

纳米科技与产业发展 信息动态

增刊 77(总第 270 期)

2017 年 9 月 25 日

主办单位：上海市纳米科技与产业发展促进中心

协 办：上海科学技术情报研究所

上海华明高技术（集团）有限公司

上海大学纳米科学与技术研究中心

新闻快讯

※※※※

国之利器 始于毫末

——之“纳米科学与技术的过去、现在和未来”

2017 年 8 月 29 日，《国之利器 始于毫末——中国纳米科学与技术发展状况概览》（中英文）白皮书在京发布。该白皮书由施普林格·自然集团、国家纳米科学中心和中国科学院文献情报中心在北京举办的 2017 年中国国际纳米科学技术会议上联合发布。

白皮书提供的相关数据显示，过去 20 年，中国纳米专利的申请量累计达 20.9 万余件，占全球总量的 45%，是美国同期累计申请总量的两倍

以上。同时，中国纳米专利申请所涉领域广泛，其中最多的是高分子合成和超分子化合物的专利。

白皮书认为，中国已经成为当今世界纳米科学与技术进步重要的贡献者，部分基础研究居国际领先水平，纳米科技应用研究与成果转化的成效也已初具规模。中国纳米科技研究正在向原创性突破转变，并更加关注纳米科技的产业化应用。

纳米科学，简而言之，主要研究的是尺度在1到100个10亿分之1米，即1-100纳米之间的极小物体。在如此小的尺度上，材料的物理、化学和生物学特性跟宏观尺度的物体相比，会大相径庭——通常有巨大的差异。比如，低强度或脆性合金会获得高强度、高延展性，化学活性低的化合物会变成强力催化剂，不能受激发光的半导体会变得能够发射强光。纳米尺度级的处理能够改变物质属性，这对大多数的科学、技术、工程和医学领域都具有实用意义。

1、纳米技术发展的里程碑

纳米科学和技术作为一个独立的研究领域，是最近才发展起来的。大家通常都老生常谈地引用费曼（Richard Feynman）去世后才出名的演讲作为该领域的开端——即1959年他在加州理工学院的演讲“（微观）之下还有充足的空间（There's plenty of room at the bottom）”。费曼在演讲中指出，如果可以控制单一原子，理论上可以在大头针的针头上写下整套大英百科全书的内容。但是这次演讲在随后几十年，仅有少数几次的引用。“纳米技术”这个术语直到1974年才出现，由谷口纪男在论文“关于‘纳米技术’的基本概念”里首次提出，他介绍了如何运用离子溅射在硬质表面蚀刻形成纳米结构。

不过，纳米材料的使用可追溯到几个世纪前，例如其在陶瓷釉和有色窗玻璃染色剂中的使用。领先费曼控制单一原子的设想大约一个世纪，英国物理学家、电磁学先驱法拉第（Michael Faraday）已阐述了光的波长

相关散射（丁达尔现象），其研究对象是通过化学方法制备的金胶体悬浮液。他注意到金的胶体悬浮液颜色会随着金纳米颗粒的大小发生变化，并意识到极小黄金颗粒的存在。

意识到通过控制原子来改造世界的可能性是一回事，如何实现却完全是另一回事。从这个意义上说，开发用于观察和控制物质的工具一直在决定着纳米科学与技术发展的时间表。最先被开发出来的工具是 1931 年由 Ernst Ruska 和 Max Knoll 发明的电子显微镜——尽管历经几十年的发展这些设备才达到原子级别的分辨率。但真正宣告纳米时代到来并进入公众视野的是 1990 年 Don Eigler 及其同事展示了在镍表面通过摆放单个氦原子能够拼写出‘IBM’三个字母，当时他们使用的是 Gerd Binnig 和 Heinrich Rohrer 在九年前发明的扫描隧道显微镜。

