

趣味科学实验

神奇的纳米世界

任红轩◎编著



科学出版社

趣味科学实验

神奇的纳米世界

任红轩 编著



YZLI0890169394

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书在充分考虑实验趣味性和安全性的前提下,选取能源、环境、生物医药、纺织、建材等方面 21 个贴近生活的纳米科学实验,辅以大量图片,使实验方案与原理浅显易懂,目的是抛砖引玉,激发读者探究纳米科技的兴趣。本书在详细的实验方案之外,还设有实验原理、实验问题、背景知识、应用实例、拓展阅读部分,增加了知识性、可读性、趣味性和思考性。

本书可供中小学、大专院校非纳米科技专业师生使用,也可供从事纳米科技的科普人员、管理人员以及广大的纳米科技爱好者阅读和参考。

图书在版编目(CIP)数据

趣味科学实验:神奇的纳米世界/任红轩编著. —北京:科学出版社, 2012.

ISBN 978-7-03-034426-7

I. 趣… II. 任… III. 纳米材料—普及读物 IV. TB383-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 104405 号

责任编辑:杨 震 张淑晓/责任校对:郑金红

责任印制:钱玉芬/封面设计:东方人华

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>

源海印刷有限责任公司 印刷

科学出版社编务公司排版制作

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2012 年 5 月第 一 版 开本: A5 (890×1240)

2012 年 5 月第一次印刷 印张: 5 1/2

字数: 200 000

定价: 25.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

编者的话

纳米技术是在 20 世纪 80 年代兴起的,并迅速发展成为一门高新技术,在信息、材料、生物、医学、环境、能源等领域有广泛的应用。这一技术很可能成为重大工业变革的基础,从而对人们生活的各个领域产生广泛的影响。纳米科技现已成为当今世界各国竞相争夺的科技战略制高点。截至目前,全球包括美国、欧盟、日本、俄罗斯、韩国、中国在内的 50 多个国家和地区制定了纳米科技研究计划,力争在新一轮的高科技竞争中占据一席之地。

美国 2001 年的国家纳米技术计划(NNI)率先提出要加强纳米技术人力资源的发展工作,通过开设纳米技术课程,并设立奖学金,培养新一代具有多学科背景的熟练工作者,以满足纳米技术迅速发展对人才的需求。随后在 2002 年 9 月 11~12 日,美国国家科学基金会(NSF)组织了纳米技术大学教育(nanotechnology undergraduate education,简称 NUE)研讨会,他们对纳米技术本科及以下层次教育持谨慎乐观态度。会后形成的报告认为,增设纳米技术学士学位的时机尚不成熟,但支持在拥有纳米技术学科要素的相关院系里,开展纳米技术辅修与选修教育,为未来建立独立、完整的纳米技术学科体系创造条件。该报告还对本科及以下层次人才的培养提出了一些建设性意见,其中提到纳米技术知识要以能为 K-12 (K-12 教育是指到高中为止的教育体系)学生和公众所理解的方式推广。

据预测,2010~2015 年纳米技术人才的需求情况为:美国需要 80 万~90 万人,日本需要 50 万~60 万人,欧洲需要



30万~40万人，亚太地区（不包括日本）需要10万~20万人，其他地区需要10万人。其中相当一部分是纳米技术产业系统所需的具有本、专科水平的人才。要满足如此巨大的人才需求，即使是美国，也感到力不从心。他们尤其感到缺乏培养中、低层次纳米技术人才的能力。因此，2005~2010财年，美国NNI计划累计投入的教育和纳米技术伦理、法律方面的研究经费超过2.6亿美元。

纳米科技的竞争归根到底是人才的竞争。除大力培养纳米科技专门人才外，普及纳米知识、让更多的人能了解纳米科技、使纳米科技趋向于“平民化”，也是非常重要的，特别是让广大青少年能够尽早走近并接触纳米科技，激发他们对纳米科技的兴趣，为将来有更多的人致力于纳米科技研究以及纳米科技的产业化打基础，从而为储备纳米技术的后继人才奠定良好的基础。

