

中国纳米科技研究的现状及思考*

白春礼

(中国科学院化学研究所 北京 100080)

十余年前开始发展起来的纳米科技,已成为目前受到广泛关注、最为活跃的前沿学科领域。纳米科技的发展,不仅可以使科学家在纳米尺度发现新现象、新规律,建立新理论,而且还将带来一场工业革命,成为21世纪经济增长的新动力。

1 中国的纳米科技研究

1.1 发展概况

在纳米科技的发展初期,中国的科学家已经开始关注这方面的研究。从1990年开始,中国就“纳米科技的发展与对策”、“纳米材料学”、“扫描探针显微学”、“微米/纳米技术”等方面,召开了数十个全国性的会议。中国科学院还在北京主持承办了第7届国际扫描隧道显微学会议(STM'93)^[1]和第4届国际纳米科技会议(Nano IV)。这些国际和国内会议的举办,为开展国际和国内的学术交流与合作,起到了积极的促进作用。

中国的有关科技管理部门对纳米科技的重要性已有较高的认识,并给予了一定的支持^[2]。中国科学院(CAS)和国家自然科学基金委员会(NSFC)从20世纪80年代中期即开始支持扫描探针显微镜(SPM)的研制及其在纳米尺度上科学问题的研究(1987—1995)。国家科委(SSTC)于1990年至1999年通过“攀登计划”项目,连续10年支持纳米材料专项研究。1999年,科技部又启动了国家重点基础研究发展规划项目(“973”计划)——“纳米材料与纳米结构”,继续支持纳米碳管等纳米材料的基础研究。国家“863”高技术计划,亦设立一些纳米材料的应用研究项目。

据不完全统计,国内有不少于50所高等学校、20个中国科学院研究所开展了纳米科技领域的研究工作。现有与纳米科技相关的企业已达300余家。国家科研机构 and 高等院校从事纳米科技的研究开发人员大约有3000人。整体上国内的纳米科技研究的

面比较宽,点多分散,尚未形成集中的优势。国内已有中国科学院、清华大学、北京大学、复旦大学、南京大学、华东理工大学等单位成立了与纳米科技有关的研究开发中心。纳米科技是多学科综合的新兴交叉学科,在多学科的集成方面,中国科学院、北京大学、清华大学、复旦大学等研究单位占有优势。

中国科学院从20世纪80年代后期开始启动了一系列重大科研计划,组织了中国科学院物理研究所、化学研究所、感光化学研究所、金属研究所、上海硅酸盐研究所、固体物理研究所以及中国科学技术大学等单位,积极投入纳米科学与技术的研究。支持方向有:激光控制下的单原子操纵和选键化学;分子电子学——分子材料和器件基础研究;巨磁电阻材料和物理;纳米半导体光催化和光电化学研究;材料表面、界面和大分子扫描隧道显微学研究;碳纳米管及其他纳米材料研究;人造“超原子”体系结构和物性的研究等等。与此同时,中国科学院还主持或承担了多项国家级重大项目。

2000年,中国科学院组织了有11个研究所参与的“纳米科学与技术”重大项目,作为中国科学院“知识创新工程”支持的重点项目,总投资2500万人民币。项目的主要研究内容是:发展或发明新的合成方法和技术,制备出有重要意义的新纳米材料及器件。希望通过项目的支持,在纳米材料和纳米结构的规模制备,纳米粉体颗粒的分散和表面修饰,纳米材料和纳米复合材料的稳定性,纳米尺度内物理、化学和生物学性质的探测及特异性质的来源以及纳米微加工技术等方面取得重要的进展。

中国科学院在2000年还成立了由其所属的20个研究所组成的中国科学院纳米科技中心,开通了隶属于中心的纳米科技网站^[3],并在化学研究所建成纳米科技楼。纳米科技中心围绕纳米科技领域的重点问题和国家、院重大科技计划,组织分布在不同

* 2001-10-15收到

地域、不同单位的科技人员,利用纳米科技网站与纳米科技中心研究实体,实现有关科研信息、技术软件和仪器设备的共享,体现科研纽带、产业纽带、人才纽带、设备纽带的优势,加强不同学科的交叉与融合,促进自主知识产权成果向产业化的转化,加速高级复合型人才的培养,在统一规划协调下,充分发挥仪器设备的效用。

