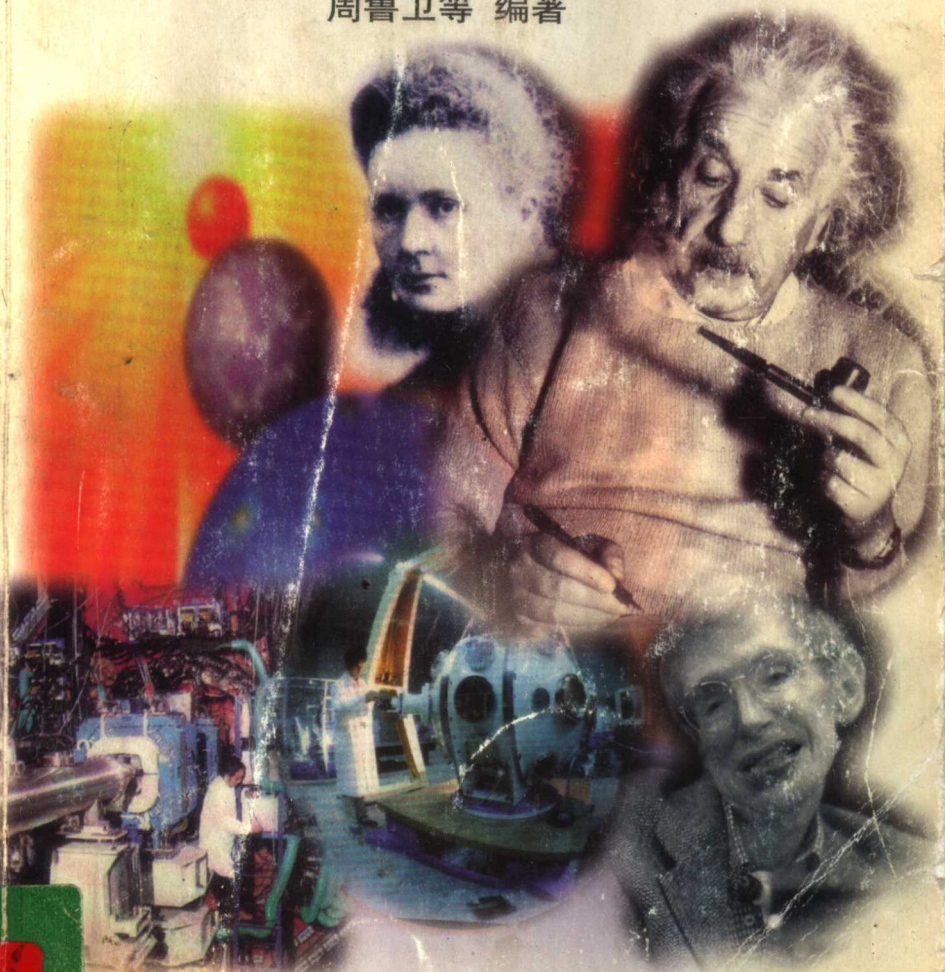


大千奇观

—— 物理世界揽胜

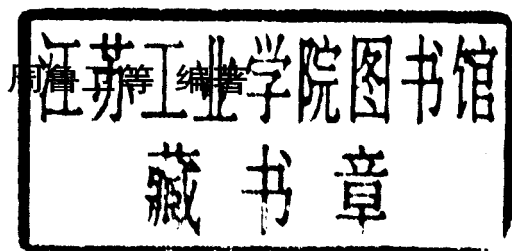
周鲁卫等 编著



上海科学技术出版社

大千奇观

——物理世界揽胜



上海科学技术出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

物理世界揽胜 / 周鲁卫等编. — 上海: 上海科学技术出版社, 2000.4
(大千奇观)
ISBN 7-5323-5401-6

I. 物... II. 周... III. 物理学 - 普及读物
IV. 04-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 16781 号

上海科学技术出版社出版发行

(上海瑞金二路 450 号 邮政编码 200020)