国内过去的学校教育更多采用“填鸭”式教育模式，近些年来，不断开展素质教育探索，取得了丰硕的成果，但是创新能力的培养还有待提高。创新是一个民族发展的灵魂，如果我们的下一代缺乏创新能力，那将是一件非常可怕的事。学校基础教育应该把培养学生的综合素质和创新能力放在重要位置。如何让学生超越陈旧的学习方法，使学生从“学会”转变为“会学”，是一个值得我们深入思考的问题。开设探索性、研究性课程是培养学生综合素质和创新能力的一个重要途径。

纳米科学是一门交叉学科，具有鲜明的跨学科性，与中学课程中的物理、化学、生物课有密切的联系。而学生具有强烈的好奇心，纳米材料具有的奇妙特性将会引起学生的强烈兴趣，激发他们深入了解纳米科技的热情。因此，开展纳米科技实践活动具有教学依据和创新功能。但是长期以来，我国没有统一的纳米科学教育规划，如何向基础教育辐射纳米科技，一直是我们在发展纳米科技时忽略的环节，也是因

扰我们发展的问题。2009 年教育部实施全国教育科学规划教育部重点课题,中国科学院组织实施科技英才培养计划,我们除了组织纳米科技专家走进中学课堂之外,还对已经取得的纳米科技成果进行了梳理,在充分考虑实验安全性和趣味性的前提下,选取能源、环境、生物医药、纺织、建材等方面 21 个典型的纳米科技实验,让青少年学生自己动手进行实验,使学生了解纳米科技的基础知识及其广泛的应用前景。在学习知识、拓宽视野的同时,培养学生对纳米科学技术的兴趣和动手实验的能力。未来,有望将这些实验进一步凝练和模块化,根据不同的科普对象,进行选择 and 组合,制成针对不同群体的纳米科普实验箱,使其成为中小学研究性课程和拓展性课程的重要组成部分。在整个实践过程中,在基础教育方面探索科教结合之路,联手求解钱学森之问,实现了纳米科学家走进中学课堂、融入课程的制度创新;在课程设计上以人为本,把学生的发展放在以课程为中心的基础之上,实现了融合纳米科技教育课程与基础教育课程的课程创新;纳米科学家对教育的认识与中小学教师人才培养理念的碰撞,带来了全新视角的人才培养模式。

本书是在国内没有相关教学资料的背景下的一次大胆尝试,希望通过一些新的形式,拓宽纳米科技向基础教育辐射的途径。为进一步深化教育改革、全面实施素质教育和提高教育质量服务,为建设创新型国家做出贡献。

书中内容取材于“863”计划、“973”计划和纳米研究国家重大科学研究计划取得的部分成果,同时吸取了德国 NanoBioNet 协会开发的 Nano Toolbox 的部分实验思想,参考了《纳米科技产品及应用》(任红轩等,科学出版社,2010)一书的部分结论,结合了七年来国家纳米科学中心科技公开日的经验,通过了中国科学院科技英才培养计划的实践。值得一提的是,其中实验二、实验三和实验四的内容还获得了



中国科学院第三届青年科普创意大赛文字类二等奖。

本书在成稿过程中得到了上海纳米技术与产业促进中心闵国全主任、费立诚副主任和沈纯、陈红光、刘彦伯部长，中国科学院天地生科学文化传播中心袁志宁主任、季慧部长、回玉辉等老师，北京海淀区教委校外研究室吕文清主任，国家纳米科学中心王琛主任、刘洪海书记、赵宇亮副主任，人力资源部范伟民主任和潘海莲、任怀诗等老师，综合事务部刘卫卫主任、汲志华副主任、田梅等老师，韩东研究员、张忠研究员，研究生曾丽金、刘建波、李忠军、贺良灿、王兵、汤艳、张伟、梁宇佳、黄凯、徐萌、贾玉莹、温涛、袁秉凯、李学毅、刘颖昞，黄卓、陈杰、郑建忠、贾玉莹、张建明、熊炎松、方岩、王兵、毛翔，闫鹏、张营、鞠思婷、马晓微、汪之又、王有勍、张文娣、孟月娜、刘腾蛟等的帮助，中学生赵维哲、王佳辰、王艺颖、常梦然、崔一冰等参加实验，科学出版社的同志为本书的出版付出了辛勤的劳动，在此一并致谢。同时，还要感谢全国教育科学规划教育部重点课题“未成年人校外教育基地标准与创新人才培养模式的实践研究”(GEA090020)和国家自然科学基金的资助。

