

# 浅谈纳米科学技术

叶丽云 秦以钦

(武汉汽车工业大学 湖北 430070)

## 一、纳米科学技术的诞生

纳米(nanometer)即毫微米,  $1\text{nm} = 10^{-9}\text{m}$ . 纳米科学技术(简称 Nano ST)是指在  $1\text{—}100\text{nm}$  原子分子尺度上的基础研究和应用技术应用的一门新的科学技术.

本世纪 50 年代末, 理查德·费曼提出了一种设想, 逐级减小生产装置, 最后能根据需要排布原子, 制造产品. 随着现代科学技术的发展, 1981 年美国 IBM 公司苏黎士研究实验室的宾尼格和罗雷尔发明了扫描隧道显微镜(STM). 这是一种基于量子隧道效应的新型高分辨率电子显微镜, 它能够以原子级空间分辨率来“观察”物质表面的原子结构. 依赖于这一可以排布分子的工具, 1990 年纳米科学技术正式诞生了.

## 二、扫描隧道显微镜简介

STM 是利用量子力学中的隧道效应, 通过探测固体表面原子的电子的隧道电流来分辨固体表面的形貌. 粒子穿透势垒的现象称作隧道效应. 经典物理学认为动能低于势垒的电子不能穿透势垒, 但根据量子力学的理论, 由于电子具有波动性, 金属中的电子在界面之外仍有电子云, 在金属表面以外电子密度呈指数衰减, 衰减长度在  $1\text{nm}$  左右, 因此动能低于势垒的电子仍能逸出表面势垒, 这就是 STM 的隧道贯穿效应. 测试时, STM 的探针指向样品, 当两者之间的电子云略有重叠时, 在探针和样品之间加上电压, 电子通过电子云的狭窄通道流动, 这就是隧道电流, 隧道电流对探针和样品表面的距离变化极为灵敏. 由一套反馈装置探测隧道电流, 当探针以一系列平行线的方式在样品表面扫描时, 给出的隧道电流和针尖的运动数据经计算机处理, 便可获得分辨率为  $0.005\text{nm}$  到  $0.2\text{nm}$  的三维表面图象.

STM 主要用于测定样品表面原子结构; 凝

聚态物理表面电子态的研究; 固体表面动力学的研究; 以及生物学方面的研究. 纳米科学技术涉及的领域很广泛, 但无论哪个领域所依赖的基本技术或实验手段都是 STM.

## 三、纳米科学技术的主要新领域

人们的思维方式随着科学可控尺度的变化相应地发生变化. 在常规尺度上建立起来的宏观概念代之以纳米尺度上的新概念. 技术操作、生产过程也由常规方法代之以在纳米尺度上直接操纵原子分子从而制造出具有特定功能的材料和产品.

现代科学的介观物理、量子力学和混沌物理与现代技术中的计算机技术、微电子技术等在 STM 的中介与调制之下交叉融合, 产生了众多的科学技术新领域, 形成了一个纳米科学技术的大网络. 下面, 从几个主要的新领域看纳米科学技术的发展.

(1) 纳米材料学 材料是人类赖以生存和发展的物质基础. 人类历史经历了石器、陶器、青铜器、铁器时代, 今天, 随着人类社会的进步, 进入了新材料时期. 人们对材料微结构的要求由无错位、无缺陷、具有长程有序的晶体到性能优异短程有序或长程无序的非晶体. 本世纪 80 年代进入纳米级微晶材料的研制和开发. 纳米材料指线度在  $2\text{—}10\text{nm}$  范围的金属、金属化合物、无机物或聚合物超细结构微粒. 这里超细结构微粒实际上是在纳米尺度上原子和分子的集合体, 称之为纳米微粒, 其内有  $10^2\text{—}10^4$  个原子. 纳米微粒在一定条件下加压成型得到纳米固体, 包括纳米金属、陶瓷、非晶态材料及复相材料等.