应该说,中国的纳米科技研究与国外几乎同时起步,在某些方面有微弱优势。从近期美国《科学引文索引》核心期刊发表论文数看,中国纳米科技论文总数位居世界前列。例如,有关纳米碳管方面的学术论文排在美、日之后位居世界第三。但与发达国家相比,除纳米材料外,纳米科技的其他基础研究相对薄弱,研究总体水平还有不小差距,特别是在纳米器件及产业化方面。

1.2 中国纳米科技研究进展

中国的纳米科技研究近些年取得了一些重要进展,某些方面具有自己的优势。

1.2.1 纳米材料

中国对纳米材料的研究一直给予了高度重视,取得了很多成果,尤其是在以碳纳米管为代表的准一维纳米材料及其阵列方面做出了有影响的成果,在非水热合成制备纳米材料方面取得突破,在纳米块体金属合金和纳米陶瓷材料制备和力学性能的研究、介孔组装体系、纳米复合功能材料、二元协同纳米界面材料的设计与研究等方面都取得了重要进展。

在纳米碳管的制备方面,中国科学院物理研究所的科研小组1996年在国际上首次发明了控制多层碳管直径和取向的模板生长方法,制备出离散分布、高密度和高强度的定向碳管^[4],解决了常规方法中碳管混乱取向、互相纠缠或烧结成束的问题。1998年合成了世界上最长的纳米碳管,创造了一项“3mm的世界之最”^[5],这种超长纳米碳管比当时的纳米碳管长度提高1—2个数量级。他们在纳米碳管的力学、热学性质、发光性质和导电性的研究中取得重要进展。世界上最细的纳米碳管也在2000年先后制造出来。先是中国科学院物理研究所的同一小组合成出直径为0.5nm的碳管^[6],接着香港科技大学物理系利用沸石作模板制备了最细的单壁碳纳米管(0.4nm)阵列^[7](与日本的一个小组的结果同时发表^[8]),接着在中国科学院物理研究所和北京大学同时都有职位的一位科学家——彭练矛研究员在单壁碳纳米管的电子显微镜研究中发现电子束的轰击

下,能够生长出直径为0.33nm的碳纳米管^[9]。

清华大学首次利用碳纳米管作模板,成功地制备出直径为3—40nm、长度达微米级的发蓝光的氮化镓—维纳米棒,在国际上首次把氮化镓制备成一维纳米晶体^[10],并提出碳纳米管限制反应的概念。中国科学院固体物理研究所成功研制出纳米电缆,有可能应用于纳米电子器件的连接。

中国科学院金属研究所利用等离子电弧蒸发技术成功地制备出高质量的单壁碳纳米管材料^[11],研究了储氢性能,质量储氢容量可达4%。

在纳米金属材料方面,中国科学院金属研究所的研究小组,在世界上首次发现纳米金属的“奇异”性能——超塑延展性^[12],纳米铜在室温下冷轧可延伸50多倍而“不折不挠”,被誉为“本领域的一次突破”,它第一次向人们展示了无空隙纳米材料是如何变形的。

在纳米无机材料合成方面,中国科学技术大学的科学家发展了溶剂热合成技术,发明用苯热法制备纳米氮化镓微晶,首次在300℃左右制成粒度达30nm的氮化镓微晶^[13]。该小组还采用非水热合成制备金刚石粉末^[14],开辟了一条十分有经济价值的技术路线。

在纳米有机材料及高分子纳米复合材料方面,中国科学院化学研究所,在高聚物插层复合、分子电子学、富勒烯化学与物理以及二元协同纳米界面材料方面取得显著进展,发展了具有自主知识产权的技术,有些已开始走向产业化。

在纳米颗粒、粉体材料的研究方面,中国科学院固体物理研究所自主开发的纳米硅基氧化物(SiO_{2-x}),具有很高的比表面积($\sim 640\text{m}^2/\text{g}$)。他们与企业合作,已建成了百吨级生产线,并在纳米抗菌银粉、新型塑料添加剂、传统涂料改性等方面发挥了重要效用,已推出多项产品上市。华东理工大学在纳米超细活性碳酸钙3000吨/年的工业性实验基础上,建设1.5万吨/年大规模生产线,填补了国内空白。北京科技大学在纳米镍粉制备技术方面取得进展,分别应用于国内最大的镍氢电池公司和日本新日铁公司。北京化工大学于1994年发展了超重力合成纳米颗粒的研究方法,现已建立超重力法合成3000吨/年的纳米颗粒生产线,其规模和技术均为国际领先。天津大学研制纳米铁粉,使我国成为第二个工业化生产纳米金属粉体材料的国家。青岛化工学院在纳米金属铜催化剂的研究开发中已有成功的经验。