常熟市第六印刷厂印刷 新华书店上海发行所经销

2000 年 4 月第 1 版 2000 年 4 月第 1 次印刷

开本 850 × 1168 1/32 印张 6.25 字数 100 千

印数 1—3000 定价: 12.60 元

本书如有缺页、错装或坏损等严重质量问题,
请向本社出版科联系调换

内 容 提 要

本书由“看到原子，抓住原子——STM”等18篇反映新材料、新光源、新能源、现代通信、信息技术和生命科学等领域的高新技术的科普文章所组成。本书通过这些生动、易懂的文章，向你撩开高新技术那高深莫测的神秘面纱，使你能够并饶有兴趣地了解当今科技发展的动态、高新技术的神奇魅力以及它们给人类生活所带来的巨大变化。

本书作者均为大学教授和科研人员，他们怀着对科普工作的满腔热情，在繁忙的教学和科研工作中抽出时间，潜心为广大读者撰写有关的科普文章，为使本书达到“专家认可，读者爱看”的目标，他们化了大量的心血。

出版者的话

天下之“奇”无处不在，无时不有。它使人进入美妙的奇境，令人浮想联翩，遐思无穷。

翻开科学的史册，人们可以发现，许多科学巨人就是在好奇心的驱使和激发下，攀上了科学的巅峰，为科学的发展谱写了光彩夺目的篇章。伟大的物理学家爱因斯坦说过：“人类的一切经验和感受，以神秘感最为奇妙”。对科学如饥似渴的好奇心，使爱因斯坦12岁时就决定献身于解决“那广漠无垠的宇宙”之谜。伟大的生物学家达尔文青年时代就开始了环球旅行，在旅行途中，他对大自然的奇景心醉神迷，收集了不少珍贵的动物和植物标本，发现了许多古代生物的化石，经过大量的研究和探索，终于提出了划时代的生物进化论。

五彩缤纷的大千世界常常激起人们的好奇心，推动了科学的发展，同时，科学的发展，使人们达到了更高的水平，看到了更广阔的天地，见到了原先在视野之外的东西，于是又出现了一个个奇妙的新问题。在这样的循环往复之中，一批批科学家应运而生，科学也迈开巨人般的脚步，从宏观发展到微观，从定性到定量，在多侧面和多层次上取得了令人振奋的丰硕成果。好奇植根于“奇观”的土壤之中，一旦它开花结果，就会在智慧活动中创造出惊人的奇迹。

我们曾经花费十多年的功夫，出版了《天下之奇》。厚厚的一册所收集的天下奇闻趣事，只不过是凤毛麟角、沧海一粟，而读者的回报却是那么丰厚。该书先是被认可为上海青年爱读的十本书之一，继而在首届上海市优秀少儿读物评选中获奖，1996年又被中国书刊发行协会评为科技类优秀畅销书。在科学技术飞速发展的今天，我们觉得，在偌大的大千世界中有着说不完的关于奇趣的话题，为此，在修订重版《天下之奇》之外，我们又编辑《大千奇观》系列科普读物。

翻开这一本本《大千奇观》，在《趣味植物》中，您可以看到会流泪的胡杨树、八千多岁的龙血树寿星，会睡觉、跳舞和发烧，甚至会设陷阱欺骗动物的奇特植物……在《动物》中，您可以看到、动物气功师拱桥鼠和海刺猬，争风吃醋的金蟾蜍，会在沙漠中“游泳”的袋鼠，凶猛的老虎遭豪猪、蟒蛇、大象、鳄鱼反击的故事，解答虎与狮谁是兽中之王的谜题……在《人体》中，您可以看到，人体内的旋风，裂脑人和半脑人，聪明的傻子，活着的“死人”，第三个脑袋，脑袋可不可以换，脑海的最后图景……在《生命科学撷趣》中，您可以从科学家对生命的研究中领略各种妙趣，了解人类的记忆藏在哪儿，神奇的“导弹药物”，为什么要给细胞充电，用蛋白质来制造计算机，DNA 神探 - PCR 技术以及衰老的奥秘等有趣的话题……而在这本《物理世界揽胜》中，您可以知道怎样能看到原子、抓住原子，让它为人类创造奇迹，为什么曾被视为废能的同步辐射光却是难得的、有奇特用途的光源，五彩缤纷的薄膜有些什么了不起的用途，用什么方法去探索生命的奥秘，为什么说有朝一日能破译人脑思维和记忆的秘诀……