纳米材料在声、光、电磁、热力学等方面有一些奇异的特征. 如声子谱的改变; 光吸收显著增加并产生吸收峰的等离子共振频移; 由磁有序向磁无序、超导相向正常相转变等. 在高

倍率电子显微镜下观察到 2nm 的纳米金微粒外形从八面体到双晶十二面体自发可逆地随时间而变化。纳米微粒对光的吸收能力极强,任何金属的纳米微粒都呈黑色。纳米固体在较宽的频谱范围内显示出对光的均匀吸收性,利用它可制造出具有一定频宽的微波吸收纳米材料。这种材料用于电磁波屏蔽,如制造隐形军事侦察飞机,这种飞机能吸收雷达发射的微波,有效地躲避雷达的侦察。纳米强磁性微粒有高矫顽力的特性,具有良好的热稳定性、工艺稳定性和耐腐蚀性。广泛用于微电机、电声器件和制造微型、异型的永磁器件,如磁性信用卡、磁性钥匙、磁卡车票等。由超微强磁性金属颗粒制成的磁性液体广泛应用于阻尼器件、旋转密封、润滑、选矿等方面。

纳米材料的表面与界面体现出量子效应,导致纳米材料的声、光、电磁、热以及超导电性与宏观特征显著不同。例如普通金属是导体,但纳米金属微粒在低温下呈现电绝缘性。此外,纳米材料的宏观量子隧道效应,也就是微粒的磁化强度、量子相干器件中的磁通量这些宏观量所具有的隧道效应,也使纳米材料具有一些不寻常的特性和优异性能。例如 Fe-Ni 薄膜中畴壁运动速度基本上与温度无关,因此,量子力学的零点振动可以在低温下起着类似热起伏的效应,从而使在绝对零度仍然存在着非零的磁化反转率。纳米材料的研究和应用目前还处在初始阶段,但它体现出强大的生命力。纳米材料最近被美国材料科学学会誉为“21 世纪最有前途的材料”。

(2) 纳米电子学 纳米电子学是研究结构尺寸为纳米级的电子器件和电子设备的一门科学。是纳米科学技术的重要的技术新领域。

电子技术所能达到的尺度限于亚微米(0.1 $\mu\text{m}$ )数量级。对于纳米尺度的微型电子器件,原有的电子技术受限,相应的共生关系的新理论纳米电子学应运而生。由于在纳米范围内,电子的波动性是其主要特征,必须考虑量子力学效应,因此纳米电子学的关键技术是扫描隧道显微镜 STM。目前制造大规模和超大规模

集成电路要求进一步缩小器件的尺寸。微电子元件尺寸的进一步减小受到材料的电子性能和器件加工方法的限制,代之而起的是发展分子器件,制造出分子计算机。分子电子工程是电子技术今后的发展方向,预计到 2010 年左右微电子元件的尺寸将降到纳米数量级。

1990 年 4 月,美国 IBM 公司 Almaden 研究中心在液氮温度下,在 STM 的探针和被测材料之间加高压,针尖从材料表面吸起单个原子,用 35 个氩原子在 Ni(110)面上拼缀出“IBM”三个字母。这一实验证明制作原子规模的器件可成现实。1991 年 IBM 公司制造出开关速度为 0.05ns 的氩原子开关。

美国加州理工学院的研究人员制成了一种半径为 10 $\text{\AA}$  的纳米电极,纳米电极可以大大提高电子迁移速率,可以在半导体表面淀积更细小的金属线条。美国德克萨斯仪器公司中央研究实验室也正在研制基极宽度为 5—10nm 的量子阱谐振式隧道效应晶体管。

半导体随机存储器达到的信息存储密度为 10<sup>7</sup>bit / cm<sup>2</sup>,而存储在脱氧核糖核酸(DNA)内的基因信息密度达到 10<sup>14</sup>bit / cm<sup>2</sup>,三维生物体系最大的分子存储密度可达到 10<sup>20</sup>bit / cm<sup>2</sup>。锡拉丘兹大学的分子电子中心正在研制一种大容量、高速度的系统,他们用 BR 蛋白质作为三维随机存储器,使存储量增加 1 万倍。这个中心还提出制造分子水平器件的一种设想,将合成 DNA 序列插入微生物 DNA 链中,由微生物生产出蛋白质,形成完整的集成电路。

(3) 纳米生物学 纳米生物学的主要内容是在纳米尺度上了解生物大分子的精细结构与生物大分子功能的联系;在纳米尺度上获取生命信息,利用 STM 获得细胞膜和细胞器表面的结构信息;用亚微米扫描质子探针测定元素成分的信息,用微传感器和纳米传感器获取各种生化反应的化学信息和电化学信息;进行纳米机器人的研制。

