

纳米科技方兴未艾

陈百万

最近几年来,纳米科技、纳米科学和纳米技术等新的名词术语在许多国家的报刊、广播和电视等媒体中频频出现,成为一个世界性的热门科技话题。

一、什么是纳米科技

“纳米”是一个很小的长度计量单位。一纳米(mm)等于十亿分之一米(10^{-9}m),百万分之一毫米或千分之一微米。纳米尺度比原子尺寸略大(约为十几个原子排列起来那么长),大约相当于一根头发丝直径的万分之一。纳米世界是相当微观的世界。只有在科学技术高度发展的今天,人们才有可能踏入纳米世界去探索其中的奥秘。

纳米科技是在现代物理学和新兴的高新技术相互融合的基础上,于20世纪80年代迅速形成和发展起来的一门在纳米级的规模上构筑的前沿科学技术。它是在纳米尺度空间内(0.1~100纳米)研究电子、原子和分子的内在运动规律和特性,从而研究在纳米尺度范围的物质所具有的理化性质、功能及其应用的高新科学技术。它的最终目标是人类能够按照自己的意愿直接操纵单个原子,制造具有特定功能的产品。侧重于理论研究时常称为纳米科学,而侧重于应用技术研究时则常称为纳米技术。纳米科学技术现已包括纳米物理学、纳米电子学、纳米材料学、纳米机械学、纳米显微学和纳米生物学等多种学科。目前一些国家的纳米科学技术研究已经取得了令人

异常欣慰的成果。1990年,美国召开了首届纳米科技大会,正式创办了《纳米技术》杂志。我国的纳米技术研究也已取得了可喜的成果,而且有的研究成果(像碳纳米材料等方面)是领先于世界的。

世界各国科学家们预言:纳米科学技术将成为21世纪信息时代的核心;是21世纪科技革命的基础动力和主力军;它的发展将对诸多领域(包括理论研究领域和实际应用领域)产生重大影响,将会产生现在人们还想象不到的推动世界前进的奇迹。

二、纳米物理学

纳米物理学是纳米科学中最基本的综合性的侧重于理论研究的学科。它将深入揭示物质在纳米空间内特异的物理性质、物理表征和物理过程,如其特异的结构,特殊的力学性质、光学性质、磁学性质、导电机理和量子尺度效应等。纳米物理学是纳米科学技术的基础学科,纳米物理学研究的不断进展将对开发物质的潜在信息和电子技术以及材料学等方面产生重大影响,将促进纳米科技其它领域迅速发展。

三、纳米电子学

早在1924年,法国青年物理学家德布罗意就提出了电子具有粒子性和波动性两种性质的假说。他的假说被1927年的电子衍射实验所证实。在电子学方面,人们利用电子的粒子性在微电子学技术方面已取得了辉煌的成就。特别是自从1959年世界上第一块半导体集成电路问世以来,1985年出现了大规模集成电路,

1992年产生了超大规模集成电路,现正向特大规模集成电路发展。电子的粒子性不久将被用到极限,而其波动性却表现出了极大的优势。以电子波动性为基础的纳米电子学是纳米科技的重要组成部分,也是纳米技术发展的主要动力。

目前,把电子作为波动处理的纳米电子器件已经研制成功。这种器件具有超高速、超容量、超微型和低功耗的特点。采用纳米电子元件制造的电子产品的性能将会大大提高,而其体积将会大大缩小。应用纳米电子技术,人们已可用单个原子制成开关,制成单电子晶体管、单电子逻辑器件等。它们能控制单个电子的运动状态(而传统的晶体管等元件只能控制群电子的运动状态),而且只要控制一个电子的运动状态就可以实现某种预定的效应。这类器件将是量子计算机的重要组成部分。这种计算机将小如谷粒,其计算能力可为奔腾芯片的1000亿倍,处理能力相当于拥有100个工作站的超级计算机中心。如今物理学家们还能把原子压缩在一起,制成只有分子大小的电子元件“量子井”(亦称“量子点”),用于制造超高速、超微型的计算机。

