

纳米材料的分类及其物理性能

张 秀 荣

(华东船舶工业学院基础学科系 江苏 212003)

纳米技术是 20 世纪 80 年代末迅速发展起来的一门交叉性很强的综合学科,是在 0.1—100 纳米尺度上研究和利用原子与分子的结构、特性及其相互作用的高新技术。著名的诺贝尔奖获得者费恩曼在 60 年代就预言:如果对物体微小规模上的排列加以某种控制的话,物体就能得到大量的异乎寻常的特性。他所说的物体就是现在的纳米材料。纳米材料研究是目前材料科学研究的一个热点,纳米技术被公认为是 21 世纪最具有前途的科研领域。

1. 纳米材料的分类

以“纳米”来命名的材料是在 20 世纪 80 年代,它作为一种材料的定义把纳米颗粒限制到 1—100nm 范围。在纳米材料发展初期,纳米材料是指纳米颗粒和由它们构成的纳米薄膜和固体。广义地,纳米材料是指在 3 维空间中至少有 1 维处于纳米尺度范围或由它们作为基本单元构成的材料。如果按维数,纳米材料的基本单元可以分为 3 类:(1) 0 维,指在空间 3 维尺度均在纳米尺度,如纳米尺度颗粒、原子团簇等;(2) 1 维,指在空间有两维处于纳米尺度,如纳米丝、纳米棒、纳米管等;(3) 2 维,指在 3 维空间中有 1 维在纳米尺度,如超薄膜、多层膜、超晶格等。

按化学组成可分为:纳米金属、纳米晶体、纳米陶瓷、纳米玻璃、纳米高分子和纳米复合材料。按材料物性可分为:纳米半导体、纳米磁性材料、纳米非线性光学材料、纳米铁电体、纳米超导材料、纳米热电材料等。按应用可分为纳米电子材料、纳米光电材料、纳米生物医用材料、纳米敏感材料、纳米储能材料等。

纳米材料大部分都是用人工制备的,属于人工材料,但是自然界中早就存在纳米微粒和纳米固体。例如天体的陨石碎片,人体和兽类的牙齿都是由纳米微粒构成的。而浩瀚的海洋就是一个庞大超微粒的聚集场所。

2. 纳米材料的性能

纳米材料的物理性质和化学性质既不同于宏观物体,也不同于微观的原子和分子。当组成材料的尺寸达到纳米量级时,纳米材料表现出的性质与体材料有很大的不同。在纳米尺度范围内原子及分子的相互作用,强烈地影响物质的宏观性质。物质的机械、电学、光学等性质的改变,出现了构筑它们的基石达到纳米尺度。例如铜的纳米晶体硬度是微米尺度的 5 倍,脆性的陶瓷成为易变形的纳米材料,半导体量子阱、量子线和量子点器件的性能要比体材料的性能好得多;当晶体小到纳米尺寸时,由于位错的滑移受到边界的限制而表现出比体材料高很多的硬度;纳米光学材料会有异常的吸收;体表面积的变化使得纳米材料的灵敏度比体材料要高得多;当多层膜的单层厚度达到纳米尺寸时会有巨磁阻效应等。纳米材料之所以能具备独到的特性,是当组成物质中的某一相的某一维的尺度缩小至纳米级,物质的物理性能将出现根本不是它的任一组分所能比拟的改变。

材料的光学性能是由其对太阳光的反射性能或吸收性能所决定的。如绿色的树叶表明它吸收了其他波长的光而反射出绿色的特征波。红色的颜料表明它吸收了其他波长的光而反射出红色的特征波。纳米微粒由于其尺寸小到几个纳米或十几个纳米而表现出奇异的小尺寸效应和表面界面效应,因而其光学性能也与常规的块体及粗颗粒材料不同。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、红外线隐形材料和结构式隐形材料,以及手机辐射屏蔽材料。比如,玻璃是一种绝缘体,它无法把吸收到的电磁波释放出去,但是重金属汽化后生成的纳米材料却有极强的导电性能,因此可以通过接在防护屏上的地线导出吸收到的静电,从而消除静电对人体造成的危害。另外,电脑屏幕发射出的电磁波的频度并不均匀,因此,在对玻璃表面蒸涂纳米材料时也并不是均匀蒸涂,而是