大千世界是一个蕴含知识养料的浩瀚大海。《大千奇观》立志于把这个“海洋”的奇珍异宝打捞出来，分门别类结集出版。它清晰质朴，仍然带着泥土的芬芳，其间有奇趣可看，有科学依据可寻，但不哗众取宠。希望您喜欢它，并及时给我们提出宝贵的意见和建议。

目 录

看到原子, 抓住原子——STM	1
“废能”妙用化神奇——关于同步辐射光源的故事	10
薄膜世界揽胜	24
奇妙的激光细胞术——探索生命奥秘的新技术	36
从裂变到聚变——原子工业的未来	49
光子时代的宠儿——漫谈液晶光阀	62
钻石的新生	72
神奇的新型纳米多孔材料——气凝胶	80
超导磁悬浮	88
人体生物磁	96
五光十色的光盘王国	107
多维光储存——面向 21 世纪的新技术	115
全息照相	124
神奇的指路明灯——GPS: 全球定位系统	134
奇妙的液体	148
隐身漫谈	162
奇妙的光子	170
架于宏观与微观世界之间的桥梁——介观物理学	183

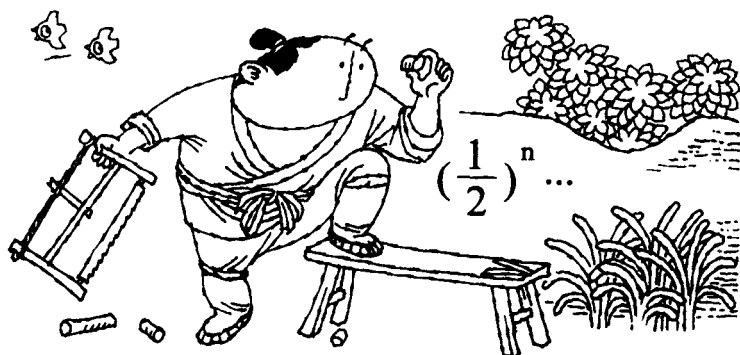
看到原子，抓住原子

——STM

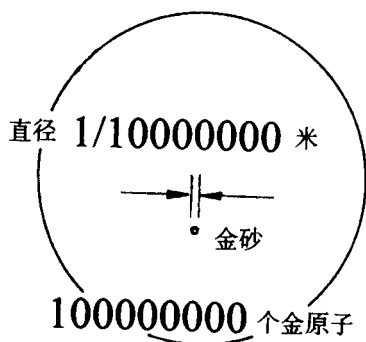
蒋平（复旦大学物理系 教授）

传统显微镜的极限

有这么一句老话：“一尺之棰，日取其半，万世不竭。”作为纯数学的命题，这句话并不错。因为第一天剩下一半，第二天剩下四分之一，第十天剩下 $(1/2)^{10}$ ……显然，不管 n 有多大， $(1/2)^n$ 都不是零。但是，从实际技术的角度来看就不那么简单了。当这根棍子的长度越来越短时，如何能稳稳当地把握住剩下的部分再将其一分为二是很伤脑筋的。比方说到了有一天，这根棍子只剩下一粒灰沙那么大，就像眼睛里揉进的一颗沙子，再要将它劈成两半，多数人大概都只能束手无策。然而小小一粒沙子里却有大约一亿亿个以上的原子。很明显，实际上我们无法将沙子一劈为二，更不用说不断地劈到只剩一个原子了。尽管我们对原子这个词并不陌生，中学化学课、物理课里都讲到过原



子。但要是有人对你说，请拿颗原子来让我看看，你多半只能干瞪眼。大家都知道，任何物质都是由原子组成的，原子是物质保留其化学属性的最小单元。例如氧原子仍能表现出氧的性质，金原子仍能表现出金的性质。不过这些知识都是书上写的、老师教的。你说不信吧，几十年下来大家都说对；你说相信吧，心里总像有点不太踏实，所谓耳闻为虚，眼见为实嘛。要是真能弄个原子来看一看那该多好啊。可平常我们谁也没见到过单个的原子，这是因为原子实在是太小了，再棒的显微镜也无能为力。由于光的衍射作用。在日常的经验里我们一般都以为光是以直线传播的，如果被障碍物挡住就产生阴影。但是仔细的观察表明光是能够照到阴影中去的，好像光线会拐弯，使得阴影与光明的边界变得不那么清晰而是有点模糊，这就是光的衍射。对通常的光学显微镜而言，光线的衍射使一个圆点状的客体形成的放大的象并不是一个清晰的圆盘，而是一团边缘模糊的亮斑。要是有两个点状物靠得很近，它们的象就有可能一部分重叠在一起，看起来就像是一个东西而分不清是两个点。物理学又告诉我们，不同颜色的光线表明光波有不同的波长，而衍射作用的影响又同光的波长有关。可见光的波长大约在千万分之四米到千万分之八米之间。如果有两粒直径是千万分之一米的金沙靠在一起，光学显微镜里看



