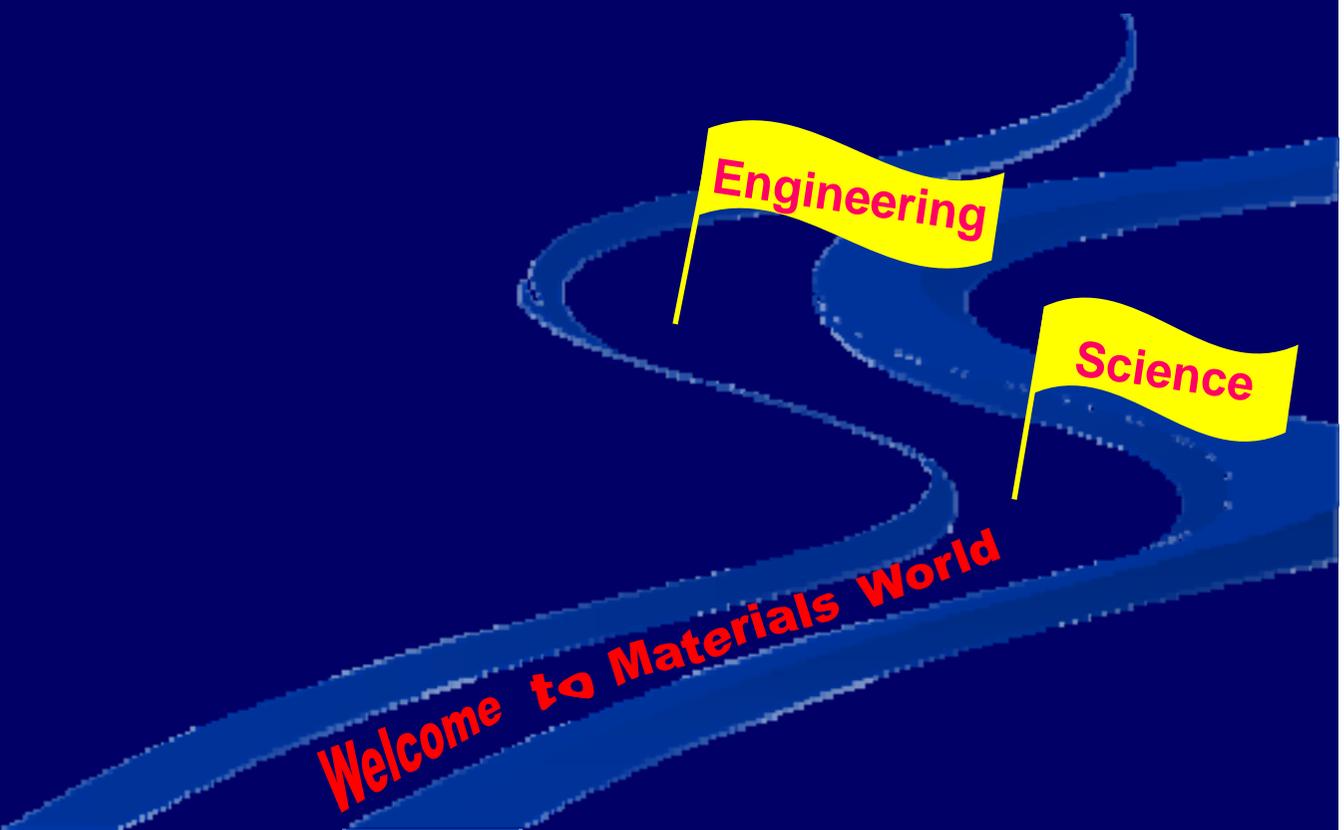


材料科学与工程导论



Engineering

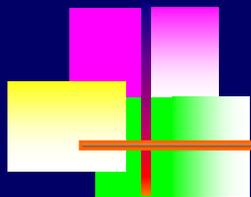
Science

Welcome to Materials World

第四章 功能材料

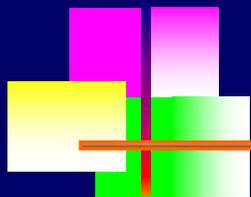
本章主要内容:

