



晏 亮 谷战军 赵宇亮

纳米 (nm), 它与米、厘米、毫米一样, 是几何大小的量度单位, $1\text{nm}=10^{-9}\text{m}$, 约等于 4~5 个原子排列起来的长度。最早提出在纳米尺度上进行科学研究的是著名物理学家、诺贝尔物理学奖获得者理查德·费曼 (Richard Feynman)。1959 年, 费曼在美国加州理工学院召开的美国物理学会年会上所做的演讲《底部还有很大空间》中提出: 能够用宏观的机器来制造比其体积小机器, 而这较小的机器还可能制备更小的机器, 这样一步一步达到分子限度。

美丽的梦想往往是人类前进的动力, 科学家开始试图从各个角度提出有关纳米技术的构想。20 世纪 70 年代, 美国康奈尔大学的格兰奇维斯特 (Granqvist) 和比尔曼 (Buhrman) 利用气相凝集的方法制备出纳米颗粒, 并提出了纳米晶体材料的概念, 成为纳米材料的创始者。随后, 麻省理工学院的德雷克斯勒教授积极提倡纳米技术的研究, 并成立了纳米科技研究小组。到 20 世纪 80 年代, 各种表征手段的不断涌现, 特别是扫描隧道显微镜, 为纳米技术的发展和纳米材料的制备奠定了实验基础。德国的格莱特 (Gleiter) 教授利用惰性气体凝集的方法制备出 6 纳米的纳米颗粒, 并且对其从理论以及性能上做了全面的研究, 指出了在纳米界面上的奇异结构和特异功能。进入 21 世纪以来, 各种纳米材料已经可以被大规模生产, 并且在工业、农业、食品、生活日用品、医药等领域的消费品和工业产品中广泛使用, 以提高原有的性能或获得新的功能。例如, 把纳米级的 TiO_2 添加到防晒霜中可增强对紫外线的吸收, Zn 纳米材料也被用作催化剂处理汽车尾气。纳米材料在各个领域都发挥着巨大的作用, 已成为人们日常生活中密不可分的一部分, 正在对国民经济发展和社会进步做出巨大的贡献。正像美国科学家预计的: “这种人们肉眼看不见的

极微小的物质很可能给各个领域带来一场革命。”

一、纳米技术

纳米技术是指在纳米尺度下 (0.1~100 nm) 操纵原子和分子, 对材料进行加工, 制造具有特定功能的产品, 或对物质及其结构进行研究, 并掌握其原子、分子运动规律和特性。自 1959 年费曼预言后的一二十年, 纳米技术一直处于探索阶段。到 1981 年, 扫描隧道显微镜微观测术获得突破, 为我们揭示了可见的原子、分子世界, 对纳米技术的发展产生了积极的促进作用。

20 世纪 80 年代初期, 杰德·宾尼 (Gerd Binnig) 教授和亨利克·罗雷尔 (Heirich Rohrer) 教授利用量子力学中的隧道效应原理, 发明了世界上第一台扫描隧道显微镜 (STM)。它可以观察和确定物质表面的原子和分子的排布状态和与表面电子行为有关的物化性质, 是人类第一次可以实时地观测原子在物质表面的排列状态和与表面电子行为有关的物理性质和化学性质, 在表面化学、催化化学、材料化学、生命科学等领域的研究中有着重要的意义和广泛的应用。此外, 扫描隧道显微镜在低温下可以利用探针尖端精确地操纵原子, 从而实现构建原子级的纳米结构。1990 年, IBM 实验室的两位科学家利用 STM 的探针针尖移动吸附在金属镍表面上的氩原子拼装成了 “IBM” 三个字母的标识, 随后又通过移动吸附在金属表面的一氧化碳分子, 拼成了一个大脑袋小人的形象。因此, 扫描隧道电子显微镜在纳米科技领域既是重要的测量工具, 也是操纵微观世界的加工工具。扫描隧道电子显微镜的发明是 “纳米革命” 的象征。随后, 科学家们在 STM 的基础上研制出了一系列的扫描探针显微镜, 如原子力显微镜 (AFM)、磁力显微镜 (MFM) 和开尔文力显微镜 (KFM) 等。过去认为异想天开的纳米技术, 现在变成了一项严肃认真的研究工作。在纳米技术

