

# 纳米技术:研究现状及展望

王曙钊<sup>1</sup>, 李敬社<sup>1,2</sup>, 宋 懋<sup>1</sup>

(1. 空军工程大学 导弹学院, 陕西 三原 713800; 2. 西安电子科技大学, 陕西 西安 710072)

**摘 要:**介绍了纳米技术和研究方向及最新研究成果、纳米技术的应用,对纳米技术的发展进行了展望。

**关键词:**纳米材料学; 纳米生物学; 纳米医学; 纳米电子学; 碳纳米管

**中图分类号:**N39 **文献标识码:**A **文章编号:**1009-3516(2003)01-0090-05

纳米技术是当前全球都在谈论、研究的热门课题。纳米技术的兴起仅仅十多年的时间,但是已经得到迅猛发展,从理论研究、实验研究、应用研究几方面都产生了前所未有的成果。

## 1 纳米技术的标志化历程

1959年,美国著名物理学家、诺贝尔奖获得者理查德·费曼预言,人类可以用小的机器制作更小的机器,最后将变成根据人类意愿,逐个地排列原子,制造产品<sup>[1]</sup>。

1989年,美国IBM公司的物理学家艾格勒和施韦策力利用扫描隧道显微镜和类似小镊子的工具移动氩原子,并把它们拼写成该公司的三个商标字母IBM。1993年,中国科学院北京真空物理实验室操纵原子成功写出“中国”二字。后来又有人操纵原子绘制出中国地图的轮廓。2001年一个中德科学研究小组成功的操纵DNA分子链写出“DNA”字样,实现了费曼的预言。

1991年,日本物理学家饭岛博士发现了碳纳米管。1992年,科研人员发现碳纳米管随管壁曲卷结构不同而呈现出半导体或良导体的特异导电性;1995年,科学家研究并证实了其优良的场发射性能;1996年,我国科学家实现碳纳米管大面积定向生长;1998年,科研人员应用碳纳米管作电子管阴极;1998年,科学家使用碳纳米管制作室温工作的场效应晶体管;1999年,韩国一个研究小组制成碳纳米管阴极彩色显示器样管;2000年,日本科学家制成高亮度的碳纳米管场发射显示器样管<sup>[2-3]</sup>。

## 2 纳米技术

纳米是一种几何尺寸的量度单位,1 nm长度仅为1 m的 $10^{-9}$ m,略等于45个原子排列起来的长度。在纳米尺度水平上对物质和材料进行研究处理的技术称为纳米技术(nanotech);即用数千个分子或原子制造新型材料或微型器件的科学技术。

概括的说纳米技术可分为纳米材料学、纳米生物学、纳米医学、纳米电子学等几个大的方面。

### 2.1 纳米材料学

纳米材料学是纳米技术发展的基础。通过物理或化学方法,将物质粉碎成“纳米级”微粒,然后再合成为新的材料,从而改善材料的性能,这就是纳米材料技术。自然界自古就存在着纳米材料,如蜡烛和有些木材燃烧后所剩下的碳黑,用手轻捻会感到十分细腻,这实际上就是一种纳米微粒。如果在某些植物的叶子表面洒上水可能会发现这样一种现象,这些水不是平铺在叶子表面而是形成一个一个小水珠,这是因为这种

收稿日期:2002-06-18

作者简介:王曙钊(1955-),男,陕西乾县人,教授,主要从事电子技术和信号处理研究。

植物的叶子表面存在着一种纳米膜的缘故。当人们认识到并发展了纳米技术的时候,就可以正确的解释上述乃至更多的纳米现象,并且可以将纳米技术用于现实生活。如在陶瓷材料中加入一定量的某种纳米粉制成陶瓷器皿,就可以使它的表面变得十分光滑细密,而且韧度大大增强<sup>[4]</sup>。用纳米技术处理过的衣物就像表面具有纳米膜的植物叶子一样,具有自洁功能,它不沾水不沾油,几乎不沾灰尘,或者脏了用水轻轻一冲就可以继续穿用。在飞机的表面涂上一层某种纳米材料,可以吸收某些波段的电磁波,使对方的雷达等探测设备无法感知飞机的存在,达到隐身的目的<sup>[4-5]</sup>。用一些特殊的纳米材料作涂层可用来制造太阳能电池,或作为制造高密度磁盘的基本材料。

