

纳米科学与技术



面向2020年社会需求的 纳米科技研究

〔美〕米黑尔·罗科 查德·米尔金 马克·赫尔萨姆 主 编
白春礼 等 译



科学出版社



国家出版基金项目
NATIONAL PUBLICATION FOUNDATION

化学工业出版社

纳米科学与技术

面向2020年社会需求的纳米科技研究

米黑尔·罗科

[美] 查德·米尔金 主编

马克·赫尔萨姆

白春礼 等 译

FB383
235

科学出版社

北京

图字: 01-2014-5705 号

内 容 简 介

纳米科技作为新兴的前沿科技领域,是全球关注的焦点,正在对社会未来的发展产生重要影响。本书为美国国家自然科学基金会出版的科技政策报告。全书共 13 章,涉及纳米科技的各个领域,包括理论计算、纳米制造、生物医学、能源存储、环境健康与安全等,全面总结了过去十年纳米科技的成就,规划了未来十年纳米科技的发展计划和重点领域。目前国内尚缺少系统探讨这些课题的专著,译者为了推动我国纳米科技的发展,让更多的相关人员受益,尝试翻译此书。

本书内容可供我国从事纳米科技工作的科研人员、管理人员和政策制定者阅读和参考。

Translation from English language edition:

Nanotechnology Research Directions for Societal Needs in 2020

by Mihail C. Roco, Chad A. Mirkin and Mark C. Hersam

Copyright © WTEC, 2011

Published by Springer Science+Business Media B. V.

Springer Science+Business Media B. V. is a part of Springer Science+Business Media

图书在版编目(CIP)数据

面向 2020 年社会需要的纳米科技研究 / (美)罗科(Roco, M. C.)等主编;白春礼等译. —北京:科学出版社,2014. 8

(纳米科学技术 / 白春礼主编)

书名原文: *Nanotechnology research directions for societal needs in 2020*

ISBN 978-7-03-041851-7

I. ①面… II. ①罗… ②白… III. ①纳米技术-研究 IV. ①TB303

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 206186 号

丛书策划:杨震 / 责任编辑:杨震 张淑晓 刘冉 孙静惠

责任校对:郭瑞芝 / 责任印制:钱玉芬 / 封面设计:陈敬

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

中国科学院印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2014 年 8 月第 一 版 开本:720×1000 1/16

2014 年 8 月第一次印刷 印张:38 1/2

字数:850 000

定价:150.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

《纳米科学与技术》丛书编委会

顾 问 韩启德 师昌绪 严东生 张存浩

主 编 白春礼

常务副主编 侯建国

副主编 朱道本 解思深 范守善 林 鹏

编 委 (按姓氏汉语拼音排序)

陈小明 封松林 傅小锋 顾 宁 汲培文 李述汤

李亚栋 梁 伟 梁文平 刘 明 卢秉恒 强伯勤

任咏华 万立骏 王 琛 王中林 薛其坤 薛增泉

姚建年 张先恩 张幼怡 赵宇亮 郑厚植 郑兰荪

周兆英 朱 星

《面向 2020 年社会需求的纳米科技研究》

译 者

纳米技术的发展远景:美国国家纳米计划(NNI)十年	白春礼
第 1 章 研究方法:理论、建模与模拟	侯建国
第 2 章 创新性研究用检测工具:方法、仪器与计量	朱 星
第 3 章 结构、器件、系统的合成、加工和制造	薛增泉
第 4 章 纳米技术环境、健康与安全性问题	赵宇亮
第 5 章 纳米技术与可持续发展:环境、水、粮食、矿产和气候	江桂斌
第 6 章 纳米技术与可持续发展:能源的转换、储存和保护	范守善
第 7 章 纳米技术应用:纳米生物系统、医学和健康	顾 宁
第 8 章 纳米技术应用:纳米电子学与纳米磁学	祝世宁
第 9 章 纳米技术应用:纳米光子学和表面等离激元学	沈 健
第 10 章 纳米技术应用:纳米材料催化	洪茂椿
第 11 章 纳米技术应用:高性能材料和潜在的领域	江 雷
第 12 章 在纳米科学与工程领域发展人力资源和物质基础设施	陈运法
第 13 章 推动社会发展的纳米技术创新与负责任的治理	王国豫 解思深
摘 要	吴树仙
统 稿	赵宇亮 吴树仙