由于作者学识浅薄、水平有限，书中实验方案难免有不完善甚至错误之处，对一些专业问题的理解也不一定十分到位，希望各位专家和读者不吝赐教。

任红轩

2012年1月

目 录

编者的话

纳米科技漫谈 // 1

实验一 比表面积实验 // 8

实验二 纳米钢皂去除异味 // 11

实验三 纳米四氧化三铁(Ⅰ): 超顺磁性 // 14

实验四 纳米四氧化三铁(Ⅱ): 去除污染物 // 26

实验五 纳米四氧化三铁(Ⅲ): 催化制氧 // 30

实验六 纳米二氧化钛(Ⅰ): 光催化 // 37

实验七 纳米二氧化钛(Ⅱ): 防雾镜子 // 48

实验八 纳米防雾眼镜 // 52

实验九 纳米自清洁玻璃——荷叶效应 // 57

实验十 纳米自清洁纺织品实验 // 62

实验十一 防指纹印记纳米涂料效果 // 68

实验十二 纳米粒子的光散射——丁铎尔现象 // 71

实验十三 产生荧光的纳米半导体材料——量子点 // 77

实验十四 纳米金层析试纸检测三聚氰胺 // 85

实验十五 超长余辉发光纳米材料 // 93

实验十六 短余辉稀土荧光纳米材料 // 101

实验十七 低辐射玻璃隔热效果实验 // 117

实验十八 LED灯节能效果实验 // 126



实验十九	纳米材料增注性能实验	//	137
实验二十	石墨烯制备实验	//	142
实验二十一	纳米剪切增稠液	//	155
附录 I	四氧化三铁纳米颗粒的制备	//	160
附录 II	纳米金胶体的制备	//	163
附录 III	纳米二氧化钛的合成	//	166

纳米科技漫谈

在物质世界里,目前人类所能观测到的宏观尺度宇宙范围是 10 亿光年(图 0-1),如果以米为单位来表示,是 10^{25} 米;地球的直径约一万千米,也就是 10^7 米(图 0-2);足球的大小是 22 厘米左右,即约 0.22 米;跳蚤的大小是 1 毫米左右,即约 10^{-3} 米;人头发的直径在 80 微米左右,即约 8×10^{-5} 米;继续缩小观测范围,透过光学显微镜把目光聚焦在 1 微米,也就是 10^{-6} 米上,人类红细胞便呈现在我们眼前。好,让我们继续向微观世界推进,到 0.1 微米,也就是 10^{-7} 米,借助电子显微镜,就可以看到病毒的模样;再小的话,到了 10^{-9} 米,也就是 1 纳米(nm),在这个范围里,可以看到 DNA 的图像!(图 0-3)