起来只是模糊一团，看不出是两粒金沙，就像没戴眼镜的深度近视眼者看不清桌上到底放的是一粒弹子还是贴在一起的两粒弹子一样。可是，就是在这么小的一粒金沙里面竟然有大约一亿个金原子，叫普通显微镜如何能看得清单个的原子！

能够“看到”原子的 STM

大概可以这么说，打从原子说建立之初，科学家们就产生了亲眼看一看原子的愿望。经过无数人的努力，直到20世纪80年代初，一种真正能“看见”原子的显微镜终于诞生了。这种显微镜是由宾尼希（G.Binnig）和罗勒（H.Rohrer）两位学者发明的。从原理上来看，它与光学显微镜几乎是风马牛不相及。这种显微镜完全不是利用透镜对光线的折射形成放大的象，而是应用了量子力学中的“隧道效应”，因此称为“扫描隧道显微镜”，英文缩写成 STM。

量子力学是本世纪初建立起来的一门全新的物理学。如果说我们今天所以能生活在一个以计算机、卫星通信、航天飞机等等为标志的科学技术高度发达的文明世界里，在很大程度上是得益于量子力学，那是丝毫也不夸张的。量子力学有一个基本概念，就是像原子、电子这一类微观粒子的性质不单像颗粒状的质点，也像波。就是这种波动性造成了许多通常难以想象的现象，隧道效应即是一例。

学过物理的人都知道，经典物理学中有这样一条众所周知的定律，那就是一个物体不能进入势能超过其总能量的区域，这种高势能的区域叫做势垒区，物体的能量太低就不能越过势垒，就像一位精力不济的老人难以爬上高坡一般。但是，量子力学说：不对。即使微观粒子的能量低于势垒区的势能（通常称之为势垒高度），也有一定的可能性通过，如同我们在山脚下挖一条隧道，