《纳米科学与技术》丛书序

在新兴前沿领域的快速发展过程中,及时整理、归纳、出版前沿科学的系统性专著,一直是发达国家在国家层面上推动科学与技术发展的重要手段,是一个国家保持科学技术的领先权和引领作用的重要策略之一。

科学技术的发展和应用,离不开知识的传播:我们从事科学研究,得到了“数据”(论文),这只是“信息”。将相关的大量信息进行整理、分析,使之形成体系并付诸实践,才变成“知识”。信息和知识如果不能交流,就没有用处,所以需要“传播”(出版),这样才能被更多的人“应用”,被更有效地应用,被更准确地应用,知识才能产生更大的社会效益,国家才能在越来越高的水平上发展。所以,数据→信息→知识→传播→应用→效益→发展,这是科学技术推动社会发展的基本流程。其中,知识的传播,无疑具有桥梁的作用。

整个 20 世纪,我国在及时地编辑、归纳、出版各个领域的科学技术前沿的系列专著方面,已经大大地落后于科技发达国家,其中的原因有许多,我认为更主要的是缘于科学文化的习惯不同:中国科学家不习惯去花时间整理和梳理自己所从事的研究领域的知识,将其变成具有系统性的知识结构。所以,很多学科领域的第一本原创性“教科书”,大都来自欧美国家。当然,真正优秀的著作不仅需要花费时间和精力,更重要的是要有自己的学术思想以及对这个学科领域充分把握和高度概括的学术能力。

纳米科技已经成为 21 世纪前沿科学技术的代表领域之一,其对经济和社会发展所产生的潜在影响,已经成为全球关注的焦点。国际纯粹与应用化学联合会(IUPAC)会刊在 2006 年 12 月评论:“现在的发达国家如果不发展纳米科技,今后必将沦为第三世界发展中国家。”因此,世界各国,尤其是科技强国,都将发展纳米科技作为国家战略。

兴起于 20 世纪后期的纳米科技,给我国提供了与科技发达国家同步发展的良好机遇。目前,各国政府都在加大力度出版纳米科技领域的教材、专著以及科普读物。在我国,纳米科技领域尚没有一套能够系统、科学地展现纳米科学技术各个方面前沿进展的系统性专著。因此,国家纳米科学中心与科学出版社共同发起并组织出版《纳米科学与技术》,力求体现本领域出版读物的科学性、准确性和系统性,全面科学地阐述纳米科学技术前沿、基础和应用。本套丛书的出版以高质量、科学性、准确性、系统性、实用性为目标,将涵盖纳米科学技术的所有领域,全面介绍国内外纳米科学技术发展的前沿知识;并长期组织专家撰写、编辑出版下去,为我国

纳米科技各个相关基础学科和技术领域的科技工作者和研究生、本科生等,提供一套重要的参考资料。

这是我们努力实践“科学发展观”思想的一次创新,也是一件利国利民、对国家科学技术发展具有重要意义的大事。感谢科学出版社给我们提供的这个平台,这不仅有助于我国在科研一线工作的高水平科学家逐渐增强归纳、整理和传播知识的主动性(这也是科学研究回馈和服务社会的重要内涵之一),而且有助于培养我国各个领域的人士对前沿科学技术发展的敏感性和兴趣爱好,从而为提高全民科学素养作出贡献。

我谨代表《纳米科学与技术》编委会,感谢为此付出辛勤劳动的作者、编委会委员和出版社的同仁们。

同时希望您,尊贵的读者,如获此书,开卷有益!



