

广州市科技计划项目科普专项资助
(项目编号2014KP000023)

那么小 那么大

为什么我们需要纳米技术?

郭子政 云国宏 著

Why Nano Tech

清华大学出版社

那么小 那么大

为什么我们需要纳米技术？

郭子政 云国宏 著



清华大学出版社

北京

内容简介

围绕着纳米尺度之“小”和纳米技术之“大”，本书介绍了什么是纳米，纳米技术可以改变什么，纳米技术已经做了些什么，纳米技术的未来是什么。本书通俗易懂，图文并茂，只要是对生活中的先进科学和技术感兴趣的普通读者都可以阅读。

版权所有，侵权必究。侵权举报电话：010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

那么小，那么大：为什么我们需要纳米技术？ / 郭子政，云国宏著. -- 北京：清华大学出版社，2015

ISBN 978-7-302-41001-0

I . ①那… II . ①郭… ②云… III . ①纳米技术 - 普及读物 IV . ①TB303-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 169547 号

责任编辑：宋成斌

装帧设计：罗 岚

责任校对：刘玉霞

责任印制：沈 露

出版发行：清华大学出版社

网 址：<http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址：北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编：100084

社总机：010-62770175 邮 购：010-62786544

投稿与读者服务：010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈：010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印装者：北京亿浓世纪彩色印刷有限公司

经 销：全国新华书店

开 本：145mm × 210mm 印 张：6 字 数：104 千字

版 次：2015 年 10 月第 1 版 印 次：2015 年 10 月第 1 次印刷

定 价：45.00 元

产品编号：062949-01

前 言

纳米世界，桃花流水，别有洞天。本书是关于纳米科学与技术的科普著作，试图从新的角度为读者展示纳米世界不同寻常的风景。全书共分为 4 章。第 1 章从具体例子出发，简单介绍纳米和纳米技术的概念。对于普通读者来说，纳米世界的第一印象就是“小”，但这种尺度上的减小究竟意味着什么，会带来哪些翻天覆地的变化则是这一章要重点阐述的。第 2 章说明纳米现象，即在纳米尺度上的材料到底发生了什么性质和规律上的变化。第 3 章是纳米技术的实际应用，包含了作者对纳米研究和应用本身的思考。第 4 章是对未来纳米技术发展的展望。

纳米如今已经走进人们的生活，纳米的许多关键技术关乎国计民生。本书面向所有对纳米技术感兴趣的读者，特别是一些正在大学学习的朋友，希望能为他们尽早接触纳米并能迅速扫盲发挥作用。为此，本书各章最后都设有深度阅读的内容，以引领他们进一步了解纳米科技研究的现状。

作者

2015 年 5 月

小到脱胎换骨

1. 其实金子是黑色的，还会穿“墙” · 003
 2. 钻石不发光，还能用来治疗癌症 · 009
 3. 纳米尺度下，物理规律彻底变了吗？ · 014
 4. 穿越到底改变了什么？ · 019
 5. 亲眼看见原子和电子之舞 · 025
- 深度阅读 · 032

看见的和看不见的 //

1. 身高 5 纳米的分子人 · 037
2. 小中之最小 · 040
3. 越测不准，越测得准 · 045
4. 你想看看二向箔吗？ · 051
5. 拯救摩尔定律 · 057
6. 怎么旋转很重要 · 064
7. 有电子才有摩擦 · 070

深度阅读 · 076



小，但是有用

1. 既可以防晒，又可以做污水处理 · 081
2. U 盘、硬盘还是全能纳米盘 · 087
3. 用纳米工具探测病毒 · 095
4. GPS 导航，一边送快递一边杀敌 · 102
5. 为了不被吞掉而乔装打扮 · 107
6. 纳米激光器，小且全能 · 111
7. 碎结石、查敌情的纳米机器人 · 116
8. 森林也有纳米的 · 122

深度阅读 · 128



当谈 未来 的时候，你看到了什么？

1. 要有光，未来之光 · 135
2. 把现在的太阳用在将来 · 140
3. 边走路边发电 · 145
4. 自己生长的纳米材料 · 150
5. BFO，不是 UFO · 155
6. 你是电，你是光，你是模仿的神话 · 163