将来在电子工业中,纳米级自动组装生产装置的使用可使电子工业生产面貌焕然一新。它有可能在21世纪的头十年里从半导体生产开始,然后扩展到诸如蜂窝电话等小型产品的生产。

美国迈特公司(Mitre)纳米技术权威詹姆斯·埃伦博根还预言:随着纳米电子技术的不断发展,将使通过网络下载硬件成为可能,即物质将变为软件。众所周知,当今的因特网下载软件是以改变分子团磁性特征的方式重置磁盘的物质结构。如果计算机的内容不超过分子团的体积,就可以通过重新排列磁盘上的分子制造芯片。这种纳米计算机的各个部件比我们今天用于在磁盘驱动器上装载信息的物理结构要小得多。因此,在不久的将来的某一天,我们将能够像今天下载软件一样从网络里下载硬件。

最近,美国IBM公司的科学家还发现了一

种利用电子波动性在原子级上实现数据传输的全新的方法——纳米通讯方法。它是利用他们发现的“量子蜃景”效应来实现原子级电路。他们将铜表面的几十个钴原子移动到一起,形成一个椭圆形的环(起“量子栅栏”作用),将环内铜表面的电子反射而形成所需要的波形。椭圆栅栏的大小和形状决定它的量子态(即电子的能量和空间分布)。IBM公司的科学家利用了一种能将大量电子聚集到椭圆栅栏焦点上的量子态。当他们将磁性钴原子放到椭圆栅栏的一个焦点上时,在另一个焦点区检测到了跟那个远处钴原子周围的表面电子相同的电子态,尽管那里实际上并没有磁性原子。因此把这种现象称为“量子蜃景”效应。蜃景强度取决于量子态(IBM公司的科学家试验的椭圆栅栏长20纳米,宽10纳米,得到的蜃景强度约为钴原子周围强度的1/3)。IBM公司的量子蜃景技术将会成为未来纳米电子器件的连接线,实现原子级电路。

纳米科学技术对电子学技术的影响将具有划时代的意义。预计不久的将来,传统的半导体器件将逐步消失,而代之以纳米电子器件;纳米电子技术将逐步替代微电子技术,使电子技术的发展产生新的革命性飞跃。

四、纳米材料学

纳米技术将会显著地改变和提高材料的性能,拓宽材料的新用途,对材料学做出重大贡献。用纳米量级的小颗粒组成的固体材料称为纳米材料。纳米颗粒的大小一般不超过100纳米,通常不超过10纳米。第一块纳米材料出自德国科学家格莱特之手。他于1984年将6纳米的金属粉末压制成“纳米块”。纳米材料学主要研究纳米材料的制备、性能和用途等。它是纳米科学技术的重要组成部分。

英国剑桥大学材料学教授科林·汉弗莱斯早就发现,当物质的体积缩小时,这种物质的性质就会发生戏剧性的变化(这在以前认为是不可能的)。现在科学家们已经了解到,纳米固体材料具有一般晶体材料和非晶体材料都不具备的优异特性,例如其硬度、强度、韧性、导电性等

都非常高,在磁、光、声、热等方面的性能也都有很大的变化,在一定条件下还会出现一些特异的性质。例如:大块的硅是不发光的,当它的体积缩小到纳米级尺度时它就会发光;采用纳米硅材料制成的高效电子元件,其功效可超过普通单晶硅几十倍。钢是一种多晶体物质,如果把它的单个晶体缩小到纳米规模或者更小时,它的硬度就会大幅度提高。普通陶瓷材料又硬又脆,而纳米陶瓷材料却完全不同,它在高温下柔软异常。纳米铜材料则有着超过自身晶格 10^{19} 倍的自行扩散系数。碳纳米材料诞生于1991年,是目前研究较多的纳米材料之一。由石墨原子层卷曲成的碳纳米管(直径一般为几纳米到几十纳米,壁厚仅几纳米),其韧性极高,强度比钢铁高100倍,比重才是钢的 $1/6$,它还具有非常好的储氢性能。