中国科学院院长

国家纳米科技指导协调委员会首席科学家

2011 年 3 月于北京

前 言

至 2020 年纳米技术的影响、经验教训以及国际形势展望

随着科学发现和创新步伐的不断加快,纳米技术的跨学科特点日渐凸显。这一技术推动了知识、能力和投资领域的不断融合,为新兴技术树立了一个典范。纳米技术这一概念衍生自物理、化学、生物以及工程学的大量发现成果,其形成可追溯至 2000 年左右。最初,全球科学界和社会各界的研究工作聚焦于两大方面:①根据纳米尺度物质的特殊行为以及对这些行为进行系统控制和设计的能力对纳米技术进行综合性定义^①;②设立纳米技术从研发到造福社会的长期愿景和目标^②,其中包括陆续推出四代纳米产品的二十年愿景^③。纳米技术的定义和长期愿景为美国的“国家纳米计划(NNI)”(2000 年提出)奠定了坚实基础,同时日本、韩国、欧盟、德国、中国大陆和中国台湾也由此针对该领域部署了持续的研发计划。2001~2004 年间,有 60 多个国家启动了国家级的纳米技术研发计划。2006 年,在第二代纳米技术产品面市后,俄罗斯、巴西、印度和一些中东国家掀起了新一轮的研发投资热潮。美国的纳米技术规划取得了显著成效:自 2000 年以来,NNI 累计投资超过 120 亿美元,其中仅 2010 年投资就高达 18 亿美元,使其成为仅次于太空计划的民用科技投资项目^④。

本书简要地叙述了过去十年中纳米技术在基础知识和基础设施建设方面的发展,同时探讨了 2020 年以后美国 and 全球纳米技术企业的发展潜力,旨在重新定义纳米科学与工程学融合的研发目标,在未来十年中使纳米技术成为一项通用技术。书中的纳米技术未来愿景借鉴了美国该领域专家的科学见解、过往的经验教训,此外,由本书主要作者主办或联合主办的五次国际头脑风暴会议中,来自 35 个国家

① 在一项国际基准研究中提出:Siegel, R., E. Hu, and M. C. Roco, eds. 1999. *Nanostructure and Technology*. Washington DC: National Science and Technology Council. 此外,由 Springer 在 1999 年出版。

② Roco, M. C., R. S. Williams, and P. Alivisatos, eds. 1999. *Nanotechnology research direction: Vision for the next decade*. IWGN Workshop Report 1999. Washington DC: National Science and Technology Council. 此外,由 Springer 在 2000 年出版。可提供网上下载: <http://www.wtec.org/loyola/nano/IWGN.Research.Directions/>.

③ Roco, M. C. 2004. Nanoscale science and engineering: Unifying and transforming tools. *AIChE J.* 50(5):890-897.

④ Lok, C. 2010. Small Wonders. *Nature* 467:18-21

的参与者也提供了宝贵的全球视野^①。本书已在网站 <http://wtcc.org/nano2/> 上发布,得到了来自同行以及社会各界的热切关注。本书的目的是从社会视角出发,为学术界、工业界和政府部门的决策者提供有关纳米技术研发的生产和社会使命的参考。

自纳米技术的定义和长期愿景被人们接受以来的短短十年中,NNI 和世界各地的其他计划在科学发现方面取得了显著成效,包括深入了解最小生物体结构,揭示纳米级物质的行为和功能,为设备和系统建立纳米结构基础单元库。在此期间取得的大量研发成果包括原有领域(如先进材料、生物医学、催化、电子学和制药等)的技术突破、新领域(如能源和水净化、农业、林业等)的扩展以及与其他新兴领域(如量子信息系统、神经形态工程以及合成和系统纳米生物学)的融合。自旋电子学、等离激元学、超材料和分子纳米系统等新领域相继崭露头角。“纳米制造”已踏上征程,并将逐渐成为经济重心。纳米技术充分利用了多学科专业团体的大量基础设施、先进仪器、用户设施、计算资源、正规和非正规教育资产以及纳米技术社会利益的相关扶持政策。沟通、协调、研究和监管工作在纳米技术的伦理、法律和社会影响(ELSI)以及环境、健康与安全(EHS)问题等方面已见成效。

许多纳米技术已经开始影响市场:目前,美国的纳米产品市值估计约为 910 亿美元,全球市值约 2 540 亿美元。除此之外,目前的发展还预示着新的经济影响:根据当前发展趋势,全球纳米技术产品和从业人员数量将每三年翻一番,截至 2020 年,市值将达到 3 万亿美元,从业人数 600 万人。该领域的治理工作已稳步扩大,除了推动科学发现和技术创新外,还积极解决了负责任地发展一项新技术所面临的众多复杂问题,从而促进社会创新。纳米技术研发充满国际合作与激烈竞争,并已成为所有发达国家以及部分发展中国家的一项社会经济目标。

