

碳 纳 米 管

林 辉 吴东升 徐元英

(合肥工业大学理学院 230009)

碳纳米管(Carbon Nanotube)是当今世界上最受青睐的一种纳米级($\leq 100\text{nm}$)材料,具有优良的力学结构及导电、导热性能。世界上第一个碳纳米管是日本电气公司基础研究实验室的饭岛纯雄于1991年11月在生产富勒烯(C_{60})的碳灰堆里发现的,它是一种新型的碳的同素异形体。现在用于生产碳纳米管的方法很多,常见的有激光熔合法、电弧法和化学气相沉积法等,然而直到今天它的具体生成问题还没有完全弄清楚。

1. 碳纳米管的结构

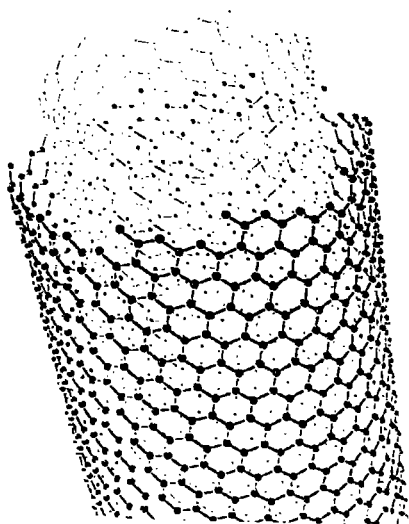


图 1

碳纳米管是一种针状的碳管,其直径大约在 $1\text{--}30\text{nm}$ 之间,长度可达 $1\mu\text{m}$ 。一般这种碳针由一些柱形的碳管同轴套构而成,每根碳针所含的碳管数目大约在 $2\text{--}50$ 层之间。而每两层碳管之间的距离约为 0.34nm ,与石墨中碳原子层与层之间的距离(0.335nm)属同一数量级。碳纳米管的管壁是一种类似于石墨片的碳六边形网状结构,每个碳原子与周围的3个碳原子相邻,C—C键之间通过 sp^2 杂化键结合。图1为计算机模拟的碳纳米管结构图。由

于其圆筒状结构,碳纳米管中两个碳六边形环之间的夹角很小,约为 6° 。远小于石墨的 180° ,所以其键的结合能要远远高于石墨的,具有很强的抗拉伸能力。

实验发现大多数的碳纳米管两端是封闭的,其顶端呈圆锥状,锥角大约为 $15^\circ\text{--}30^\circ$,平均为 20° 左右。也有少量的碳纳米管的一端是开放的,这是因为这些碳管在生长过程中碰到某种外在的非正常因素而遗留下的。最近的实验发现碳纳米管的生长就是通过开放端加上原子生成的。

1993年尤夫(R. S. Ruoff)等人用透射电子显微镜(TEM)观测到了两个碳纳米管沿轴并列靠在一起的新结构,后被证明这是范德瓦尔斯力所致。不久王喜坤等人又宣布合成了这种新结构,取名为碳纳米管束(Buckybundle)。碳纳米管束的直径约在 $15\text{--}30\text{nm}$ 之间,长度可达 200nm 。随后的一系列实验都证实:在碳纳米直径小于 1nm 时,倾向于形成单个的碳纳米管;而在直径大于 2.5nm 时,碳纳米管在范德瓦尔斯力的作用下,易于靠在一起,形成梳状的碳纳米管束。

2. 碳纳米管的优良性能

(1) 力学性能

由于碳纳米管中每个碳原子与周围3个原子以共价键相结合,形成严密的结构,而管的两端又是封闭的,没有悬空的化学键存在,这样使整个结构的稳定性更加增强。与石墨纤维相比,碳原子之间的高的结合能与高的弹性,使碳纳米管抗拉伸能力很强。理查德·斯莫莱曾赞叹道“碳纳米管应是曾经制造出的最强的纤维,在强度、重量比方面都具有最高的强度”。据说一个比头发丝还要细5万倍的碳纳米管,它的强度却能达到钢的100倍。现在已知碳纳米管的抗拉强度达到 $50\text{--}200\text{GPa}$,比石墨纤维高出10倍。其弹性模量达到 1000GPa ,说明它具有较强的弹性和弯曲刚度。此外,当碳纳米管遭到破坏时,其应变能力高达 $5\%\text{--}20\%$,即使在很强拉力的作用