纳米复合材料技术能够改善聚合物的性能。美国一些公司现正利用这一原理研究开发热塑性树脂纳米复合材料。例如通用汽车公司和蒙特尔公司联合研究小组已利用纳米复合材料增强技术试制成功汽车的车身后侧板件和车门外板件,并将这种材料投入性能鉴定试验。

一系列研究成果表明,随着纳米材料的深入研究和不断推广应用,将会给整个世界的的面貌带来相当大的改观。因此纳米材料被誉为21世纪最有前途的材料。

五、纳米机械学

纳米机械学是一门具有巨大发展潜力的纳米技术科学。1986年,著名科学家和技术预言家埃里克·德雷克斯勒就已经预言,采用纳米技术可以制成只有分子大小的可自我复制的机器,它可以做任何你想让它做的事。这种分子机器将取代传统的机械加工,用一桶一桶的原料,一个分子一个分子地制造出包括计算机和汽车在内的各种东西。这个预言已经部分地变为现实。利用纳米技术,可以对原子进行组合,可以进行纳米微加工,制造出微型机电设备。利用纳米加工技术和性能优异的纳米材料还可以制造出性能优良的宏观机电设备。

目前人们已经制造出了很多绝妙的纳米组件,如硅纳米轮和碳纳米管等。而且现在人们已经制造成功数百万个微型机电装置,它们最多只有1微米(即1000纳米)那么大(未来的此类装置可能会比现在的还要小1000倍)。它们已被作为传感器广泛用于安全气囊、计算机操纵杆和喷墨打印机上。美国桑迪亚国家实验室用20个微细的组成生物基因的核苷酸三联体序列首尾相联,制成迄今为止世界上最为复杂的齿轮式序列,其每一个单位都可以以每分钟35万转的速度自转。这种机械装置也已用于安全气囊和计算机操纵杆上,预计将来还可用于卫星操作和战场作战监督等方面。

美国哈佛大学已研制出一种微型纳米钳。其钳体是在一个锥形的微型吸移管上沉积两个金属电极构成的,上面粘有一对向前伸出的碳纳米管形成钳子的两个工作臂。它就是靠这两个碳纳米管来钳住微型物体的。使用时,在两个电极上施加一定的电压,两个碳纳米管臂分别带上正、负静电荷,彼此间产生静电吸引力。此吸力随所加电压大小而变化,故可夹住不同的纳米级微型物体。这种微型纳米钳有望成为科学家们操作生物细胞,装配纳米机械或进行微型手术的新工具。

1990年,在美国麻省理工学院科技展览会上,享誉全球的贝尔实验室展出了其惊世杰作——纳米机器人。它由许多齿轮零件、涡轮机和微电脑等组成,总共才只有跳蚤般大小。同年,美国犹他大学和加州大学也先后研制成功几种纳米旋转电机和摇摆电机。

在美国华盛顿大学,一位由物理学家改行为生物工程师的女科学家维奥拉·福格尔正在制造世界上最小的火车(纳米火车)和铁路。福格尔纳米火车是以神经细胞中的微管(一种蛋白质长杆)片断为车厢,以牛脑中的驱动蛋白为牵引机车。它可以在特氟隆(聚四氟乙烯)分子铺成的小轨道上运行。动力是由三磷酸腺苷(ATP)分子中的能量提供的。福格尔的纳米火车填补了纳米机械领域中没有动力装置的空

白,向着实现纳米级自组装工厂这一目标迈出了有意义的一步。

大规模地生产纳米级设备将有赖于“自组装”技术,即让原子或分子自行排列而非一个个地把它们安排就位。美国桑迪亚国家实验室的杰夫·布林克尔是自组装技术的率先研究者之一。他最近利用该技术研制出一种表面积巨大且具有完全规则的纳米结构的超薄涂层,其孔隙被设计得只允许一定尺寸的分子通过。这种涂层可以用作化学传感器,其检测分子的灵敏度比普通材料要高500倍。他还正在准备开发一种具有活性孔隙的纳米智能薄膜,其孔隙可随条件变化而开闭或根据靠近它的分子身份特征而开闭。这种纳米智能薄膜是纳米机械潜在的重要应用领域之一。美国其他一些科学家在开发自组装纳米机械部件方面也取得了飞速进展。

