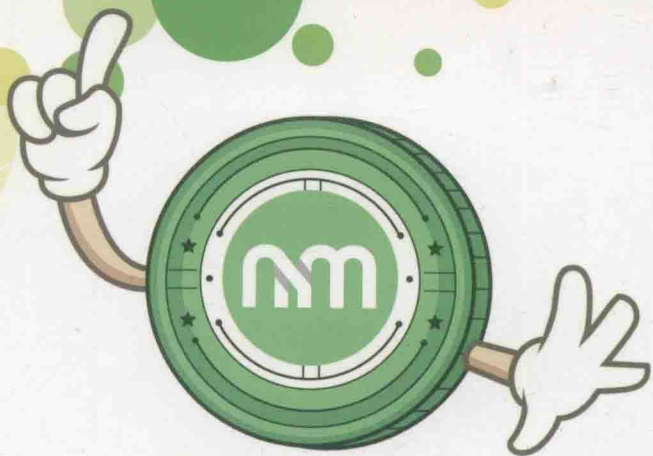




“纳米” 来啦

令人脑洞大开的纳米科技

任红轩◎著



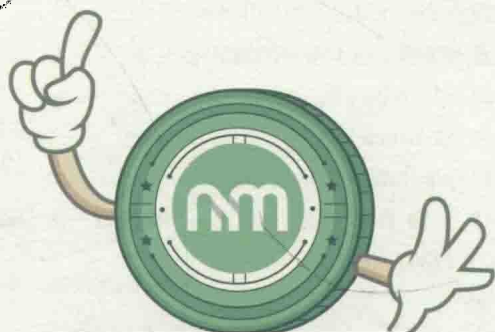
中国质检出版社
中国标准出版社

“纳米” 来啦

令人脑洞大开的纳米科技



任红轩◎著



中国质检出版社
中国标准出版社

北 京

图书在版编目 (CIP) 数据

“纳米”来啦 令人脑洞大开的纳米科技 / 任红轩著. —北京: 中国质检出版社, 2018.10

ISBN 978-7-5026-4639-4

I. ①纳… II. ①任… 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 (2018) 第 186888 号

出版发行 中国质检出版社 中国标准出版社

北京市朝阳区和平里西街甲 2 号 (100029)

北京市西城区三里河北街 16 号 (100045)

总编室: (010) 68533533

发行中心: (010) 51780238

读者服务部: (010) 68523946

各地新华书店经销

网 址 www.spc.net.cn

印 刷 中国标准出版社秦皇岛印刷厂

版 次 2018 年 10 月第一版 2018 年 10 月第一次印刷

开 本 880 × 1230 1/32

印 张 4.625

字 数 115 千字

定 价 28.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换

版权专有 侵权必究

举报电话: (010) 68510107



目录

CONTENTS



第1章

“纳米”来了 // 1



第2章

问道“纳米” // 6

1. 什么是纳米? // 6
2. 什么是纳米尺度? // 16
3. 什么是纳米科技? // 17
4. 什么是纳米材料与纳米结构? // 18
5. 什么是纳米材料效应? // 26



第3章

“纳米”时光机 // 33

1. 奇妙的微观世界 // 33
2. 纳米起源 // 36
3. 纳米科技发展里程碑 // 39
4. 纳米科技发展路线图 // 67
5. 纳米尺度检测工具 // 68
6. 纳米器件与加工设备 // 71

第4章

万能的“纳米” // 80

1. 纳米材料 // 80
2. 纳米环境与能源 // 92
3. 纳米生物与健康 // 97
4. 纳米电子与信息 // 103
5. 纳米科技与军事 // 108
6. 纳米生物效应 // 120

第5章

有趣的“纳米” // 125

第6章

瞭望“纳米” // 135

结语 // 139

致谢 // 140

参考文献 // 142



第1章

“纳米”来了

导语：科技的发展完全颠覆了人类传统的生活方式，每一项重大技术的发展都可以影响几代人的生活方式。蒸汽机的出现，使人们告别刀耕火种，进入蒸汽时代，生产力获得了极大的解放，人类进行了第一次工业革命；电的发明，使得整个世界摆脱了黑夜限制，变得明亮和快捷，人类进入电气时代，开始了第二次工业革命；晶体管的发明，带来了电脑、手机和网络，使得人类的联系摆脱了时间和空间的限制，沟通变得非常便捷，人类进入信息时代，掀起了第三次工业革命。现在，一项新的技术正悄然潜入我们的生活（图1-1~图1-3），这就是我们耳熟能详的纳米科技，随着它的深入发展，引爆了第四次工业革命。

