

纳米科学和技术

李 茸 侠

(总装指挥技术学院 北京 101416)

一、纳米技术的诞生

近几年来,一些纳级(nanoscale)的物理量频繁见于报端,如纳秒(nanosecond)、纳安(nanoamp)、纳克(nanogram)、纳米(nanometer)等。其中最有魅力的是纳米。因为它关联着一门新的科学技术——纳米科学和技术,有时也称为纳米技术(nanotechnology)。纳米是一个长度单位,一纳米(1nm)等于十亿分之一米,20纳米相当于1根头发丝的三千分之一。从具体的物质来说,人们往往用“细如发丝”来形容纤细的东西。其实,人的头发一般直径为20~50微米,并不细。单个细菌虽然用肉眼看不出来,但用显微镜测出直径约为5微米,也不算小。极而言之,小可至组成物质的基本单位——原子,氢原子的直径为0.1纳米,一般金属原子的直径为0.3~0.4纳米。1纳米大体上相当于4个原子的直径。

每边2.5纳米的立方体可容纳1000个原子。目前最小的集成电路,每边长为0.25微米,如为一个原子那么厚,就包含100万个原子。蛋白质分子的尺寸则为1~20纳米。

德国著名的科学家费曼(Feynman)一次在沙漠中旅行时,利用反向思维的方法,突发奇想,不把原来具有完整的空间点阵的晶体作为晶体材料,而把原来视为晶体缺陷的诸如空位、相界、间隙等作为晶体材料的主体,操作单个原子,去建立以“原子”或“分子”为“砖块”的人工超微结构的设想,在当时,那只能算是一个美丽的梦想而已。直到1982年,美国著名的IBM公司,宣布他们制成了具有原子分辨能力的扫描隧道显微镜(STM)后,纳米技术才显露出来。1990年,IBM公司的尔格勒(Eigler)等人利用STM移动35个原子,在镍的表面上成功地制成了

光性等光学特性外,还有电光效应和磁光效应,其中电光效应是致使液晶作为显示器件应用的重要原因。自从1968年第一台液晶显示器问世以来,计算器、手表中的液晶显示是液晶显示器的第一代应用,液晶在电子翻译机、游戏机、液晶电视中的应用则属于第二代应用。而目前已进入第三代发展阶段,用于笔记本电脑、便携式彩电、高分辨率大屏幕显示、高速快门等高科技领域。

六、纳米材料与纳米技术

纳米材料是指几何尺寸为纳米量级的微粒或由纳米大小的微粒在一定条件下加压成形得到的固体材料。纳米材料包含纳米金属和金属化合物、纳米陶瓷、纳米非晶态材料等。纳米技术是指制备纳米材料所使用的技术。纳米微粒由于其尺度很小,微粒内包含的原子数仅为 10^2 — 10^4 个,其中有50%左右为界面原子。纳米微粒的微小尺寸和高比例的表面原子数导致了它的量子尺寸效应和其他一些特殊的物理性质。纳米材料具有很多潜在的应用价值,也是目前的研究热点。(1)在微电子器件方面的应用,现在已有人尝试用纳米硅材料制

作单电子隧穿二极管,也有人尝试制作纳米硅基超晶格。另外,纳米磁性材料的发展也十分迅速,纳米尺寸的多层膜除了可在微电子器件方面应用外,还在磁光存贮、磁记录等方面具有优越的性能。(2)在磁记录方面的应用,磁性纳米微粒由于尺寸小,具有单畴结构,矫顽力很高,用它制成磁记录材料可提高信噪比,改善图像质量。目前,日本松下公司已制成纳米级微粉录像带。(3)在传感器上的应用,由于纳米微粒材料具有巨大的表面和界面,对外界环境如温度、光湿度等十分敏感,外界环境的改变会迅速引起表面或界面离子价态和电子输运的变化,而且响应速度快,灵敏度高。所以用于传感器也具有巨大的潜力。

物理学的发展而导致的新技术还表现在很多方面,例如空间技术、核技术、新一代扫描显微镜、等离子体等等,不再一一赘述。总之,物理学的迅速发展,进一步为人类提供了新型材料、新型能源、新的通讯和控制手段。使生产过程由机械化、电气化向机电一体化方向发展。物理学在科学技术是第一生产力的今天更显示了其强大的生命力。

世界上最小的商标——IBM 商标图案, 随后用 48 个铁原子排列组成了日文汉字中的原子两字, 人类操作单个原子的梦想才算变成现实, 纳米技术才算正式诞生。

二、什么是纳米技术

那么到底什么是纳米技术? 所谓纳米技术, 是一门在纳米空间(0.1~100nm)内研究电子、原子和分子的运动规律和特性的崭新的高技术学科, 它的最终目标是人类按自己的意志直接操纵单个原子制造具有特定功能的产品。纳米技术是一个多学科交叉成的新学科, 也是现代物理学(量子物理、混沌物理)与先进工程技术(电子计算机、微电子技术、超微技术)相结合的产物, 是一门科学与技术紧密结合的产物。

