

纳米科学和纳米技术——发展领域和方向

王中林

(美国佐治亚理工学院纳米科学和技术中心,美国亚特兰大)

[摘要] 本文介绍了纳米科学和纳米技术在未来发展的一些领域和方向,包括基础科学,纳米电子学和计算机信息技术,功能和智能材料,复合材料,纳米结构材料,生物工程,航空和航天技术,环境保护和新能源材料和国防建设等,并简短地讨论了纳米技术产业化问题。

[关键词] 纳米技术,研究方向,产业化

研究和开发纳米技术的浪潮席卷全球,各国都推出了相应的战略计划和决策。中国同样也不甘落后,近年来有关纳米技术的各种会议连续不断,充分显示了我国科学家在纳米科技领域的卓越成就。在商业界,企业家也不会放过这一大好时机,不断有标有“纳米”二字的产品推上市场。然而,这些商业的“炒作”往往会导致人们对纳米科技的误解,盲目投资。从科技发展的历程来看,这种“炒作”有可能后患无穷,阻碍纳米科技的长远发展。纳米技术目前是处于科学研究的前沿,能实现商业化的纳米技术还很少。作为介绍纳米科技的第2篇^[1],我将介绍纳米技术发展的主要领域,以及纳米技术产业化的问题。

1 纳米技术发展的基本范畴

纳米是一长度概念,因此,纳米技术概括范围相当之大,好象无所不包,但它必须满足两个基本条件:尺寸在约小于 100 nm,同时必须具有由尺寸效应而导致的独特的,不同寻常的或大大提高了的物理、化学或生物性能。如果在颗粒尺寸上满足了条件,但不具有由尺寸减小所产生的奇异性能,那就不是纳米技术。听说前不久国内有所谓的“纳米水”。不错,水是分子组成的,满足了第一条,但“纳米水”是否具有不同于一般水的性能,如果有,该性能是否是由尺寸效应而导致的,否则它就不是纳米技术。纳米技术目前的研究方向主要是集中在以下几大领域。

1.1 基础科学探讨

研究纳米级的结构和现象在物理和化学界已开展了几十年,其中心任务是从根本上理解从单原子到固体的转换过程和化学催化的基本机理。这对于理解由元素组成的导体,半导体和绝缘体的性质差异有极大的启发性,同时也是深入探讨由于尺寸变化而导致的从经典物理现象转换为量子现象的过程。纳米科学的研究目前主要集中在基础科学问题上,为人们理解物质结构,结构的演化,结构和性能的依赖关系等打下坚实的基础。近年的研究主要围绕以下几个问题:

- (1) 纳米材料在室温下具有什么超常的量子效应? 能否做出室温量子器件?
- (2) 纳米晶粒的表面重构和原子排列是什么? 能否得到壳和核共格的纳米晶粒包层结构?
- (3) 能否得到类分子纯度的长度和螺旋角可控的碳纳米管? 能否重复制得一维纳米结构的共格联接与三维排列?
- (4) 能否利用半导体氧化物带子结构制造出可以集成的纳米级光电元件?
- (5) 如何从分析单一分子的性能来理解复杂的高分子、超分子以及生物体系的结构?
- (6) 如何利用同时自组装的技术来控制纳米单元来实现复杂而设计有序的图案排列,而且出错的几率是在可允许的范围之内?
- (7) 如何模拟从原子/分子到组装起来的纳米结构系统多尺度的复杂体系?

本文于 2001 年 8 月 8 日收到。

(8)如何得到结构、形貌和表面结构可控的纳米结构?例如螺旋角可控的碳纳米管。

1.2 纳米电子学和计算机信息技术

微电子的飞速发展改变了现代人的生活。计算机的运算速度几乎是每两年翻一翻。到2006年,器件的尺寸将小于50—100 nm,Moors关于集成电路的电路密度每1年增强10倍的预言就出现了危机。新的物理现象例如量子导电效应,量子干涉效应,单电子器件等相继出现。研究量子器件的性能,大规模制造以及它们的集成是纳米电子学的中心任务。未来的方向将是把微电子技术和纳米技术有机的结合起来。具体的研究方向可以分为:

(1)纳米电子学中的接线问题。是否可以发展无接线纳米电路?

