

# 纳米电子学研究进展

奇 云

(安徽淮南职业医专)

## 一、跨世纪的新学科——纳米科技

原子是组成自然界的基本单位,原子的不同方式排列使自然界多姿多彩。纳米科技是在0.1—100纳米(1纳米=10<sup>-9</sup>米)尺度上研究和利用原子与分子的结构、特征及其相互作用的高新科技。它的诞生使人类改造自然的能力延伸到分子和原子。它的最终目标是直接以分子、原子在纳米尺度上制造具有特定功能的产品,实现生产方式的飞跃。因此,这一兴起于本世纪90年代的纳米科学技术,必将雄踞于21世纪,对人类产生重大而深远的影响。

## 二、纳米科技的重要分支——纳米电子学

纳米科技几乎涉及到所有科技领域,它的发展引发了纳米电子学、纳米生物学、纳米医学、纳米化学、纳米材料学、纳米机械工程学、纳米天文地质学等密切相关而又自成体系的新学科。其中,纳米电子学的研究与发展最引人注目。

作为纳米科技重要组成部分的纳米电子学,将是纳米科技发展的主要动力。它将立足于最新的物理理论和最先进的工艺手段,按照全新的概念来构造电子系统,超越传统系统的极限,实现信息采集和处理能力的革命性突破。正如本世纪三、四十年代发展原子能时期,核技术开发了物质的潜在能量,使单位质量物质的爆炸力增加了百万倍一样,纳米电子学将开发物质潜在的信息和结构潜力,使单位体积物质储存和处理信息的能力提高百万倍以上。纳米电子学将成为信息时代的核心。

## 三、SPM 家族与纳米电子学

正如当今微电子技术的发展依赖于材料制备和精细加工技术的非凡成功一样,要进入纳米电子时代,纳米材料和纳米加工能力的获得是必需的。此外,纳米结构的形貌和性能表征也十分重要。在众多的技术手段中,最具竞争力的首推扫描探针显微镜(SPM)家族。

在SPM家族中,最引人注目的是扫描隧道显微镜(STM)。这一非凡的仪器于80年代初研制成功,1986年它的发明者宾尼和罗雷尔因此而荣获诺贝尔物理学奖。STM的基本原理是基于量子隧道效应和扫描。它在压电材料棒制成的支架上装有极细的金属探针,将探针尖和样品表面作为电极,可用电压控制探针作高

精度的移动。当针尖靠近样品表面时(小于1纳米),双方原子外层的电子云略有重叠。这时在针尖和样品之间施加一个小电压,便会引起隧道效应——电子在针尖和样品之间流动。由于隧道电流(纳安级)随距离而剧烈变化,让针尖在同一高度扫描样品表面,表面那些“凸凹不平”的原子所造成的电流变化,通过计算机处理,便能在显示屏上看到样品材料表面三维的原子结构图。当然,为了看清一个个原子,STM的针尖也应该细到原子的尺度。这靠机械打磨是办不到的,实际上是在探针和材料之间加以较高的电压,从材料表面吸起一个原子附着到针尖上。这种方法便带来了STM的另一重要用途——原子、分子的直接操纵。

由于STM依靠隧道电流工作,因此,只适用于导电样品。为了获得绝缘材料的原子图像,在STM的基础上,又出现了原子力显微镜(AFM)。它的基本原理是:当探针接近样品表面时,由于原子间的相互作用力,使得装配探针的悬臂发生微弯曲,检测到微弯曲的情况,就能知道表面和探针间的原子力大小。在探针沿表面扫描时,保持尖端与表面原子力恒定所需施加于压电材料两端的电压波形,就反应了表面形貌。AFM成像的关键是悬臂弯曲状态的测量。参照AFM的原理,采用几种光学测力方法,还发展了磁力显微镜(MFM)、摩擦力显微镜(FFM)、激光力显微镜(LFM)、静电力显微镜(EFM)等一系列扫描力显微镜(SFM)。除了AFM和FFM外,其余的SFM工作时探针与样品可不接触,这样就避免了样品表面的污染和损伤。

SPM最早出现只是为了满足原子尺寸成像的要求,而今天已发现它们具有更广泛的应用价值。建立在SPM技术之上的纳米加工工艺研究、纳米结构理化性能表征、材料和器件纳米尺寸形貌分析、高密度存储技术等,是当今科学技术中最活跃的前沿领域之一。由于SPM能够集成像、性能表征和纳米加工于一身,堪称现代科技的完美结晶。一个由SPM技术和微电子学相结合的交叉学科——扫描探针微电子学正在兴起,其结果将使我们跨入纳米电子学的新纪元。

## 四、纳米电子学研究的诱人前景

SPM能够以最高的原子级空间分辨率来观察表面的原子或分子的几何分布和态密度分布,确定物体局域的光、电、磁、热和机械特性。这样细致的观察带来的一个好处是有可能制造出极纯净的材料。这不仅

对纳米科技本身很重要,而且对用常规工艺制造具有多种用途的材料也很重要;第二个好处是有可能制造出纯度可以严格控制的材料,如半导体的掺杂物等;第三个好处是有可能制造既纯净又在结构上无缺陷的材料,这对某些集成度极高的元件来说极为重要。

