

УДК 621.385.833

**В.В.Минаев**, канд. физ.-мат. наук, ОАО “Ангстрем”;

**В.К.Неволин**, д-р физ.-мат. наук, Московский государственный институт электронной техники (технический университет);

**В.И.Петрик**, академик РАН, ЗАО НИИ Физики фуллеренов и новых материалов

## **НАНОТРУБКИ ИЗ УГЛЕРОДНОЙ СМЕСИ ВЫСОКОЙ РЕАКЦИОННОЙ СПОСОБНОСТИ**

*Нанотрубки из углерода вызывают несомненный интерес для создания элементной базы наноэлектроники. Одним из источников нанотрубок может являться углеродная смесь высокой реакционной способности.*

В технологии создания элементной базы наноэлектроники наметился существенный прогресс, связанный с использованием нанотрубок как достаточно совершенных квантовых проводов. Синтезированные нанотрубки переносят на поверхность матричного кристалла и далее размещают и закрепляют между выбранными проводящими электродами, как правило, с помощью зонда атомно-силового микроскопа. В результате созданы действующие макеты нанодиодов, нанотранзисторов и даже логической компьютерной схемы [1,2].

Успех в создании элементной базы наноэлектроники с углеродными нанотрубками зависит от владения технологией изготовления нанотрубок, их осаждения на поверхность подложки и перемещения по поверхности к заданной паре электродов, умения создать электрический контакт между электродами и нанотрубкой. Необходимо еще овладеть технологией разрезания нанотрубок, их выпрямления и изгиба на поверхности подложек.

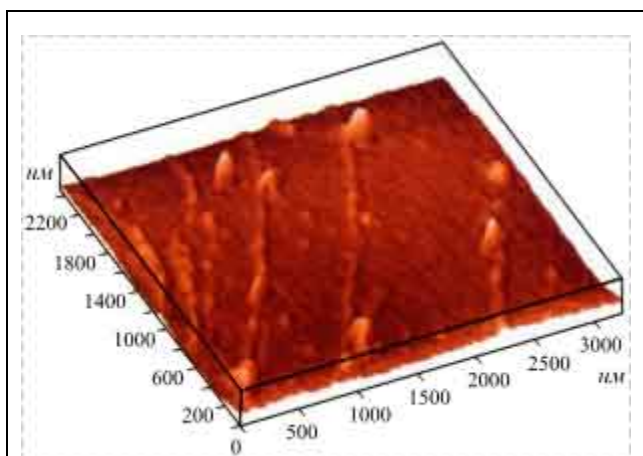
Физика нанотрубок сама по себе чрезвычайно интересна. Для целей электроники важно то, что нанотрубки могут быть изготовлены не только из углеродных материалов, но и, в частности, из кремния. Это, в конечном счете, может привести к замене объемного монокристаллического кремния. В связи с этим актуальным остается вопрос изготовления нанотрубок или поиск материалов, являющихся носителями нанотрубок. Заметим, что углеродные волокна с поперечными размерами 6-10 мкм широко используются в промышленности, в частности, для армирования различных материалов.

В этой статье мы представляем результаты исследования материала, который может являться источником углеродных нанотрубок. Нас привлекла своим видом “вата” из углеродной смеси высокой реакционной способности (УСВР) [3,4]. Она изготавливается методом холодной деструкции из природного графита и представляет собой наноконструкции с содержанием углерода 99,4%, насыпной плотностью 0,01 г/см<sup>3</sup> и чрезвычайно развитой поверхностью.

Были проведены исследования спектров комбинационного рассеяния света (КРС) образцов материалов УСВР на спектрометре U-1000 Jobin Yvon (г. Троицк, Институт спектроскопии РАН). Для возбуждения использовалось излучение 514,5 нм аргонового лазера, которое фокусировалось в пятно диаметром до 20 мкм, что давало возможность наводить это пятно на однородный участок исследуемой фазы и контролировать отсутствие влияния теплового воздействия лазерного луча на образец. При исследовании спектров КРС, являющихся, по сути, спектрами собственных частот

колебаний исследуемой фазы, были идентифицированы микрокристаллы монокристаллического графита после сравнения с наиболее известными спектрами модификаций углерода. Однако совершенство микрокристаллов было различно у разных образцов. Это обнадежило, поскольку пики монокристаллов и нанотрубок слабо различаются, а пик фуллеренов заметно отстоит от них.