也许有一天，你的生活和周围的世界会全面与一个称为“纳米”的名词紧密联系起来：当你入睡时，纳米传感器会整夜监控你的呼吸状态和睡眠质量，如果有异常情况发生，仪器会自动报警；当你清晨醒来时，纳米传感器会及时把你的状态发送给主机，由纳米变色材料制成的智能玻璃自动调整透入室内的光线；从纳米材料制成的纱窗进入大量经过过

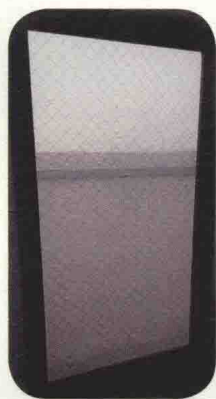


图 1-1 防雾霾纱窗

滤的新鲜空气，再也不用担心雾霾；当你一不小心把纳米陶瓷杯摔到地上的时候，杯子不是变得粉碎，反而有可能完好无损；又厚又重的电视不存在了，取而代之的是轻薄的4D电视或投影技术；当你生病时，血液中的纳米机器人将带着药物运动到患病部位，定点进行治疗，使你快速恢复健康（图1-4）；出门有集成大量纳米传感器的无人驾驶新能源汽车代步，至少可以跑1000km，而充满电只要几分钟（图1-5）；长途旅行时，有无人驾驶的飞机帮助你；使用的计算机到了量子水平，

真正实现超级计算，传统的密码在它面前相形见绌，实现了人工智能；计算机的电路和元器件进入亚纳米尺寸，并且可以穿戴在身上；利用碳纳米管或石墨烯做的太空天梯可以完成月球旅行……

20世纪80年代末才发展起来的纳米科技，研究的领域介于宏观和微观之间。纳米科技一经兴起，就迅速渗透到科学和社会各个领域，并以爆发式的速度拓展。目前所取得的成就，已经展示了无比广阔的美好前景。随着技术的不断突破和产业化，纳米科技正不知不觉地走进我们的生活，悄然改变着我们的未来。有谁曾想到：“量子世界、隐身材料、人工智能、机器人、云计算、大数据、无人驾驶、物联网、互联网医疗、远程人体监测、重大疾病治疗”等各种黑科技的背后是以纳米材料和纳米结构为核心的纳米技术做支撑。无怪乎欧美等发达国家都把纳米技术作为未来颠覆性技术之一，投入巨资加以研发，抢占未来的科技与经济制高点。



图 1-2 摔不碎的
纳米陶瓷杯

在这波澜壮阔的新技术革命洪流中，纳米技术、信息技术和生物技术一起构成了 21 世纪推动经济和社会发展的三驾马车，深刻地改变着人类社会。正如我国著名科学家钱学森先生所说：纳米科技将会带来一场技术革命，从而引起 21 世纪又一次产业革命。