纳米技术几乎涵盖了所有与实验有关的学科, 包括物理、化学、材料、生物等多个领域。总加起来, 它主要包括以下 4 方面的内容:

第一个方面纳米材料(或称为超微粒子, 尺寸小于 100 纳米的粒子)是由纳米级的超细微粒经压制、烧结而成, 被认为是完全纯净、结构上没有缺陷。在纳米尺寸下, 物质中电子及原子的相互作用将受到尺寸大小的影响, 如能得到纳米尺寸的结构, 就可以在不改变物质化学成分的情况下控制材料的基本性质, 如熔点、磁性、电容、甚至颜色等。纳米材料具有异乎寻常的性能。用超微粒子制成的陶瓷, 硬度很高, 在室温下可以弯曲, 塑性形变达 100%, 但不脆裂; 无机超微粒子加入到橡胶中后, 将粘在聚合物分子的端点上, 因此作成的轮胎将大大减少磨损, 延长寿命; 由石墨原子层卷曲成的碳纳米管, 其韧度极高, 强度比钢高 100 倍, 但重量只有钢的 1/6, 它非常微小, 5 万个并排起来才有一根头发丝那么粗。

2000 年 9 月 27 日中国科学院化学所的专家宣布成功研制了新型纳米材料——超双疏性界面材料。这种材料具有超疏水性及超疏油性, 制成纺织品, 不用洗涤, 不染油污; 用于玻璃表面防雾、防霜, 更免去了人工清洗。有不少媒体在报道时称: 纺织、剪裁、化工、石油、汽车、军事装备、通信设备等领域, 将免不了一场因纳米而引发的“材料革命”。现在有人已在探讨用纳米材料制备具有抗紫外线、抗红外线、抗可见光、抗电磁干扰等奇异功能的产品。

第二个方面纳米生物学和纳米药物学。有了纳米技术, 可以研究生物分子之间的相互作用, 研究磷脂、脂肪酸双层平面生物膜和 DNA 的精细结构等,

还可以用于自组装方法在细胞内放入零件或构建成新的材料、新的药物, 即使是微米粒子的细粉也大约有半数不溶于水。但如粒子为纳米尺度(即超微粒子), 则可溶于水。利用纳米技术还可以制造医用纳米“潜艇”或机器人, 像潜艇一样潜入血管中, 随血液流遍全身, 在纳米传感器的“指引”下, 瞄准有病组织、癌细胞、有缺陷的基因、血栓或脂肪堆积物, 进行“面对面”的治疗, 并在完成相应的疗程后自动“消亡”。

第三个方面纳米动力学(nanodynamics)。主要是微机械和微电机, 或总称为微型电动机械系统(MEMS)。这主要用于有传动机械的微型传感器和执行器、光纤通信系统、特种电子设备、医疗和诊断仪器等。MEMS 用的是一种类似于集成电路设计和制造的新工艺, 特点是部件很小, 刻蚀的深度往往要求数百微米, 而宽度误差只允许万分之一, 这种工艺还可用于制作转子直径为 400 微米的三相电动机, 用空气做轴承, 转速可达 $10^6 \sim 10^7$ 转/分, 调向时间小于 1 微秒。预计在 21 世纪将会有以下突破。

(1) 装有超敏感应器的袖珍遥控飞机问世。

(2) 将出现 6 英寸的微型飞机。

(3) 利用纳米技术研制“机器蚂蚁”, 有蚂蚁一般大小, 以微型太阳能电池做动力。

(4) 利用纳米技术制造看似小草的微型探测器, 具有敏锐的电子侦察仪器、照相机和感应器。

(5) 具有信息处理、导航和通信能力, 并在一定范围内具有飞行、爬行、跳跃功能的装备。

(6) 利用纳米技术研制微型攻击机器人。

(7) 研制重量在 1~10kg 的装置或系统, 其中小于 1kg 的纳米卫星, 实现各种可能的卫星探测和通信。

第四个方面纳米电子学(nanoelectronics)。包括基于量子效应的纳米电子器件, 纳米结构的光性质和电性质, 纳米电子材料的表征以及原子操纵和原子组装等。当前电子技术的发展趋势要求器件和系统更小、更快、更冷。“更小”是指器件和电路的尺寸更小, 对集成电路来说就是集成度高;“更快”是指响应速度更快;“更冷”是指单个器件的功耗要小, 否则很多器件堆在一起时既耗能源又造成温升。但是, “更小”并非没有限度。以硅集成电路而言, 国际上目前已做出的最小线度是 0.13 微米(130 纳米), 线度如果小于 0.1 微米, 则量子效应就要显现出来, 常用的电路设计方法不再适用, 常用技术也可能会