尽管如此,纳米科学、工程和技术尚处于形成阶段,未来以及在新兴技术领域仍有巨大潜力有待挖掘。在未来十年中,几个关键科技领域的远大目标包括用于纳米结构直接测量的 X 射线源亮度提高约 5 000 倍以及纳米结构的计算能力提高约 10 000 倍。未来十年的重点领域包括:

- 将纳米尺度和纳米组件知识融入具有确定性和复杂行为的纳米系统,旨在打造全新产品。
- 更好地控制分子自组装、量子行为,新分子的创造以及纳米结构与外部磁场的相互作用,通过建模和计算设计制造材料、设备和系统。
- 了解生物过程、纳米生物与非生物材料之间的接触面及其生物医学和健康/安全应用,以及用于自然资源可持续发展和纳米制造的纳米技术解决方案。
- 通过治理工作加大创新力度,增加公私合作;监督纳米技术的安全性和公平

^① 要获取更多信息,可参见附录 A U. S. and International Workshops.

性,在新生模型基础上解决 EHS、ELSI、多方利益以及公众参与等问题;在向新一代纳米产品过渡的过程中增加国际合作。持续提供教育、人力资源准备和基础设施支持仍是当务之急。

总体而言,在未来十年的第一阶段中,物质的系统控制以及纳米尺度创新力度将呈加速发展态势,尤其是未来五年,技术领域和全社会将迎来一场翻天覆地的变革。纳米技术已经开始左右从电子业到纺织业等众多行业的发展;到 2020 年,纳米技术将成为一项通用技术,与大部分常用技术和应用实现无缝集成,在经济和巨大潜力的推动下,为医学、生产力、可持续发展以及人类生活质量提供前所未有的解决方案。

摘 要

纳米技术是在纳米范围内对物质进行控制和重组(在原子和分子水平,尺寸范围约 1~100 nm),旨在建立较小的结构,使材料、设备和系统具有全新特性和功能。根据 1999 年的“Nano1”报告《纳米技术研究方向:未来十年纳米技术愿景》的描述,纳米技术是一个包罗万象的多学科领域,预计到 2020 年将实现大规模使用,并为教育、创新、学习和管理开辟一条新途径——该领域有望彻底改变人类生活的众多方面。^① 纳米技术会对我们生活的方方面面产生巨大影响,例如生活方式、健康水平、生产产品、互动和通信方式、生产和利用新能源的方式以及环境保护方式。

自美国国家科学和技术委员会首度在其报告“Nano1”中提出纳米技术前景,迄今已有十年光景。在过去十年中,纳米技术的研发取得了惊人的进步,并清楚地向我们展示了其潜力。此次新报告(“Nano2”)考察了该领域过去十年中的进展,并揭示了未来十年纳米技术在美国以及全球的发展机遇。报告总结了 2000 年至今的投资成果,但更为重要的是描述了未来十年及以后纳米技术研发的预期目标,以及如何在社会需求和其他新兴技术的背景下实现这些目标。

在 2010 年 3 月到 7 月举办的四次论坛中,美国代表以及超过 35 个其他经济体代表中的学术界、工业界和政府部门中的著名专家各抒己见,“Nano2”报告对这些真知灼见进行了汇总。这一切始于美国芝加哥城举办的一次头脑风暴会议,并在一系列美国跨国研讨会的推动下不断前进,包括德国汉堡(欧盟和美国代表出席)、日本东京(日本、韩国、中国台湾和美国代表出席)以及新加坡(新加坡、澳大利亚、中国、印度、沙特阿拉伯和美国代表出席)。与会者来自不同专业领域,包括物理和生物科学、工程学、医学、社会科学、经济学和哲学。