领域所运用的分析仪器还包括：透射电子显微镜（TEM），扫描电子显微镜（SEM），中子散射仪（SANS），X射线衍射仪，光学相干层析仪（OCT），等等。

二、纳米材料

纳米材料是纳米结构材料的简称，是指微观结构至少在一个维度上受纳米尺度限制的各种超细材料，具有独特的小尺寸效应、体积效应、表面效应或者量子隧道效应等，并表现出许多优异的性能和全新的功能。当材料中有一维尺寸达到纳米级，则该材料称为二维纳米材料，如超晶格材料、石墨烯等；当材料中有二维尺寸达到纳米级，则该材料为一维纳米材料，如纳米管、纳米线、纳米带等；若三维尺寸均达到纳米级，则称为零维纳米材料，如量子点纳米颗粒、富勒烯等。由于纳米材料的尺度很小，和宏观的体材料相比，纳米材料的比表面积大很多，从而使得其晶界上的原子数多于晶体内部。因此，由纳米粒子构成的体系出现了完全不同于体材料体系的许多新颖的性质。纳米材料的这些性质具体体现在以下几个方面：

小尺寸效应 当纳米粒子的尺寸与光波波长、德布罗意波长、超导态的相干长度或者与磁场穿透深度相当或者更小的时候，晶体周期性边界调节将被破坏，非晶态纳米粒子的颗粒表面层附近的原子密度减小，导致磁性、内压、光吸收、热阻、化学活性、催化性及熔点等都较普通粒子发生了很大的变化，产生一系列新奇的性质，如光吸收显著增加，超导相向正常相转变，金属的熔点降低等。例如，金的常规熔点为 670°C ，然而 10 纳米的金颗粒的熔点为 643°C ，2 纳米的金颗粒的熔点则仅为 327°C 。并且很多金属在纳米尺度下都呈现为黑色。

量子尺寸效应 体材料的能带可以看成是连续的，而当材料的尺寸降到纳米级时，金属离子非费米面附近的电子能级由准连续能级变为离散能级，并且纳米半导体粒子存在不连续的最高被占据的分子轨道能级和最低未被占据的分子轨道能级，使得能级间的能带间隙随着颗粒尺寸的减小而增大，当热能、电场能或者磁场能比平均的能级间隙还小的时候，就会呈现一系列与体材料截然不同的特征。例如，导电的金属在纳米颗粒的时候可以变成半导体，甚至是绝缘体，磁矩的大小与颗粒中电子是奇数还是偶数有关，等等。

表面效应 球形颗粒的表面积与直径的平方成正比，其体积与直径的立方成正比，故其比表面积（即表面积/体积）与直径成反比。随着颗粒直径的减小，比表面积将会显著地增加，使得表面原子所占的百分数也显著增加。由于表面原子数增多，原子配位不足以及高的表面能，此时表面原子具有较高的活性，极不稳定，很容易与其他原子结合。因此，纳米颗粒的表面具有很高的活性。例如， Bi_2O_3 在空气中生成 $\text{Bi}_2(\text{OCO}_3)_3$ ，金属的纳米颗粒在空气中会燃烧，无机纳米颗粒暴露在空气中会吸附气体，并与气体发生反应。利用纳米颗粒高的表面活性，金属纳米颗粒有望成为下一代高效催化剂和储氢材料以及低熔点材料。

宏观量子隧道效应 当体系的尺度进入到纳米级（一般金属粒子为几个纳米，半导体粒子为几十纳米），体系是电荷“量子化”的，即充电过程和放电过程都不再是连续的，充入一个电子所需要的能量 E_c 为 $e^2/2C$ ， e 为一个电子的电荷， C 为小体系的电容，体系越小， C 越小，能量 E_c 越大，即前一个电子对后一个电子的库仑排斥力增大，从而导致对于一个小体系的充电和放电过程，电子不能集体传输，而是一个一个单电子的传输。小体系中这种单电子运输行为称为库仑堵塞效应。如果两个量子点通过一个“结”连接起来，一个量子点上的单电子穿过能垒到另一个量子点，这种行为被称作量子隧穿。库仑堵塞和量子隧穿效应都是在极低的温度下才能观察到。但是对于纳米级的颗粒而言，则可在室温下出现。利用此效应，可以设计纳米结构器件，将会是未来微电子、光电器件的基础，目前研制的量子共振隧穿晶体管就是利用量子效应制成的新一代器件。

由于纳米材料的这些新颖的特征，使得其在电子、光学、传感、生物、医学等领域中都有着十分广泛的应用前景。由于纳米材料的表面效应和小尺寸效应，使其具备了作为优良催化剂的必要条件。把绿色的固体酸催化剂 Nafion 分散到多孔氧化硅中，增大催化剂的表面积，使其活性中心很容易被反应分子接近，产生极佳的催化效果。同时，也可以把纳米粒子作为添加剂添加到陶瓷或者高分子材料中，增强其机械性能、韧性、导电性等。纳米材料的量子隧道效应使得其在电子技术领域具有很强的优势，有望取代常规的半导体器件。其中石墨烯