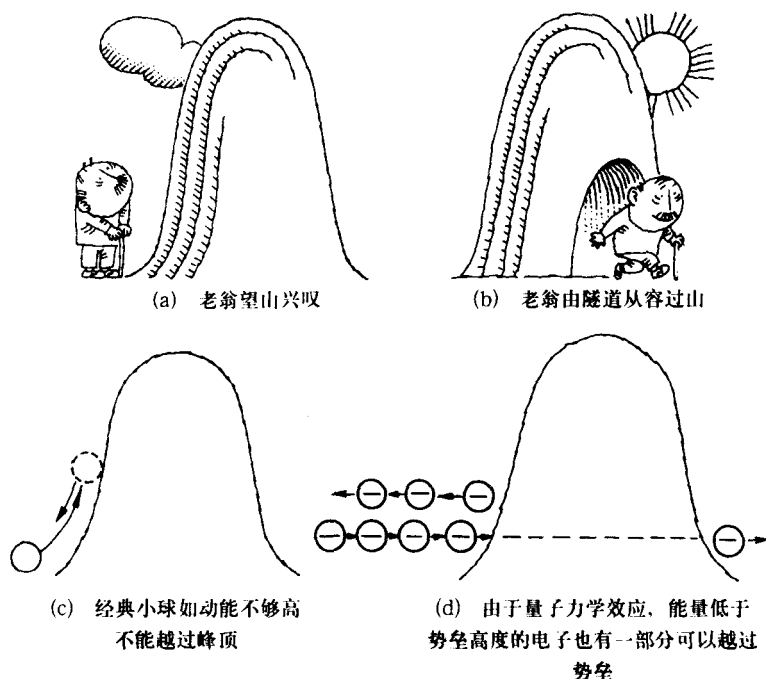


图1 量子隧道效应

便可以不必爬高就能从隧道穿过山坡一样。这就是隧道效应。只是隧道效应发生的可能性同势垒的高度与宽度极有关系, 势垒太宽太高就会阻止隧道效应的出现。

现在设想有两个金属电极彼此分开而不用导线相连。当把这两个电极分别接到电池的正、负极上时当然没有电流通过。这是因为金属中电子的能量比真空中的电子势能小, 电极之间的真空区就是一个电子的势垒。但是, 如果电极靠得很近, 使势垒区很窄, 比如说只有0.1纳米(百亿分之一米)的距离, 那么, 电子就有相当大的机会越过势垒, 从一个电极飞到另一个电极而形成电流。这就是隧道电流。STM正是利用隧道电流来探测样品的

表面的。

从装置上来看，STM的原理性部分可算是简单得出奇，就是一根金属针，只不过针尖极为尖细，甚至在它的顶部往往只剩下一个原子。针尖的位置既可以通过控制电路沿着样品表面作横向扫描，也可以垂直于样品表面作纵向变化。设想针尖处于样品表面之上，并在针尖与样品之间加一定的电压。仔细降低针尖的位置，直到出现明显的隧道电流为止。记下电流的数值。然后把针尖转移到邻近的位置，如果新位置上的样品表面的高度有变化，就会改变样品和针尖间的距离，也就是改变了势垒的宽度，这必然要导致隧道电流的变化。比如说新位置高一些就会引起隧道电流的上升。但我们可通过控制电路将针尖略微抬高，以使电流仍恢复到针尖在老位置上的数值。这样，当针尖沿样品表面扫描时，只要我们始终维持隧道电流不变，针尖本身的高度就直接反映出样品表面的形貌。针尖高的地方就是样品表面突出处，针尖低的地方就是低洼处。在实际情形，如果电压固定不变，只要样品和针尖间的距离改变0.1纳米左右，隧道电流就会变化近10倍。这种惊人的灵敏度正是STM所以能“看见”单个原子的关键所在。

请将原子想象成一个个小球。那末样品表面就是由这些小球

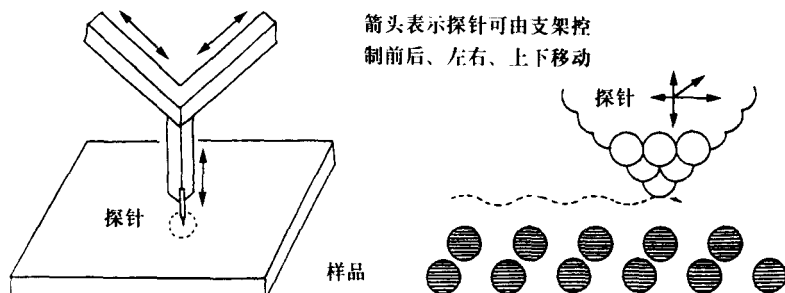


图2 STM探测物体表面

彼此隔开一定的距离排列而成的。如果STM的针尖顶部只剩一个原子便像一个半球。不难想到，由于原子的直径多半在 $0.2 \sim 0.3$ 纳米左右，当针尖对准一个原子和对准原子间的空档时，要是针尖高度不变，隧道电流必然会明显不同。这就是说，STM的针尖靠隧道电流“感觉”到了单个原子的位置。通过计算机的数据处理，就能将针尖沿样品表面扫描时的高度变化转变成一幅表面形象的照片，从照片上能清楚地看出各个原子的位置。这就是STM看见原子的大致过程。

出尽风头的 STM

STM一经问世便大出风头，不仅在物理学，还在化学、生物学等领域里大显身手。例如，历史上硅晶体的一个表面〔通常称(100)表面〕上的原子排列方式在科学界一直众说纷纭，莫衷一是。后来物理学家用STM“看”到了硅(100)表面上的原子排列，终于得出了肯定的结论，使这一桩争论了二三十年的“公案”一朝了结。又如苯是一种极重要的有机分子，是由6个碳原子和6个氢原子形成的六角形环状平面结构，许多重要的有机化合物分子中都包含苯环。化学家用STM直接“看”到了苯