## 2.2 纳米生物学

纳米生物学主要包含两个方面:一是利用新兴的纳米技术来解决和研究生物学问题;二是利用生物大分子制造分子器件,模仿和制造类似生物大分子的分子机器。科学家认为,生物细胞本身就是“纳米技术大师”,细胞中所有的酶都是能完成独特任务的“纳米机器”。它们在微观世界里能极其精确地制造物质,而这正是科学家希望通过纳米技术实现的梦想。虽然现在研究制造的纳米机器体积越来越小,但要达到分子的尺度仍然很遥远,科学家希望通过对细胞的研究来进一步掌握纳米技术。利用 DNA 和某些特殊的蛋白质的特殊性质,有可能制造出分子器件。目前研究的热点在分子马达、硅-神经细胞体系和 DNA 相关的纳米体系与器件<sup>[6]</sup>。利用纳米技术,人们已经可以操纵单个的生物大分子。国际纳米界权威杂志《纳米通讯》2002 年第 1 期封面刊登了用 DNA 书写的“DNA”三个字母。这项成果是中德科学家合作取得的,它是通过纳米操纵技术,用单个 DNA 分子长链书写的,展现了人类在生物大分子纳米成像与操纵方面的又一巨大进步。操纵生物大分子,被认为是有可能引发第二次生物学革命的重要技术之一。

## 2.3 纳米医学

纳米医学是在分子级水平上,利用分子工具和人体的分子知识,所从事的诊断、医疗、预防疾病、保健和改善健康状况的科学技术。人们将从分子水平上认识自己,创造并利用纳米装置和纳米结构来防病疾病,改善人类的整个生命系统。首先需要认识生命的分子基础,然后从科学认识发展到工程技术,设计制造大量的具有奇特功效的由一个个分子装配起来且能够发挥类似于组织和器官的功能纳米装置,它们可以在人体的各处畅游,甚至出入细胞,在人体的微观世界里完成特殊使命。例如:修复畸变的基因、扼杀刚刚萌芽的癌细胞、捕捉侵入人体的细菌和病毒,并在它们致病前就消灭它们<sup>[2,6]</sup>;探测机体内化学或生物化学成分的变化,适时地释放药物和人体所需的微量物质,及时改善人的健康状况。目前在这一领域正在研制所谓的纳米生物炸弹,它是用数层纳米粒子包裹的一种智能药物微粒,在人体内的传输更为方便,而且进入人体后可主动搜索并攻击癌细胞或修补损伤组织。

## 2.4 纳米电子学

纳米电子学是在纳米级尺度上研究制造电子元件的技术。包括基于量子效应的纳米电子器件、纳米结构的光/电性质、纳米电子材料的表征,以及原子操纵和原子组装等。在集成电路的制造中使用的光刻技术,目前达到了微米级的水平。如果将这一技术提高到纳米级,那将使未来的计算机比现在计算机的速度、存储容量都要大几个数量级,而体积却要小的多<sup>[5,7]</sup>。现今水平上的电子器件只利用了电子波粒二象性的粒子性,各种传统电子元件都是通过控制电子数量来实现信号处理的。随着集成度的提高,功耗、速度成为严重的问题。利用电子的量子效应原理制作的器件称为量子器件或纳米器件也叫单电子晶体管。在量子器件中,只要控制一个电子的行为即可完成特定的功能,即量子器件不单纯通过控制电子数目的多少,主要是通过控制电子波动的相位来实现某种功能的<sup>[8-9]</sup>。因此,量子器件具有更高的响应速度和更低的功耗,从根本上解决日益严重的功耗问题。INTEL 公司声称他们以在 2001 年制造出了速度最快的 20 nm 硅晶体管。美国朗讯贝尔实验室宣布已用一个单一的有机分子制造出了世界上最小的晶体管,它们的大小接近 1 nm,因而被称为“纳米晶体管”。制造这种晶体管的主要困难是如何确保电极之间只有一个分子和如何将电极装配到分子上去。研究人员最终找到了一种“自装配”工艺,设法让分子自己找到接触点并进行自我“装配”,而且这种化学自我“装配”技术与硅晶体管的制造工艺相比更容易和便宜。美国《科学》周刊评选出的 2001 年十大科学技术突破中,连接纳米晶体管、纳米导线和纳米开关的分子水平电路荣登榜首。这一突破包括了纳米科学和技术研究领域的多项重大成果。