目前, 纳米材料粉体生产线吨级以上的有 20 多条, 生产的品种有: 纳米氧化物(纳米氧化锌、纳米氧化钛、纳米氧化硅、纳米氧化锆、纳米氧化镁、纳米氧化钴、纳米氧化镍、纳米氧化铬、纳米氧化锰、纳米氧化铁等)、纳米金属和合金(银、钨、铜、铁、钴、镍、钛、铝、钽、银-铜合金、银-锡合金、钨-锡合金、镍-铝合金、镍-铁合金和镍-钴合金等)、纳米碳化物(碳化钨、碳粉、碳化硅、碳化钛、碳化锆、碳化铌、碳化硼等)、纳米氮化物(氮化硅、氮化铝、氮化钛、氮化硼等)。

从纳米材料的研究情况来看, 研究领域广泛, 投入人员较多, 许多科研单位都参与了纳米材料研究, 形成一支实力雄厚的研究力量。但应该指出, 目前纳米材料研究的基础设施还相对薄弱, 纳米材料的设计与创新能力不强, 生产规模偏小, 自主知识产权不多。为了真正使纳米技术转化为生产力, 应加大纳米材料产业化力量的投入, 尤其要注重纳米科学的工程化研究和纳米材料的应用研究, 鼓励在产业化方面有基础和经验的研究单位与其他研究单位联合或研究单位与企业联合, 使实验室技术尽快转化为生产力, 为国民经济增长作出贡献。

1.2.2 纳米器件

在量子电子器件的研究方面, 我国科学家研究了室温单电子隧穿效应, 单原子单电子隧道结, 室温库仑阻塞效应和高性能光电探测器以及原子夹层型超微量子器件。

清华大学已研制出 100nm ($0.1\mu\text{m}$) 级 MOS 器件, 研制出一系列硅微集成传感器、硅微麦克风、硅微马达、集成微型泵等器件, 以及基于微纳米三维加工的新技术与新方法的微系统。

中国科学院半导体研究所研制了量子阱红外探测器 ($13\text{--}15\mu\text{m}$) 和半导体量子点激光器 ($0.7\text{--}2.0\mu\text{m}$)^[15]。中国科学院物理研究所已经研制出可在室温下工作的单电子原型器件^[16]。西安交通大学制作了碳纳米管场致发射显示器样机。

在有机超高密度信息存储器件的基础研究方面, 中国科学院北京真空物理实验室、中国科学院化学研究所和北京大学等单位的研究人员, 在有机单分子薄膜 NBPDA 上作出点阵^[17], 1997 年, 点径为 1.3nm , 1998 年, 点径为 0.7nm , 2000 年, 点径为 0.6nm , 信息点直径较国外报道的研究结果小近一个数量级, 是现已实用化的光盘信息存储密度的近百万倍。北京大学采用双组分复合材料 TEA/TCNQ 作为超高密度信息存储器件材料, 得到信息点为

8nm 的大面积信息点阵 $3\mu\text{m} \times 3\mu\text{m}$ 。复旦大学成功制备了高速高密度存储器用的双稳态薄膜, 并已经初步选择合成出几种具有自主知识产权的有机单分子材料作为有机纳米集成电路的基础材料。

从纳米器件的研究情况来看, 国内研究纳米器件的科研单位相对比较集中, 研究单位主要集中在北京大学、清华大学、复旦大学、南京大学和中国科学院等研究基础相对较好、设备设施相对齐全的高等学校及科研院所, 但大部分研究单位还停留在纳米器件使用的材料的制备和选择, 以及新的物理现象的研究上。在纳米器件原理及结构研究等基础研究方面力量相对薄弱, 纳米器件的创新能力不强。为了在纳米器件研究方面取得突破性进展, 应加大对纳米器件基础研究的投入, 改善现有实验设备与研究条件, 鼓励各研究单位合作研究, 优势互补, 多学科联合攻关。