7. 投资有风险 · 167

8. 安全第一 · 172

深度阅读 · 177

后记..... · 180

小

到脱胎换骨



游 弋

作者：张晓娜、张泽

这是 Ag/SiO_x 纳米结构在扫描电镜下的形貌。“章鱼”的头部为“ Ag/SiO_x ”的复合结构，表面为 SiO_x 层，内部为 Ag 。“章鱼”的尾部为非晶 SiO_x 纳米线，纳米线直径 30 纳米左右。

其实金子是黑色的，还会穿“墙”

1

纳米是什么？纳米技术又是什么？回答这个问题其实很难。纳米技术不像数学、物理、化学那样，限制在某个领域，它涉及的只是一个尺度。1 纳米等于 10^{-9} 米，一根头发丝的直径大概为 30 000 ~ 50 000 纳米，所以根据图 1-1 你可以想象一下“1 纳米”到底是多长，而且你很可能想不出来。当常态物质被加工到纳米尺度时，它们会表现出与大块物质或者原子、分子完全不同的性质。这种粒径在 0.1 ~ 100 纳米范围内的超微细材料，和相同组成的普通材料差异可太大了。

最典型的例子可能就是黄金了。它天生一副富贵颜色，一直被用来代表皇家风范，但在纳米尺度下，严格地说，当黄金被细分到小于光波波长的尺寸时，就呈现出黑色了。



毫米 人眼可见	跳蚤		1毫米 = 1×10^{-3} 米
	头发		100微米 = 0.1 毫米
微米 普通光学显微镜可见 (极限 0.2 微米)	红细胞		10 微米
	细菌		1微米 = 1×10^{-6} 米
	病毒		100 纳米 = 0.1 微米
纳米 电子显微镜可见 扫描隧道显微镜	DNA		10 纳米
	分子		1 纳米 = 1×10^{-9} 米
	原子		1 埃 = 1×10^{-10} 米

图1-1 举例说明毫米至埃(Å)的尺度范围内存在的物质个体以及观察其所需的工具

事实上，所有的金属在超微颗粒状态都呈现为黑色。尺寸越小，颜色越黑，银白色的铂（白金）变成铂黑，金属铬变成铬黑。不知道你会不会因为你的铂金戒指可能会变成黑色而失望呢？不过这种纳米材料可不是用来做成首饰佩戴的，它们的特殊性质比起做首饰来可有用得多了。

因为金属超微颗粒对光的反射率很低，通常可低于1%，它们小到几微米（1微米 = 1 000 纳米）的厚度时，基本上就不反光了。不反光，我们就看不到亮闪闪的戒指和项链，但是这个性质让多少科学家梦寐以求。因为利用

这个特性可以高效率地将太阳能转变为热能和电能。而红外敏感器件、红外隐身技术当然就更加需要把光彻底消除掉。1991年春的海湾战争中，美国F-117A型隐身战斗机外表所包覆的材料中就包含有多种纳米超微颗粒，它们对不同波段的电磁波有强烈的吸收能力，可以欺骗雷达，达到隐形目的。一种材料足够微小的时候，作用却足够强大。

以前，当你听到“纳米级材料”的时候，可能只意识到它很细微，但是如此微小尺度的材料到底有什么不一样呢？现在你至少知道了一点，因为如此小，它们基本不反光，仅是这一点，就足以应用在各种领域了。除此之外，这些微小的材料还表现出电、磁、热、吸收、反射及生物活性等特性，具有抗菌、防污、保鲜、高强度、耐磨等功能，可以用在各种地方。

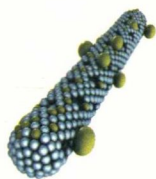
还是用金来举例吧，金这样的贵金属受热捧，除了其数量和颜色之外，最重要的原因之一就是其化学稳定性：在正常尺度下，金是出了名的“极不活泼的”金属之一，不易被氧化，也不易被腐蚀。常见铁生锈，银变黑，你的金首饰就永远没有这个后顾之忧。不过到了纳米尺寸，金会“性情大变”，除了变黑色，还表现出全新的、令人吃惊的化学、机械、电子和磁特性，而且这些特性根本不可能从正常的大尺度下推断或预测。



