

纳米碳管的 STM 研究

高聚宁 杨海强 刘 宁 时东霞 江月山 薛增泉 庞世谨

(中科院北京真空物理开放实验室, 北京 100080)

摘 要

本文应用扫描隧道显微镜对弧光放电方法得到的纳米碳管进行了观察。弧光放电法所产生的纳米碳管以直线型为主, 并且多以束状存在。碳管束直径约 20nm, 而单根碳管的直径大多在 2nm 到 5nm 之间。观察到单层碳管的原子像, 其表面为石墨网络的六角结构。纳米碳管的原子像及单根碳管表面均未发现明显缺陷存在, 这可能是它具有很高强度质量比的主要原因之一。

关键词 扫描隧道显微镜(STM) 碳管 原子结构

自从 1991 年 Iijima 首次报导了纳米碳管的存在以来^[1], 围绕纳米碳管的理论及实验研究经久不衰。纳米碳管是由石墨单层绕同轴缠绕而成或由单层石墨圆筒沿同轴层层套筒而成, 其直径一般在一到几十个纳米之间, 而长度可达几个微米。由于纳米碳管的直径处于纳米数量级, 电子在其中的运动受到量子效应的限制, 所以它具有一维量子线的作用。纳米碳管的能带结构和它自身的结构有着密切的关系^[2,3], 当纳米碳管的直径和螺距变化时, 其能带结构能够从金属的能带结构过渡到半导体的能带结构。这些效应在电子学上具有重要的应用前景。同时纳米碳管还有很高的强度质量比^[4], 使它在高强度复合材料中有着广阔的应用。因此对纳米碳管的研究引起广大科研工作者的关注。本文应用扫描隧道显微镜(STM)对纳米碳管的结构进行了研究, 此研究对进一步了解纳米碳管的力学行为和电学行为具有重要的意义。

实验所采用的纳米碳管是用一般的弧光放电的方法得到的。这样得到的纳米碳管含有很多纳米颗粒, 样品必需先经过一定比例的氢、氮混合气体处理, 提纯以除去纳米颗粒才能得到较纯的纳米碳管, 然后把样品研磨成碎末, 滴入少量酒精, 吸取含有纳米碳管的酒精悬浊液滴在高定向裂解石墨(HOPG)上进行观察。实验中所用的扫描隧道显微镜为化学所生产的 CSTM—9000, 实验是在大气、室温条件下进行的。

首先对纳米碳管的表面形貌进行观察, 发现弧光放电所得到的纳米碳管基本上以直线型为主, 并且多以束状存在。图 1 为纳米碳管的表面形貌, 其扫描模式为恒流模式, 扫描范围为 150nm