1.2.3 纳米结构的检测与表征

中国科学院化学研究所和中国科学院北京真空物理实验室在 20 世纪 90 年代已开始运用 STM 进行纳米级乃至原子级的表面加工^[18], 在晶体表面先后刻写出“CAS”、“中国”和中国地图等文字和图案。中国科学院化学研究所先后研制了 STM, AFM, BEEM, LT-STM, UHV-STM, SNOM 等纳米区域表征的仪器设备^[19], 具有自主知识产权; 开发了表面纳米加工技术, 为纳米科技的研究起到了先导和促进作用。最近, 中国科学院化学研究所在单分子科学与技术及有机分子有序组装方面有了很好的进展^[20], 并开始对单分子器件进行探索性研究。中国科学技术大学进行了硅表面 C_{60} 单分子状态检测^[21], 为分子器件的研制提供了一些基本数据。

北京大学自行研制了 VHU-SEM-STM-EELS 联用系统和 LT-SNOM 系统, 建立了完整的近场光学显微系统——近场光谱与常规光学联用系统, 并用此系统研究了癌细胞的细胞形貌。

我国的纳米科技工作取得了一定的成绩, 尤其是在以碳纳米管为代表的纳米材料的研究方面, 已经步入世界先进行列。而在纳米器件方面的研究工作刚刚起步, 研究工作受条件所限, 研究力量比较薄弱。应建立国家公用技术平台, 提高纳米加工能力, 并加强协调, 组织力量进行多学科攻关, 突破纳米器件关键技术。在纳米材料的研究工作中, 应加强原创性工作, 而应用性研究和工程化研究则应加大投入力度, 使纳米材料尽快产业化, 成为国民经济新的经济增长点。

2001年,由科技部、国家计委、教育部、中国科学院和国家自然科学基金委员会等单位成立了全国纳米科技指导协调委员会,统筹规划全国的纳米科技研究,协调各方面的力量.2001年7月,科技部、国家计委、教育部、中国科学院、国家自然科学基金委员会又联合下发了《国家纳米科技发展纲要》,对今后5—10年我国纳米科技发展的整体布局作了具体的部署,并拟建立全国性的纳米科技研究发展中心和以企业为主体的产业化基地,促进基础研究、应用研究和产业化的协调发展.中国对纳米科技的研究投入,在原有的基础上,可望有进一步的增长.

2 全面理解纳米科技的内涵,促进纳米科技的健康发展

纳米科技在我国骤然变热,说明纳米科技本身所蕴涵的巨大发展潜力得到了社会各界的广泛关注,尤其是企业界的热情参与,应给予充分肯定.这使纳米科技在我国的快速发展具备了比较有利的外部环境.同时,也应该看到,最近一个时期以来,对纳米科技概念的某些误解以及伪纳米产品的出现,使得有些人开始怀疑纳米科技本身正在发生的作用.有关针对纳米科技出现的种种现象提醒从事纳米科技的科技工作者和企业界人士,应该对当前的“热”有清醒的认识,尤其需要对纳米科技的内涵和纳米科技的发展趋势做进一步的思考,防止一些概念上的谬误和炒作损害这一新兴的前沿科技在我国的健康发展.

2.1 全面理解纳米科技的真正内涵

目前社会对纳米科技认识上的偏差,主要体现在对纳米科技内涵理解上的模糊,国内公众大多都只从纳米科技的一个方面,甚至一个次要的方面看待纳米科技,缺乏全面性和系统性.

2.1.1 纳米科技不仅仅是纳米材料的问题

现在国内公众对纳米科技的理解,似乎仅仅是讲纳米材料,其实这是不全面的.主要原因是过去国内科研经费的资助以及有影响的成果的获得,主要集中在纳米材料领域,而且我国目前纳米科技在实际生活中的应用也最先在纳米材料这一领域表现出来.我国现在300余家自称从事纳米科技研发的公司也主要是从事纳米材料,尤其是纳米粉体材料的生产.而有关对社会生活和生产方式将产生最深刻而广泛影响的纳米器件的研究,国内研究开发力量的部署严重不足.国外在此方面的研究虽然主要还

停留在应用基础研究的阶段,但目前已申请了大量的专利,不断抢占战略制高点.我们必须重视纳米器件的研制和纳米尺度的检测与表征的研究工作.如果现在不在这方面加强部署,给予重点支持,将会使我国在世界这一前沿领域的竞争,处于十分被动的局面.