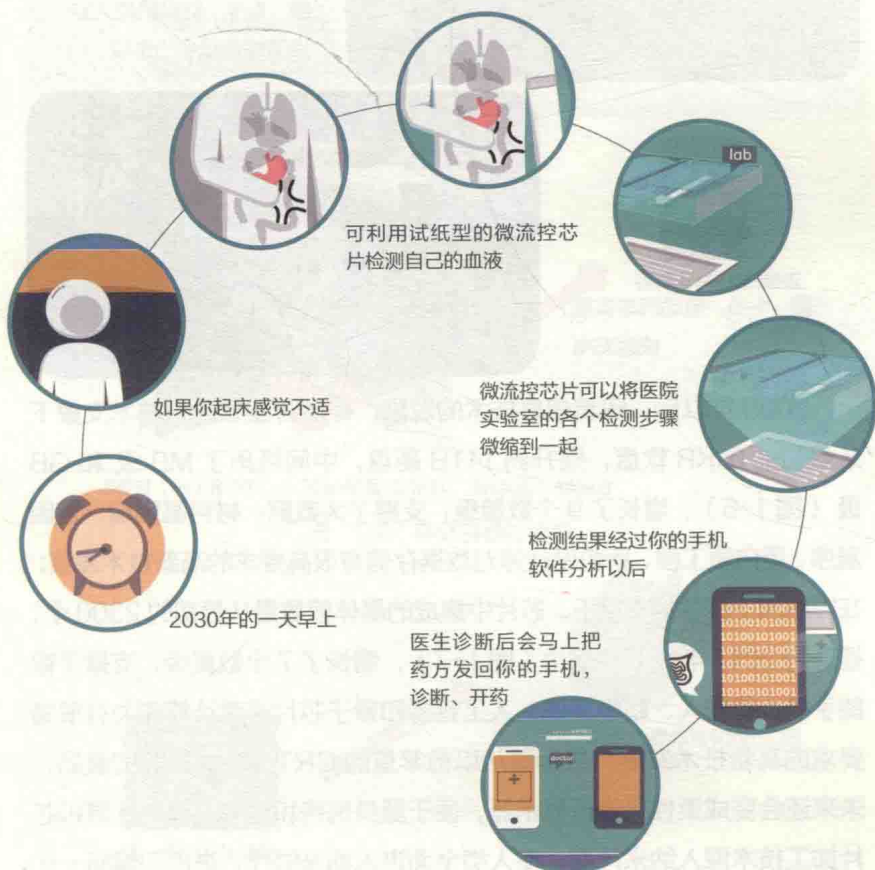


图 1-3



图 1-4 纳米机器人定点清除血管中的斑块



图 1-5 电动汽车实现
快速充电

2000 年以后，随着信息技术的发展，存储容量在纳米技术支撑下从最初的 81KB 软盘，提升到 14TB 硬盘，中间经历了 MB 级和 GB 级（图 1-6），增长了 9 个数量级，支撑了大数据、材料基因组、基因测序、蛋白质工程、新药设计等对数据存储有很高要求的高新技术发展；在微纳加工技术的支撑下，芯片中集成的晶体管数量从最初的 2300 个，提升到 2017 年的 100 亿个（图 1-7），增长了 7 个数量级，支撑了智能手机、机器人、超级计算、人工智能和量子芯片等对计算能力有很高要求的高新技术发展；显示器从以前笨重的 CRT，变成轻薄的液晶，未来还会变成柔性可卷折显示器，便于随身携带和信息交流。计算机芯片加工技术深入纳米尺度，使人类全面进入纳米时代，进而引爆新一代波澜壮阔的科技和产业革命。

在这里，让我们从纳米及纳米科技的概念开始，去探索神奇的纳米世界吧。

知识
点

Fin FET 全称 Fin Field-Effect Transistor, 中文名叫鳍式场效应晶体管, 是一种新的互补式金属氧化物半导体晶体管。FinFET 的命名是根据晶体管的闸门 3D 架构形状类似鱼鳍的叉状而来, 在功能上与传统晶体管不同之处在于可从电路的两侧控制电路的接通与断开, 这种设计可以改善电路控制并减少漏电流, 缩短晶体管的闸长, 对在纳米尺度缩小晶体管的尺寸有重要意义。



8英寸 (in) 81KB, 5.25in单面180KB, 3in双面1.44MB



容量为14TB的硬盘

图 1-6 存储容量的提升



第一块个人处理器
2300个晶体管 $10\mu\text{m}$ 工艺



集成100亿个晶体管10nm工艺
3D FinFET技术

图 1-7 芯片中晶体管数量的提升

注: 1英寸 (in) = 0.0254m。

第2章 问道“纳米”

导语：判断纳米材料的关键在于两点，除了纳米尺度的概念之外，还需要判断是否具有纳米效应。真正的纳米材料至少有一个维度处在纳米尺度，同时还应具有比表面效应、小尺寸效应和量子隧道效应等与宏观尺度材料不同的纳米效应。

1. 什么是纳米？

纳米是一个长度单位，1 纳米为百万分之一毫米，也就是 10 亿分之一米（ $1\text{ nm}=10^{-9}\text{ m}$ ）。一个氢原子直径是 0.1 nm ，也就是 10 个氢原子排成一排的长度是 1 纳米；硅原子的直径是 2 埃， 1 nm 相当于 5 个硅原子排成一排的距离。

