

序

纳米科技是 80 年代中方始发展起来的新兴科学与技术,在当前业已成为倍受科技界关注和重视的热门领域。展望未来,它显然会在下一世纪初引发一场技术革命,从而取得巨大的实际效益。

纳米为 10^{-9} 米,已接近原子尺度(0.2~0.3 纳米)。通常意义上的纳米科技所涉及的尺度,一般为 100 纳米以下,直到原子尺寸。当然 100 纳米的限度带有一定的任意性,并非严格界定的。随所研究问题的差异,容许有适度的伸缩性。

当今高技术的核心乃是半导体芯片技术,其发展的关键在于进一步微型化。目前商用芯片的刻线宽度业已达到 0.35 纳米,正在朝向 0.25 纳米迈进。估计到 21 世纪初,将进入 100 纳米以下的尺度范围。线宽的逐步缩减,不仅在技术领域中构成了重大挑战,也在科学领域中带来许多全新的问题,当前大量的纳米科技研究正是为迎接纳米电子学时代的到来作好准备。

我们知道,通过凝聚态物理学的研究明确了一系列特征长度:诸如电子的波长及平均自由程,激子的半径,交换作用随距离变号的尺度,多畴微粒的临界尺寸,铁磁性向超顺磁性转变的临界尺寸等,跨越这些特征长度将导致新的物理效应出现,这些特征长度往往处于纳米尺度范围之内。

就固体的电导性质而言,当材料的尺度进入电子波相干性的尺度范围之内,呈现了异常的量子输运现象。对这些现象的研究即构成了介观物理这一新领域。这样一来,传统微电子学器件的微型化不可能无限地持续下去,必然会碰到一个壁障,即其物理极限。超过这一极限后,传统器件的工作原理即行失效。取而代之的将是基于介观物理的新型器件,其中电子波的相干性占有突出的地位,同时纳米颗粒的电荷与能量的量子化效应也有所体现。基于新的原理的器件设计和实验演示,成为当今的热点课题,单电子晶体管即是一例。

材料尺度的纳米化可以在不同维数上进行。在一维尺度上缩减的实例有量子阱与超晶格;在二维尺度上缩减的实例有量子线与其线束;在三维尺度上缩减的实例有量子点与其阵列。材料尺度的缩减导致了量子限制效应的出现,对于其电子性质和光学性质均有显著的影响,发光谱线的蓝移是其重要判据之一。90 年代初轰动一时的多孔硅的可见光发射现象的发现,也属于这一范畴内的问题。

缩减铁磁性颗粒的尺寸,会相继地发生两次转变,即从多畴到单畴,从铁磁性到超顺磁性。其临界尺度均在纳米尺度范围之内。还有铁磁物质通过非磁层耦合会产生反铁磁式的排列,其相关层厚也在纳米范围之内,因而产生了磁电子学这一新学科。这样,有关高密度磁存储媒质与巨磁电阻材料与器件的研制又成为科技界的热点问题。

上述的思路与做法乃是从大向小,乃是凝聚态物理学界常用的观点和方法;可以逆其道而行之,从小向大,从单个原子垒积成为分子或团簇(即有限数原子的聚集体),再向大块材料过渡,这是化学界常用的观点和方法。两者交汇在纳米尺寸范围之内。从 80 年代起对一系列的原子团簇进行了深入的研究,填补这一中介的空白地区。一个重要的结果为 C_{60} 的发现,这是化学与物理相

互配合的成果,已在学术界引起了轰动,随后又实现了在 C_{60} 分子密集排列成规则晶体,并在其中发现了异常的物性,如高温超导性。原先纳米微粒聚集的固体已被研究,但微粒尺寸与形状均不均一,受了 C_{60} 固体的启发,化学家与物理学家携手并进,探索形状与尺寸均一致的微粒列阵,以期获得性能优异的新材料。 CdS , $CdSe$ 等量子点列阵代表这一趋向的初步成果。

从化学角度来看,纳米材料最为突出的特征在于其中处于表面与界面上的原子数已足以与体内原子数相抗衡,从而使其表面和界面化学性质活泼异常,已有实验证据表明在几个到几十个原子所构成的团簇中,增减一个原子都能导致可察觉的化学性质改变。实用的催化剂多半是以纳米微粒形式存在的,这方面的学术研究提供了巨大的挑战与机遇。金属纳米晶的晶粒度是纳米范围之内,具有甚高强度;陶瓷纳米晶则除高强度外,由于晶界扩散大幅度提高,则显著改善其塑性。如能将其制备尺寸扩大,效率提高,将有广泛的应用前景。

许多生物聚合物的单个分子或少量分子集也处在纳米尺寸范围之内。对它们的构形与物性的研究就构成了纳米生物学的新领域。

纳米科技的发展是和实验技术与仪器的进展密不可分的。首先就制备技术而言,分子束外延、磁控溅射、真空蒸发、超声喷注、原位压结、激光沉积等现代技术都发挥了重大作用。另一方面,新检测技术又为纳米科技如虎添翼,开辟了新的天地。80年代以来,可以分辨单个原子的扫描隧道显微镜问世,引发了扫描探针技术的蓬勃开展。其中原子力显微镜获得了广泛的应用,解决了许多疑难问题,随后新招迭出,磁力、电力、化学力、摩擦力等探针相继问世,取得许多有意义的新结果。它还打破了光学显微术的衍射极限这一壁障,开辟近场光学显微术这一新领域。不仅如此,扫描探针还越出成像技术的范围,发展了单个原子和分子的操纵技术以及其物性探测技术,构成当今纳米科技发展的新前沿。当然,如何将许多传统检测手段和纳米科技紧密结合起来,也能发挥重要作用。

我国对纳米科技的研究起步于“85”期间,并已取得十分可喜的成果。为了综述这一领域国内外的动态以及总结部分的研究成果,《现代科学仪器》杂志编辑了“纳米科技及其检测仪器”这一专辑,将会受到我国科技界的欢迎,并有效地推动这一研究进程。

南京大学物理系 冯 端