

# 21 世纪纳米技术及其应用展望

石新军

## 异军突起的纳米技术

“纳米”是英文 nanometer 的译名,是一种长度单位,1 纳米为百万分之一毫米,即 1 毫微米,也就是十亿分之一米,约相当于 45 个原子串起来那么长。纳米结构通常是指尺寸在 100 纳米以下的微小结构。科学家们在研究物质构成的过程中,发现在纳米尺度下隔离出来的几个、几十个可数原子或分子,明显表现出许多新的特性,而利用这些特性制造具有特定功能设备的技术,就称为纳米技术。

纳米技术其实就是一种用单个原子、分子制造物质的技术。从迄今为止的研究状况看,纳米技术分为三种。第一种,是 1986 年美国科学家德雷克斯勒博士在《创造的机器》一书中提出的分子纳米技术,即任意组合所有种类的分子,制造出任何种类的分子结构;这种概念的纳米技术一直未取得重大进展。第二种是把纳米技术定位为微加工技术的极限,即通过纳米精度的“加工”人工形成纳米尺度结构的技术。这种纳米级的加工技术,会使半导体微型化技术终将达到极限。这是因为,如果把电路的线幅变小,构成电路的绝缘膜将变得极薄,从而失去绝缘效果。此外,还有发热和晃动等问题。为了解决这些问题,研究人员正在研究新型的纳米技术。第三种是从生物学角度出发而提出的。本来,生物在细胞和生物膜内就存在纳米级的结构。

纳米技术是一门交叉性很强的综合学科,研究内容几乎涉及现代科技的各个领域。纳米科技现在已经包括纳米生物学、纳米电子学、纳米材料学、纳米机械学、纳米化学等学科。从包括微电子技术等在内的微米科技到纳米科技,人类正越来越向微观世界深入,认识、改造微观世界的 ability 也提高到前所未有的水平。我国著名科学家钱学森曾指出,纳米量级和纳米量级以下的结构是下一阶段科技发展的一个重点,是一次技术革命,它将引起 21 世纪又一次产业革命。

纳米技术是建立在量子效应上的独特人工结构技术。虽然 21 世纪被称为“光的时代”“高度信息化时代”和“生物工程时代”等,但无论怎么说,其技术关键都涉及量子效应。因此,纳米技术有可能引起

计算机革命、光革命甚至生物工程革命。纳米技术正在向新材料、微电子、计算机、医学、航天、航空、环境、能源、生物技术和农业等诸多领域渗透,作为 21 世纪的一项关键技术,虽然目前应用研究尚不成熟,但其应用前景和市场潜力不可限量。

## 奇特的纳米材料

纳米材料具有奇异的物理化学性能,与常规材料迥然不同。譬如,金属铜是良导体,而纳米铜是绝缘体,硅是半导体,而纳米硅是良导体,陶瓷是易碎品,而纳米陶瓷材料可在室温下任意弯曲,纳米磁材料的磁记录密度是普通磁材料的 10 倍,纳米碳管的强度是钢的 100 倍,纳米铁材料的断裂应力比一般铁材料高 12 倍,纳米铜比普通的铜坚固 5 倍,且硬度随颗粒尺寸的减小而增大,气体在纳米材料中的扩散速度比在一般材料中的扩散速度快几千倍……

**碳纳米管** 碳纳米管是由石墨中一层或若干层碳原子卷曲而成的笼状“纤维”,内部是空的,外部直径只有几到几十纳米;比重只有钢的 1/6,强度却是钢的 100 倍。轻柔又非常结实的碳纳米管最适于制作防弹背心。如果用碳纳米管作绳索,即使从月球挂到地球表面,也不会被自身重量拉断,碳纳米管甚至可用于制造地球到月球的电梯。纳米碳管的细尖极易发射电子,如果用于电子枪,可做成几厘米厚的壁挂式电视屏。