很快达到它们的极限,因此需要迅速更新。这就形成了一个领域——纳米电子器件。

所有的纳米电子器件都将具有更小、更快、更冷的特点,可能的早期突破是在超高密度存贮器、超灵敏传感器、医疗诊断用元件、数码信息的高速输入和输出以及平板显示器用的微小电子源阵列等方面。中期目标则为 10^{12} 位存贮器及 10^{12} 次/秒的运算器、共振隧道器件、电子耦合器件以及实时语音识别系统、自主决策系统虚拟实感训练系统等。

虽然 21 世纪被称为“光的时代”、“高度信息化时代”和“生物工程时代”等,但是无论哪一个,它的关键都是量子效应。因此,纳米技术有可能引起计算机革命、光子工程革命甚至生物工程革命。有研究表明,将来,在原子精度层次能制造出带主机的计算机。在纳米时代,只要把微马达、齿轮、杠杆、轴承、线路板、传感器、动力线缆等与功能强大的微计算机组合在一起,就能制造应有尽有的新型智能材料。

三、国际间的竞争

纳米技术已经受到国际上的重视,1991 年以后,美国正式把纳米技术列入“国家关键技术”和“2005 年的战略技术”。它指出“微米级和纳米级制造和原子量级(纳米)的材料及器件的制造和使用,对先进的纳米级技术的研究可能导致纳米机械装置和传感器的产生。纳米技术的产生和发展可能使许多领域能够产生突破性的进展”。

日本也早在 1980 年代初就投巨资资助纳米技术研究,从 1991 年起实施一项为期 10 年,耗资 2.25 亿美元的纳米技术研究开发计划。日本制定的关于先进技术开发研究规划中有 12 个项目与纳米技术有关。德国在 1993 年提出今后 10 年重点发展的 9 个关键技术领域,纳米技术就涉及其中 4 个领域。英国也制定了纳米研究计划,在机械、光学、电子学等领域选了 8 个项目进行研究,法国联邦政府则每年拿出 6500 万美元支持纳米技术的研究开发,澳大利亚 1993 年将原子测控技术列为 21 世纪最优先开发的项目。欧盟 1995 年的一项研究报告称:10 年内纳米技术的开发将成为仅次于芯片制造的世界第二大制造业,到 2010 年,纳米技术市场的价值将达到 400 亿英镑。因此,科技发达国家为争夺这一生长点、制高点都竞相将其列为战略性基础研究的优先项目,在人力、财力、物力上下功夫。

1999 年美国对各国纳米技术的研究现状进行调查后认为,当前美国在合成、化学品和生物方面占优势,而在纳米器件,纳米仪器的生产、超精密工程、陶瓷和其他结构材料方面落后于其他国家。日本则在纳米器件和纳米结构方面占优势。欧洲在新仪器、纳米分散剂和涂料等领域占居优势。日本、德国、英国、瑞典、瑞士等都已经建立了优良的研究纳米技术的某些专门中心。

2000 年 1 月 21 日,美国总统克林顿在加州理工学院宣布了美国的国家纳米技术倡议(National Nanotechnology Initiative, NNI),并在 2001 年财政年度增加科技支出 26 亿美元,其中 5 亿给 NNI。为什么美国总统克林顿要亲自关心纳米技术这样一个具体的项目?克林顿说:“我的预算支持一个比较重要的新的国家纳米技术倡议,即在原子和分子水平上操纵物质的能力价值为 5 亿美元,试设想一下这些可能性:材料将 10 倍于钢的强度而重量只有其几分之一;国会图书馆内所有的信息可以压缩在一块方糖那样大小的器件之中;当癌变只有几个细胞大小时就可以探测到,我们的某些目标可能需要 20 年或更长的时间才能达到,但这恰恰是为什么联邦政府要在这里起重要作用。”

在美国已成立一个叫做纳米科学技术工程协作小组的组织(Interagency Working Group On Nanoscience Engineering and Technology, IWGN)其中的 7 个成员单位分别负责有关科研项目的申请。并在大学校园内也成立有几个系组成的中心。

对纳米技术的前途和地位问题,美国政府的结论是:众所周知,集成电路的发现创造了“硅时代”和“信息时代”,而纳米技术在总体上对社会冲击将远比硅集成电路大得多,因为他不仅应用在电子学方面,还可以用到其他很多方面。有效的产品性能改进和制造业方面的进展将在 21 世纪带领许多产业革命。

如此看来,在人类社会进入 21 世纪的关键时期,作为世界四大发明的文明古国,我国也成立了纳米技术国家重点实验室,一些院校也开始了此项技术的研究工作,但与发达国家相比,财力与技术基础都只能望其项背,在这种情况下,只有抓住机遇,迎接挑战,才能在纳米技术这项高科技角逐中处于不败之地。