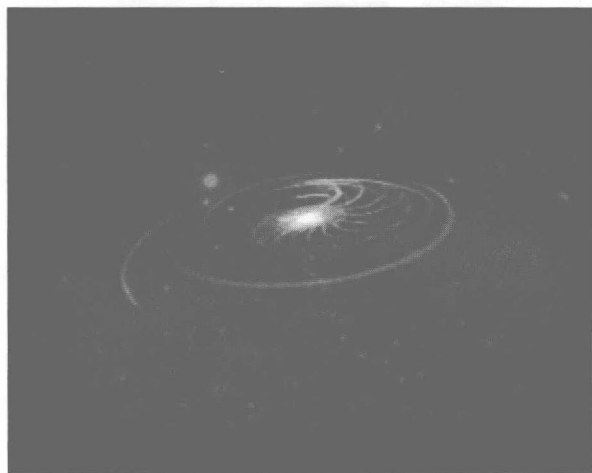


图 0-1 目前人类观测的最远距离为 10^{25} 米=10 亿光年

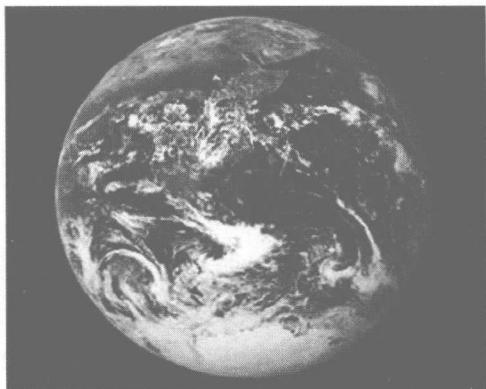


图 0-2 地球的直径为 10^7 米(合 1 万公里)

目前, 纳米(nanometer)这个蕴含着巨大潜力的词已成为整个世界的焦点。

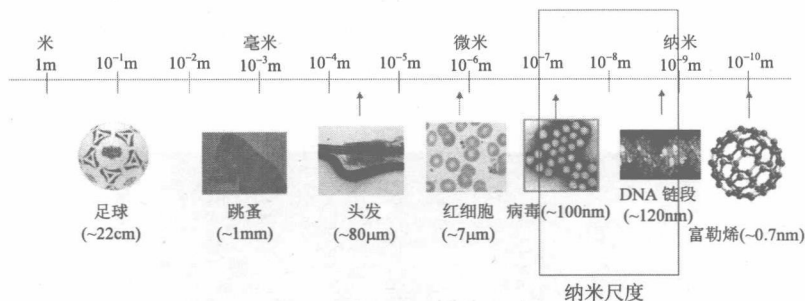


图 0-3 尺度对照

纳米到底是怎样的一个度量单位呢? 让我们插上想象的翅膀, 进入奇妙的纳米世界吧!

纳米是一个长度单位, 如果把 1 米和 1 纳米作比较, 它们相差 10^9 倍。 10^9 是个什么概念呢? 把一个高尔夫球放大 10^9 倍, 它就和地球一般大小(图 0-4); 人们常用细如发丝来形容纤细的物体, 实际上一根发丝的直径约为 80 000 纳米; 把 10 个世界上最轻的原子——氢原

子排列成一条线，就是一个纳米的长度。

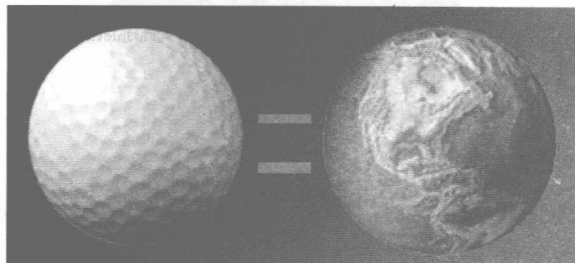


图 0-4 放大 10^9 倍的高尔夫球与地球比较

科学家们把 1~100 纳米的特定范围称为纳米尺度(图 0-3)。

那么，在纳米尺度范围内研究物质的特性和相互作用，包括对原子、分子的操纵，就叫做纳米科技。

人们不禁要问：纳米尺度那么小，我们如何观察和操纵呢？这就要用到被誉为纳米科技研究“手”和“眼”的扫描隧道显微镜 (STM) 了。

利用 STM，可以实时地观测单个原子在物质表面的排列状态以及与表面电子行为有关的物理、化学性质；操纵原子和分子，并重新排列和组装，能让它产生奇异特性(图 0-5)。