同样在 20 世纪 80 和 90 年代，科研人员开始将光学仪器分辨率的极限推进到纳米领域。可见光的波长起点大约在 400 纳米，按照传统的理解，可见光并不适用于观测与纳米技术相关的 100 纳米以下的结构。1928 年，Edward Hutchinson Synge 提出了‘近场’显微镜的构造，用以突破所谓的‘阿贝衍射极限’，即制约传统显微镜分辨约 250 纳米以下结构的限制。但直到 1994 年，Stefan Hell 和 Jan Wichmann 才提出第一个可实施的方案，即超分辨率荧光显微镜（stimulated-emission-depletion, STED 显微镜），实现远小于前述 250 纳米尺寸限制的分子尺度光学成像。

纳米尺度研究能力的提升起初让人们发现了许多天然形成的纳米结构。1981 年，俄国物理学家 Alexei Ekimov 和 Alexander Efros 在研究掺杂半导体的玻璃时，发现了内嵌的纳米级结晶体，后被称为半导体量子点。仅仅几年后，贝尔实验室的 Louis Brus 展示了在溶液中合成这种颗粒的方法。

1985 年，美国莱斯大学的 Harold Kroto, Sean O'Brien, Robert Curl 和 Richard Smalley 发现了富勒烯(C60)——这是一种完全由碳原子组成的、形如足球并且异常稳定的分子。这打破了碳只有石墨和金刚石两种同素

异形体的传统认知，并开启了化学家的想象力，令他们开始思考合成比之前设想要大得多的一系列新型分子结构的可能性。1991 年，饭岛澄男报告合成了碳纳米管——一种具有特殊电子、热学、机械性能的材料，为这种管状纳米结构的广泛应用铺平了道路。

随后不久，Charles Kresge 及其同事发明了可过滤分子的介孔纳米材料 MCM-41 和 MCM-48，现已广泛应用于石油炼化、污水处理及药物输送。1990 年代后半期，Charles Lieber, Lars Samuelsson 和 Kenji Hiruma 领导的团队开发了合成晶状半导体纳米线的技术——为推动纳米技术进入光子学和光电学领域又迈出至关重要的一步。2004 年，Andre Geim 和 Konstantin Novoselov 实现了单层石墨烯的分离，获得单原子厚度的二维碳原子结构，开启了通向不可限量的未来技术的大门。超轻、高柔性、高强度、高导电性等特点使得石墨烯被誉为一种新的神奇材料。

1990 年代末和本世纪初，纳米技术更多地投入应用。1998 年电子墨水的发明就是一例，这是一种类似纸张的显示技术，墨水由极小的胶囊组成，现已广泛应用于 Kindle 等电子阅读器产品。另一个例子是 1988 年 Albert Fert 和 Peter Gr ü nberg 发现的巨磁阻效应，据此开发的磁性读出头大幅缩小了电脑硬盘的尺寸，并提高了存储容量。Ekimov, Efros, Brus（及其他众人）发现并开发的量子点也得到了广泛的实际应用，这包括平板电视背光源，以及用于活体细胞和组织内最小结构成像的染色剂。

2、纳米技术的社会影响力

纳米级材料的研究规模虽然比较小，但对我们生活方式的潜在影响却很大。全球各地的科学家和工程师们都在对这个微观世界展开新的探索，并将其科学发现转化为新的产品和技术，由此重塑了一系列的产业，主要是材料和制造业、电子和信息技术、能源与环境，以及医疗与健康产业。由于具有广泛的社会影响力，纳米技术的快速发展也随之带来伦理和安全问题，我们需要在享用纳米技术预期的成果之前加以解决。

材料和制造

纳米技术的优势主要体现在通过控制原子级或分子级的物质所创造的新材料上。由于具备理想的机械、化学、电学、热学或光学性能，这些新型纳米材料被应用于日常用品及工业制造之中。