在今年2月20日举行的美国科学促进协会年会上,有为数不少的科学家在发言中认为,尺寸为分子般大小、厚度只有头发丝直径的几百万分之一的各种纳米机械装置,将在今后数年内投入实际应用。

可以预料,纳米机械学的进一步发展和完善将会使机械制造业大为改观,整个生产行业可能被彻底改造。

六、纳米显微学

随着光学显微镜、电子显微镜和扫描隧道显微镜等的相继出现,人们对微观世界的认识也逐步深入。纳米科技的兴起将会使人们对微观世界的认识层次更深入一步。

随着对扫描隧道显微镜(STM)原理及检测技术的推广,进一步促成了原子力显微镜(AFM)和近场光学显微镜(SNOM)等的发明。

现在以STM、AFM和SNOM为代表的高分辨显微镜已形成一类新的显微成像技术——扫描探针显微术。这类显微镜统称为扫描探针显微镜(SPM)。其特点是采用一个极微小的探针(针尖一般在纳米尺度)在样品表面极小的距离内移动,同时获得样品表面信息。SPM不仅可以帮助人们认识纳米世界,而且还可以

帮助人们制造纳米新材料,进行纳米微加工,甚至原子操纵等。SPM的分辨率主要取决于探针针尖的大小、形状、化学同一性以及和样品的距离。进行纳米微加工时,针尖更是关键之一。直径在纳米尺度的碳纳米管比以往常用的AFM或STM针尖都小得多,而且直径还可更小。将一簇甚至单根高纯度的碳纳米管粘在扫描探针显微镜上作为其扫描探针,将大大提高其分辨率。例如,将多壁碳纳米管粘在AFM硅探针尖端作为新的探针,对一个门控微电子电路成像,获得很好的效果;采用多壁碳纳米管作为探针对 $A\beta$ 40淀粉纤维成像,可大大提高其横向分辨率和纵向分辨率;对碳纳米管顶端进行表面修饰作为生化敏感探针进行成像,将来可用于生化基团的成像定位;我国北京大学电子系薛增泉教授领导的研究小组,用单壁碳纳米管做出了世界上最细、性能最好的扫描探针,获得了精美的热解石墨的原子形貌像。

薛增泉教授的研究小组还开辟了纳米显微术的另一条新途径。他们利用单壁碳纳米短管作为场电子显微镜(FEM)的电子发射源,拍摄到了过去认为是不可能看到的原子像。

随着纳米科技水平的不断提高,纳米显微术也将会不断完善、提高并扩大应用范围,系统的纳米显微学也将会逐步完善和发展起来。反过来讲,它对促进整个纳米科技的进一步发展又将会发挥重大的作用。

七、纳米科技用于生物医学领域

21世纪将是生命科学的时代。纳米科技与生物学相结合而形成的纳米生物学将是21世纪生命科学的重要组成部分。纳米科技在医学领域里的应用也必将会大大改善医疗方法,提高医疗水平,促进医学的发展,特别是对分子医学的发展将会发挥重要的作用。

现在人们用原子力显微镜,不仅可以对脱氧核糖核酸(DNA)、蛋白质等进行形态分析,还可以进行直观下的分子剪辑、DNA特殊位点的定位等高水平研究;不仅可以描绘出氨基酸分子中碳、氢原子的关系,而且已经能直接观察

到 DNA 链螺旋重复等。

英国伯明翰大学科学家道格拉斯·菲力普和他的化学家同事们利用纳米技术制造了一些可以自我复制的小分子,它们相互间能传递信息,并能根据环境发生变化。通过研究这种分子,人们可以了解地球生命起源以前的一些情况。利用这种分子还可以制造出一些妙不可言的东西,如高质量的药品等。

