

纳米材料的特异效应、性能及应用

郑晓丽 李宏昭 (北京电子科技职业学院, 北京 100176)

摘要: 纳米材料具有尺寸效应, 表面效应和量子隧穿效应等特异效应, 主要性能包括化学性能、催化性能、光学性能、电磁性能等, 纳米材料的应用涉及电子技术、生物医药、机械工程、建筑工程、军事国防、环境保护、纺织工业、石油行业、日常生活等多方面。

关键词: 纳米材料; 特异效应; 应用

1 研究背景

纳米材料性能的研究在物理学和材料科学两个方面展开。物理学家则从小尺寸量子效应和晶界结构出发, 研究能带结构, 声子模的软化, 德拜温度的降低, 界面熵升高, 熔点降低, 比热上升等材料的基本物理性质。材料科学家注重纳米金属的高强度大弹性和高扩散系数, 纳米陶瓷的塑性及纳米晶体的导电性, 反常介电及压电特性等等。对纳米材料的结构和性能的研究, 促进了纳米技术的发展和纳米材料在各领域各行业的广泛应用。

2 纳米材料的结构

纳米材料结构的研究着重晶界结构的直接和间接的观察和分析, 有关纳米晶界结构的假说, 具有代表性的是 Gleiter 的完全无序说, Seigel 的有序说和叶恒强、吴希俊有序无序说。纳米材料中的晶界结构相当复杂, 它不但与材料的成分、键合类型、制备方法、成型条件以及其经历的热历史等因素密切相关, 在同一块材料中不同晶界之间也各有差异。

目前很难用统一的模型来描述纳米晶界的微观结构, 可以认为纳米材料中的界面结构处于无序到有序的中间状态, 有的与粗晶界面结构十分接近, 而有的则更趋于无序状态。

3 纳米材料的特异效应

3.1 尺寸效应

当超细微粒的尺寸与光波波长、德布罗意波长等物理特征尺寸相当或更小时, 晶体周期性的边界条件将被破坏, 非晶态纳米微粒的颗粒表面附近原子密度减小, 导致声、光电、磁学、热学、力学等特性呈现出新的小尺寸效应。纳米微粒的小尺寸效应使其具有独特的物理化学性能, 从而拓宽了材料的应用范围。

3.2 表面效应

通常随着微粒尺寸的减小, 微粒中表面原子与原子总数之比将会增加, 表面积也将会增大, 从而引起材料性能的变化, 这就是纳米粒子的表面效应。随着纳米粒子粒径的减小, 表面原子所占比例急剧增加, 原子配位不足及高的表面能, 使这些表面原子具有高的活性, 极不稳定, 很容易与其他原子结合。

3.3 量子隧穿效应

微观粒子贯穿势垒的能力称为隧穿效应。纳米粒子

的磁化强度等也具有隧道效应, 它们可以穿越宏观系统的势垒而产生变化, 这称为纳米粒子的宏观量子隧穿效应。它的研究对基础研究及实际应用, 如导电、导磁高聚物、微波吸收高聚物等, 都具有重要意义。

4 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。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。

4.1 化学性能

纳米材料由于其粒径的减小, 表面原子数所占比例很大, 吸附能力强, 因而具有较高的化学反应活性。许多金属纳米材料室温下在空气中就会被强烈氧化而燃烧, 即使是耐热、耐腐蚀的氮化物纳米材料也变得不稳定, 暴露在大气中的无机纳米材料会吸附气体, 形成吸附层。

4.2 催化性能

金属纳米材料在适当的条件下可以催化断裂 H-H、C-C、C-H、C-O 键, 这主要是由于比表面积大, 出现在表面上的活性中心数增多所致。纳米材料作为催化剂具有无细孔、无其他成分、能自由选择组分、使用条件温和以及使用方便等优点。纳米材料作为光催化剂时因其粒径小, 粒子到达表面的数量多, 所以光催化效率也很高。

4.3 光学性能

纳米材料的光学性质包括线性和非线性光学性质。纳米材料的颜色大都变成黑色, 粒径越小颜色越深, 其吸光能力越强。纳米材料由于自身的特性, 光激发引发的吸收变化呈现出不同的非线性光学效应。纳米晶体材料的光伏特性和磁场下的发光效应也是纳米材料光学性质研究的热点, 可以获得其他光谱手段无法得到的一些信息。

4.4 电磁性能

当金属晶粒处于纳米范畴时, 其密度增大, 自由电子的平均自由程会减小, 电导率会降低, 甚至转变成为绝缘体。纳米材料的磁结构也不同于块材, 通常磁性材料的磁结构是由许多磁畴构成的, 畴壁运动导致磁化, 而当粒径小于某临界值时, 每个晶粒都呈现单畴结构, 矫顽力增大, 可用于制备永久性磁体材料、磁流体和磁记录材料。

4.5 其他性能

除上述物理化学特性外, 纳米材料在力学和热学等方面也显示出特异性能, 比如硬度高, 可塑性强; 高比热和热膨胀, 在熔点、蒸气压、相变温度、烧结、超导等方面也显示出与宏观材料不同的性能。