2.1.2 纳米科技不仅仅是传统微加工技术的扩展和延伸

纳米科技的最终目的是以原子、分子为起点,去设计制造具有特殊功能的产品,其技术路线可分为“自上而下”(top down)和“自下而上”(bottom up)两种方式.“自上而下”是指通过微加工或固态技术,不断在尺寸上将人类创造的功能产品微型化,而“自下而上”则是指以原子、分子为基本单元,根据人们的意愿进行设计和组装,从而构筑成具有特定功能的产品,这主要是利用化学和生物学技术.

“自下而上”的制作方式是纳米科技概念最早提出时的核心内涵.1959年,美国科学家费恩曼(诺贝尔奖获得者)在加州理工学院的一次著名演讲中提出:如果人类能够在原子/分子的尺度上来加工材料,制备装置,我们将有许多激动人心的新发现.当2000年人们回顾历史的时候,他们会为直到1959年才有人想到直接用原子、分子来制造机器而感到惊讶.

长期以来,由于对单原子和分子层面现象和规律的研究成果还远不能使科学家随心所欲地用原子、分子构筑任何希望得到的物质(包括控制固态生成物的尺寸、形状、性质),人们还是习惯于从微电子工业的角度出发,通过“自上而下”的方式提高加工精度.预计到2010年,通过目前微加工方式在硅集成电路上的线条宽度和CMOS电路的设计原理将达到极限.要超越量子效应障碍,必须考虑采用其他方式使工业生产适应新的设计原理和纳米尺度的精度标准.因此,“自下而上”的制作方式伴随着纳米科技的迅猛发展将愈来愈受到重视.在这种制作方式中,最为重要的研究方向是实现分子器件自我组装.分子自我组装就是在平衡条件下,分子自发组合而成为一种稳定的、结构确定的、以共价键和非共价键联结的聚集体.分子自组装在生命系统中普遍存在,而且是各种复杂生物结构形成的基础.生物分子马达就是典型的分子机器,它能将生物能或化学能直接转化为机械能做功.现在科学家借助计算机模拟,或利用化学和生物技术,已成功地设计和制造出一些具有特定形状和性质的分子装置.因此,纳米技术

并不仅仅是传统微加工技术的扩展和延伸。在目前,我们应在鼓励“自上而下”和“自下而上”两种技术路线结合的同时,注重“自下而上”方法的探索。

2.1.3 纳米材料不仅仅是颗粒尺寸减小的问题

一些人理解的纳米科技,认为与微米技术相比仅仅是尺寸缩小、精度提高的问题,检验一项技术或产品只要看它是否是纳米量级即可。当然这种认识是比较片面的,纳米科技的重要意义最主要的体现是在这样一个尺寸范围内,其所研究的物质对象将产生许多既不同于宏观物体也不同于单个原子、分子的奇异性质,或对原有性质有十分显著的改进和提高。

导致纳米材料产生奇异性能的主要限域效应有比表面效应、小尺寸效应、界面效应和宏观量子效应等。这些效应使纳米体系的光、电、热、磁等物理性质与常规材料不同,出现许多新奇特性。

因此,判断纳米材料,不仅仅是看是否颗粒在纳米量级,而重要的是要检测它在这一尺寸下,是否发生了性能的改变或原有性能有十分显著的提高。由此可见,纳米材料的颗粒尺寸也应该均匀分布。如果颗粒尺寸分布的范围很广,甚至只有少部分颗粒尺寸在纳米级,材料整体性质就不会有显著变化。

2.1.4 应十分重视纳米尺度的表征和检测工作

在当前纳米科技概念中,似乎忽视了纳米尺度的表征和检测。但是,这项工作是纳米科技研究和发展的、理论和实验的重要基础。纳米尺度是如此之小,没有重要的工具和系统的表征和检测,纳米科技研究只能是一句空话,伪纳米产品也会乘虚而入。

20世纪80年代初出现的纳米科技研究的重要手段——扫描隧道显微镜(STM)、原子力显微镜(AFM)等微观表征和操纵技术对纳米科技的发展起到了积极的促进作用。参与美国纳米科技规划的有关科学家甚至将STM问世之日当作纳米科技创立之时。他们把STM、AFM等扫描探针显微镜(SPM)形象地称为纳米科技的“眼”和“手”。