(2)量子器件和接线,量子器件和量子器件之间的接触处的物理过程和性能。

(3)量子器件的制造和大规模集成。

(4)如何把纳米材料的独特性能应用于微电子技术?

(5)利用扫描探针技术来进行大规模快速原子级数据储存和读出。

(6)高密度磁储存技术。

1.3 光电磁功能和智能材料

半导体量子点、量子线和量子井是纳米级激光材料,它们是量子效应在光信号处理和传输中的典型代表,是研究新一代光电元件的基础。生长有序的,大面积的,结构和形貌可控的量子点是该领域的重大方向。新型具有磁光和磁电效应的纳米结构是目前研究的活跃领域,例如巨磁阻薄膜材料,超巨磁阻功能氧化物材料,以及最近的自旋电子学等,都具有不可估量的应用前景。新型功能材料是未来科学和技术发展的根本。把纳米技术推广到功能和智能材料的制造和应用中是实现多功能化的关键。

1.4 复合材料

传统的复合材料是把至少两种不同材料通过合成混在一起来达到取长补短的作用。例如,氧化铝属于耐高温,高硬度但脆性弱的材料,金属铝韧性高但硬度不够,它们两者的复合提高了材料的整体力学性能。纳米复合材料是把具有不同物理或化学性能的纳米颗粒或线状材料有机的结合起来,进而实现多功能高性能的智能操作或传感。目前最广泛研究的是无机和有机纳米结构的复合,光电材料和具有传感性能材料的复合,表面功能化等。多空材料和空内引入的功能团是催化材料的前沿。

1.5 纳米结构材料

纳米技术从根本上改变了材料和器件的制造方法。在纳米尺度上控制构成材料的基本单元的结构和成份,然后把它们组装成具有独特性质和功能的大结构。随着纳米颗粒尺度的不断减小,纳米结构的块状材料的力学性能大大提高。它们不但具有高强度而且可塑性相当巨大。具体的研究可以归纳为:

(1)具有严格形状而不需要再加工的纳米结构的金属和陶瓷部件。

(2)应用于切割、电子、化学和结构方面的纳米碳化物材料。

(3)制造、组装和控制未来的纳米机器人。

(4)纳米结构材料的力学和热力学性能。

(5)高性能非晶本体纳米结构材料。

(6)高温、高强度、高韧性表面涂层材料。

1.6 生物工程技术

生物体系是纳米技术最好的典范。例如自然界的植物通过叶片把光能转换为化学能的光合作用就是纳米工厂的典型例子;人类的遗传基因序列做到了原子级的结构精确和完美;如果有一个原子错位就可以导致遗传上的缺陷;人类细胞的再生和自组装,脑细胞的超高记忆能力,神经系统的信息传递和反馈等都是纳米科学的完美典范。人们对生物世界的了解是非常浅薄和表面的,从根本上缺少一体系化的理解。生物合成和生物过程是启发和制造新的纳米结构的灵泉所在,包括新的生物材料,生物活跃分子的有效传递,纳米级敏感和传感系统,生物芯片,以及具有新功能的生物分子机器。纳米级敏感器可以监视生命器官的运转情况,营养的输运,血液的循环,血脂的浓度,胆固醇的累积程度等。纳米技术在生命科学中的基本研究方向为:

(1)快速有效决定基因序列,使整个诊断和治疗过程效率革命化。

(2)利用遥控和血管内微型器件进行有效和低成本健康保健。

(3)新的药物输送方式和突破体内目前药物不可进入的禁区。

(4)永久性和抗排斥性的人造肌肉、皮肤和器官。

(5)疾病的萌芽期探测系统,使治疗变为早期检测和预防。

(6)应用于血管内和循环系统的微型机清除、修补和维护技术。

(7)生物材料和其他材料的界面匹配。

1.7 航空和航天技术

燃料的自重使得探索地球,太阳系和宇宙的空间技术受到了极大的限制。减少材料的尺寸、重量以及能耗是研究的中心课题。从成本讲,运载一公斤的物体到地球卫星轨道要花费3 000美元。对于星际探索减轻探测器,传感器和控制器的质量是关系到人类能否走出太阳系去了解宇宙之迷。以火星探测器为例,目前的质重是80 kg,体积是50 000 cm³,运转功率是300 W。30年后,飞行器的质量预计为2 g,体积是1 cm³,运转功率是5 mW。如此革命性的小型化会给航天技术带来史无前例的飞跃。纳米结构的材料可以提供质轻、强度高和热性能稳定的优质材料。纳米技术在航空和航天技术中的研究方向为:

- (1)低功耗、防辐射和高性能计算机。
- (2)微型空间飞行器所需要的纳米仪器。
- (3)纳米结构的传感器和纳米电子器件所组成的用于空间探索的发电和电子系统。
- (4)耐摩擦和绝热的纳米涂层材料。
- (5)超硬、耐高温纳米材料。

1.8 环境和能源应用中的纳米材料

纳米技术具有提高能源效率,能量储存,能源再生,能量转换和能源产生等优势。它可以监视和检测环境问题,发展新的可以减少副产品的“绿色”生产过程。纳米技术在环境和能源领域的主要研究方向是:

- (1)清理污染和净化水资源的多孔材料。
- (2)废物处理和回收、消除污染、建绿色环境。
- (3)新型防火塑料材料。
- (4)用于化学、化工、环境的纳米催化材料。
- (5)可以取代金属的高分子——纳米颗粒复合材料。
- (6)取代碳黑具有防磨的有机材料。
- (7)高效率储氢材料。
- (8)高效率电池材料。
- (9)高效率能源转换材料。
- (10)纳米机器的动力和能源系统。
- (11)纳米机器系统的摩擦、润滑、故障分析和非破坏性检测。

1.9 国防建设中的纳米技术

纳米技术必将为国防现代化做出重大贡献。纳米级探测器能使士兵随时随地不受化学和生物武器的攻击。纳米电子技术能使士兵随时可以和卫星保

持联系。士兵的帽子可以被做成天线,衣服可以做成有机物计算机。每一个战士都可以是一个具有通讯,侦探,防卫和进攻于一身的集体。纳米电子技术的发展必将导致导弹技术的飞速发展,例如减少自重,增加射程和提高准确度。纳米技术在国防中的研究方向为:

- (1)高性能通讯和计算机设备。
- (2)基于纳米电子学的新型虚拟训练系统。
- (3)适应于军事应用的高性能自动化和机器人系统。
- (4)迫切需要的探测化学/生物/原子核武器的敏感系统。
- (5)原子核武器的探测、监视和管理系统。
- (6)超灵敏纳米级传感系统。
- (7)高温、高强度、高韧性、耐腐蚀表面涂层材料。
- (8)纳米吸波材料。
- (9)光学窗口和高分辨率远红外探测系统。

2 自然界的纳米技术——我们学习的典范

我前一篇文章^[1]提到了纳米技术有可能是人类历史上的第三次产业革命,它将使人类进入智能化的类生物体系的生产时代。这意味着纳米科技的最高宗旨是制造出类似于动物具有感官,智能,反馈,自修复等高级功能机器的一门技术。这种论述是把纳米科技和生物智能系统做一比拟。在自然界,纳米技术是很普遍的。海洋中的贝壳的结构就是用片状的碳酸钙有规律叠起来的。荷叶和鸭毛不沾水的道理就在于它们的表面有一层疏水的分子薄膜。我们人体就是最好的纳米技术的产物。人类的遗传基因DNA序列做到了原子级的结构精确和完美;如果有一个原子错位就可以导致遗传上的缺陷。人类细胞的再生和自组装,脑细胞的超高记忆能力,神经系统的信息传递和反馈等都是纳米科学的典范。从一个细胞级的受精卵开始,由原子分子级的有序自组装,经过9个月零10天的生长,就可以长成有眼、耳、鼻、舌、身和大脑的婴儿来,我们不能不赞叹自然界的伟大和奇妙。