5 纳米材料的应用

5.1 在电子技术方面的应用

利用双光子光束光刻技术可制备纳米级的集成电路, 基于纳米多层膜的巨磁电阻效应可以制备高密度读出磁头和磁存储器, 基于纳米软磁材料的小矫顽力和高磁化率可生产家用电器设备, 纳米巨磁致伸缩材料可用于声纳、水声转换器等。纳米超导材料在强电方面的应用包括发电、输电和储能, 在弱电方面的应用包括超导天线、超导计算机、超导微波器件, 超导体的完全抗磁性可用于超导磁悬浮列车和热核聚变反应堆。纳米材料可以制作单电子晶体管替代硅材料, 可以制备纳米导线、碳纳米管和场效应晶体管, 芯片的发展和计算机的进步都离不开纳米材料。

5.2 在生物医药方面的应用

将纳米粒子与生物分子复合, 进行生物靶向给药, 可用于治疗由于基因原因引起的难以治疗的病症。新型纳米载药系统可用于恶性肿瘤的治疗, 纳米药物载体可以在增强药物治疗效果的同时降低了副作用。纳米粒子可以吸附和分离生物物质, 用于血清的清洗。纳米药物制剂可以提高口服原制剂的生物利用度、提高治疗指数、降低药物不良反应。纳米材料和相关技术可用于医学分子影像技术, 进行生物传感和医学示踪, 检测早期病症。

5.3 在机械工程方面的应用

纳米轴承的直径可以达到头发丝的万分之一, 而且摩擦力只有传统轴承的千分之一, 提高了效率, 节约了成本。纳米马达相比传统马达体积更小, 重量更轻, 噪声更小, 同时成本更低, 可用于玩具和汽车的电动车窗。纳米磁性液体可用于计算机的防尘密封, 也可用于制造新型润滑剂, 还可用于旋转轴, 促进微型机械的产生和规模化生产, 更新技术路线和思维方式。

5.4 在建筑工程领域的应用

在普通混凝土中加入纳米矿粉或者金属粉可提高混凝土的性能, 若改变掺入的纳米材料的比例可配置出防水砂浆。基于纳米材料的光学性能和催化性能制成的纳米环保复合水泥具有杀菌、除臭和表面自清洁等功能。纳米敏感水泥可用于建设化工厂、铺设高速路面。纳米玻璃可用作电子设备屏幕和外壳、大厦防护玻璃、住宅玻璃等, 美观干净、透光性很好。纳米防水材料具有高的光、热稳定性, 韧性好, 可用于卫生间、建筑顶层、地下室、水利堤坝和防潜工程。纳米保温材料绿色环保无污染, 具有良好的保温效果。

5.5 在军事国防领域的应用

纳米材料和纳米技术的发展促进了军事科技工作者

研制纳米武器, 比如研究可重组可再生的纳米卫星、可潜入敌人内部的蚊子导弹、可携带探测设备且具有通信和导航能力的袖珍飞机、可钻入和破坏敌人设备的蚂蚁士兵等等。纳米材料的尺寸由于远小于红外和雷达波长, 不会产生衍射现象, 另外纳米材料可损耗电磁波, 最终实现隐身功能。纳米武器的智能化强、安全性好、便于携带。

5.6 在环境保护方面的应用

纳米材料可用于水环境的保护: 用纳米材料处理过的衣服可以进行自清洁, 减少了清水的消耗和污水的排放和处理; 纳米材料可将难以分解的大颗粒物质分解为小分子进行处理; 用半导体纳米材料对污染物进行处理可将其分解为无毒的无机物, 减少了对环境的污染; 纳米材料可作为净水剂; 纳米材料可抑制水中蓝藻的生长, 保护生态平衡。纳米材料也可以用于大气环境保护和城市垃圾处理, 此外还可以进行噪声控制。

5.7 在其他方面的应用

纳米材料应用于纺织工业, 可制造出纺织新原料和纳米浆料, 改善织物性能; 纳米材料可用于石油行业, 作为钻井液、润滑剂和污水处理液等; 纳米材料在日常生活中也有很多应用, 比如纳米冰箱、纳米液体壁纸、纳米能量杯、纳米牙刷以及纳米银袜等。

6 小结

纳米材料的性能研究一直是材料科学研究的活跃领域, 纳米材料的特殊结构导致其可产生诸多新材料和新技术, 为解决材料科学领域中悬而未决的一些问题提供新途径。纳米材料在电力电子、生物医药、机械工程、建筑工程、军事国防、环境保护等方面的应用前景非常广阔, 纳米材料的研制推动了新技术和新产品的开发, 也改善着人们的生产生活环境, 促进了社会的进步和人类的幸福。

参考文献:

- [1] Gleiter H. and Marquaret P. Nanocrystalline Structures-an Approach to New Materials[J]. Z. Metallkunde, 1984(75):263-267.
- [2] Zhu X. et al. Preparation and characterisation of compacts from nanostructured powder produced in an aerosol flow condenser [J]. Phys. Rev., 1987(35):9085.
- [3] Melendres C. A. et al. nano scale science[J]. Mater. Re, 1989(4):1246.
- [4] Epperson J. and Siegel R. M. Structure Characterizations of Nanosized Materials[J]. Res. Soc. Symp. Proc., 1989, 13(2):15.
- [5] Li D. X et al. HERM studies of microstructure in nanocrystalline Palladium[J]. Phil. Mag. Lett., 1993(2):101-106.
- [6] Rossetti R. et al.. Nanosized Materials[J]. Chem. Phys., 1984, 80(9):4464.