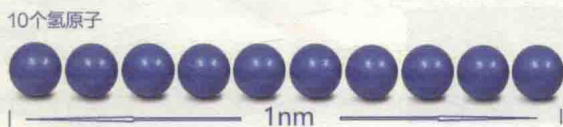


图 2-1 1纳米长的10个氢原子示意图

注：1埃= 10^{-10} m 。

知识
点

通常人类的头发看起来很光滑，但是把它放到电子显微镜下，你会发现在貌似光滑的外表之下，存在非常多的鳞片结构。头发直径范围是 $60\mu\text{m}\sim 90\mu\text{m}$ 。



图 2-2 一根头发的照片及头发的电镜照片
 1nm 相当于一根头发丝直径的十万分之一。

图 2-3 纳米齿轮示意图

这些纳米齿轮是为一台计算机设计的，它的直径只有几纳米，由一个个的单原子堆积而成。

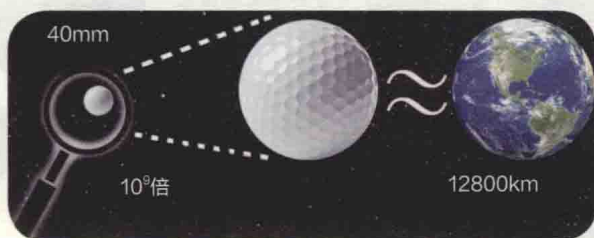
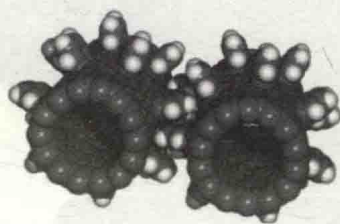


图 2-4 把高尔夫球放大 10^9 倍
高尔夫球直径约 $4 \times 10^7\text{nm}$ ，地球直径约 $1.28 \times 10^{16}\text{nm}$ 。

举个例子来说，如果把 1nm 的材料放在一个高尔夫球上，把它放大到 10^9 倍数，就相当于把 $1/4$ 个高尔夫球放在地球上。

“纳米”来啦

令人脑洞大开的纳米科技



人类对世界的探索一直在朝两个方向发展，一个方向是向宏观世界——浩瀚的宇宙；另一个方向是向微观世界——物质的起源。在宏观向微观发展的过程中，不可避免地会经过纳米尺度——介于宏观和微观之间，因此纳米尺度也常被称作介观尺度。

我们可以从熟悉的地理城市大小出发，更好地理解空间尺度大小的概念。从下面一组图可知，我们可以在卫星上架起设备来观察地球。



图 2-5 10^7m 分辨率

10^7m (100000km) 可以分辨地球的一部分



图 2-6 10^6m 分辨率

10^6m (1000km) 可分辨不同的国家



图 2-7 10^5m 分辨率

10^5m (100km) 可分辨不同的省份

图 2-12 10^0m 分辨率
 10^0m (1m) 可分辨汽车



图 2-11 10^1m 分辨率
 10^1m (10m) 可分辨建筑物



图 2-10 10^2m 分辨率
 10^2m (100m) 可分辨城市中居民区的建筑排列

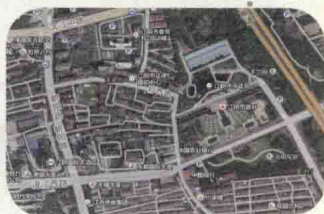


图 2-9 10^3m 分辨率
 10^3m (1km) 可分辨城市中的街区



图 2-8 10^4m 分辨率
 10^4m (10km) 可分辨不同的城市



“纳米”来啦

令人脑洞大开的纳米科技

目前使用高分辨侦察卫星，对地最好的分辨率是 0.1m ，数据不对外公开。因此，对于更小尺度的观察，恐怕我们要换个角度，换种设备来进行了。



图 2-13 10^{-1}m 分辨率
 10^{-1}m (10dm) 可分辨人的大关节



图 2-14 10^{-2}m 分辨率
 10^{-2}m (1cm) 可分辨人的指关节



图 2-15 10^{-3}m 分辨率
 10^{-3}m (1mm) 可分辨蚂蚁

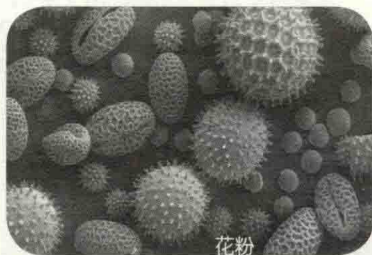


图 2-16 10^{-4}m 分辨率
 10^{-4}m ($100\mu\text{m}$) 可分辨花粉、螨虫等

知识点

蚂蚁一般个体较小，通常在 $0.05\text{cm}\sim 3\text{cm}$ 。

植物的花粉直径大概在 $100\mu\text{m}\sim 200\mu\text{m}$ 。外观很像蒺藜，表面有很多倒刺，容易勾在其他材料的表面，实现花粉传播的目的。