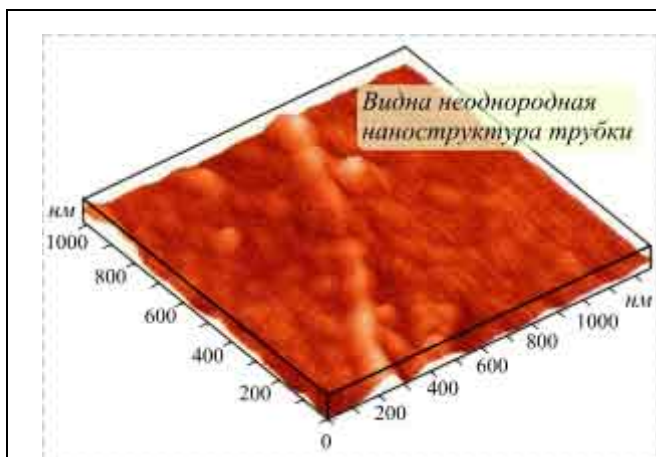
Далее проводились топографические исследования образцов УСВР на атомно-силовом микроскопе Solver P-47 компании НТ-МДТ. В качестве подложек выбирались стандартные кремниевые пластинки, на которых находилась аморфная пленка титана толщиной 10 нм и подложки из полуизолирующего арсенида галлия. УСВР на подложку высаживалась из сильно разбавленной водной взвеси, далее после высушивания проводилось топографирование поверхности образцов.



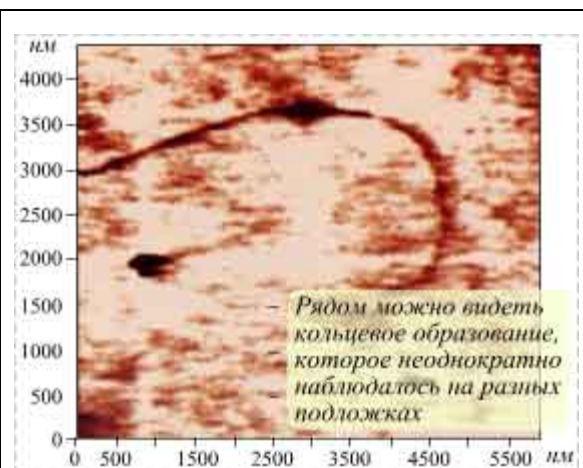
*Рис. 1. Углеродные нанотрубки на титановой пленке*

На рис. 1 показана топография углеродных нанотрубок на поверхности титановой пленки. Трубки имеют высоту на подложке не более 4 нм. Ширина трубок превышает высоту в несколько раз, даже с учетом поправок, вызванных несовершенством топографирования вертикальных стенок обычным кантилевером. Такое возможно, если трубки при адсорбции на подложке деформируются. На рис. 2 представлен фрагмент углеродной нанотрубки при более высоком разрешении. Можно видеть неоднородную структуру трубки, что по литературным данным свидетельствует о химическом

воздействии, возможно, в процессе синтеза трубок при производстве УСВР. Топография, представленная на рис. 3, интересна тем, что, наряду с нанотрубками, наблюдаются кольцевые структуры, как на титановых пленках, так и на полуизолирующем арсениде галлия.



*Рис. 2. Фрагмент углеродной нанотрубки на титановой пленке*



*Рис. 3. Фрагмент углеродной нанотрубки на подложке из полуизолирующего арсенида галлия*

В целом полученные результаты свидетельствуют о том, что после решения проблем отделения нанотрубок от сопутствующих углеродных фрагментов УСВР может явиться одним из источников нанотрубок.

## Список литературы

1. Single- and multi-wall carbon nanotube field-effect transistors / R.Matrel, T.Schmit, H.R.Shea, Ph.Avoris // Applied Physics Letters. 1998. Vol. 73. P. 2447-2452.
2. <http://www.research.ibm.com/resources/press/logiccircuit>.
3. Патент RU 2128624S1, автор Петрик В.И., приоритет от 17.10.97. Способ получения углеродной смеси высокорреакционной способности и устройство для его осуществления.