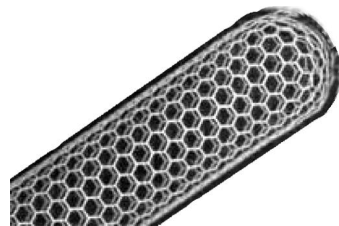


图 1 碳纳米管示意图

**纳米陶瓷** 我们平常用的陶瓷制品硬而脆,一摔就碎;而用纳米陶瓷粉制成的陶瓷坚韧、耐高温、耐腐蚀,可用于汽车发动机。添加了纳米陶瓷粉体的特种涂料涂在塑料或木材上,可使其具有防火、防尘和耐磨的性能。

**高质量的储氢碳纳米材料** 1999 年,中科院金属研究所成会明博士合成高质量的碳纳米材料,使我

国新型储氢材料的研究达到世界先进水平。这种新材料能储存和凝聚大量氢气,可用于制造燃料电池。

“能屈能伸、不折不挠”的纳米铜 2000年,中科院金属研究所卢柯博士率领的小组在世界上首次直接观察到纳米金属的“奇异”性能——超塑延展性,纳米铜在室温下竟可延伸50多倍而“不折不挠”,被誉为“本领域的一次突破,它第一次向人们展示了无空隙纳米材料是如何变形的”。

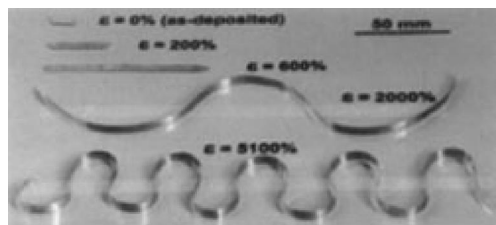


图2 纳米金属铜的超塑延展性示意图

纳米电缆 2000年,我国成功合成直径只有头发丝1/50000的纳米级同轴电缆,这项工作是国家重点基础研究规划纳米领域首席科学家张立德研究员率领的研究小组完成的。同轴纳米电缆的内芯是直径仅有10纳米左右的碳化物,外层包裹有氧化硅绝缘体。即使在放大几十万倍后的显微图片上,纳米电缆的直径看起来也只有普通电缆一般粗细。

“神奇”的纳米布 人们一直希望衣服能一尘不染,现在这种梦想已由中国科学家实现。中科院化学所雷江教授等在2000年宣布,他们研制成功一种不粘油污、不沾水的新型纳米材料——超双疏性界面材料。使用这种材料的纺织品和建材,不染油污、不用洗涤。它的诞生可使石油工人的工作服不再油渍斑斑,也使研制水陆两用服成为可能。如果将其用于建筑物表面,还具有自清洁和防雾、防霜效果,可免除人工清洗。

纳米带 2001年3月8日的美国《科学》杂志刊登了3位留美中国科学家的研究成果——“纳米带”。这3位科学家是美国亚特兰大州佐治亚理工学院的王中林教授、潘正伟博士和戴祖荣博士,他们利用金属氧化物制造出10~15纳米厚、30~300纳米宽的新材料,这是世界上首次发现并合成出半导体氧化物的纳米级带状结构材料。这种材料有可能制造出价格便宜的超微感应器和元件。

迄今为止,我国已经建立10多条纳米材料和技术的生产线,纳米复合塑料、橡胶和纤维的改性、纳米功能涂层材料的设计和应用、纳米材料在能源和

环保等方面的应用开发正在兴起。以纳米材料和纳米技术为主营业务注册的公司达几百个,企业家对纳米材料和技术的关注,为纳米技术产业的形成注入了新的活力。目前这些企业绝大部分是以生产纳米粉体材料为主。

### 纳米技术前景展望

作为微观工程学,纳米技术就是要将原子和分子组装成具有特定功能的纳米量级结构。有人预言,纳米技术引起的世界性技术革命和产业革命,将会比历史上任何一次技术革命对社会经济、政治、国防等领域产生的影响更为巨大。纳米技术具有广阔的应用前景,它对信息、生物工程、医学、光学、材料科学等领域都将产生深远的影响:

日常生活 纳米技术离我们的生活并不遥远,常见的化妆品、涂料、食品……都可能应用纳米技术。我们可以根据需要在各种产品中加入不同的纳米微粒,改变传统产品的性能。细微之处显神奇的纳米技术正悄然走进寻常百姓的生活中。比如在化纤布料中加入少量的金属纳米微粒就可以彻底消除静电;应用纳米技术的未来衣服还可以自己完成清洗和修补;添加纳米微粒的纤维具有红外吸收保暖特性,可用来制作隐身服或保暖服。在器物中添加纳米微粒,可以除味杀菌,聪明的厂家已经利用这一新技术生产出抗菌冰箱。同时,食品制造中采用纳米技术,可以帮助我们提高肠胃吸收能力。把纳米技术运用到涂料中,其耐洗刷性可由原来的1000多次提高到1万多次,老化时间也延长了两倍多。玻璃和瓷砖表面涂上纳米薄层,可以制成自洁玻璃和自洁瓷砖,任何粘附在表面上的污物,包括油污、细菌,在光的照射下,由于纳米颗粒的催化作用,可以变成气体或者容易被擦掉的物质。表面“涂”上透明纳米颗粒的镜子,在充满水蒸气的浴室中会光亮如常。用纳米技术制成的灯泡在工业上有很好的应用前景,20世纪80年代以来,人们用纳米二氧化硅和纳米二氧化钛微粒制成了多层干涉膜,总厚度为微米级,衬在有灯丝的灯泡罩的内壁,结果不但透光率好,而且有很强的红外线反射能力。有人估计这种灯泡与相同亮度的传统卤素灯相比,可节约约15%。

生物医学 纳米技术不但改变或即将改变我们的生活,而且在生物医学方面,应用前景更为广阔。

纳米探针是一种探测单个活细胞的纳米传感器,探头尺寸仅为纳米量级,当它插入活细胞时,可

探查导致肿瘤的早期 DNA 损伤、探测基因表达和靶细胞的蛋白生成,医生可据此筛选微量药物,确定哪种药物能够最有效地阻止细胞内致病蛋白的活动。随着纳米技术的进步,最终可实现评定单个细胞的健康状况。

美国密歇根大学用树形聚合物制作出能够捕获病毒的纳米陷阱。体外实验表明,纳米陷阱能够在流感病毒感染细胞之前捕获它们,研究者们期望它能用于捕获艾滋病毒等更复杂的病毒。纳米陷阱使用的是超小分子,这种分子能够在病毒进入细胞前与其结合,使其丧失致病能力。

纳米氧化锌粉末无毒、无味、对皮肤无刺激、不易分解、不易变质、热稳定性好,本身为白色,易于着色。更重要的是,它具有很强的紫外线吸收能力,对 UVA(长波 320 ~ 400nm)和 UVB(中波 280 ~ 320nm)均有屏蔽作用,此外还具有渗透、修复功能。因此适于作美容美发护理剂中的活性因子,不仅能大幅度提高护理效果,还可避免紫外线对皮肤的伤害。

纳米粒子的微细结构使其对环境中的化学或物理指标的变化极为敏感,因此可作为疾病检测指示剂对人体内的病变做出早期预测,例如,当肿瘤只有几个细胞大小时就可以将其检测出来,加以根除。

纳米氧化锌粉末在阳光下,尤其是紫外线照射下,在水和空气中能自行分解出可自由移动的电子,同时留下带正电的空穴。这种空穴可以使空气中的氧变为活性氧,有极强的化学活性,能与多种有机物发生氧化反应(包括细菌内的有机物),从而把大多数病菌和病毒杀死,因此可做抗菌剂。有关的定量试验表明:纳米氧化锌浓度为 1%时,5 分钟内可杀死 98.86%的金黄色葡萄球菌、99.93%的大肠杆菌。