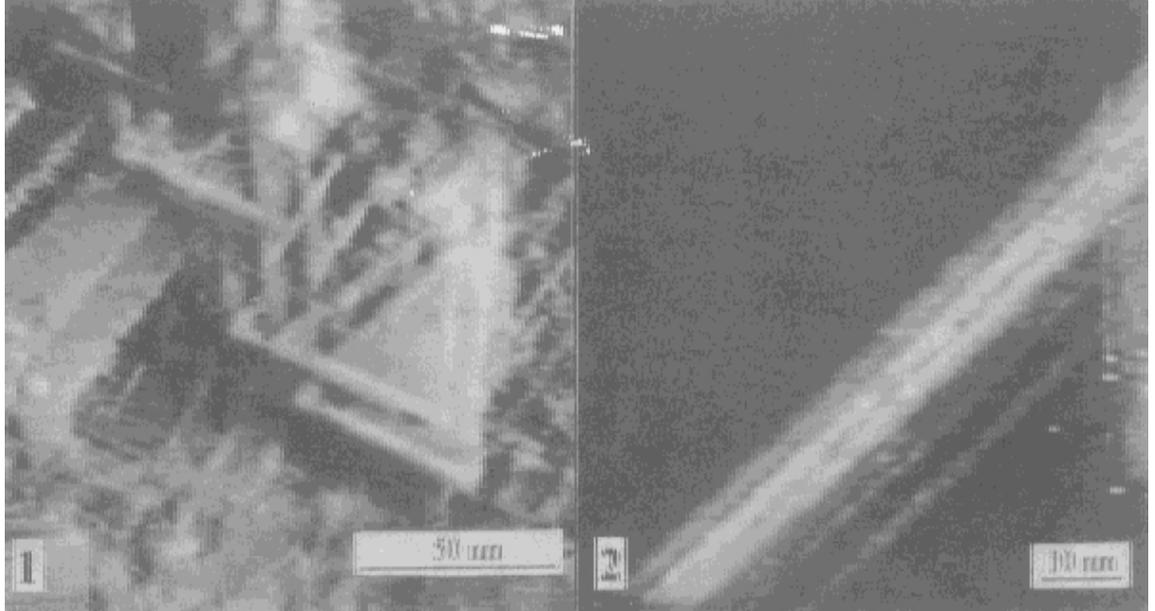


图 1 单根纳米碳管的表面形貌图

图 2 碳管束的表面形貌图

×150nm,所用的电压31mV,电流为1.22nA。图中碳管交错分布,直径从2nm到5nm不等。在图上还可以看到许多纳米颗粒,这可能是在纳米碳管纯化过程中残余下来的。图2为用恒流模式得到的纳米碳管束的形貌图。扫描范围为80nm×80nm,所用的电压74mV,电流为1.17nA。从图中可以看到碳管束的直径约为20nm,其表层由5根平行的单根碳管构成,单根纳米碳管的直径约为5个纳米,其长度超过100nm。由于中间两根较高从而在图中表现较亮。每根碳管的直径都很均匀,在碳管上也没有观察到任何微缺陷,再加上范德瓦尔斯力使单根碳管聚集成束^[5],使其强度大大提高,这可能就是纳米碳管有很高强度质量比的主要原因之一。图3给出了纳米碳管的原子结构,扫描模式为恒高模式,扫描范围为1.9nm×2.5nm,所用的电压47mV,电流为1.30nA。此图给出了处于一束碳管中的单根碳管的原子结构。从图中可以看到组成此一碳管表层的5列原子链,碳管直径为0.78nm,这与单层碳管的直径非常接近。5根原子链的中间一根较其它链稍亮,显示此5根原子链组成管状结构。由于投影的关系,最边上的两根链间距较中间链的间距要小,其链与链间的原子可组成类似于石墨的六角结构。在此单层碳管的右上角及左下角,分别与此碳管并排着一根碳管,它们也都显示出石墨网格的六角结构。碳管与碳管之间存在着空隙(比碳管内的链间距要大得多),这之间是由范德瓦尔斯力所维系的。

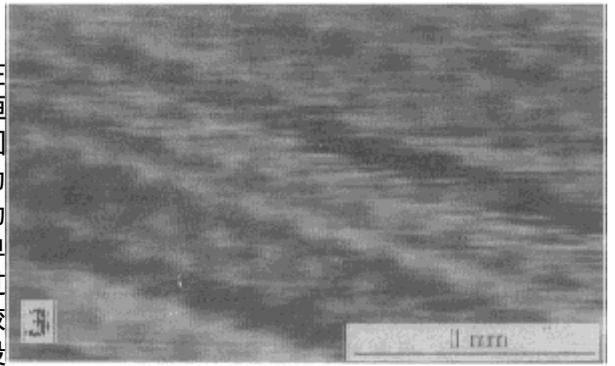


图3 纳米碳管的原子结构图

综上所述,纳米碳管可以以单根碳管或碳管束的形式存在,碳管的直径大多在2nm到5nm之间。观察到碳管的原子像,其表面都显示出石墨网格的六角结构。在其原子像及单根碳管的表面均未发现明显的缺陷存在,这可能是纳米碳管有高强度质量比的主要原因之一。

致谢 感谢北京大学物理系冯孙齐教授提供的样品。

参 考 文 献

- [1] Iijima S. Nature, 1991, 354: 56
- [2] Hamada N, Sawada S and Oshiyama A. Phys. Rev. Lett., 1992, 68: 1579
- [3] Mintmire J W, Dunlap B I and White D C. Phys. Rev. Lett., 1992, 68: 631.
- [4] Dresselhaus M S. Nature, 1992, 358: 195
- [5] Song S N. Phys. Rev. Lett., 1994, 72: 697.

Study on Carbon Nanotubes by STM

Gao Juning Yang Haiqiang Liu Ning Shi Dongxia Jiang Yueshan
Xue Zengquan Pang Shijin

(Beijing Laboratory of Vacuum Physics, Chinese Academy of Science, Beijing 100080)

Abstract

A study of morphology and microstructure of nanotubes was carried out by STM. The nanotubes prepared by arc-discharge exist as bundles in the majority. The diameter of the bundles is about 20 nm, which include several nanotubes. By atomic resolution images the hexagonal atomic configurations may be identified.

Keywords STM carbon nanotubes atomic structure