纳米技术还能够使生物的反应运动方式和酶工程发生重大变化。人们可以按照自己的意愿培育生物新品种,这种技术可以用于农作物育种等。

不久前,美国波士顿大学化学家罗斯·凯利及其同事们研制成了人造分子发动机。这是科学家首次制造出的化学动力的分子发动机。它是一个很小的有机分子(一个人体细胞就能容纳 10 亿个这样的分子),其中有不到 50 个碳原子,其动力来自一种叫做碳基二氯化物的化学物质(天然分子发动机是较大的蛋白质分子,其动力是一种细胞能)。凯利的分子发动机的重要意义在于使人们了解到化学能怎样转变为可控制的运动的动能。他的研究成果将有助于科学家们了解生物机体在原子水平上的运动过程,有助于医生们了解因分子发动机出现故障而发生的疾病,如某些不孕症,某些呼吸系统、消化系统、代谢系统疾病以及遗传性疾病等。

利用纳米技术可制造医用纳米“潜艇”或机器人,让它在人的血管网络中漫游,进行巡逻和检查,可将发现的“敌人”歼灭,或对体内的细胞组织进行修复、清除动脉粥样硬化斑块等。利用细菌般大的纳米机器人还可对病牙进行无痛苦的修复或制造新的牙齿。将来的外科手术很可能更多地依靠纳米技术,所用的手术器械都是纳米尺寸的。这可使外科手术变得更为简单,不必用传统的开刀法,只需在身体上合适的某个部位开一个极小的口,放进一个极小的纳米器械即可。

英国剑桥大学的汉弗莱斯及其同事们正在试验在一个硅片上刻制宽度仅能容纳一个

DNA 分子的芯片沟槽(宽 1000 纳米,将来可能是 0.1~0.01 纳米)。计算机里装上这种芯片,就可以完全“读懂”DNA 序列,或可以在几分钟内就能查明突然发生的传染病的病因,而且程序被控制得更为严密,判断也更为准确。

在病理学上,目前已经能够用原子力显微镜进行基因水平的形态观察,提高了病理研究和临床诊断水平。

我国南京希科集团利用纳米技术将银制成尺度在纳米量级的超细小微粒(直径为 0.1 微米即 100 纳米左右),然后使其附着于棉织物上,制成了一种新的医用敷料——纳米银长效广谱抗菌棉。银具有预防溃烂及加速伤口愈合的作用,经过纳米技术处理后表面积大大增加,表面结构也发生根本性的变化,杀菌力相应提高 200 倍以上。这种纳米银医用敷料对临床常见的外科感染细菌,如金黄色葡萄球菌、大肠杆菌和绿脓杆菌等 40 余种致病菌,都有较好的抑制作用。这是我国将纳米技术实际应用于医学领域取得的一项重大成果。

八、纳米科技挑战能源现状

现在人类对能源的需求量越来越大,世界上许多国家都程度不同地面临着能源缺乏的状况。因此,节约能源和开发新能源是解决能源问题的两大途径。

利用纳米技术能够制造出低能耗的各种机电设备。如单电子晶体管所需的电力可降低到通常晶体管的十万分之一,采用这类纳米电子元件的电子产品无疑会极大地降低能耗。这样就可以大大降低人类对于现有能源的需求量。

另一方面,利用纳米科技还可以开发出新的能源,大幅度提高能源供给量。譬如,近年来科学家发现,碳纳米材料是一种优异的储氢材料。美国科学家曾根据实验推测单壁碳纳米管储氢能力可达 10% 以上。中国科学院金属研究所 36 岁的研究员成会明领导的研究小组,采用与众不同的新方法,快速合成出大量高质量的碳纳米纤维和单壁碳纳米管。它们在室温条

件下具有优异的储氢性能,储氢能力达到4%以上(至少是稀土材料的2倍),是迄今世界上制造的储氢能力最强的碳纳米材料。在室温常压下约有2/3的氢能从这些可反复利用的碳纳米材料中释放出来。可用这种碳纳米材料制做燃料电池来驱动汽车等。