迄今,基于SPM的各种纳米加工技术的研究已成为纳米电子学中最富挑战的领域。已经发现SPM具有纳米尺寸的光刻、刻蚀、薄膜沉积、表面修饰、原子搬运和装配、诱导局部化学反应等能力。倘若将分子束外延薄膜生长技术和STM刻蚀技术相结合,便可望利用新的物理效应去发展新颖的量子效应电子器件,即三维尺度均为纳米量级的电子器件。它具有高效、高性能、高速、低耗(可在常温下工作)、高集成化、经济可靠等一系列优点,可能会引发下一次电子学革命。由于在晶体表面一特定位置上存在或缺少一个原子,可分别表示数据0或1,因而可用作高密度的超微型数字存储器件,其存储密度将会比目前的磁盘高1亿倍。

近年,纳米电子学的研究不断取得重大突破。科学家们原则上创造了开关速度为0.05纳秒的单个氦原子的双向开关装置,这项发明将可能使美国国会图书馆的藏书存储在一个直径为0.3m的硅片上。研究人员还制成了一种半径为1纳米的纳米电极,该电极可把电子迁移速率常数的测量范围扩展两个数量级。纳米电极还将在其他应用中呈现优点。

纳米电子学的另一个诱人研究方向是发展分子电子器件和生物分子器件。早在1944年,量子力学奠基人薛定谔在《生命是什么》一书中就提出了生命活动是由分子机器来实现。像酶就是一种分子机器,它能打断化学键而使得分子重新结合。DNA可以作为存储系统,可以把命令转移到核糖体中,而核糖体这种分子机器可制造蛋白质分子。自然界分子机器的普遍存在导致人们设想人工制造分子机器,像分子装配机器、基于分子装配的复制、机械纳米计算机和细胞修复机器等。更重要的是,生物分子制造物质的真正优点是它们能自我组装。以分子自组装为基础制造出的生物分子电子器件,是一种完全抛弃以硅半导体等为基础的电子元件。将来,可望制出由单个分子组成线路和晶体管的分子电路,最终是实现“分子电脑”。

未来的计算机将采用某些细菌体中的光敏蛋白质作为超高密度三维存储器。确切地讲,是使用一种叫嗜盐菌的细菌。当光照射到嗜盐菌上时,一种叫细菌视红质(BR)的蛋白质的分子结构就发生改变,并释放出少量的质子,从而产生可以检测到的微小电信号。这个过程中发射出来的电信号依赖于这种蛋白

质所处的物理、化学环境。目前,已找到利用BR蛋白质制作存储器的方法,即用激光从2个方向照射BR蛋白质,每个方向的激光只给出一个光子。当这两个光子在装有BR的容器中某一点相遇时,这种分子开关便处于其两种状态中的一种,以写入数据1或0。目前,已有可能在5cm<sup>3</sup>的BR蛋白质中,存储180亿个字节的数据,这相当于4000本《圣经》。研究者认为,BR蛋白质经过提纯,则同样体积的BR蛋白质能存储5千亿个字节,容量增大25倍。三维蛋白质存储器具有诱人的商业前景。

在纳米科技领域中,纳米电子学与纳米生物学既相互联系又相互促进。利用特殊的DNA序列,可将DNA分子构成特殊的立方结构,这将为分子电子学和分子操纵技术提供所需的分子元件,并且是可以大量自动复制的分子元件。最近,用AFM成功地对DNA分子链上的任何确定部位进行了分子切割。这类分子手术再结合分子操纵,是迈向在纳米尺度上改造基因的重要进展。分子机器的研制是纳米生物学中最诱人的内容。第一代分子机器是生物系统和机械系统的有机结合体,设想中的第二代分子机器应是能直接从原子、分子进行装配的纳米尺度的装配装置。第三代分子机器将是含有纳米计算机的、可人机对话的并有自身复制能力的纳米装置。分子机器一旦制成,它能在1秒钟内完成数十亿个操作动作。如果有足够的分子机器,就可以在几秒钟或几分钟内完成现今需几天或几个月才能完成的工作。可以设想,只要有几组可编程程序的分子机器,以及一连串的必要的化学成分,就能制造出任何具体的物体。到那时,大气中密密麻麻的分子机器可以吸收掉有毒气体,建筑工地上那些笨重的机器和操作工人也将被一无声息、二无体形的小机器所取代。分子机器可以修复损坏的器官、清除堵塞的血管、更换缺损的基因、消灭癌变的细胞。将来,经过专门设计的用于传递信息的分子,可引入只有细胞那么大的纳米计算机中。我们有可能将存储了人类全部知识的纳米计算机安放在人脑中,并使它们与人脑相连接,像所有的神经元那样被人脑所用。专门设计的纳米计算机,可用来读出人脑的内容及其品性,将信息记录到另一个脑中,这个脑可以是人脑,也可以是电脑。随着纳米电子学和相关纳米科技的发展,人类有可能把别的生物的智慧水平提高,使之能与人类媲美。我们也有可能改变人类自身,让人类成为能在天上飞、水中游,能进行光合作用的“超人”。虽然这些设想有些离奇,但绝非是毫无科学根据的幻想。专家认为,纳米电子学正处于重大突破的前期,纳米电子学的新纪元即将到来。