

Вольтамперные характеристики двухэлектродных элементов с углеродными нанотрубками.

И.И.Бобринецкий, В.К.Неволин, В.И.Петрик^{*)}, Ю.А.Чаплыгин
Московский государственный институт электронной техники
(Технический Университет)

^{*)}Научно-исследовательский институт физики фуллеренов и новых материалов РАЕН
124498, Москва, К-498, МИЭТ, e-mail: vkn@miee.ru

Один из путей создания элементной базы наноэлектроники основан на использовании так называемых квазиодномерных структур (квантовых проводов). Обычно применяется двухстадийная технология: на первом этапе используются предельные возможности традиционных микроэлектронных технологий; на втором тем или иным способом формируются квантовые провода на исходных матричных чипах. В частности, планарные квазиодномерные микроконтакты, сформированные в атомно-силовом микроскопе путем локального анодного окисления титановых дорожек, показывают многообразие вольтамперных характеристик [1]. Однако, шероховатая поверхность квазиодномерных проводников приводит к размытию уровней поперечного квантования энергии носителей тока.

Перспективным является применение проводящих углеродных нанотрубок в качестве квазиодномерных проводов. Поверхность трубок является как правило регулярной и эффект шероховатости поверхности можно не учитывать. Однако при создании таких элементов возникают другие проблемы, а именно, заметное контактное сопротивление между нанотрубками и электродами, небольшая величина проводимости нанотрубок. По-видимому, одними из первых решили эти проблемы специалисты компании IBM, которые продемонстрировали нанотранзистор с золотыми электродами и углеродной нанотрубкой [2]. Для изготовления углеродных нанотрубок высокой проводимости их обычно допируют металлическими атомами. Изгиб углеродных трубок, который возникает при изготовлении планарных элементов, также приводит к изменению проводимости.

Целью настоящей работы было создание планарных двухэлектродных нелинейных элементов с углеродными нанотрубками и максимально высокой проводимостью, коммутирующих достаточно высокие токи.

Углеродные нанотрубки получались из смеси, изготовленной методом холодной деструкции природного графита [3]. Метод чрезвычайно эффективен, поскольку в результате получается каркасная форма углерода, содержащая наноконструкции. Трубки получают

свиткового типа (grafite sheet закручиваются в трубки) одно- и многослойного типа, как правило, с открытыми концами. Одним из достоинств метода является то, что могут создаваться трубки нового типа, в частности, были открыты ветвящиеся нанотрубки, чрезвычайно интересные для создания элементной базы нанoeлектроники [4]. В методе холодной деструкции удобно проводить допирование, добавляя в исходную смесь соответствующие соединения. Углеродные нанотрубки допировались платиной, платиной-палладием, никелем. При допировании металлическими атомами исходной смеси также образуются ветвящиеся нанотрубки, рис.1. Углеродные нанотрубки, допированные металлическими атомами, приобретают вид правильной вилки.

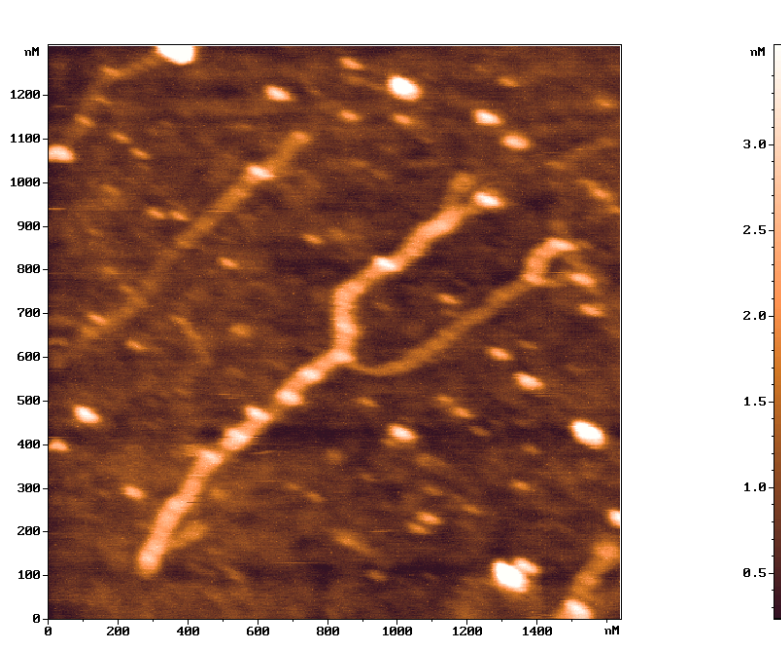


Рис.1. Ветвящаяся нанотрубка, допированная палладием, на золотой подложке.