## 2.5 碳纳米管

在纳米技术的发展过程中碳纳米管有着举足轻重的作用。1991 年碳纳米管的发现标志着纳米技术的

迅猛发展时代的开始。碳纳米管是一种奇异分子,它是由石墨碳原子层卷曲而成的空心圆柱管,管直径一般为几个纳米到几十个纳米,管壁厚度仅为几个纳米,5万个碳纳米管并排起来才有人的一根头发丝宽。1991年日本科学家饭岛发现的碳纳米管具有18层(相当于18层空心同轴圆柱管),到2001年末,科学家已能制造单壁碳纳米管(它的极限尺寸只有0.4 nm)<sup>[2]</sup>。碳纳米管韧性很高,导电性极强,场发射性能优良,兼具金属性和半导体性,强度比钢高100倍,比重只有钢的1/6。因为性能奇特,被科学家称为未来的“超级纤维”,已成为国际研究热点。碳纳米管可用来制成极好的微细探针和导线、性能颇佳的加强材料<sup>[10]</sup>、理想的储氢材料<sup>[11]</sup>、高密度平面显示器<sup>[12]</sup>、并在将来可能替代硅芯片的纳米芯片和纳米电子学中扮演极重要的角色,从而引发计算机行业革命。

### 3 纳米技术的研究方向与最新进展

#### 3.1 纳米材料领域

在这一领域的研究主要集中在纳米添加剂和纳米涂层方面。在常规材料中参入适量的纳米添加剂用以改变材料性能的研究取得了不少的进展,如陶瓷增韧<sup>[4-5]</sup>、环境检测与污染治理<sup>[13]</sup>、压敏气敏等敏感元件<sup>[14]</sup>。纳米涂层材料主要用于光、热、磁、电等功能材料<sup>[5]</sup>。根据纳米材料的功能特征,可以用于制造红外探测装置、非线性光学器件以及抗紫外照射的设备。纳米材料达到单畴临界尺寸,产生很大的矫顽力,可用于制成各种磁卡,用于信息存储系统;制成磁性液体,阻尼器件等;作为新型制冷材料,提高制冷效率。环保型纳米电磁屏蔽材料的研究取得了进展,这一技术可应用于手机、电脑、电视机、军产品当中,大大减少电磁辐射<sup>[4]</sup>。

#### 3.2 纳米生物及纳米医学领域

在这一领域的研究主要集中在纳米生物材料、纳米生物器件研究和纳米生物技术临床诊疗中的应用几个方面,并且取得了有用的成果。

纳米生物材料最引人注目的是作为药物载体,或制作人体生物医学材料,如人工肾脏、人工关节等<sup>[6]</sup>。在纳米铁微粒表面覆一层聚合物后,可以固定蛋白质或酶,以控制生物反应。国外用纳米陶瓷微粒作载体的病毒诱导物也取得成功。由于纳米微粒比血红细胞还小许多,可以在血液中自由运行,在疾病的诊断和治疗中发挥独特作用。

磁性纳米载体在生物体内具有靶向性,它是利用外加磁场,使磁性纳米粒在病变部位富集,减小正常组织的药物暴露,降低毒副作用,提高药物的疗效。磁性靶向纳米药物载体主要用于恶性肿瘤、心血管病、脑血栓、冠心病、肺气肿等疾病的治疗。2001年8月,北京友谊医院心外科专家王天佑教授把纳米技术用于心脏病手术方面的研究获得进展。德医学专家借助磁性纳米微粒治疗癌症已在老鼠身上进行实验获得了初步成功。将一些极其细小的氧化铁纳米微粒注入患者的肿瘤里,然后将患者置于可变的磁场中。受磁场的影响,患者肿瘤里的氧化铁纳米微粒升温到45~47℃,这一温度足以烧毁癌细胞。由于肿瘤附近的机体组织中不存在磁性微粒,因此这些健康组织的温度不会升高,也不会受到伤害。

2001年5月,日科学家发现分子发动机工作机制。美国康纳尔大学的科学家利用ATP酶作为分子马达,研制出了一种可以进入人体细胞的纳米机电设备——“纳米直升机”。该设备包括两个金属推进器和一个金属杆,由生物分子组件将人体的生物“燃料”ATP转化为机械能量,使得金属推进器运转。

2001年11月,以色列研制成功纳米“生物电脑”。这是一种小到可置入一滴水珠之中、所需动力仅为10亿分之一瓦特的神奇“生物电脑”。这种纳米级的生物电脑采用酶做硬件,而它的软件则是DNA分子。据介绍,该生物电脑的内部包含有一万亿个活的细胞,每秒钟可完成10亿次手术,准确率高达99.8%。科学家希望有朝一日能够将它植入病人体内,发挥医生的职能。