威尔逊中心曾发起一个关于新兴的纳米技术的项目，根据其中的一份制造商清单估计，市场上有 1600 多种基于纳米技术的消费产品。纳米材料在健康和健身产品中的应用最广，例如化妆品、个人护理用品和服装等。普通的电吹风或直发器就有可能使用纳米材料降低重量或延长使用寿命。防晒霜已使用了从皮肤表面上看不到的纳米二氧化钛或氧化锌等防晒成分。纳米工程制备的纤维被用于制造防皱、防沾污的衣物，不仅质轻，甚至还可能防止细菌的滋生。纳米材料还被应用于各类产品中，从轻便、刚性好的网球拍、自行车和箱包，到汽车零件和可充电电池等。

在制造业，纳米结构的材料被用于机器零件的表面涂层或润滑剂中，以减小磨损、延长机器使用寿命。具有纳米结构的合金，由于强度高、耐久、质量轻的特点，是制造飞机和航天航空零部件的理想高性能材料。它们被用于制造机身、过滤材料及其他零部件，带来更强的耐蚀、抗震和防火性能，以及优良的强度 - 重量比。金属、氧化物、碳和其他化合物的纳米颗粒也是很好的催化剂，在石油精炼、生物燃料等领域有着重要的工业应用。由于出色的表面积 - 体积比、高催化活性及低能耗的特点，纳米催化具有多种优势，如最优的原料利用率、高能效、最低限度的化学废料排放，以及更高的安全性等。

信息技术

纳米技术作为促进信息技术和数码电子行业发展的关键驱动力，进一步提升了诸多电子产品的性能，如电脑、手机和电视等。

英特尔公司的共同创始人 Gordon Moore 在 1965 年提出了著名的摩尔定律——集成芯片上的晶体管数量每年就会翻倍（后修改为每两年翻

倍)。彼时，纳米技术还在发展的初期。由于纳米技术的进步，集成芯片和晶体管已如摩尔所预测的那样，变得越来越小，计算速度却日趋提高，尽管摩尔定律近年来正在逐渐失效。2016 年诞生了世界上首个 1 纳米的晶体管。该晶体管由碳纳米管和二硫化钨，而不是硅制备而成，展示了进一步缩小电子器件尺寸的潜力，使得摩尔定律至少能在一段时间里继续有效。

人们对纳米材料物理特性的深入理解推动了量子器件的发展，其应用遍及光感应、激光和晶体管，实现了更低能耗下的高速数据传输。元器件如采用了纳米级的半导体量子点，就可以感应或发射单个光子，器件在应用到加密系统之后，就可以提升信息系统的性能和安全性。量子点或无机半导体纳米晶体的另一个应用领域是显示屏产业。由于纳米技术，电视、计算机和移动设备的显示屏就可实现超高清、节能、甚至可弯曲，并产生更加逼真的图像。人们在设计新型透明导电材料时采用了碳纳米管或银纳米线，这为开发各种使用柔性屏幕的电子设备开启了大门。

能源和环境

纳米技术可促进可替代能源的发展，提高能源使用效率，并为环境治理提供新的解决方案，因此有助于环境保护事业。在传统的能源领域，基于纳米技术的方法或新型催化剂使得石油和天然气的开采以及燃料的燃烧变得更加高效，这减少了发电厂、交通工具及其他重型设备的污染和能耗。

多年以来，科研人员通过在底层材料和结构上应用纳米工程，来提高光伏发电设备（将太阳能转化为电能）的性能并降低成本。例如，他们在这些设备里导入量子点，以吸收更多的阳光。另外，他们使用低温条件下能在低成本的衬底材料上生长的材料，如钙钛矿型金属 - 有机化合物和导电聚合物，为包括硅在内的传统光伏材料提供低成本的替代物。

除了有助于提高阳光采集效率，纳米材料还可用于废热转化，如将汽车尾气转化为有用的能量。再如，人们开发了可将二氧化碳转化为清洁燃料甲烷的纳米颗粒，以及能提高氢气制备产能的纳米光催化剂，这都提升了发展新的可再生能源的前景。

在能源存储方面，由于纳米结构的电极材料能够支持更多不同的电化学反应，因此可用来提高可充电电池的容量和性能。这不但能增加新一代电池的存储容量，还能减轻电池重量，从而提高电动汽车这类交通工具的效能和续航里程。