В качестве матричного кристалла применялись окисленные кремниевые пластины с золотыми электродными дорожками. Для создания элементов с нанотрубками использовался атомно-силовой микроскоп P47 Solver компании «НТ-МДТ».

На рис. 2 представлена топография двухэлектродного элемента с нанотрубкой, допированной Pt-Pd, а на рис.3 его вольтамперная характеристика. На характеристике можно выделить два относительно больших уровня тока: 0,15 мкА и 0,8 мкА. Предельные токи, которые разрушили элемент, превышали 1 мкА. При этом «испарились» участки нанотрубки, лежащие на золотых электродах, что подтверждает существующую проблему контактирования нанотрубок с электродами.

На рис.4 представлены вольтамперные характеристики элемента, в котором нанотрубка находилась между тремя электродами. Характеристики снимались между каждой ближайшей парой электродов при увеличивающемся напряжении от нуля до некоторого значения и при обратном ходе напряжения. Напряжение на электродах изменялось от нуля до 5 вольт, детализируя первый скачек тока на рис.3.

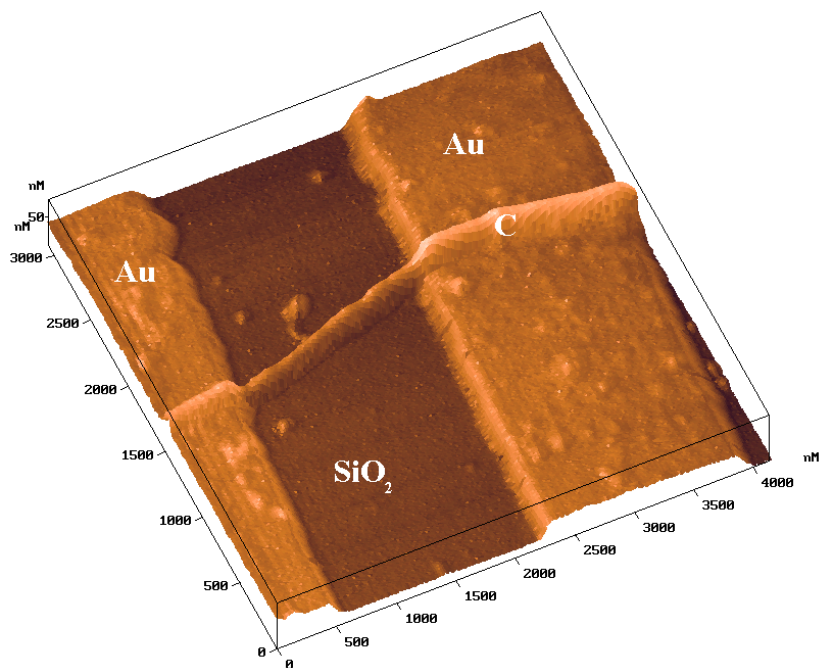


Рис.2 Топография двухэлектродного элемента с углеродной нанотрубкой

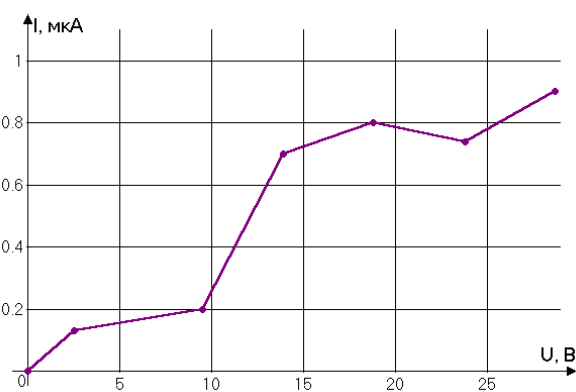


Рис.3. Вольтамперная характеристика двухэлектродного элемента с нанотрубкой

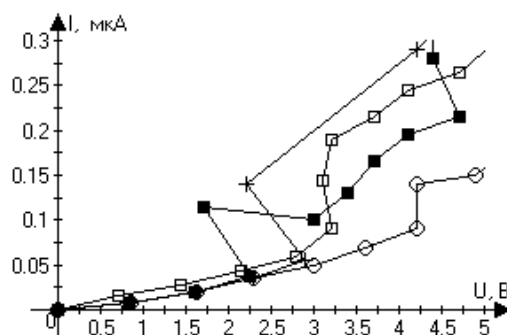


Рис.4 Вольтамперные характеристики двух двухэлектродных элементов с одной нанотрубкой.

Характеристики с черными точками и с крестиками получены для каждой пары электродов при обратном ходе напряжения. При напряжениях между двумя и тремя вольтами видны скачки проводимости с отрицательной дифференциальной проводимостью. При увеличивающемся напряжении скачки смещены в область более высоких напряжений и отрицательных участков не видно. Наблюдаемый гистерезис характеристик можно объяснить тепловым разогревом контактов между нанотрубками и золотыми электродами при коммутировании больших токов, более 50 нА. В работе [2] наибольшие токи составляли 50 нА, которые протекали между электродами.