关键词: 纳米科学与工程 教育研究与创新 预见 管理 社会影响 国际视角

内 容 提 要

本书总结了 2000~2010 年纳米技术取得的进展,并提出了 2010~2020 年的

^① Roco, M. C., R. S. Williams, and P. Alivisatos, eds. 1999. *Nanotechnology research directions: IWGN workshop report. Vision for nanotechnology R&D in the next decade*. Washington, DC: National Science and Technology Council. 此外,由 Springer 在 2000 年出版。

发展愿景,主要包括四大方面:

- 1) 纳米技术的研究、合成和制造方法以及工具;
- 2) 纳米技术的安全与可持续发展,包括环境、健康与安全(EHS)的各个方面以及为能源、水、粮食、矿产和气候创造一个可持续发展的环境;
- 3) 推动生物系统和医药、信息技术、光子学和等离光学、催化和高性能材料、设备和系统等发展的纳米技术应用;
- 4) 社会意义,包括教育、物质基础设施投资以及为社会利益进行的纳米技术监管。

本书针对学术团体、私营部门、政府机构以及一般的纳米技术利益相关者,主要目的是为纳米技术研发项目规划提供资料,促进这一新兴领域的生产、使用和管理。有关 2000 年至今纳米技术的发现和成果以及至 2020 年的目标请参阅本摘要后附的表 I,表格按照上述四类进行排列。除此之外,四幅附图(Ⅱ~Ⅴ)生动地说明了几个极具影响力的纳米技术应用(电子学、生物医学和催化剂)以及截至 2010 年美国为促进纳米技术发展而进行的基础设施投资。

2000 年至今的研究进展

2000 年至今,以下领域产生了强劲发展,这一点在论坛参与者们之间达成了广泛共识。

概况

- 纳米科学、纳米工程和纳米技术应用的可行性和社会重要性得以确认,消除了极端赞成和极端否定的预测。1999 年“Nano1”报告提出了统一的定义和愿景,在此基础上,科学基础和物质基础设施取得了长足发展。

- 纳米技术已被视为革命性的科学和技术领域,与电力、生物技术、数字信息革命相比肩。2001~2008 年,发现、发明、纳米技术从业人员、研发资助计划和市场的数量均有所增加,年均增长率达到 25%。2009 年,全球纳米产品市场总额约达 2540 亿美元(见图 I 及第 13 章)。

方法与工具

- 新仪器可在工程相关领域实现原子精度的飞秒测量。已实现分子电子密度的单声子光谱和亚纳米级测量。单原子和单分子表征方法已经出现,研究人员能够通过以前不可能实现的方法来探测纳米结构的复杂性和动态性(见第 2 章)。

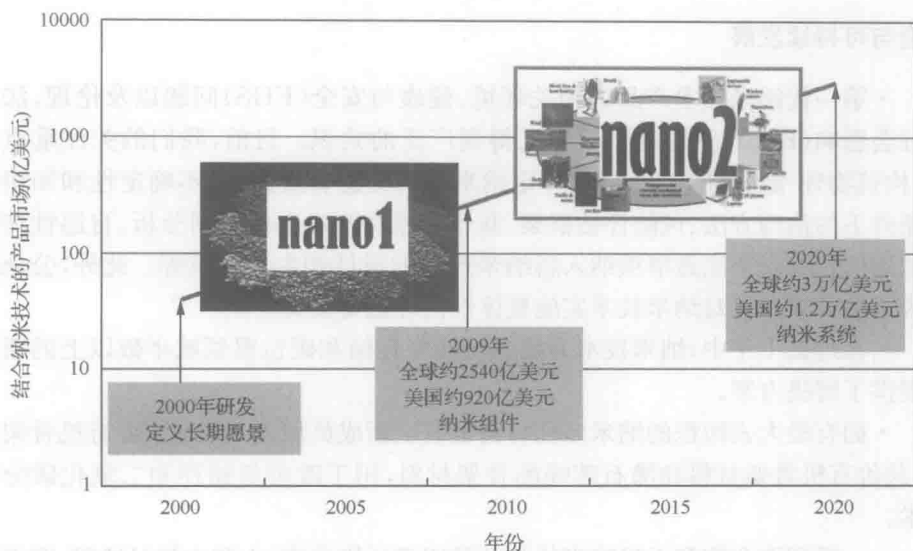


图 I 结合纳米技术的最终产品市场：2000~2020 年长期愿景(实线，请参阅后文“纳米技术的发展远景：美国国家纳米计划(NNI)十年”)和 2009 年结果(Lux Research 的调查结果，第 13 章)。研发工作重点由 2000~2010 年(图中的 Nano1)的重要发现转向 2010~2020 年(图中的 Nano2)的基本研究和系统研究