纳米材料被认为是可能替代硅和其他半导体的最佳候选者。

三、纳米生物

纳米生物主要包含三个方面：一是利用新兴的纳米技术来研究生物学问题，即生物纳米技术；二是利用现有的纳米技术，模仿和制造类似于生物分子的分子器件，它们被费曼等看作是自然界的分子机器；三是研究纳米材料的纳米生物效应。

生物纳米技术是指用于研究生命现象的纳米技术，利用分子层次（纳米级）的有机或无机物操控技术，来解决目前生物学的问题，其目的并不只是将产品微小化，同时也希望通过控制分子的行为，达到控制组织与细胞的目的，并有效掌握控制纳米材料或复合物本身的多变性，以及与生物系统之间的交互反应，在医药领域有着广泛的应用前景，特别是纳米药物载体将在疾病的诊断、治疗等方面发挥重要作用。其具体应用包括：（1）在纳米尺度上按照预订的排列，制备具有生物活性的蛋白质等生物大分子；在纳米材料和器件中植入生物材料，使其兼备生物功能和其他功能。（2）动植物的基因改善和治疗。（3）检测蛋白质、DNA 等生物大分子的生物芯片等。由于纳米材料具有很多优异的性能，可以利用纳米技术将纳米材料和生物化学结合起来，制备纳米生物材料。例如，量子点、上转换材料、碳纳米管具有优异的光学特征（对光漂白剂有很强的稳定性、光谱线狭窄和荧光背景低等），为生物标记和医学成像技术提供了一个新途径。例如，把具有靶向作用的叶酸连接到量子点、上转换材料，或者超顺磁性的纳米晶体四氧化三铁等纳米材料上，得到连有叶酸的纳米颗粒。一方面，该纳米粒子中的叶酸会和癌细胞上的叶酸受体结合，把纳米颗粒定位到癌细胞上。另一方面，则利用纳米颗粒自身的优异性能，对癌细胞进行成像、检测。同时，若把抗癌药物也同时负载到连有叶酸的纳米材料上，就可以对癌细胞进行检测的同时杀死癌细胞，达到诊疗一体化的目的。同时可以把纳米颗粒作为一个药物载体，将具有生物功能的分子和药物分子连接到该载体上，制备能定点定时释放药物的纳米生物导弹，在杀死病变细胞的同时，不对周围环境的正常细胞产生影响。

利用现有的纳米技术，再根据分子水平的生物学原理，可以把纳米粒子组装成具有一定生物功能

的纳米生物器件。纳米机器人的研制是最具诱惑力的内容之一。纳米机器人是由几百个原子和分子组成的纳米颗粒，表面活性很大，可以进入血管进行人体血管的修复和清理工作。将功能化的纳米材料固定在生物大分子上，可制成用于生物信号检测、信号转换和放大的纳米生物传感器。信号的传递方式包括光学、电学、力学、声学等。纳米生物传感器可能对临床检测、遗传分析、环境检测等领域产生很大的影响。生物芯片已经被广泛用与疾病的诊断和治疗、药物的筛选等工作。

基于纳米粒子特殊的性能，不少的纳米材料已经被广泛的应用于现代生物医学中。但是，由于粒径小、比表面积大，使纳米材料很容易和周围环境发生特定的物理、化学作用，这就导致纳米材料的电荷、化学属性、光敏感度都和其相同成分的大颗粒材料明显不同，使其很容易进入生物体并和生物体中的组织、细胞、细胞器和蛋白质等生物大分子物质发生相互作用，造成组织或细胞的功能异常，进而影响生物的生长和健康。例如，块体的铜是一种几乎无毒的材料，在我们的日常生活中扮演了十分重要的角色。但是，当铜材料的尺度减小到纳米级时，铜的毒性将急剧增加，对生物体的脏器具有很大程度的损坏。因此，研究纳米材料的毒理学效应十分必要。在纳米材料被广泛使用之前，其对生物体以及人类的毒性必须进行全面的评估，保证纳米材料被应用之后，不会给人类带来危害，这是纳米材料应用于生物医学领域的前提条件。与此同时，基于纳米粒子材料的特殊结构，部分纳米材料具有一定的生物功能。例如， $Gd@C_{82}(OH)_{22}$ 具有很高的抗肿瘤活性，它能聚集在细胞周围形成一层纤维化层，阻止肿瘤细胞扩散，截断肿瘤细胞的营养供给，从而保证在不杀死正常细胞的同时将肿瘤细胞杀死。基于与传统药物分子的药理机理不同， $Gd@C_{82}(OH)_{22}$ 极具潜力成为新一代抗肿瘤药物。