根据电磁波发射频度的变化规律进行蒸涂,以此抵消电磁波频度变化对纳米材料吸收功能的干扰,消除屏幕光亮闪烁对眼睛造成的伤害,使画面更加清晰。

3. 性能分析

因为纳米颗粒具有表面效应和量子尺寸效应,这时纳米粒子的粒径与超导相干波长、玻尔半径以及电子的德布罗意波长相当,与此同时,颗粒表面的原子、电子与处于颗粒内部的原子、电子的行为有很大的差别,这个特点对纳米微粒的光学特性有很大的影响。比如,大块金属具有不同颜色的光泽,这表明它们对可见光范围各种波长的反射和吸收能力不同。而当尺寸减小到纳米级时各种金属纳米微粒几乎都成黑色,说明它们对可见光的反射率极低。

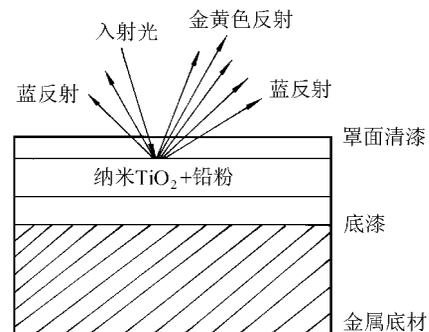
能带理论表明,在高温或宏观尺寸下,金属费米能级附近电子能级一般是连续的。对于只有有限个导电电子的超微粒来说,低温下能级是离散的。且这种离散对材料热力学性质起很大作用。相邻电子能级间距和颗粒直径有着反比关系,即前者随后者而增大。

由于宏观物体包含无限个原子,即导电电子数 N 趋向无穷大,大粒子或宏观物体的能级间距几乎为零;而对纳米微粒,所包含原子数有限, N 值很小,这就导致能级间距有一定的值,即能级间距发生分裂。当能级间距大于热能、磁能、静磁能、静电能、光子能量或超导态的凝聚能时,就会导致纳米微粒的磁、光、声、热、电以及超导电性与宏观特性有着显著的不同。从紫外到可见光范围内材料的发光问题一直是人们感兴趣的热点课题。这里说的发光是与电子辐射跃迁的微观过程相联系的。纳米结构材料由于颗粒很小,小尺寸会导致量子限域效应,界面结构的无序性使激子,特别是表面激子很容易形成;界面所占的体积很大,界面中存在大量缺陷,例如悬键,不饱和键和杂质等,这就可能在能隙中产生许多附加能隙;纳米结构材料中由于平移周期的破坏,在动量空间常规材料中电子跃迁的选择定则对纳米材料很可能不适用,这些就会导致纳米结构材料的发光不同于常规材料,有自己的特点。

纳米微粒对红外和电磁波有隐身作用,这是因为:(1)纳米微粒尺寸远小于红外及雷达波长,对这种波的透过率比常规材料要强得多,大大减少波的反射率,使得红外探测器和雷达接收到的反射信号

变得很微弱,从而达到隐身作用;(2)纳米微粒材料的比表面积比常规材料大得多,使得红外探测器及雷达得到的反射信号强度大大降低,因此很难发现被探测目标,起到了隐身作用。当前,隐身涂料研究已成为现代军事对抗中的一种手段。正在研制的第四代超音速歼击机,其机体结构采用复合材料、翼身融合体和吸波涂层,电磁波吸收型涂料、电磁波屏蔽型涂料已开始对隐身飞机上涂装。纳米材料因其具有极好的吸波特性,同时具备了宽频带、兼容性好、质量小和厚度薄等特点,美、俄、法、德、日等国都把纳米材料作为新一代隐身材料加以研究。金属、金属氧化物和某些非金属材料的纳米级超细粉在细化过程中处于表面的原子数越来越多,增大了纳米材料的活性。在微波场的辐射下,原子和电子运动加剧,促使磁化,使电子能转化为热能,从而增加了对磁波的吸收。

有人发明了一种纳米金属汽车面漆,它是采用多种纳米金属粉体材料与引进国外先进纳米金属汽车面漆制作技术相结合研制成功的新一代高级汽车涂料,它具有极强的附着力和耐酸、耐碱、抗氧化等耐化学药品性能;具有随角异色效应,下图是纳米 TiO_2 产生的随角异色效应示意图。并具有抗磨、抗刮碰等优异的抗外界物理冲击性能,还吸收有害射线对人体及底漆的辐射,能保护人体健康及延长面漆的使用寿命。



纳米 TiO_2 的随角异色效应示意图

由于纳米材料的奇特性质,其应用领域极为广泛,可以说它已经渗透到了方方面面。可以预见,过去人们所设想的可以揣在口袋里的计算机,能进入人体内任何地方的机器人等等这些“天方夜谭”,都会随着纳米材料和纳米技术的研究发展而得到实现。