研究表明,矿物中药制成纳米粉末后,药效会大幅度提高,并具有小剂量、高吸收的特点。利用纳米粉末的强渗透性可将矿物中药制成贴剂或含服剂,避免胃肠吸收时体液环境与药物反应引起不良反应或吸收不稳定;难溶矿物中药制成针剂,可大大提高吸收率。

以纳米磁性颗粒为载体的药物注入人体后,在外磁场的作用下,药物会聚集于人体内局部,可在副作用很小的情况下,对病理位置进行高浓度的药物治疗。这种纳米导向剂十分适合癌症、结核等固定病灶的治疗。

微电子领域 纳米技术在微电子计算机领域应

用的目标为:纳米结构的微处理器,效率将提高 100 万倍,并实现兆比特的存储器(提高 1000 倍);研制集成纳米传感器系统等。微电子和计算机领域中最有应用前景的纳米材料有以下几种。

导电浆料。纳米导电浆料(导电胶、导磁胶等)可广泛用于微电子工业中的布、封装、连接等,对微电子器件的小型化起着重要作用。

高性能电极材料。用纳米粉末辅以适当工艺,能制造出具有巨大表面积的电极为,可大幅度提高放电效率。

高性能磁记录材料。用纳米粉末制成的磁记录材料,可使磁带和软硬磁盘的记录密度提高数十倍,并能大幅度改善它们的保真性能。

磁流体。用纳米金属及合金粉末生产的磁流体性能优异,可广泛用于密封减震、医疗器械、声音调节、光显示等领域。

吸波材料。纳米金属粉末对电磁波有特殊的吸收作用,可作为军用高性能毫米波隐形材料、可见光-红外线隐形材料和结构式隐形材料、手机辐射屏蔽材料。

航天航空 纳米技术在航空航天领域应用广泛,与其他领域相比,相对重要的应用可能有低能耗、抗辐射的高性能计算机;用于小型太空船的纳米仪器;通过使用纳米结构传感器和纳米电子器件,改进航空电子器件,从而进一步发展航空电子学;隔热和耐用的纳米结构涂层。纳米器件在航空航天领域的应用,不仅可增加有效载荷,更重要的是使耗能指标成指数倍地降低。利用纳米制造技术能设计和制造用于飞机、火箭、空间站、行星/太阳探测平台的轻质、高强度、热稳定的材料;低引力、高真空空间环境也有助于开发地球上不能制造的纳米结构和纳米系统。此外,纳米粉体还可作为高效助燃剂。由于纳米粉末具有极强的储能特性,将其作为添加剂加入燃料中可大大提高燃烧率。将一些纳米粉末加入火箭的固体燃料推进剂,可大幅度提高燃料的燃烧热和燃烧效率,改善燃烧稳定性。研究表明,向火箭固体燃料中加入 0.5%的纳米铝粉或镍粉,可使燃烧效率提高 10%~25%,燃烧速度加快数十倍。

环保领域 纳米材料和纳米技术在环保应用方面的深入研究,将为治理环境污染提供新的途径。大气污染一直是各国政府需要解决的难题,空气中超标的二氧化硫、一氧化碳和氮氧化物是影响人类

健康的有害气体。而纳米材料和纳米技术有望从源头上最终解决这一难题。由于含硫燃料在燃烧时会产生二氧化硫气体,所以石油提炼工业中有一道脱硫工艺。纳米钛酸钴就是一种非常好的石油脱硫催化剂,经其催化脱硫的石油硫含量小于 0.01%。同时,工业生产中使用的煤,如果在燃烧时加入一种纳米级助燃催化剂,不仅可以使煤充分燃烧,提高能源利用率,而且还会使硫转化成固体硫化物,杜绝有害气体的产生。另外,复合稀土化合物的纳米级粉体有极强的氧化还原性能,这是其他任何汽车尾气净化催化剂所不能比拟的。新一代的纳米催化剂,在汽车发动机汽缸里发挥催化作用,使汽油在燃烧时不产生一氧化碳和氮氧化物,无需尾气净化处理。