下,最终变成好似一条碳链,也不易断开。实验还发现碳纳米管在垂直于轴方向上有很好的柔性和回弹性,当受到较强的扭力的作用时,仍能恢复到原状,具有很强的抗畸变能力;而当它受到压缩时会出现结状的隆起,去掉载荷后,又能回弹到原状。

(2) 电学性能

碳纳米管还具有与其结构有关的独特的电学性能。日本的滨田德明(N. Hamada)等人采用紧束缚近似模型,计算了碳纳米管的能带结构,发现当纳米管的管轴垂直于C—C键时,如图2,不管构成碳管一个周长的六元环结构单元数 n 为多少,纳米管始终表现为金属性;而当纳米管的管轴不垂直于C—C键时,如图3,这时就要看 n 的量值了,他们发现当 n 为3的倍数时,碳纳米管表现为金属性,否则就是半导体性的。

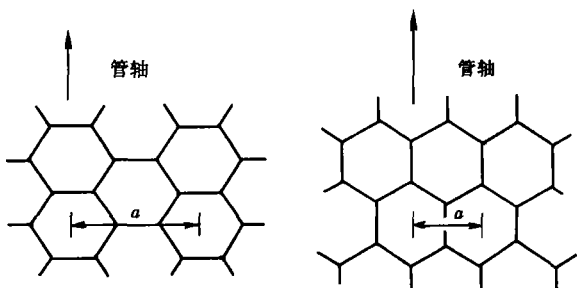


图 2

图 3

为了进一步探索碳纳米管的电学性能,索尼(S. N. Sony)等人测量了碳纳米管束的磁致电阻和霍尔系数,所测得结果表明其霍尔系数为正,其载流子主要是P型的。

在60K以上时,电导率随温度的升高近似线性地增加,这是由于载流子浓度的增加而引起的;在60K以下时,电导率与温度的关系则是非线性的,这可以用电子的2维弱局域性来解释。他们又测量了磁致电阻,发现在室温下磁致电阻是正的,这可用P型载流子的两能带模型来解释;而在60K以下时,由于电子的2维弱局域性,磁致电阻是负的。上述结果均表明:碳纳米管是一种半金属材料。

(3) 热学性能

由于碳纳米管独特的细长结构,使得其热传导性在平行于轴线与垂直于轴线方向上表现出很大的不同。平行于纳米管轴线方向的热传导性可以与具有最高的热传导率的金刚石相媲美;而垂直于轴线方向上,热传导率又非常小。究其原因,可能是碳纳

米管在垂直方向上的长度的数量级要比电介质最可能的点阵振动(声子)的波长大一些,这样就使弥散的纳米管有效地形成散射声子的界面,而减少了热传导。然而正是热传导率在两个方向上的明显差异,使我们可以适当地排列纳米管,以获得良好的各向异性热传导材料。

科苑快讯

未来30年是机器人技术迅猛发展时期

英国电信公司(British Telecom)专家指出,最近30年将会成为机器人技术迅猛发展的时期。该公司的约翰·皮尔逊博士认为,机器人可以做成拆卸式的,它们无论在体力上还是在智能上都将超过人类。应该指出,皮尔逊及其同事的预测完全不是为了消遣娱乐,进行的机器人研究确定的目标是帮助销售人员相当熟练地布置某些商业市场和服务部门的门口。皮尔逊博士作出的预测主要有以下几点:

2007年——装配机器人将取代工厂里的工人干活;

2015年——在医疗机关工作的服务人员的作用将全部由机器人完成;

2025年——发达国家中的机器人数量将超过居民数量;

2030年——机器人在体力上和智能上都将超过人类,多半是机器人不希望像现在一样由研制者或使用者来操纵它们;

在皮尔逊博士的预测中还包括一系列涉及其他科学与技术的令人好奇的预言,例如他认为,在2011年之后几乎一切程序将由机器人来编写,而到2020年时,人们的电子化生活方式将获得宪法权利。到2015年,去太空作观光旅行将成为一件很普通的消遣,在宇宙轨道上将建成第一座宇宙旅馆。到2030年,将研制成一种能维持人体在太空轨道中生活几个月乃至几年的休眠工艺,从而让人们能定期往返火星。

并且到2030年时,纳米工艺技术将能在分子水平上直接把计算机和人的大脑相连接,同样能将人类自己的思想刻录在光盘上。

(周道其译自俄《航天世界》2002/2/26)