纳米技术还可用于水处理和污染物的清理。例如，二硫化钼(MoS_2)薄膜等纳米材料能以更高效的过滤性促进盐水淡化，而多孔质的纳米材料可以像海绵一样吸收水中的重金属和浮油等有毒物质。纳米颗粒还可以通过化学反应清除工业用水中的污染物。此外，纳米纤维能够吸附空气中的微小颗粒，因此可用作净化空气的滤网。

纳米技术在环境治理中的应用还包括空气、水和土壤中污染物的检测。由于其独特的化学和物理特性，纳米颗粒对化学或生物试剂的灵敏度更高，因此可用在传感器中鉴别有毒物质，这要比传统的现场测试方法更加简单快捷，甚至能在检测的同时去除污染物。

医疗和健康

可以说纳米技术最成熟的形式就是生命本身所表现出来的形式。从细胞器一直到底层的核糖体、DNA、ATP，这些生物系统为纳米科学家提供了源源不断的灵感源泉。或者，正如合成生物学家 Tom Knight 曾说过的那样，“生物学就是在发挥作用的纳米技术！”正因如此，纳米技术对医疗和健康产业的影响日趋显著，并在药物输送、生物材料、造影、诊断、活性植入及其他医疗应用中得到了稳步发展。

纳米技术在生物医学方面最引人瞩目的应用或许是被称为纳米孔基因测序技术的出现。其工作原理是利用电场驱动每个 DNA 单链穿过薄膜上纳米尺寸的孔，即纳米孔。当 DNA 单链通过纳米孔时，记录孔上产生

的电流变化，从而识别出单链上的基因编码序列。该技术有望大幅降低基因测序成本并提高测序速度。

纳米技术另外一个富有前景的医学应用是药物输送。纳米技术能让药物突破化学、解剖和生理学阻碍，抵达病变组织，提高药物在病灶位置的聚集量，减小对健康组织的损害，较之传统药物具有显著优势。例如，经过精心设计的纳米药物可以经血管渗漏点渗入癌变组织，并在靶点位置积聚，从而提高癌症靶向治疗的精准度。其他的应用还包括用纳米颗粒封装诸如抗体之类的生物活性分子，以促进特定靶向的药物输送。

纳米颗粒因其尺寸微小和特殊的化学性质，在医学造影方面也有独特的应用前景。传统的荧光染色剂是用有机化合物制备的，通常寿命短，其光学性能也很难调制以适应任意的工作波长。利用无机量子点，其工作波长可根据尺寸调制，上述两个不足都能得到了克服。而且，设计起来也更加方便，可以形成在特定组织和肿瘤位置的积聚，从而实现更便捷、更准确的诊断，并提高治疗效果。

纳米科技还应用于生物组织工程。石墨烯、纳米管、二硫化钼等纳米材料可用来制造支架，帮助修复或重塑受损的组织。纳米结构支架能够模仿组织特有的微观环境，促进细胞的附着、繁殖和长成，并诱导正常细胞机能及组织生长。

伦理和安全问题

新技术就像双刃剑一样，带来利益的同时也可能带来风险。纳米技术也不例外。人们在欢呼其快速发展之际，也应小心它所带来的意料之外的环境、健康和社会影响。

当前人们最大的担忧是纳米颗粒对健康的威胁，因为纳米颗粒很容易经肺或皮肤进入人体系统。例如，人们已发现碳纳米管内的金属污染物和柴油的纳米颗粒对健康有不良影响。生产作业中暴露于纳米污染物的工人会有较高的健康风险，基于纳米技术的产品也会让消费者面临风险。纳米药物虽然前景光明，但因为尚不清楚其在人体内是否参与代谢