所谓“眼睛”,即可利用SPM直接观察原子、分子以及纳米粒子的相互作用与特性,以表征纳米器件。所谓“手”,是指SPM可用于移动原子、分子,构造纳米结构,在纳米尺度上研究它们之间的相互作用,为科学家提供在纳米尺度下研究新现象、提出新理论的微小实验室,为微型器件的构造提供了研究手段。除SPM外,我们应该重视开发其他实时、在线检测和表征技术,为纳米科技的研究提供必不可少的检测手段。

2.2 纳米时代何时来临

纳米时代应是纳米技术产生像当今信息技术那样对人类生活和生产方式产生广泛而深刻影响的时代。因此我们说,纳米器件的研制水平和应用程度是人类进入纳米科技时代重要的标志。纳米技术现在的发展水平只相当于计算机和信息技术在20世纪50年代的发展水平。人们研究基本的纳米尺度现象的工具和对这些现象的理解水平还只是初步的。要想实现纳米技术的目标,尚有很多基础科学问题需要解答,包括对分子自组装的理解,如何构造纳米器件,复杂的纳米结构系统是如何运作的等等。只有在物理、化学、材料科学、电子工程学以及其他学科的很多方面得到充分的发展情况下,才能真正地形成一项具体的纳米技术。前不久,美国Science杂志引用一位科学家的话,认为现在还没有一项真正成熟的纳米技术就是基于这种对纳米技术真正内涵的理解。

尽管我们离纳米时代的来临,还有一段路要走,但不能武断地认为纳米科技不同方面和不同阶段的所有成果,还都是停留在实验室阶段的科学家自己的事情,与整个社会无关。或者说当今时代就没有纳米科技的产品,所谓纳米技术产品都是商业炒作或者欺诈行为。

据国外资料统计,2000年全球仅纳米材料市场就达750亿美元,如包括部分采用纳米技术的与电子元器件相关的产品,纳米技术市场可达3750亿美元。这包括在磁性信息存储领域,巨磁阻现象的发现和应。在基本的巨磁阻现象发现的十年内,这项技术已完全替代了在1998年拥有340亿美元市场的旧磁盘计算机磁头。德国科技部预期到2010年,纳米技术市场将达到14400亿美元。企业为开拓巨大的潜在市场正加强技术储备,努力占领战略制高点。由于目前的纳米科技,尤其是纳米材料在改造传统产业方面所表现的投入少、见效快、市场前景广阔等特点,在以传统产业为主的我国企业内比较容易推广,因此,纳米材料的应用已得到我国企业界的热情响应,这为纳米科技在中国发展奠定了重要的动力基础。诺贝尔奖获得者海·罗雷尔在1993年就指出,“许多人认为纳米科技仅仅是遥远的未来基础科学的事情,而没有什么实际意义。但我确信纳米科技现在已具有与150年前微米科技所具有的希望和重要意义。150年前,微米成为新的精度标准,并成为工业革命的技术基础,最早和最好地学会并使用微米技术的国家都在工业发展中占据了巨大的优势。同

样,未来的技术将属于那些明智地接受纳米作为新标准、并首先学习和使用它的国家。”

美国一家公司预测纳米技术发展将经历以下五个阶段:

◆第一阶段是要准确地控制原子数量在 100 个以下的纳米结构物质,这需要使用计算机设计/制造技术和现有工厂设备、超精密电子装置,这一阶段的市场规模约为 5 亿美元。

◆第二阶段是生产纳米结构物质,在这个阶段,纳米结构物质和纳米复合材料的制造将达到实用化水平,其中包括从有机碳酸钙中制取的有机纳米材料,其强度将达到无机单晶材料的 3000 倍,该阶段的市场规模在 50 亿—200 亿美元之间。

◆第三阶段,大量制造复杂的纳米结构物质将成为可能,这要求有高级的计算机设计/制造系统、目标设计技术、计算机模拟技术和组装技术等,本阶段的市场规模将达到 100 亿—1000 亿美元。

◆第四阶段,纳米计算机将得以实现,这一阶段的市场规模将达到 2000 亿—1 万亿美元。

◆第五阶段,将研制出能够制造动力源与程序自律化的元件和装置,市场规模将高达 6 万亿美元。

该公司预期在 2010 年之前,纳米技术有可能发展到第三阶段,超越“量子效应障碍”的技术将达到实用化水平。

纳米科技对于人类生产和生活方式将产生重大的影响,对促进传统产业的改造和升级意义重大,并且纳米科技将有可能引发下一场工业革命,成为 21 世纪经济的新增长点,纳米科技的兴起,对我国提出了严峻的挑战,也为我国实现跨越式发展提供了难得的机遇。