具有磁判别能力的细菌能够根据地磁场来判别它移动的方向。经分析发现它体内有一行平行排列的Fe₃O₄磁性颗粒,而且它们的磁矩是互相平行的。该磁矩和地磁场的相互作用给它提供了判别南北方向的指南针。可见纳米科技在自然界已有百万年的历史,而我们人类才刚刚开始模仿和学习。

对于中国人,我们的祖先几百年前就有了纳米

技术的产品,古代我们祖先制作的陶瓷瓶,瓶上的红颜色是含有金纳米颗粒的染料,光彩夺目,千年不变。这里用的道理就是金表面等离子体共振峰随着尺寸的减小而发生红移,导致了永久不退色的红色。由此可见,纳米技术也是由来已久。

3 纳米技术的产业化

众所周知,目前的信息产业是由硅半导体技术和集成电路的小型化带动起来的。这一场技术革命最初只是来自一个想法:把器件做小密度就可以提高运算速度减小能耗。然而,由此带来的技术革命可以说不亚于17世纪蒸汽机带来的工业革命。如果未来材料的制造可以控制到一个原子到一个原子以下的精度,那我们将迎来一场更高更深层次,史无前例的技术革命和科学新纪元。然而,前途是光明的,道路是曲折的。一个极其重要的问题是纳米技术产业化什么时候可以实现。这个问题是一个非常难回答的问题,因为纳米技术概括极广,回答这个问题需要根据领域的不同而有所区别。

纳米材料是纳米科学技术的基本组成部份。纳米材料在晶粒尺寸、表面与体内原子数比和晶粒形状等方面与一般材料有很大的不同。这些材料的奇异性能是由其本身原子尺度上的结构、特殊的界面和表面结构所决定的。制造纳米尺度上的材料和器件在电子、光学、催化工程、陶瓷工程、磁存储和纳米复合技术上都有着重要的意义。但纳米技术的研究无论是在基础科学还是在应用技术上都面临着许多新的挑战,任重道远。纳米科学技术的发展主要有以下六大领域:纳米结构的性能;材料合成,制备和控制;表征和操纵;计算机模拟;纳米器件和系统组装与界面匹配。绝大多数有关纳米技术的研究是集中在前5个领域,仍处于基础科学探讨和概念性发展阶段。然而实现产业化决定于系统组装和界面匹配。科学家可以利用一根碳纳米管做成单电子器件,但根本是能否制造出上亿个性能稳定的元件而且可以把它们组装成逻辑电路。只有达到这种程度才能谈得上产业化。目前微电子在一块硅芯片上可以做出上亿个逻辑电路。未来的纳米电子学有可能是把纳米器件和材料同硅集成电路有机的结合起来。众所周知,从半导体晶体管的发明到集成电路的工业化,科学和技术经历了几十年的发展。当然纳米电子学的发展也要很长的时间。

对于磁记录,纳米材料已经得到重大的应用。用钴纳米颗粒组装起来的二维超结构的电学、光学、

电子输运和磁存储不仅由单一纳米晶的性能所决定,而且也由具有长程输运和取向有序化的纳米晶间的相互作用来决定。自组装排列就是将包含在有机涂层内的、选定尺寸的纳米晶自组装成单层、薄膜或超晶格结构。纳米晶间的相互作用是通过吸附在它们表面的有机分子来完成的。通过控制分子链的长度可以改变颗粒间的相互作用,由此导致了可以调控的电学、光学和输运性能。这种结构是有应用前景的超高密度磁记录材料。

应用于平板显示的纳米材料有可能近年内形成产业化。由于碳纳米管所具有的不寻常的结构,使得它们能用于平板显示器上产生场致发射电流。目前可以用简单的工艺制造出定向生长的碳纳米管。碳纳米管显示了在电压作用下,碳纳米管正在发射电子的透射电镜图像,纳米管尖端附近相对暗是由于尖端的电荷以及发射电子所产生的场。有些纳米材料的合成有可能在短期内实现产业化。