以及如何代谢，所以也有可能带来意料之外的后果。而且，纳米药物的长期使用效果仍不明朗。

此外，纳米材料制造过程中所产生的工业排放，以及纳米产品用后的回收，也会带来污染环境的风险。纳米颗粒活性高、尺寸微小，有可能对生态系统产生不利影响，对动植物生存构成威胁。由于纳米技术会给产品生产方式带来翻天覆地的变化，分子制造即是一个例子，并让很多商品的尺寸发生改变，人们尚不清楚这会带来怎样的经济影响和社会巨变，这要求我们对该技术应用的伦理问题进行审慎的判断。

为应对这些担忧，全球许多国家都已采取行动。美国出台了“国家纳米技术计划（National Nanotechnology Initiative）”，其主要目标之一是支持以负责任的方式发展纳米技术。此外，美国还组织了若干工作组，探讨和应对纳米技术所带来的伦理、法律和社会问题。欧盟也与美国合作，建立了一个政策制定的平台，以应对纳米技术发展过程中所产生的问题。中国自 2001 年就已投入资金研究纳米安全问题，约有 7% 的纳米技术研究预算用于有关纳米技术潜在的环境、健康及安全问题的科学研究。这些研究也将支持制定标准的方法，以量化相关的环境及健康危害，同时有助于形成监控和管制纳米污染的指导方针。