• 基本原理模拟中的原子组合相较于 2000 年超过 100 倍，而且目前一些聚合物和其他纳米结构已实现了“材料设计”(见第 1 章)。

• 在纳米材料的基本结构和功能研究的影响下，研究人员发现了一些重要的新现象，例如等离子、红外/可见光波段的负折射率、卡西米尔力(Casimir force)、纳流控芯片、纳米图案成形、原子之间的信息传输以及纳米级的生物互动。其他纳米级现象得以更好地理解 and 量化，如量子限域、多价性和形状各向异性等，为新的科学和工程领域奠定了基础。

• 自旋转移(使用自旋极化电流改变纳米磁体磁化方向的技术)的发现是其中一个范例，这一发现对存储器、逻辑电路、传感器和纳米振荡器产生了巨大影响。在此背景下诞生了一类全新设备，以开发旋转力矩转移随机存取存储器(STT-RAM)的全球热潮为例，该设备在未来十年中将实现完全商业化。

• 以低于 50nm 的分辨率在较大表面上打印一个分子或纳米结构的扫描探针工具在研究和商业环境下已成为现实。这为开发真正的“桌面制造(desktop fab)”能力创造了条件，使科研人员和企业能够从实用角度出发，快速地开发原型和评估纳米材料或设备。

安全与可持续发展

• 第一代纳米技术产品的相关环境、健康与安全(EHS)问题以及伦理、法律和社会影响(ELSI)问题的重要性已得到广泛的共识。目前,我们的关注重点包括:构筑物理-化学-生物学解释、特定纳米材料的监管挑战、在不确定性和知识差距条件下的治理方法、风险评估框架、基于专家判断的生命周期分析、自愿性准则的使用以及将安全注意事项纳入新纳米产品的设计和生阶段等。此外,公众参与决策的方式以及对纳米技术实施整体性治理也备受关注。

• 在过去十年中,纳米技术为能源转换与存储和碳包覆领域半数以上的新项目提供了解决方案。

• 拥有极大表面积的纳米多孔材料也有全新成员加入,包括金属-有机骨架材料、共价有机骨架材料和沸石咪唑酯骨架材料,用于改善氢储存和二氧化碳分离技术。

• 一系列聚合物和无机纳米纤维及其用于环境分离(水和空气过滤膜)和催化处理的复合材料已得到综合利用。此外,还诞生了一系列纳米复合膜、纳米吸附剂和具有氧化还原活性的纳米粒子,用于水净化、溢油处理和环境整治。

纳米技术应用

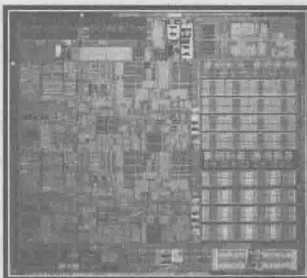
• 目前,很多应用都采用相对简单的“被动式”(稳定功能)纳米结构元件,目的是确保产品的可用性或对其进行改善(例如纳米颗粒增强复合材料)。然而自2005年以来,为了应对现有技术无法满足的需求,人们引进了采用“主动式”纳米结构和设备的先进产品(例如护理点的分子诊断工具和以挽救生命为目的的靶向药物治疗)。

• 全新类型的材料应运而生,科学和技术方面发生了翻天覆地的变化,包括各类组合物、多价贵金属纳米结构、石墨烯、超材料、纳米线超晶格以及一系列其他粒子组合物的一维纳米线和量子点。在此基础上,纳米结构周期表得以建立,其中各条目根据粒子的组成、大小、形状和表面功能进行定义。