九、纳米科技与未来战争

纳米科技对未来的战争也将会产生巨大影响,导致战争形态发生重大变化。20世纪90年代初期,纳米科技刚刚问世不久,就立即引起了物理学家和军事家们的共同关注。将纳米科技用于高新技术武器的制造,不仅可以使武器装备的体积大大缩小,重量大大减轻,性能大大改善和提高,而且还可以创造出许多全新的武器系统。在未来战争中,利用纳米科技可以成千倍地提高指挥自动化系统处理战场信息的能力、侦察预警能力和精确打击能力。

纳米技术可以把现代作战飞机上的全部电子系统集成在一块芯片上,其体积和重量大为减小;它能使目前需要车载、机载的电子站系统缩小成可由单兵携带的装置,大大提高电子战的覆盖面;它可将现有雷达的体积缩小几十倍,而信息处理能力则提高数百倍;采用纳米技术还可制造纳米侦察卫星(可小于0.1千克),一枚火箭至少可发射几百颗这样的卫星,覆盖全球。

利用纳米材料可以改善和提高某些武器表面的性能。有些纳米材料可使某些武器装备表面有灵敏的“感觉”。例如利用某种纳米材料制造的潜艇蒙皮可灵敏地“感知”水流、水波、水压、水温等极微小的变化,并及时反馈到中央计算机,以调整潜艇的运动状态、侦察和躲避敌方鱼雷。利用特殊纳米材料制造的军用机器人的“皮肤”有比真人皮肤还灵敏的“感觉”,能更好地完成各类军事任务。纳米固体材料在较宽频谱范围内对电磁波有很强的均匀吸收性能,仅几十纳米厚的纳米薄膜材料与比它厚1000倍的现有吸收材料具有相同的吸波效果。因此,采用纳米薄膜吸波材料将会使隐形武器的实战

能力大为提高。

利用纳米电子技术将会制造出全新的微型战场信息传感系统及智能化微型惯性导航系统(这种导航系统可使制导武器的隐蔽性、机动性和生存能力大大提高)。将纳米军用遥控机器人植入昆虫的神经系统(如美国试制的“蚂蚁雄兵”),就可遥控昆虫进入敌人任何要害部门,以搜集情报,杀伤敌人或干扰破坏敌人的电子系统。

十、纳米科技走进生活

伯明翰大学的菲力普说:“纳米技术的最终目的还在于生活本身。”许多工程师也把目光转到了生活上,正在研究如何把纳米技术应用于生活中。利用纳米技术或材料制造的各种家用电器及其它家用器具的性能将会有很大的提高,使生活更方便。如果把肉眼看不见的纳米计算机织入衣服里,当人们洗衣服时计算机就会告诉水温应该多高才合适。把纳米计算机装在圆珠笔内,当笔油快用完时计算机就会发出闪烁信号告诉人们该换笔芯了。将具有人的大脑思维智能的纳米机器人用于生产劳动中,不仅可以极大地减轻人们的劳动强度,提高劳动生产效率,而且许多常规的劳动方式也将有可能被新的手段所替代。

纳米科技是一门刚刚兴起不久的尖端科学技术。它将是21世纪最先进最重要的科学技术之一,它在人们认识世界和改造世界方面将会发挥不可估量的作用。它的迅速发展有可能迅速改变物质产品的生产方式,引发一场新的产业革命,导致社会发生巨大变革。因此,纳米科技现在已经成为世界上各先进的研究机构和实验室的重大研究课题和发达国家竞相开发的项目。据IBM公司研究中心物理学研究室负责人托马斯·泰斯称,有100多名科学家正在该公司设在美国和瑞士的研究中心研究纳米技术。许多发达国家竞相投入巨资(据报道,美国政府新推出的“国家纳米技术计划”明年的预算为5亿美元),以期在这一领域占据主导地位。可见,发展纳米科技将是21世纪不可忽视的一项重要任务。