细胞是人体的结构和功能单位。约有 $40\text{万}\sim 60\text{万亿}$ 个，细胞的平均直径是 $10\mu\text{m}\sim 20\mu\text{m}$ 。最大的人体细胞是成熟的卵细胞，直径在 0.1mm 以上；最小的是血小板，直径只有约 $2\mu\text{m}$ 。

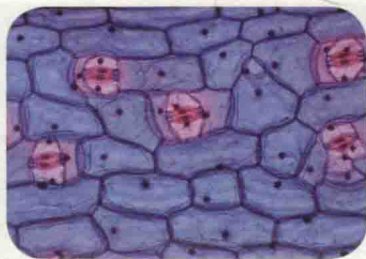


图 2-17 10^{-5}m 分辨率
 10^{-5}m ($10\mu\text{m}$) 可分辨细胞



图 2-18 10^{-6}m 分辨率
 10^{-6}m ($1\mu\text{m}$) 可看到血液中红细胞

知识点

人类的红细胞的直径大概在 $2\mu\text{m}\sim 5\mu\text{m}$ ，也就是 $2000\text{nm}\sim 5000\text{nm}$ 。形状像一个柿饼。

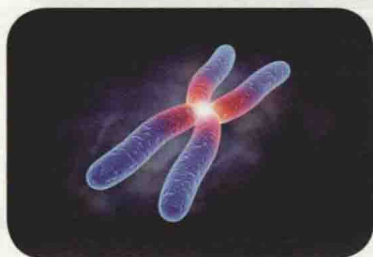


图 2-19 10^{-7}m 分辨率
 10^{-7}m (100nm) 可分辨染色体

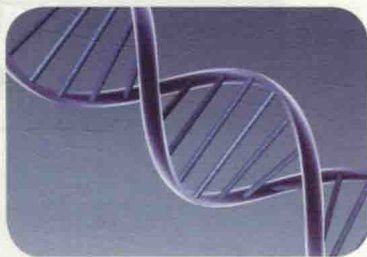


图 2-20 10^{-8}m 分辨率
 10^{-8}m (10nm) 可分辨DNA的双螺旋结构

知识点

染色体是细胞内具有遗传性质的遗传物质深度压缩形成的聚合体，易被碱性染料染成深色。染色体的一级结构经螺旋化形成中空的线状体，称为螺线体、核丝、螺线筒、螺旋管；染色体的“二级结构”，其外径约 30nm，内径 10nm，相邻螺旋间距为 11nm。30nm 左右的螺线体（二级结构）再进一步螺旋化，形成直径为 $0.4\mu\text{m}$ 的筒状体，称为超螺旋管，这是染色体的“三级结构”。

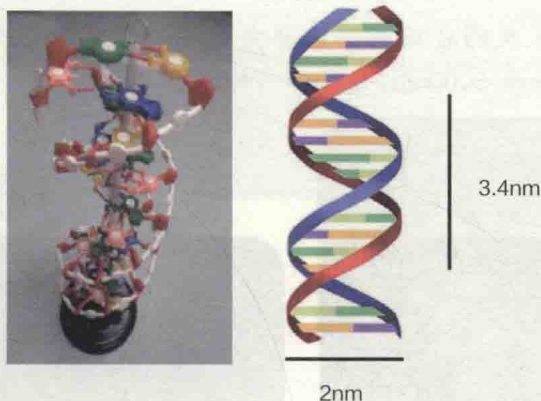


图 2-21 10^{-9}m 分辨率
 10^{-9}m (1nm) 可分辨DNA的分子结构

知识点

DNA 的链段间距约 0.4nm~2nm，它不仅是遗传物质，也是天然的纳米材料。形状有点像我们吃的麻花，由两条链螺旋状扭曲。病毒尺寸在数百纳米，上面布满狼牙棒状的结构，是它能够快速传播的结构因素。科学家也会利用它做纳米药物的载体，实现特殊药物的靶向功能。