目前生物学在基因工程及分子生物学方面取得了重大成就,在这个基础上纳米生物学提出在分子水平上对微生物、植物及动物等不同

# 非晶硅太阳能电池

郭建锦

(天津师专物理系 天津 300202)

能源是人类生存不可缺少的重要资源. 随着世界人口爆涨, 能量消耗急骤增长, 人们为了求得生存和发展, 都在竭尽全力开发现有常规能源(煤、石油、天然气等), 同时也不断寻找新型能源. 常规能源产生的  $\text{CO}_2$ 、 $\text{NO}_x$ 、 $\text{SO}_x$  造成的地球温室效应和酸雨, 严重破坏了生态平衡, 使粮食产量下降, 导致世界经济增长缓慢. 因此国际首脑级会议已开了几次, 要求各国协调共同解决人口、能源、环境这三大难题. 我国领导人也非常重视这些问题, 要求各科研院所努力开发无污染的新能源.

开发无污染的新能源, 几十年来是多少科学家的奋斗目标. 人们作出了不懈的努力, 也取得了重大进展. 这主要有以下几方面:

(1) 原子核裂变能. 这种能从 40 年代就开始利用了. 1 克铀(235)裂变释放的能量相当于 2.5 吨煤, 这很有吸引力, 各国都相继建立了核电站, 我国也建有并已投入运行.

(2) 原子核聚变能. 这种能源前景很广阔, 因为 1 克氘发生聚变释放的能量相当于 10.5 吨煤, 聚变核氘和氚是从海水的重水中提取的,

种属之间的基础进行随意的剪切拼接的设想. 人类将可以按照自己的意愿将不同的种属个体的基因任意重组传递, 设计合成新的蛋白质, 制造出新的物种. 事实上, 基因工程技术培养出的能生产人工胰岛素和抗体的转基因植物已经是这一设想成为现实的前奏.

纳米科学技术中, 纳米生物学与纳米电子学是相辅相成的. 纳米计算机事实上是它们交叉共生的新技术. 由于纳米技术能够提供一种神奇的拨动原子的能力, 因而经过专门设计的用于传递信息的分子可以引入只有细胞那么大的纳米计算机中. 这种计算机一旦制成, 它能在 1 秒钟内完成几十亿个操作动作. 试想, 如

每吨海水就含有 140 克重水. 地球海水的重水可供全世界用几百亿年. 这种能源一旦实现利用, 将是一种取之不尽的清洁能源. 可惜从 50 年代开始各国就以大量人力物力投入研究, 但至今除了爆炸了氢弹, 还不能利用可控的核聚变能, 有的科学家估计可望在 21 世纪 20 年代取得成功. 我国在这方面也比较领先, 有希望赶上世界先进水平.

(3) 太阳能. 太阳是个巨大的能源, 太阳光照到地球上 40 分钟的能量就可以供全世界用一年. 比如说上述的聚变需要海水, 而太阳在一些偏远、干旱地区最好利用. 人类开始利用太阳能是光热转换, 就是把太阳光转成热来利用. 比如太阳灶、太阳能热水器、太阳房等. 目前我国的真空管集热器技术性能已达到了国际水平, 建成了好几个具有一定规模的太阳能热水器厂, 我国的太阳灶拥有量也居世界首位.

70 年代兴起的“光伏发电”是一种新兴的光电直接转换的廉价的清洁能源. 这就是太阳能电池. 因为它体积小, 重量轻, 不需要传送,

果将存储了人类全部知识的纳米计算机安放在人脑中, 则它们将像所有神经元那样代替人的思维. 可见纳米生物学展示了诱人的发展前景.

当前纳米科学开发的新领域很多, 除上面提到的, 还有纳米天文地质学、纳米工程力学、纳米加工技术等新学科和新技术. 世界各国对纳米科学尤为关注. 美国、日本、德国、英国等发达国家都制定了发展纳米科学技术的规划, 并作为自然科学基金优先支持的项目. 纳米科学技术已取得的成果和它巨大的发展潜力将使它成为 21 世纪科学技术的前沿和核心学科.