопоставлении, сопоставимом с медью, углеродные нанотрубки в четыре раза легче.

Также углеродные нанотрубки превосходят медь по такому показателю, как коэффициент теплопроводности вдоль оси. Для меди он равен $400 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$, для нанотрубок $500 - 5500 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$.

Еще одно достоинство нанотрубок связано с холодной эмиссией электронов, возникающей при приложении вдоль оси трубки электрического поля. Напряженность поля в окрестности верхней части в сотни раз превышает ту, что существует в объеме, и приводит к аномально высоким значениям тока эмиссии при сравнительно низком внешнем напряжении и позволяет использовать нанотрубные макроскопические системы в качестве холодных эмиссионных катодов. Эмиссионная способность углеродных нанотрубок может быть использована при производстве плоских дисплеев и сенсорных панелей управления [3].

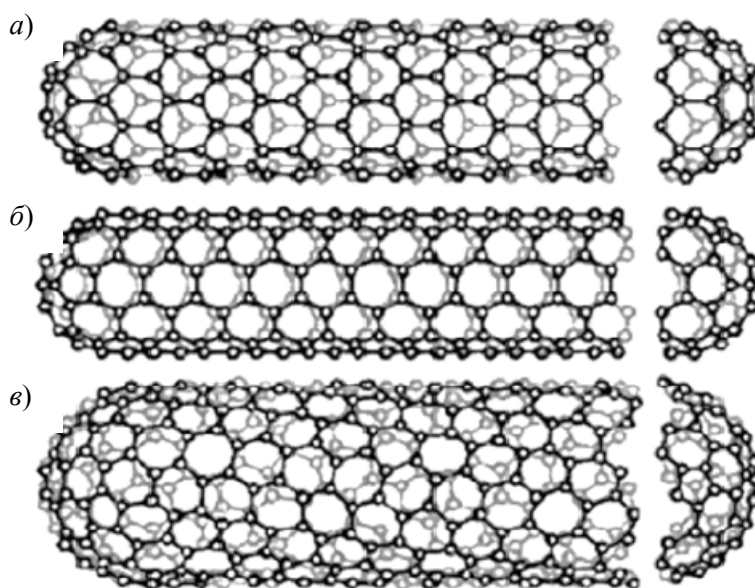


Рис. 2. Типы углеродных нанотрубок [1]:
a – кресельная структура; *b* – зигзагообразная структура;
в – спиральная структура

Применение углеродных нанотрубок в производстве различных электротехнических устройств является одним из самых перспективных направлений работы ученых всего мира. Благодаря свойствам нанотрубок, приведенным выше, их использование в производстве, например, кабелей и проводов является достаточно выгодным. За счет своей легкости и повышенной проводимости кабель, изготовленный с использованием углеродных нанотрубок, будет существенно превосходить своего медного предшественника, что делает его промышленное производство более выгодным.

Авторы статьи предлагают применять углеродные нанотрубки при изготовлении различных частей электрических машин. Так, например, щетки для электрических машин, представляющие собой специальные электропроводящие детали токосъемного устройства, которые осуществляют скользящий контакт между неподвижными и вращающимися частями машины и служат для подвода или отвода тока, при добавлении при производстве в них углеродных нанотрубок прослужат дольше, чем обычно. Или, например, наномодифицированное покрытие корпусов электродвигателей позволит улучшить их теплоотдающие свойства. Такие меры позволят увеличить срок службы электродвигателей, что существенно сократит расходы при их эксплуатации.

В настоящее время благодаря своим свойствам углеродные нанотрубки являются одним из наиболее перспективных материалов, применяемых во многих отраслях промышленности. Несмотря на их недостатки, такие, например, как токсичность, применение нанотрубок в электротехнике обусловлено необходимостью создания нового материала, благодаря свойствам которого появится возможность уменьшить затраты на производство и эксплуатацию электрооборудования.

Список литературы

1. Елецкий, А. В. Углеродные нанотрубки и их эмиссионные свойства / А. В. Елецкий // Успехи физических наук. – 2002. – Т. 172, № 4. – С. 401 – 437.
2. Пул, Ч. Нанотехнологии / Ч. Пул, Ф. Оуэнс. – М. : Техносфера, 2005. – 336 с.
3. *Полимер-наноуглеродные* композиты для космических технологий. Часть 1. Синтез и свойства наноуглеродных структур : учебное пособие / А. В. Макунин, Н. Г. Чеченин. – М. : Университетская книга, 2011. – 150 с.

*Кафедра «Автоматика и компьютерные системы управления»
ФГБОУ ВО «ТГТУ»*