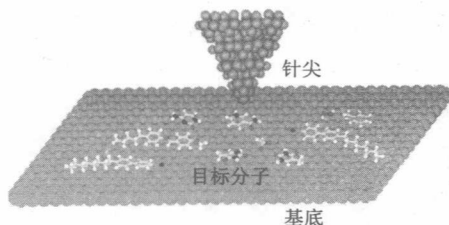


图 0-5 扫描隧道显微镜操纵分子

STM 把我们带到了一个神奇的世界，使我们捕捉到纳米粒子结构的瞬间变化，而这瞬间带来的是意想不到的结果(图 0-6)。

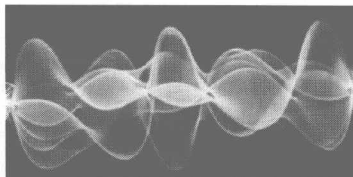


图 0-6 粒子空间的奇异变化

其实具有纳米结构的物质在自然界中早已存在，只是在没有电子显微镜的条件下，我们不曾发现它们。荷花表面为什么不易染尘沾水？飞行的昆虫为什么有自洁功能？海豚、蜜蜂、鸽子为什么能找到回家的路线？孔雀、蝴蝶的翅膀以及蛋白石为什么会呈现五彩缤纷的色彩(图 0-7)？……这都是“纳米”的鬼斧神工。

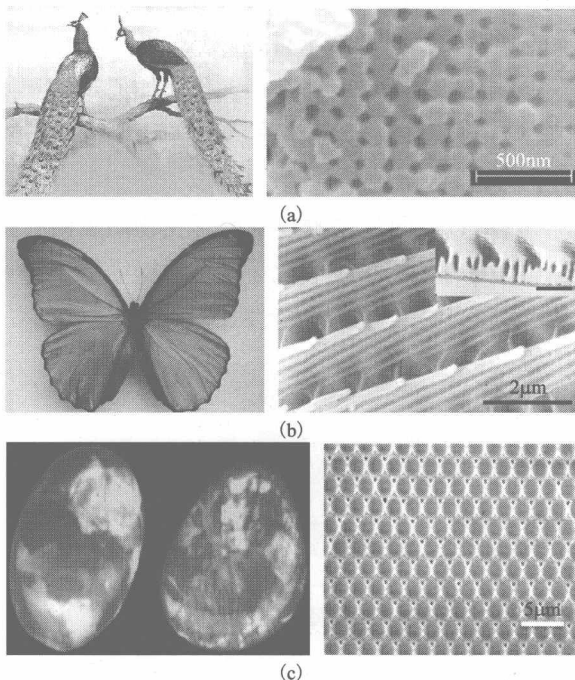


图 0-7 自然界中具有结构色的生物及其微观结构

(a)孔雀羽毛；(b)蝴蝶翅膀；(c)天然蛋白石。右图为左图的电镜照片

现在,我们借助电子显微镜一类的工具,已经搞清楚其中的一部分奥秘了,那就是它们的体内或者体表都存在着纳米级的粒子或者纳米结构。所以,探索它、发现它、制造它,就成为人类仿生学的重要内容之一。

纳米科技是一门多学科交叉的科学技术,它包括电子学、物理学、化学、生物学以及信息学、工程技术学等几乎所有学科。因此,纳米科技的健康发展将给人类社会带来一场深刻的、革命性的变革。

科学家们发现,普通材料加工到纳米尺度后会表现出一系列奇异的物理、化学和生物学特性。比如,原本导电的铜加工到某个纳米尺寸就不再导电,而绝缘的二氧化硅在达到某个纳米尺寸后开始导电。这是因为物质在纳米尺度下具有纳米效应,即:表面效应、小尺寸效应和宏观量子隧道效应等。

假设物体是球形实心微粒,密度是固定的,它的表面积与直径的平方成正比,其体积与直径的立方成正比,由于比表面积是单位质量(或单位体积)物质所具有的表面积,故其比表面积与直径成反比。所以,随着颗粒变小,比表面积将会显著增大(图 0-8 和表 0-1)。