在生物工程领域,纳米技术的发展也将是一漫长的过程。这是由生物体系的复杂性和多变性决定的。新药的研制一般需要10年以上的时间。任何医药技术都要经过长时间的临床检验和论证才能投入产业化。但从另一角度,其他纳米技术的发展可以带动生物工程的发展,例如新的生物标本验证技术,新的探测和临床诊断技术等。新的生物材料有可能在近期内应用于医学,例如骨骼的修复,心血管的支撑和扩张技术等。

和其他技术一样,纳米材料的产业化需要考虑以下几个关键因素:

- (1)材料的生产过程是否能实现结构可控和性能可控;
- (2)合成技术是否能实现大规模工业化生产;
- (3)生产的成本是否低;
- (4)是否有自己的知识产权;
- (5)人力、物力、原材料的投资量;
- (6)国内和国外的竞争对手和市场需求;
- (7)企业的长时间生存;
- (8)对当地和国家经济发展的长远和重大影响;
- (9)社会和消费者对纳米技术的认识和接受等。

发展纳米科技应该是我们的长远国策,未来高科技之命脉。目前纳米技术的研究还只是处于初级阶段而且大量的工作是基础研究,实现大幅度产业化任重道远。要取得未来重大的经济效益,坚持长期与持久的投资和研发是关键。研究要重点突出,适合国情,抓长远利益,但不要搞“全民会战”,面

俱到。纳米技术目前是高科技领域内极其严肃的科学问题,来不得半点虚夸。只有不断的追求才会有持久的发展。正确地引导广大消费者对纳米技术的认识有利于未来的发展和推广。从国家制定政策到科研导向,我们必须保持清醒的头脑,“降虚火,务实际”。我们今年将要出版的4本有关纳米材料方面

的书可以作为该领域较好的参考文献^[2]。

参 考 文 献

- [1] 王中林. 纳米科学和纳米技术-挑战和机遇. 《中国科学基金》, 2001, 15(5): 272—275.
- [2] Wang Z L, Liu Y, Zhang Z. Nanophase and Nanostructured Materials. Tsinghua University Press-Kluwer co-publishing, 2001.

NANOSCIENCE AND NANOTECHNOLOGY—THE FUTURE RESEARCH AREAS AND DEVELOPING DIRECTION

Wang Zhongling

(Center for Nanoscience and Nanotechnology, Georgia Institute of Technology, Atlanta, USA)

Abstract This article introduces the key research fields and developing directions in nanotechnology, which include basic research, nanoelectronics and information technology, functional and smart materials, composite materials, nanostructured materials, bioengineering, aerospace and aeronautics, environmental protection, new energy source materials, and national security. The commercialization of nanotechnology is also addressed briefly. It is concluded that the current nanotechnology is still at an early stage and largely remains in fundamental research. A large-scale industrialization is the ultimate goal, and a long term and persistent research and investment are the key to the future success.

Key words Nanotechnology, research direction, industrialization

·资料·信息·

国家自然科学基金委员会将实施“重大研究计划”

为进一步加强国家自然科学基金对提高我国科技持续创新能力的的作用,国家自然科学基金委员会将试点实施“国家自然科学基金重大研究计划”,简称研究计划。研究计划针对某一方面的核心科学研究问题,整合与集成不同学科背景、不同学术思想和不同层次的项目,如面上项目、重点和重大项目,形成具有目标一致的项目群,实施相对长期的资助。实施研究计划的目的是加强学科交叉,升华研究主题,促进原始性的科学创新思想的产生。自然科学基金委在制定和实施各项研究计划中,充分考虑到自由探索与国家目标的关系,鼓励科学家在相应的研究领域取得重大突破和重要的研究成果,同时对研究探索中的失败采取宽容的态度,以营造鼓励创

新和竞争的科学研究氛围。

“十五”期间,国家自然科学基金重大研究计划拟定12—15个,平均每项计划的经费资助强度约4000万元。2002年度国家自然科学基金项目《申请指南》公布了3项研究的2002年度的项目指南。受理时间为2002年2月15日—3月31日。其他计划的项目指南请注意自然科学基金委发布的相关通告文件。

2002年度《项目指南》公布的3项研究计划是:

- (1) 理论物理学及其交叉科学若干前沿问题;
- (2) 网络与信息安全;
- (3) 光电信息功能材料。

(本刊编辑部整理)