首先，金的结构会发生奇异变化。美国佐治亚理工学院的物理学家试着把仅有 20 个原子的金纳米簇吸附在氧化镁薄膜表面，然后外加一个电场。结果发现，金纳米簇从三维的金字塔结构变成了二维平面结构。当撤除电场或者改变电场方向时，金纳米簇又会变回三维金字塔结构。科学家认为，金在纳米尺度下的这种形态变化，是由于金纳米簇和氧化镁薄膜界面处过量电荷积聚造成的。

在纳米尺度下，金的热学性能也发生变化。固态物质在其形态为大尺寸时，熔点是固定的，超细微化后其熔点会明显降低。当颗粒小于 10 纳米量级时，这种降低尤为显著。金的常规熔点为 1 064 摄氏度，当颗粒尺寸减小到 10 纳米时，熔点降低了 27 摄氏度，当尺寸减小到 2 纳米时熔点仅为 327 摄氏度左右，也就是说，2 纳米尺度的金颗粒，放在点燃的蜡烛的内焰旁边，就可以燃烧了。

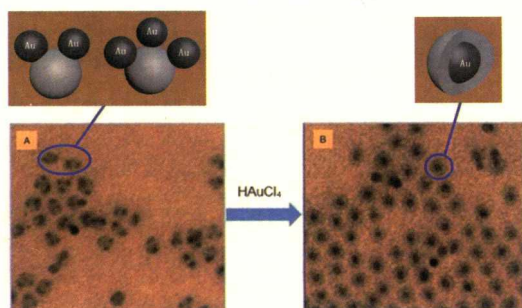
纳米金还具有磁性，甚至发生“金属－绝缘体”转变现象。在一项实验中，科学家发现，在有氧条件下拉伸金纳米线也会有惊人表现。假如嵌入的是氧原子，金纳米线中的金原子能和旁边的氧原子之间形成磁矩，产生磁性。而且，这种氧原子的嵌入就像是金纳米线添加了“橡皮筋”的特性，它能被拉伸得比正常情况下更长。在一定长度内，被拉伸的氧化的金纳米线仍能像纯金纳米线一样导电，但超过这一长度它就会变成绝缘体。氧化的金纳米线



轻微收缩后，又能恢复导电性。这是科学家首次发现纳米尺度下的“金属-绝缘体”转化现象。这种新的特性，有可能用于开发纳米催化剂和控制“金属-绝缘体”转换的纳米开关。

魔术师刘谦曾表演过著名的魔术“斗转星移”，他可以让一枚硬币从在严丝合缝的杯子里“跑”出去，有点类似传说中的“穿墙术”。而纳米金的“穿墙术”却不是魔术，而是事实。

图 1-2 演示了这样的神奇过程。砷化镓（InAs）是制造激光器和各种探测器等的常用的半导体材料。如果将砷化镓和金制成一种稳定的结构：杂化结构；此时的砷化镓全都会规规矩矩地保持在各自的“岗位”上，其中砷化镓保持在核心位置，金则围绕在砷化镓核的表面，如图（a）



(a) 砷化镓-金杂化结构

(b) 金会穿越到砷化镓纳米球的中间

图1-2 纳米金的“穿墙术”

所示。但此时，如果再加入含有金的另一种物质时，你会惊奇地发现，原来稳定结构中的金居然“穿越”到砷化银核的中间(如图(b)所示)，而这只能发生在纳米的尺度上。

HAuCl_4 除了正穿，纳米金还能表演逆穿。原本在硫化银(Ag_2S)纳米球内部的纳米金，在溶液中陈化72小时后，纳米金就“不知不觉”地钻出来了。而且表面的金，不甘于分离，还会“熟”化成一个颗粒。图1-3是更复杂的结构铂-金-硫化银核壳结构中的纳米金的穿越过程。

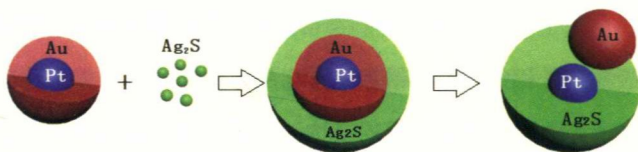


图1-3 铂-金-硫化银($\text{Pt-Au-Ag}_2\text{S}$)核壳结构中的纳米金的穿越过程示意图

为什么会出现这种穿墙术呢？因为在纳米尺度，原子都非常活跃，摆脱束缚，出现在其他位置的概率大大提高，大块材料不可能发生的事情，在纳米尺度就有了可能。这种穿墙现象其实是原子的一种扩散现象造成的。