在电子显微镜的电子束照射下观察这些超微粒,你会发现,它们的表面仿佛处于“沸腾”状态,有很多不饱和键,具有很高的活性。这是纳米级物质具有表面效应的根源。

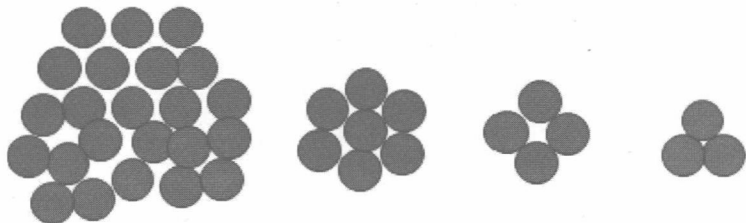


图 0-8 比表面积示意图

表 0-1 不同粒径的颗粒含有原子的个数及颗粒裸露表面所占的比例

直径/nm	原子个数	裸露表面/%
10	30 000	20
4	4 000	40
2	250	80
1	30	99

随着颗粒尺寸的量变，在一定条件下会引起颗粒的质变。由颗粒尺寸变小所引起的宏观物理性质的变化称为小尺寸效应。

物质尺寸变小其比表面积增加，从而会产生一系列新奇的性质，这包括特殊的光学性质、热学性质、磁学性质和力学性质等。比如：当黄金被细分到小于光波波长的尺寸时，即失去了原有的富贵光泽而呈黑色。事实上，所有的金属在其尺寸小于光波波长时都呈现黑色。再比如，当金属被加工到纳米级别时，其熔点比大块金属的熔点大幅度降低（见表 0-2）。以银为例，150 纳米以上的银的熔点是 962℃，当被加工到 5 纳米时，熔点就降低到 100℃，放到沸腾的水中即可熔融（图 0-9）。

表 0-2 大块金属与纳米尺度金属熔点比较

金属材料	熔点
金 (Au)	大块 Au
	1064℃
铜 (Cu)	2nm Au
	327℃
	大块 Cu
银 (Ag)	40nm Cu
	750℃
	>150nm Ag
	962℃
	5nm Ag
	100℃

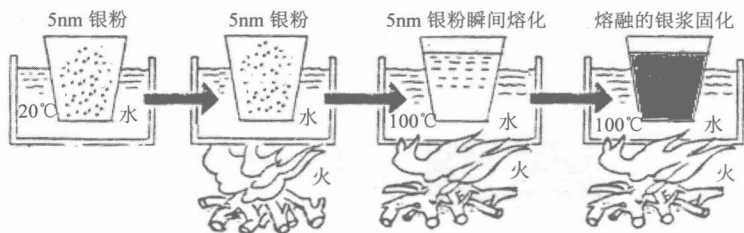


图 0-9 5 纳米银粉 100℃时熔融

其实，早在 600 多年前纳米技术就被我国古人用在徽墨制作和陶瓷制作的工艺中了。用徽墨(图 0-10)的画和书法，色泽黑润，浓而不滞，淡而不灰，层次分明；古瓷瓶上的釉色鲜艳饱满，釉面光滑润照人，历久不退(图 0-11)。

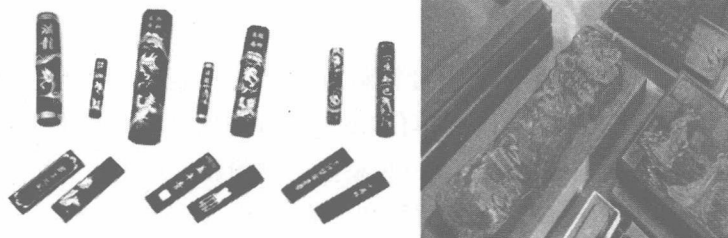


图 0-10 徽墨



图 0-11 古代瓷瓶

实验一 比表面积实验

1 实验目的

使学生掌握比表面积的计算方法，了解纳米材料具有巨大的比表面积。

2 实验原理

比表面积是指单位质量物料所具有的总表面积。分外表面积、内表面积两类。国标单位 m^2/g 。理想的非孔性物料只具有外表面积，如硅酸盐水泥、一些黏土矿物粉粒、无孔纳米材料等；有孔和多孔物料具有外表面积和内表面积，如石棉纤维、岩(矿)棉、硅藻土、多孔纳米材料等。测定方法有容积吸附法、重量吸附法、流动吸附法、透气法、气体附着法等。比表面积是评价催化剂、吸附剂及其他多孔物质的重要指标之一。石棉比表面积的大小对它的热学性质、吸附能力、化学稳定性、开棉程度等均有明显的影响。纳米材料也不例外，巨大的比表面积，使其具有优异的性能。

3 实验用品

乳胶手套，琼脂块，塑料刀片，直尺，天平。