为此,我们应该避免对纳米科技的一些认识误区,杜绝炒作,抓住机遇,坚持“有所为,有所不为”的方针,发挥优势,突出特色,要加强研究基地的建设,改善基础设施条件,增加科技专项的投入,同时要十分重视知识产权的保护,纳米材料是纳米科技的基础,我国已有相当的基础,这方面的布局应更注重与产业化的结合,尤其是与传统产业结合,积极吸纳企业的参与与投入,纳米器件的研究水平和应用程度标志着一个国家纳米科技的总体水平,对信息产业及社会、经济、国防的关联度最大,需要的投入也最大,而我国在这方面投入最少,基础薄弱,应积极组织力量,以明确的应用目的为目标,但在近 20 年内还是以基础研究和应用基础研究为主,纳米区域性

质的探测、表征是纳米材料和纳米器件研究与发展的实验基础和必要条件,应在重视基础和应用研究的同时,兼顾与产业化的结合。

推动科技成果产业化的主体是企业,应该积极鼓励企业参与纳米科技的发展,使企业界对纳米科技持续关注的根本所在是:一要以国家目标与市场需求相结合,加强基础研究和应用研究,促使纳米科技的成果能够源源不断地涌现;二是要重视和加强纳米科技市场的培育,对纳米技术产品的技术标准问题给予高度重视,目前纳米技术产品在社会上出现的混乱状况,核心问题是没有技术标准,在这方面,国家有关部门应给予充分的重视。

参 考 文 献

- [1] Bai C L, Colton R, Kuk Y eds. Papers from the 7th International Conference on Scanning Tunneling Microscopy/Spectroscopy. New York: The American Institute of Physics, 1994
- [2] Bai C L. J. Aerosol Sci., 1998, 29: 751
- [3] 中国科学院纳米网站的网址: <http://www.casnano.net.cn>; <http://www.casnano.org.cn>; <http://www.casnano.com.cn>; <http://www.casnano.ac.cn>
- [4] Li W Z, Xie S S, Qian L X *et al.* Science, 1996, 274: 1701
- [5] Pan Z W, Xie S S, Chang B H *et al.* Nature, 1998, 394: 631
- [6] Sun L F, Xie S S, Liu W *et al.* Nature, 2000, 403: 384
- [7] Wang N, Tang Z K, Li G D *et al.* Nature, 2000, 408: 50
- [8] Qin L, Zhao X, Hirahara K *et al.* Nature, 2000, 408: 50
- [9] Peng L M, Zhang Z L, Que Z Q *et al.* Phys. Rev. Lett., 2000, 85: 3249
- [10] Han W Q, Fan S S, Li Q Q *et al.* Science, 1997, 277: 1287
- [11] Liu C, Fan Y Y, Cheng H M *et al.* Science, 1999, 286: 1127
- [12] Lu L, Sui M L, Lu K. Science, 2000, 287: 1463
- [13] Xie Y, Qian Y T, Wang W Z *et al.* Science, 1996, 272: 5270
- [14] Li Y D, Qian Y T, Liao H W *et al.* Science, 1998, 281: 246
- [15] Pan D, Zeng Y P, Kong M Y *et al.* Electronics Letters, 1996, 32: 1726; Wang Z G, Liu F Q, Lian J B *et al.* Science in China A, 2000, 43: 861
- [16] Wang T H, Li H W, Zhou J M. Appl. Phys. Lett., 2001, 78: 2160; Wang T H, Aoyagi Y. Appl. Phys. Lett., 2001, 78: 634
- [17] Gao H J, Sohlberg K, Xue Z Q *et al.* Phys. Rev. Lett., 2000, 84: 1780
- [18] Wang C, Bai C L *et al.* Appl. Phys. Lett., 1996, 69: 348
- [19] Bai C L. Scanning Tunneling Microscopy and its Applications. Heidelberg: Springer-Verlag, 1995, Second Ed., 2000
- [20] Qiu X *et al.* J. Am. Chem. Soc., 2000, 122: 5550; J. Phys. Chem. B, 2000, 104: 3570
- [21] Hou J G *et al.* Nature, 2001, 409: 304; Phys. Rev. Lett., 1999, 83: 3001