一旦我们深入再深入，有条件在如此小的尺度上观察和实验的时候，金这种金属就发生了这么多有趣的变化，现在你应该对“纳米和纳米材料”有了一些认识。当你下次听到新的纳米产品的时候，可以想一想，这种纳米产品有什么不一样的特质，这种产品又是怎么利用这种特质的。

钻石不发光，还能用来治疗癌症 2

通过纳米金，我们看到了纳米材料的性质有多少不同。那么，坚硬而更加稳定的钻石呢？钻石也可以变成纳米级的材料吗？这种纳米技术又有怎样的难度呢？

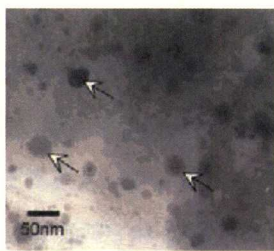
钻石就是因为炫目的光芒，才得以成为永恒爱情的象征，但纳米材料小到一定尺度，就不反射可见光了，所以，你可以想见，纳米钻石可不会像你手上戴的钻石那么耀眼（图 1-4）。

“纳米钻石”的概念最早起源于科学家在太空陨石中发现的钻石结晶体。这些钻石结晶体的平均直径只有 3 纳米，所以，只有用电子显微镜观察才能发现。科学家们猜测，这些钻石可能是在太阳系外的太空中由于超新星爆发而形成的。质量大的恒星在走到生命尽头的时候，会产生超新





钻石



纳米钻石

图1-4 钻石和纳米钻石

星爆发，并在飞散的气体中传导强烈的冲击波。就是在这样激烈的环境中，气体中的碳原子由于压力的作用，才结合成了纳米钻石。虽然这个猜想不容易证实，但形成纳米钻石需要高温高压的条件是确定无疑的，这就为人工合成纳米钻石提供了思路。

比如，根据这些条件人们发明了爆炸法 (detonation method)。首先将石墨等碳材料包裹在 TNT 炸药外，然后利用废弃的矿坑实施爆炸。伴随着一声巨响，冲击波在高温高压的瞬间将松散的碳原子紧紧压缩成一团。再将没能成就为钻石的石墨、非晶相的碳清除掉，留给我们的就是坚硬但没有炫丽光芒如同尘埃一般的纳米钻石。

这时候，即便你在其中翻翻捡捡，也肯定认不出来哪些是钻石。所有东西都是黑乎乎的，跟灰尘一样，即使确认出钻石，又不能打造成爱情信物，它还有什么用处呢？

实际上，纳米钻石具有优异的物理及化学特性，如高传热、高硬度、耐酸碱等特性，另外它的光谱特性也非比寻常。这些特性使得它在生物医学应用上大有用武之地。

美国科学家的研究证明，纳米钻石颗粒可以作为药物导弹被用来向癌细胞传输化疗药物。与当前使用的药物传输系统不同的是，这种新型的纳米钻石颗粒药物传输系统不会产生副作用。一系列的基因研究已经证实，首先，纳米钻石颗粒不会引起细胞炎症，因为一旦药物被释放出来，所留下的就仅仅是钻石微粒而已。同时，纳米钻石颗粒在水中的溶解度也赋予了它在临床应用方面的新优势，而且它还可以用来治疗结核病或者病毒感染。看，这么小又不发光的钻石，作用可比戒指大多了。

纳米材料的特性，给了科学家更多、更宽广的空间来使用这些材料。当我们说到“纳米技术”的时候，要不就是使用了某种具体的纳米材料，要不就是在纳米尺度上发展出来的技术。不管是哪一种，都是具体而微的。如果你听到某些产品把纳米技术宣传得神乎其神，你可以多问一个问题：用了什么材料，什么特性？或者是什么技术？

举例来说，用于生物体，特别是人体的材料一般要求比较苛刻，首先它要具有生物相容性，另外当然还要无毒。一般认为纳米钻石、碳管这类碳组成的纳米材料具有比较