另一方面,纳米技术在污水处理中也有较好的应用前景,污水中通常含有悬浮物、泥沙、铁锈、异味、细菌、病毒等有害物质。传统的水处理方法效率低、成本高,存在二次污染等问题。纳米技术的发展和运用很可能彻底解决这一难题。污水中的贵金属是对人体极其有害的物质。但让它从污水中流失,也是资源的浪费。一种新的纳米技术可以将污水中的贵金属,如金、钨、钼、铂等完全提炼出来,变害为宝。纳米净水剂的吸附和絮凝能力是普通净水剂三氯化铝的 10~20 倍,因此可先用它将污水中的悬浮物完全吸附并沉淀下来,然后采用纳米磁性物质、纤维和活性炭的净化装置,除去水中的铁锈、泥沙以及异味等污染物。经前两道净化工序后,水体清澈、没有异味,再经过带有纳米膜和陶瓷小球组成的处理装置后,水中的细菌、病毒就可全部去除,得到高质量的纯净水,完全可以饮用。这是因为细菌、病毒的直径比纳米孔径大,在通过纳米孔径的膜和陶瓷小球时,就会被过滤掉,水分子及水分子直径以下的矿物质元素则保留下来。该技术在医学领域血液透析中已开始应用,有“体外肾脏”之称。肝、肾功能衰竭者饮用这种水后,可大大减轻肝、肾脏的负担。

**军事应用** 随着纳米技术的迅猛发展,特别是微机电系统的初步研制成功,为军事科技工作者研制纳米武器奠定了物质基础。预计 21 世纪利用纳米技术开发的微型武器将充斥未来战场。

“纳米卫星”将布满天空。这种卫星比麻雀略大,重量不足 0.1 千克,各种部件全部用纳米材料制造,采用最先进的微机电一体化集成技术整合,具有可重组性和再生性,成本低、质量好、可靠性强。

“蚊子导弹”将具有神奇战斗效能。利用纳米技术制造的形如蚊子的微型导弹,可以神不知、鬼不觉地潜入目标内部,其威力足以炸毁敌方火炮、坦克、飞机、指挥部和弹药库等。

“袖珍飞机”将无处不在。这是一种如同苍蝇般大小的袖珍飞行器,可携带各种探测设备,具有信息处理、导航和通信能力。其主要功能是秘密部署到敌方信息系统和武器系统的内部或附近,监视敌方情况。

“蚂蚁士兵”将大显神通。这是一种通过声波控制的微型机器人。这些机器人比蚂蚁还要小,却具有惊人的破坏力。它们可以通过各种途径钻进敌方武器装备中,长期潜伏下来。此外,西方一些国家正在研制的微型武器还有“墙上的苍蝇”“蜇人的黄蜂”“间谍草”或“沙粒坐探”等形形色色的微型武器装备。纳米武器可组成别具一格的“微型军团”。

纳米隐身技术也是军事研究的重点,由于纳米微粒尺寸远小于红外及雷达波波长,因此纳米微粒材料对这种波的透过率比常规材料要强得多,这就大大减少了波的反射率,使得红外探测器和雷达接收到的反射信号很微弱,从而达到隐身的作用;同时,纳米微粒材料的表面积比常规粉体大 3~4 个数量级,对红外光和电磁波的吸收率也比常规材料大得多,这就使得红外探测器及雷达得到的反射信号强度大大降低,利用纳米材料制成的红外与微波隐身材料,可以逃避雷达的监视。

有人曾把纳米技术、信息技术和生物技术看作 21 世纪的三大关键技术之一。因此,21 世纪也将是纳米世纪。作为 21 世纪前沿战略科技领域的纳米技术,正在或者将要对社会各个层面产生不可估量的影响。它向人们昭示:一个科学技术发展的新时代即将来临。

(广东武警广州指挥学院训练部 510440)