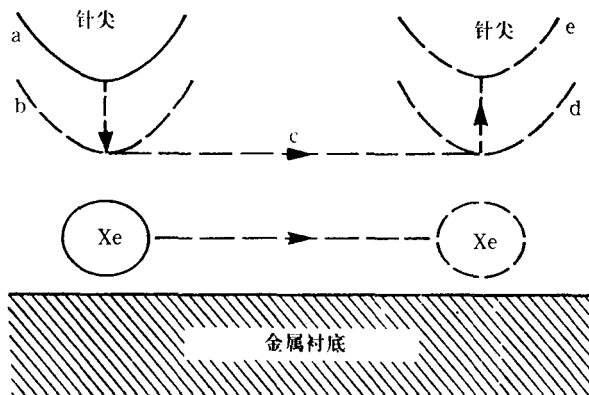


图3 用STM作原子拖曳的示意图，Xe为氙原子

环。而对于生物学家来说，脱氧核糖核酸（DNA）携带着遗传的重要信息，谁都希望弄清楚它的分子结构。又是STM使他们如愿以偿，生物学家用STM“看”到了DNA的著名的双螺旋结构。因此，STM诞生不过五年的时间，就使它的发明人获得了与研究电子显微镜卓有成就的鲁斯卡（E.Ruska）一起共享1986年诺贝尔物理学奖的殊荣。

最近二三十年来，表面科学作为一门新学科异军突起，因为许多重要的科技问题都同表面的性质有关。表面科学的一个重要课题就是表面结构——研究原子如何排列在材料的表面上。过去虽然有一些先进的仪器设备能用来探索表面结构，但大多是间接的。STM的发明对于表面结构的研究真是如虎添翼。可以肯定地说，当今世界上没有哪一个先进的表面科学实验室不配备STM，其重要性由此可见一斑。

还有更激动人心的事情。那是1990年，美国国际商用机器公司阿尔马登研究所的爱格勒（D.M.Eigler）等人的一项研究成果轰动了科学界。他们发现可以用STM的针尖拖住表面上的单个原子，使其跟着针尖走。这就打开了STM应用的一个全新的领域。虽然还称之为“显微镜”，但STM的作用已远远超出显微放大的领域，而是能用来

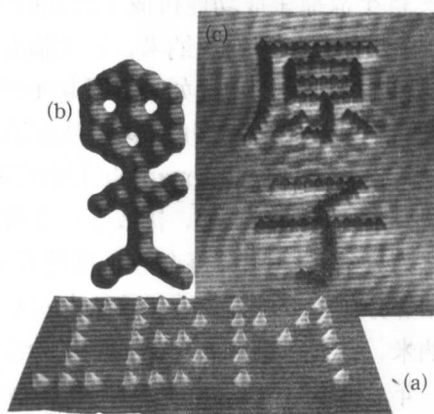


图4 STM的魔力

(a)用STM将35个Xe原子排成的“IBM”字样
(b)用一氧化碳分子排成的分子人 (c)用铁原子在铜表面排成的汉字“原子”

像机械手一样操纵原子了。说得通俗一点，有了STM，人类破天荒第一次能抓住单个的原子了。爱格勒他们先是在镍的表面像往大饼上撒芝麻似的吸附上一些氙原子，再把STM的针尖对准其中的一个氙原子。当针尖和氙原子之间的距离缩短到一定程度时，氙原子就能感觉到针尖对它有吸引力的作用。这个力不大不小，恰到好处。如果针尖移动就能将下面的氙原子拽住一起运动，可又不致于脱离镍的表面。到了指定的位置再将针尖抬高，氙原子就脱离针尖的影响而停在了新位置上。用这样的办法他们把35个氙原子成功地排成了公司的标志——英文字母IBM，每个字母的尺寸只有5纳米，这大概是世界上最小的商徽了。

爱格勒的成功犹如一石激起千层浪，紧跟着一个又一个新的研究成果像雨后春笋般涌现。就在第二年，同一研究所的另一位科学家齐彭飞(P.Zeppenfeld)用STM将吸附在铂表面的一氧化碳分子“赶到”一起，排成了一个像大头娃娃一样的人形图案，称为分子人。其中，每个分子都是直立在铂的表面，氧原子朝上。相邻分子之间的距离在0.5纳米左右，整个分子人从头到脚高5纳米，还不到正常人身高的十亿分之三。和分子人“出世”的同一年，日本日立公司的细木(S.Hosoki)等人更出新招。他们竟