四、纳米能源

随着人类社会的快速发展，对能源的需求也逐日提高，人类仅用一百多年的时间，就将地球上以石油和煤为主的化石能源消耗了超过三分之一，并且现在的消耗速度还在快速增加，估计到 21 世纪中叶，地球上剩余的化石能将被全部消耗殆尽。更为重要的是，人类在使用这些化石燃料的同时，也对

宇宙的灯塔：Ia 型超新星

——漫谈 2011 年诺贝尔物理学奖

陈 佳 王晓锋

2011 年 10 月 4 日，瑞典皇家科学院将本年度诺贝尔物理学奖授予三位天体物理学家——索尔·珀尔马特 (Saul Perlmutter)、布赖恩·施密特 (Brian P. Schmidt) 和亚当·里斯 (Adam G. Riess)，以表彰他们通过观测遥远的超新星 (代表了恒星演化到晚期的一种爆炸事件) 而发现了宇宙在加速膨胀的这一卓越成果。他们的研究成果在 1998 年发表，他们总共探测和研究了 50 多颗处于宇宙年龄一半处爆炸的 Ia 型超新星 (源于白矮星的热核爆炸)，并发现这些超新星比 $\Omega_M = 1$, $\Omega_\Lambda = 0$ 的宇宙模型预言的结果要暗 20% 左右，这使得传统的宇宙平坦且不存在宇宙学常数的观点受到质疑。这表明宇宙的膨胀并没有在引力拉拽的作用下减速，与此相反我们的宇宙正在一种神秘的推力下加速膨胀。这一结果是令人吃惊的，也是震撼性的，宇宙的加速膨胀可能揭示了神秘能量 (暗能量) 的存在。理解暗能量的起因和性质则对当前天体物理学以及物理学研究提出了巨大挑战。

关于三位获奖者

珀尔马特 1959 年生于美国伊利诺伊州厄本那的一个犹太人家庭。1981 年珀尔马特从哈佛大学毕业，1986 年在加州大学伯克利分校获博士学位。珀尔马特自 1988 年开始领导美国劳伦斯伯克利国家实验室超新星宇宙学研究项目 (SCP, Supernova Cosmology Project)，致力于寻找宇宙早期爆发的超新星，目前在加州大学伯克利分校任教授。本文作者之一王晓锋在伯克利工作期间与珀尔马特相识，两次受邀到伯克利国家实验室 SCP 组介绍超新星研究进展，并就超新星宇宙学研究的系统误差问题进行了颇有意义的讨论。

施密特是澳大利亚国立大学天文学教授，拥有美国和澳大利亚双重国籍，1967 年生于美国蒙大拿州密苏拉市。1989 年施密特以物理学和天文学双学士学位身份从美国亚利桑那大学毕业，并于 1993 年在美国哈佛大学获得博士学位。他于 1994 年底开始组建并领导高红移超新星搜寻项目组 (HZSST, High-z

人类赖以生存的自然环境造成了严重的破坏。能源和环境问题是目前全世界各国都广泛关注的问题。新能源的开发和提高化石燃料的利用率是解决能源和环境问题有效的途径。随着纳米技术的不断发展，越来越多的科学家开始意识到纳米技术在解决能源和环境问题方面具有独特的作用。

太阳能被称为是取之不尽的绿色能源，而将太阳能转换成人类可以直接利用的能源的方式相当的多。在众多的转换手段中，太阳能电池是其中最为有效的手段之一。在太阳能电池中，纳米掺杂扮演了十分重要的角色。为了提高太阳能电池对太阳光的利用率，通常在电池板的表面涂覆一层纳米涂层，减少太阳光的反射，使更多的阳光进入电池材料，同时也对电池板进行保护。德国的科学家把多种纳米复合材料组装成纳米复合

薄膜。该薄膜不仅保持着太阳能的吸收充分，而且把转化率提高到了 41.4%。同时，具有特定结构的纳米材料在氢能源的利用中有很大的潜力。由于碳纳米管和石墨烯材料具有极大的比表面积，再加上其特殊的碳六元环结构，氢分子很容易吸附到碳纳米管和石墨烯的表面，从而被有效地储存在碳纳米管和石墨烯中。

虽然纳米技术从问世到现在才短短的几十年时间，但是纳米科技就已经以迅猛的势头快速发展，而且愈来愈渗透到各个学科、研究领域，以及人们的日常生活当中。正如诺贝尔物理学奖获得者罗雷尔曾经预言：20 世纪重视微米技术的国家如今都成为了发达国家，现在重视纳米技术的国家很可能成为下一世纪的先进国家。

(中国科学院高能物理研究所 100049)