• 多功能库诞生,囊括了推动该领域发展的新纳米结构和表面图案化方法,包括各种纳米粒子、纳米层、纳米结构聚合物、金属、陶瓷和复合材料、光学和“蘸笔”纳米光刻技术、纳米压印光刻技术以及制造石墨烯和其他纳米片的卷对卷工艺等商业化系统。这就是说,从表征方法、合成和制造的经验水平以及复杂纳米系统的开发来看,纳米技术仍处于形成阶段。要突破这些限制条件还需要进行更多的基础研究。

nano2

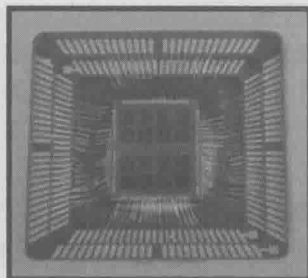
II. 2010 年, 纳米电子元件和纳米磁性元件被纳入一般计算机和通信设备的生产



Intel公司开发的 32 nm 互补金属氧化物半导体 (CMOS) 处理器技术 (2009年) 该处理器采用了高 κ 金属栅极(栅极长度为 30 nm)。该技术用于制造各类笔记本电脑、台式机和服务器计算机系统所需的集成电路(IC)芯片, 可大大提高速度和密度并降低功耗。



Freescall公司开发的90 nm 薄膜存储器 (TFS) Flash Flexmemory (2010年) 该存储器采用纳米晶硅薄膜作为电荷存储层, 将用于下一代微控制器。纳米晶体层可确保更高密度的阵列, 同时降低运行功耗, 缩短消除时间并提高可靠性。微控制器是一系列工业和消费产品的“大脑”。



Everspin公司开发的 16 Mb磁阻随机存取存储器(MRAM)(2010年) 该存储器基于纳米级磁隧道结。该类存储器有大量工业和商业应用, 如在系统崩溃时保存数据、启动恢复播放功能、在关机过程中保留加密数据以及发生事故时保存车辆数据以供事后分析。

• 从量子和表面科学到分子自组装等基本原理衍生出一系列新工艺和纳米结构,这些创新成果与半经验和自上而下小型化方法相结合,用于各类产品的生产。纳米技术还促成或推动了众多领域内的新研究,如量子计算、纳米医学、能量转换与储存、水净化、农业和食品系统、合成生物学的各个方面、宇宙航空、岩土工程和神经形态工程。

• 纳米医学在实验室方面取得了重大突破,临床试验领域发展迅速,生物相容性材料、诊断和治疗应用方面也取得了长足进步。Abraxane 等先进疗法现已实现商业化,在不同类型肿瘤的治疗过程中发挥了重要作用。首批护理点纳米医疗诊断工具(如 Verigene 系统)已在全球推广使用,以加快疾病诊断。此外,还有 50 多种基于纳米技术的肿瘤治疗药物也已进入临床试验阶段(仅限美国)。凭借纳米技术解决方案,Pacific Biosciences 和 Illumina 等公司将有望成功应对“1000 美元基因组计划”的挑战。

• 纳米技术已融入多个关键行业。在美国,30%~40%的石油化工企业已采用纳米材料催化(见第 10 章);100 nm 以下的半导体的全球市场占有率超过 30%,美国市场占有率高达 60%(见“纳米技术的发展远景:美国国家纳米计划(NNI)十年”);分子医学领域也在不断发展。纳米电子领域进展迅速,从微型设备到 30 nm 设备,并继续向更小尺寸推进。这些实例表明,纳米技术正在向着 2000 年设立的目标稳步发展,最终将成为极具经济影响力的“通用技术”。

• 在过去十年中,美国对纳米技术研发领域投入了大量资金。美国政府在纳米技术领域的累计投资现已超过 120 亿美元,使该领域成为继“阿波罗登月计划”之后美国最大的民用技术投资(《自然》2010 年 9 月刊第 18 页)。工业企业已认识到纳米技术的重要性以及政府在 NNI 研发工作中的核心作用。2009 年,美国纳米产品市场价值估计约为 910 亿美元(见第 13 章)。最终,约 60 个国家采纳了纳米技术研究计划,使纳米技术跻身全球最大且最具竞争力的研究领域行列。