通过仔细考量其潜在的风险，人们将能有效驾驭纳米技术，让我们的生活和环境变得更加美好。

【 纳米科学的里程碑事件 】

1856: 观察到纳米粒子

Michael Faraday发现制备的金溶胶中颗粒的大小不同, 就会呈现出不同颜色的丁达尔散射。



1931: 电子显微镜

Ernst Ruska和Max Knoll展示了第一台电子显微镜。



1928: 近场光学显微镜

Edward Hutchinson Syngé提出以近场扫描光学显微镜获得超越衍射极限的图像。

1928

1959: (微观)之下还有充足的空间

Richard Feynman在加州理工学院举办的美国物理学会会议上发表题为《(微观)底下还有充足的空间》的演讲, 推测在原子级别上操控物质的可能性。

1931

1935: 单分子薄膜

Irving Langmuir和Katharine Blodgett发明了制备单层分子薄膜的技术。

1935

1946: 分子自组装

Zisman, Bigelow和Pickett报告了有序单分子层在表面上的自组装。

1946

1968: 分子束外延

John Arthur Jr和Albert Cho研发出用于制备高质量单晶薄膜的分子束外延。

1968

1959

1974

1976: 原子层沉积

Tuomo Suntola发明原子层外延薄膜制备技术。

1976

1980: 观察到自然形成的量子点

Alexei Ekimov和Alexander Efros报告了纳米晶体量子点的存在及其光学特性。

1980

1982: DNA纳米技术

Nadrian Seeman提出DNA纳米技术的概念。

1982

1986: 原子力显微镜

Gerd Binnig, Calvin Quate和Christoph Gerber发明了原子力显微镜。

1986

1981: 扫描隧道显微镜

Gerd Binnig和Heinrich Rohrer发明扫描隧道显微镜。

1981

1983: 半导体量子点的生长

Louis Brus报告了胶体半导体量子点的合成。

1983

1985: 发现富勒烯

Harold Kroto, Sean O'Brien, Robert Curl和Richard Smalley发现了C₆₀富勒烯分子。



1974: 表面增强拉曼光谱

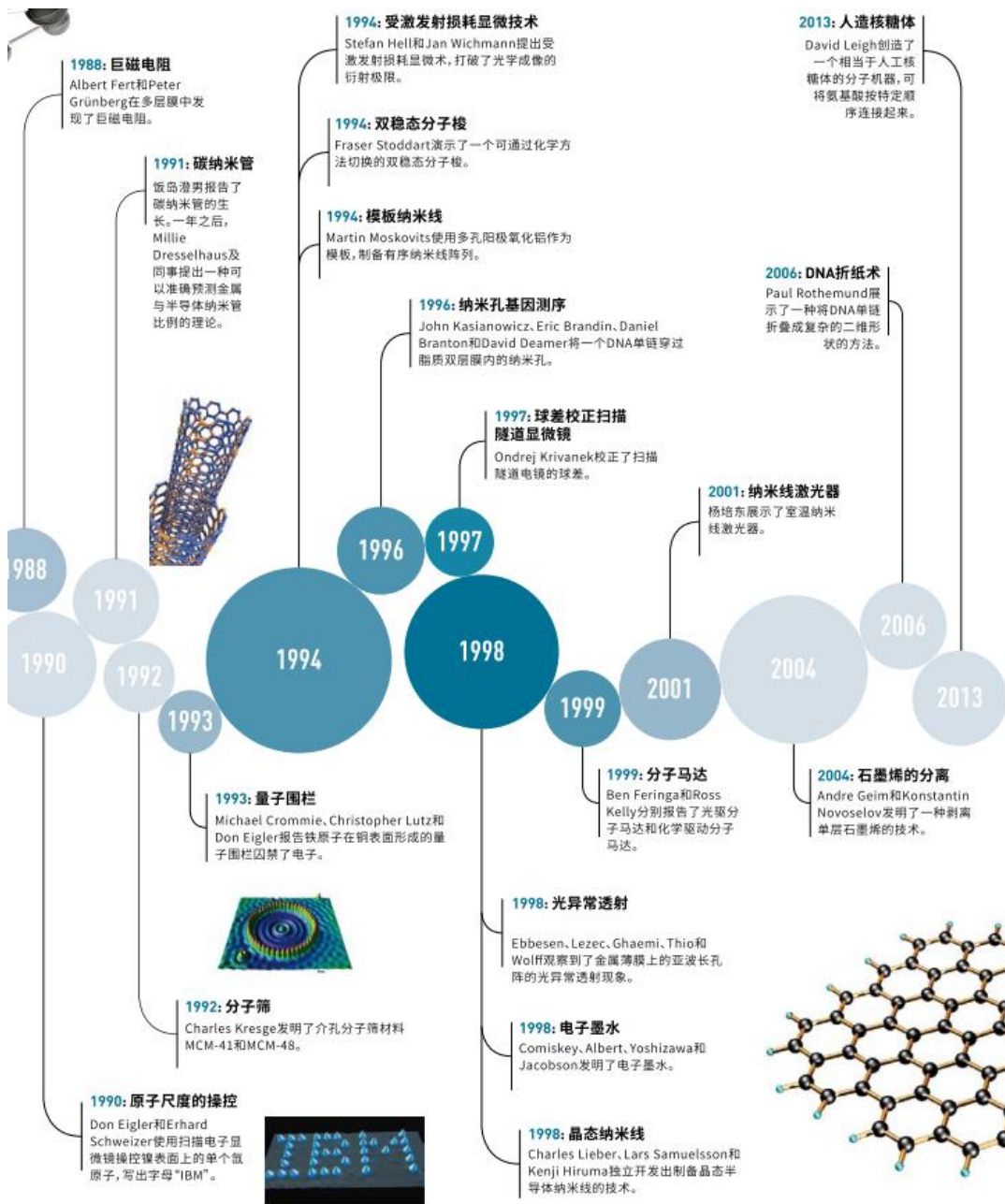
Martin Fleischmann, Patrick Hendra和James McQuillan报告了拉曼散射的异常增强, 随后Richard van Duyne和Alan Creighton将这种现象解释为纳米级金属结构形成的场增强所造成的。

1974: 分子电子学

Mark Ratner和Arie Aviram提出分子二极管的想法。

1974: “纳米技术”一词诞生

谷口纪男创造“纳米技术”一词。



(待续)

上海市纳米科技与产业发展促进中心 地址：上海市徐汇区嘉川路 245 号 邮编：200237 电话：021- 64101616
上海科学技术情报研究所 地址：上海市永福路 265 号 邮编：200031 电话：64455555-8427 传真：64377626
责任编辑：卞志昕 电子邮件：zxbian@libnet.sh.cn 陈晨 电子邮件：chenchen@snpc.org.cn