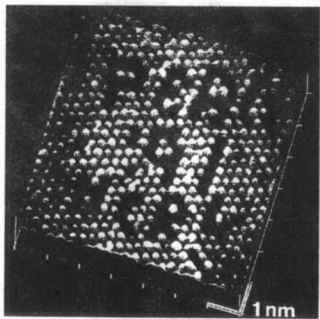


图5 在二硫化钼表面用单原子空位写的“PEACE '91 HCRL”字样

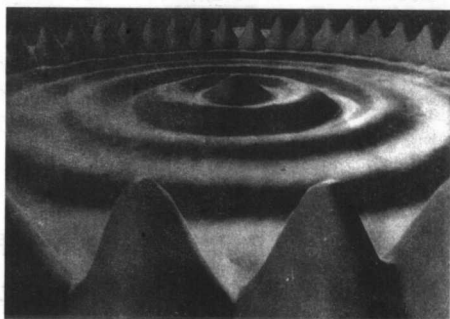


图6 量子围栏

能用STM把样品表面的原子像拔萝卜似的逐一拔除而形成原子坑。他们的样品是二硫化钼，最表层是硫原子。将STM针尖对准一个硫原子，再在针尖和样品间加一个电压脉冲。在这个脉冲电场的作用下，硫原子不翼而飞，就像水分子从水面蒸发一样，所以这个过程称为场蒸发。场蒸发留下了硫原子坑，他们就用这些硫原子坑排成了最美好的祝愿：“和平”（PEACE' 91），每个字母的尺寸更小了，只有2纳米。尽管它们当之无愧，但上面这些科技成就当然不是作为微雕艺术品来供人欣赏的，而是科学家用来显示STM“无边法力”的生动例证。目的是要不仅能看到单个原子，更希望能操纵单个原子，像砌砖头一样将一个个原子按照人们的意愿排列成一定的结构，进而研究其独特的性质。果然在1993年，爱格勒他们又用STM，将吸附在铜表面的48个铁原子，围成了一个直径为7纳米的圆形超微结构。这个圆圈能将其中的电子波关住不让它传出去，犹如关牲口的栅栏，所以称之为量子围栏。他们还进一步详细研究了关在围栏中的电子波的性质，又一次轰动了科学界。

说到这里，想象力丰富的读者可能已经意识到，我们周围的物质世界都是由各种各样的材料建成的。每一种材料都有其自身的特性，而这种特性又取决于其固有的结构，就是说取决于原子如何结合成材料的构成方式。可是这种构成方式却是“天成”的。大自然决定了金原子如何堆成金子，铁原子如何排成铁块。要是能由人类按自己的需要“随心所欲”地控制原子的位置，控制原子排成材料的方式，一句话，做出人工设计的材料，那么，这样的材料会呈现什么样的特性和功能呢？我们的世界会不会变得更加绚丽多姿、精彩纷呈呢？而利用STM制成人工超微结构的成功是否意味着这样一个崭新的时代将要出现在我们的眼前呢？

“废能”妙用化神奇

——关于同步辐射光源的故事

沈元华 (复旦大学物理系 教授)

废物利用是我们常见的事。各种废铜烂铁可以回炉，烟囱排放的废气可以回收，变废为宝是环保工作者的一项经常性的任务。但是，能量也有“废”的吗？“废能”也可以利用吗？

自古以来，人们为了照明，用火把、蜡烛、电灯来发光。但是，在发光的同时，也发出热。这些热能是人们并不需要的，是一种“废能”。这些“废能”不仅使发光效率降低，而且有时还令人讨厌，例如在夏天，它使被照明的房间更炎热。所以，人们常常设法减少“废能”，提高能量的利用效率，如采用荧光灯、场致发光灯等。

但是，从另一个角度去看待“废能”问题，不是去设法减少，而是把它加以妙用，以致出现了许多神通广大的奇迹，这就是关于同步辐射光源的故事。

什么是同步辐射光源呢？我们要从同步加速器讲起。

高能物理学家的追求

著名原子物理学家尼·玻尔(N.Bohr)说过，高速粒子与物质相互作用时发生的各种效应，是获取原子结构信息的最主要的来源之一。事实上，科学家们往往需要用高速运动的粒子去轰击原子核，观察它们撞击时发生的种种变化，才能了解原子的结构和