社会意义

• 各种纳米技术活动促成了纳米技术专业国际社区,先进的研发基础设施以及横跨化工、电子学、先进材料、医药等行业的多元化制造能力的实现。

• 自 2004 年首届“负责任地发展纳米科技国际对话”会议在美国召开以来,十年前*所设定的国际合作与竞争愿景(包括跨国组织)业已实现并增强。

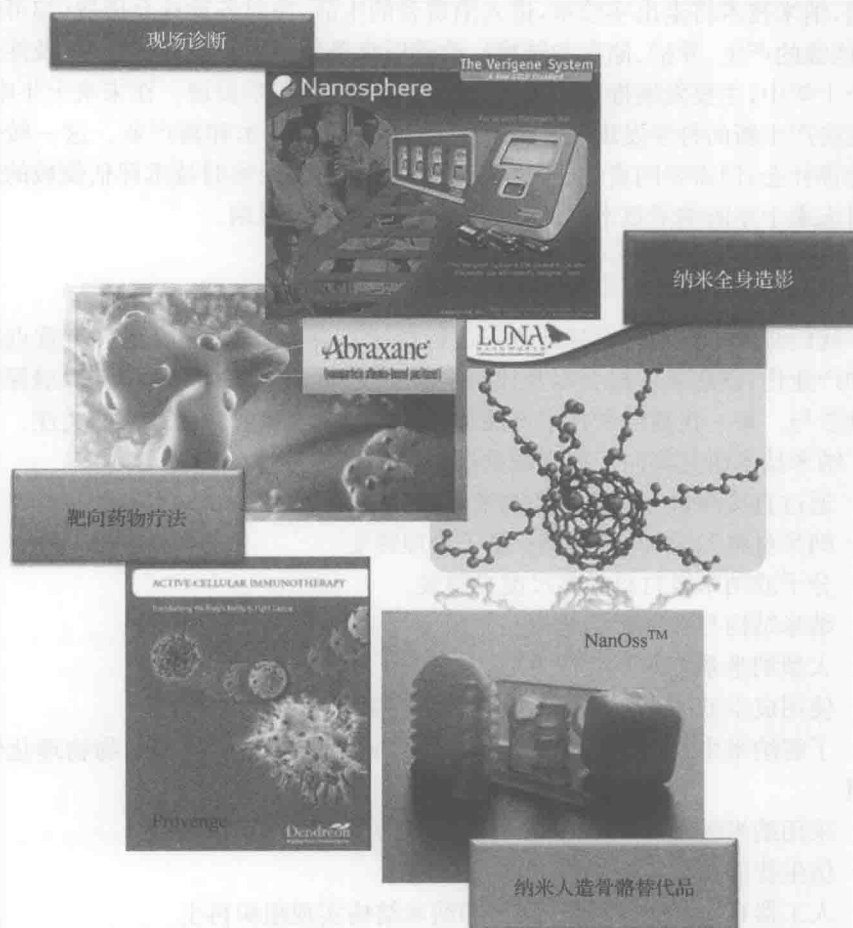
• 纳米技术已成为解决其他新兴技术社会影响(ELSI)和治理问题的典范,以及知识产权重点。

• 纳米技术已成为有关新兴技术课题的公共非正式科学教育以及在研究机构和公立教育机构之间建立战略教育伙伴关系并实现双方教育目标互利的典范。

* 此处指 2000 年设定的愿景。—译注

nano2

III. 2010 年纳米技术进驻商业(FDA 认证)医疗产品的实例



顺时针方向：用于现场医疗诊断的Nanosphere Verigene®系统采用金纳米技术，在一系列应用中用于检测相关的核酸和蛋白质指标；Luna 纳米造影剂增强了磁共振成像诊断的清晰性和安全性；Angstrom Medica NanOss™ 纳米晶磷酸钙人工骨骼材料可用作骨骼替代品/加固材料、负重骨水泥和生物活性涂层；Dendreon Provenge®免疫治疗产品使用患者自身的免疫系统细胞制成，用于治疗前列腺癌；Celgene Abraxane® 纳米颗粒白蛋白结合 (nab) 技术利用白蛋白纳米微粒提供积极和有针对性的化疗，用于治疗转移性乳腺癌。