#### 3.3 纳米电子学领域

在这一领域的研究主要集中在制造纳米元器件、纳米电路、分子级的运算器等方面。

用分子和小化学物质组合来制作计算机电路的想法已经存在多年,但这一探究在过去10年中变得更加紧迫,因为传统的以硅为基础的电路存在极限,在不断缩小的过程中将有可能发展到无法工作的程度。科学家们希望利用分子计算技术克服这一困难,利用分子和小化学物质组合来制造出纳米级装置,使得现有芯片的空间能容纳数十亿个这种纳米装置。2000年开发出一批纳米级装置后,科学家2001年进一步将这些纳

米装置连接成为可以工作的电路,它包括纳米导线、以纳米碳管和纳米导线为基础的逻辑电路以及只用一个分子晶体管的可计算电路。美国 IBM 公司用纳米碳管制造出了第一批纳米碳管晶体管,发明了利用电子的波性而不是常规导线实现传递信息的“导线”;美国朗讯贝尔实验室则用一个单一的有机分子制造出了世界上最小的“纳米晶体管”。继而 IBM 公司的研究者创造出由一对碳纳米晶体管组成的逻辑非门电路。将这些嵌入到逻辑电路内的晶体管连接到一起,可以处理复杂的运算。

在纳米电子学中碳纳米管是一个重要的角色。清华大学已有大批量生产碳纳米管的新技术。目前已有研究机构用碳纳米管大规模制造纳米级晶体管的方法。

#### 4 纳米技术的应用及未来展望

纳米技术虽正处于研究阶段,但正如前文所述及的它目前已在在生物医药、工业制造、环境治理、光学器件、平面显示系统和日常生活等领域有一些初步的应用。实质性的大面积的应用有待于纳米技术的进一步成熟。可以看到,纳米技术在未来最有突破性、具有最广泛用途的可能集中在纳米生物医药技术、纳米信息存储处理技术、纳米军事应用技术上。

纳米技术使得人们能容易的装配原子,因而科学家已经预测利用纳米技术可以修补基因。已经研制出的“纳米生物导弹”能将抗肿瘤药物连接在磁性超微粒子上,定向“射”向癌细胞,并把它们“全歼”。治疗心血管疾病的“纳米机器人”,能进入人的血管和心脏中,完成医生不能完成的血管修补等“细活”。运用纳米技术,还能对传统的名贵中草药进行超细开发,同样服用一贴药,经过纳米技术处理的中药,可让病人极大地吸收药效。我国首次应用纳米级微颗粒诊断早期肿瘤,据专家介绍,这项新成果成本低、操作简便,如应用于临床,将使肝肿瘤的早期诊断变得容易<sup>[6]</sup>。

利用纳米技术可制作超高密度信息存储及处理芯片<sup>[4]</sup>。2001年6月,美研究人员研制出世界上最细的激光束—纳米激光。纳米激光最终可能被用来识别化学物质,增加计算机碟片和光学计算机的信息储存量。2001年7月,我国科学家研制出世界上信息存储密度最高的有机材料,从而在超高密度信息存储研究上再创“世界之最”,保持了从1996年起就占据的国际领先地位。0.6 nm的直径,意味着信息存储的密度可达每平方厘米1 014 bit,其信息容量比现有光盘高100万倍。2001年6月,德国波鸿鲁尔大学的电子技术人员制成了世界上最小的电桥。它只有12 nm长,相当于原子间距的50倍。这一世界上最小的电桥,有助于推进微型计算机芯片的开发工作。如果芯片特别小,电子就能显出其双重特性:既有粒子的特性,又有波的特征。2002年2月,Inter公司研制出目前世界上速度最快的硅晶体管,这些新研制出来的仅有20 nm的晶体管将能够使英特尔公司在2007年左右制造出包含近10亿只晶体管的微处理器,其运行速度接近20 GHz,操作电压低于1 V。利用碳纳米管已经研制出了高密度、高亮度、彩色平面显示器样品。具备了这些研究基础,体积小功能强大的纳米级计算机问世也将不远了。

纳米技术将在军事应用上具有很大的用场<sup>[4-5]</sup>。首先它将改善武器装备的隐身性能。利用纳米微粒材料的尺寸远小于红外和雷达波波长及磁损耗的特点,可望制成电磁吸收率极高的隐身材料。使用纳米材料可制成易于制备的超薄轻质的隐身涂层,几十纳米厚的涂层就可达到现有隐身涂层几十微米厚的吸波效果,大幅度减轻了现有吸波材料的重量。其次它将提高武器的智能化、信息化程度。在一个基片上置放100万个纳米微型机器,每台机器都有电子控制功能,构成极小的传感、侦察、导航系统。将这种装置镶在头盔、服装或武器里,将不仅可以监测和传输一个士兵的重要标记和位置,而且还能监测和传输附近敌人的任何活动。纳米技术将使武器装备研制、生产成本降低、可靠性提高,同时使武器装备研制、生产周期缩短。