Таким образом, уровень допирования углеродных нанотрубок металлическими атомами был достаточен для коммутирования микроамперных токов и создания «сильноточной» элементной базы дискретной нанoeлектроники, однако остается проблема соединения нанотрубок с подводящими электродами.

Литература

1. *Bobrinetskii I.I., Nevolin V.K., Korneev N.V.* Differential Conductance of Planar Microcontacts Formed by a Conductive Probe. *Phys. Low-Dim. Struct.* 3 /4 (2001) pp.183-188.
2. Single- and multiwall carbon nanotube field-effect transistors / *R. Martel, T.Schmit, H.R.Shea, Ph. Avouris* // *Applied Physics Letters*. – 1998. – Vol.73. –P.2447 – 2452.
3. Патент РФ № 2128624. Способ получения углеродной смеси высокой реакционной способности и устройство для его осуществления / *В.И. Петрик* (приоритет от 17.10 97).
3. *Бобринецкий И.И., Неволин В.К. Петрик В.И.* Ветвящиеся нанотрубки из углеродной смеси высокой реакционной способности. *Известия вузов. Электроника*. 2002. № 2. С.105-106.

Вольтамперные характеристики двухэлектродных элементов с углеродными нанотрубками

И.И.Бобринецкий, В.К.Неволин, В.И.Петрик^{*)}, Ю.А.Чаплыгин
Московский государственный институт электронной техники
(Технический Университет)

^{*)}**Научно-исследовательский институт физики фуллеренов и новых материалов РАЕН**
124498, Москва, К-498, МИЭТ, e-mail: vkn@miee.ru

Аннотация

Один из путей создания элементной базы наноэлектроники основан на использовании так называемых квазиодномерных структур (квантовых проводов). Обычно применяется двухстадийная технология: на первом этапе используются предельные возможности традиционных микроэлектронных технологий; на втором тем или иным способом формируются квантовые провода на исходных матричных чипах. В частности, планарные квазиодномерные микроконтакты, сформированные в атомно-силовом микроскопе путем локального анодного окисления титановых дорожек, показывают многообразие вольтамперных характеристик [1]. Однако шероховатая поверхность квазиодномерных проводников приводит к размытию уровней поперечного квантования энергии носителей тока.

Перспективным является применение проводящих углеродных нанотрубок в качестве квазиодномерных проводов. Поверхность трубок является как правило регулярной и эффект шероховатости поверхности можно не учитывать.

Целью настоящей работы было создание планарных двухэлектродных нелинейных элементов с углеродными нанотрубками и максимально высокой проводимостью, коммутирующих достаточно высокие токи.

Углеродные нанотрубки получались из смеси, изготовленной методом холодной деструкции природного графита [2]. Метод чрезвычайно эффективен, поскольку в результате получается каркасная форма углерода, содержащая наноконструкции. Углеродные нанотрубки допировались платиной, платиной-палладием, никелем.

Показано, что ветвящиеся углеродные нанотрубки, недавно открытые и описанные в [3], при допировании металлическими атомами, приобретают вид правильной вилки, что чрезвычайно интересно для создания элементной базы наноэлектроники. Вольтамперные характеристики углеродных нанотрубок, лежащих на золотых электродах показывают два уровня токов 0,15 мкА и 0,8 мкА. Однако уже при токах более 50 нА наблюдается гистерезис при увеличивающемся напряжении от нуля до некоторого значения и при обратном ходе напряжения. Наблюдаемый гистерезис характеристик можно объяснить тепловым разогревом контактов между нанотрубками и золотыми электродами.

В целом показано, что уровень допирования углеродных нанотрубок металлическими атомами был достаточен для коммутирования микроамперных токов и создания «сильноточной» элементной базы дискретной наноэлектроники, однако остается проблема соединения нанотрубок с подводящими электродами.

Литература

1. *Bobrinetskii I.I., Nevolin V.K., Korneev N.V.* Differential Conductance of Planar Microcontacts Formed by a Conductive Probe. *Phys. Low-Dim. Struct.* 3 /4 (2001) pp.183-188.
2. **Патент РФ № 2128624. Способ получения углеродной смеси высокой реакционной способности и устройство для его осуществления / В.И. Петрик (приоритет от 17.10 97).**
3. **Бобринецкий И.И., Неволин В.К. Петрик В.И. Ветвящиеся нанотрубки из углеродной смеси высокой реакционной способности. Известия вузов. Электроника. 2002. № 2. С.1**