纳米技术也将走入我们的日常生活。前文提到的某些植物叶子的表面存在的纳米膜能使水形成水珠的现象,是因为纳米膜之间的缝隙比水分子尺度小的缘故。根据这一原理,若把某些材料加工成纳米微粒继而在另外的材料上形成纳米膜时就能表现出一些特殊的性质,从而形成新的产品。在化纤布料或其它织物中加入少量的金属纳米微粒就可以摆脱因摩擦而引起的静电现象,并且灰尘不易着落在衣物上,形成免洗(自洁)服装。在冰箱、洗衣机、餐具内壁涂上纳米膜,既可以抗菌,也易于清洗。在玻璃、瓷砖表面涂上纳米薄层,可以制成自洁玻璃和自洁瓷砖。利用某些纳米微粒有反射对人体有害的紫外线的特征和性能,可以制成防晒油。利用某些具有营养性的物质的纳米粉可制成化妆品,既能被容易的吸收,又可以营养皮肤。

## 5 结束语

有人曾把纳米技术、信息技术、生物技术看作 21 世纪的三大关键技术之一,甚至有人说 21 世纪就是纳米的世纪。至少我们可以说纳米技术将引起 21 世纪诸多科学领域的革命。

纳米技术的研究是当今国际科学界的前沿领域。世界各国都在这一研究上投入了大量的资金,制定了长远的研究规划。中国科学院和国内不少大学都成立了专门的研究所(室),国家自然科学基金委员会每年都在资助着很多纳米技术的研究项目。目前在这一领域我国科学家和其他国家科学家从同一起跑线上出发,并在许多方面的研究具有国际领先水平。

### 参考文献:

- [ 1 ] 沈建苗,纳米技术——小将大有作为[J]. 世界科技,2001,(1):32-34.
- [ 2 ] 世界纳米技术研究计划[EB/OL]. <http://www.north.cetin.net.cn>,2001-01-01.
- [ 3 ] 王 玲. 新一代纳米技术[J]. 全球科技经济瞭望,2002,(4):63-65.
- [ 4 ] 张立德. 纳米材料的主要应用领域[EB/OL]. <http://www.casnano.net.cn>,2000-10-23.
- [ 5 ] 白春礼. 纳米科技及其发展前景[J]. 科学通报,2001,(1):3-7.
- [ 6 ] 张阳德. 纳米生物技术现状与展望[EB/OL]. <http://www.sina.com.cn>, 2002-03-31.
- [ 7 ] 冒 荣,曲 明. 21 世纪的前沿科学——纳米科学和工程[J]. 未来与发展,2002,(2):41-43.
- [ 8 ] 曾令刚,王庆康,张 欣. 单电子晶体管研究进展[J]. 微电子学,2002,(2):27-29.
- [ 9 ] 杜 磊. 单电子晶体管 I-V 特性数值分析[J]. 西安电子科技大学学报,2002,(2):153-155.
- [ 10 ] 曾小英,张振强. 单层炭纳米管的磁运输特性[J]. 原子与分子物理学报,2002,(1):27-29.
- [ 11 ] 刘 畅,成会明. 单壁炭纳米管的制备及其储氢特性[J]. 中国科学院院刊,2001,(1):32-34
- [ 12 ] 徐 强,吴振森,李德昌. 炭纳米管的场致发射研究进展[J]. 西安电子科技大学学报,2002,(2):249-251.
- [ 13 ] 康振川,王中林. 能源环境与纳米技术[J]. 世界科技研究与发展,2002,(2):20-23.
- [ 14 ] 孙丹峰,程黎放. 应用纳米材料添加剂制备高压高能压敏电阻[J]. 电子元器件应用,2001,(1):23-25.

(编辑:田新华)

## State-of-the-art and Prospect of the Nanotechnology

WANG Shu-zhao<sup>1</sup>, LI Jing-she<sup>1,2</sup>, SONG Mao<sup>1</sup>

(1. The Missile Institute, Air Force Engineering University, Sanyuan, Shaanxi 713800, China; 2. Xidian University, Xi'an, Shaanxi 710077, China)

**Abstract:** This paper presents the nanotechnology, its developing direction, State-of-the-art achievement in research and its application. Simultaneously the prospects of the nanotechnology development is proposed.

**Key words:** nano-materials science, nano-biology, nano-medical science, nano-electronics, carbon-nanotubes