- ◆ 超导材料
- ◆ 纳米材料
- ◆ 能源材料
- ◆ 热电材料
- ◆ 生物医学材料
- ◆ 功能陶瓷材料
- ◆ 功能高分子材料



什么是“功能材料”？

功能材料：具有某种优良的电学、磁学、热学、声学、光学、化学和生物学功能及其相互转化的功能，被用于非结构目的高技术材料。



功能材料

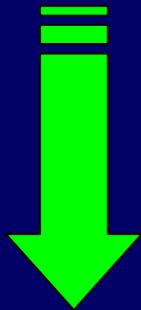
概述

功能材料:

- 超导材料
- 纳米材料
- 能源材料
- 热电材料
- 生物医学材料
- 功能陶瓷材料
- 功能高分子材料
-

什么是“超导现象”、“超导材料”？

超导现象



超导材料

1911年荷兰低温物理学家H. K. Onnes发现有些物质从特定的温度开始会转变为完全没有电阻的状态，这就是所谓的**超导现象**。

超导材料：在一定温度以下，材料电阻为零，物体内部失去磁通成为完全抗磁性的物质。这一特定温度称为转变温度、或临界温度 T_c 。

年代

现象与成果

超导现象发现与超导理论发展

1911年

荷兰人Onnes发现了超导现象

1931年

发现超导的正常-超导转变是相变；发现超导具有完全抗磁性

1950年

提出电子间通过声子相互作用作为超导电性的微观机制

1956年

提出超导态中的电子是两两束缚在一起，不是普通的自由电子

1957年

超导微观理论发表

1962年

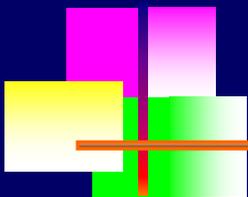
从理论上预言了超导体隧道效应

1986年

高温超导体的发现。超导陶瓷材料，转变温度在30K以上。

1993年

Hg-Ba-Ca-Cu-O氧化物体系超导材料，转变温度已达130K以上



超导材料的两个基本特征

零电阻效应

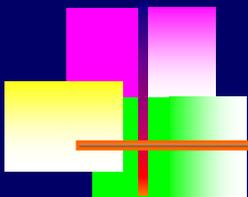
物质在一特定的**温度**下没有电阻。零电阻是超导体的基本特征之一，称为**零电阻效应**。

迈斯纳效应

超导态的物质完全排斥磁场，即磁力线不能进入超导体内部。这一特征称为完全抗磁性或迈斯纳效应。



超导磁悬浮的物理基础



临界温度

具有超导现象的材料称为超导材料，这一特定温度称为转变温度、或临界温度 T_c 。

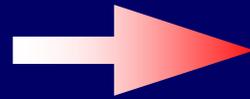
临界磁场

温度低于 T_c 时，当磁场值超过某一临界值 H_c 时，材料就从超导态转变为正常态， H_c 就称为临界磁场。

临界电流密度

当电流密度 J 超过某一值 J_c 时，超导体出现电阻现象， J_c 就称为临界电流密度。

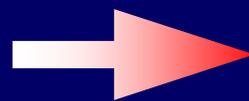
强电超导材料



可承受大电流和强磁场

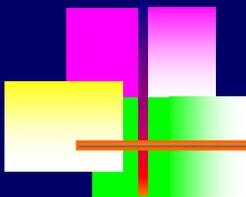
Nb_3Sn 为代表。在温度4.2K和磁场8.8T的情况下可达到 10^4A/cm^2 的电流密度。

超导电子材料



利用约瑟夫结效应，仅涉及小电流和弱磁场

一种弱电应用的超导材料。多数是将超导体做成薄膜，再加工成元器件。如铅膜-氧化铅膜-铅膜做成的S-I-S型约瑟夫森结。



功能材料

超导材料

超导材料分类

:

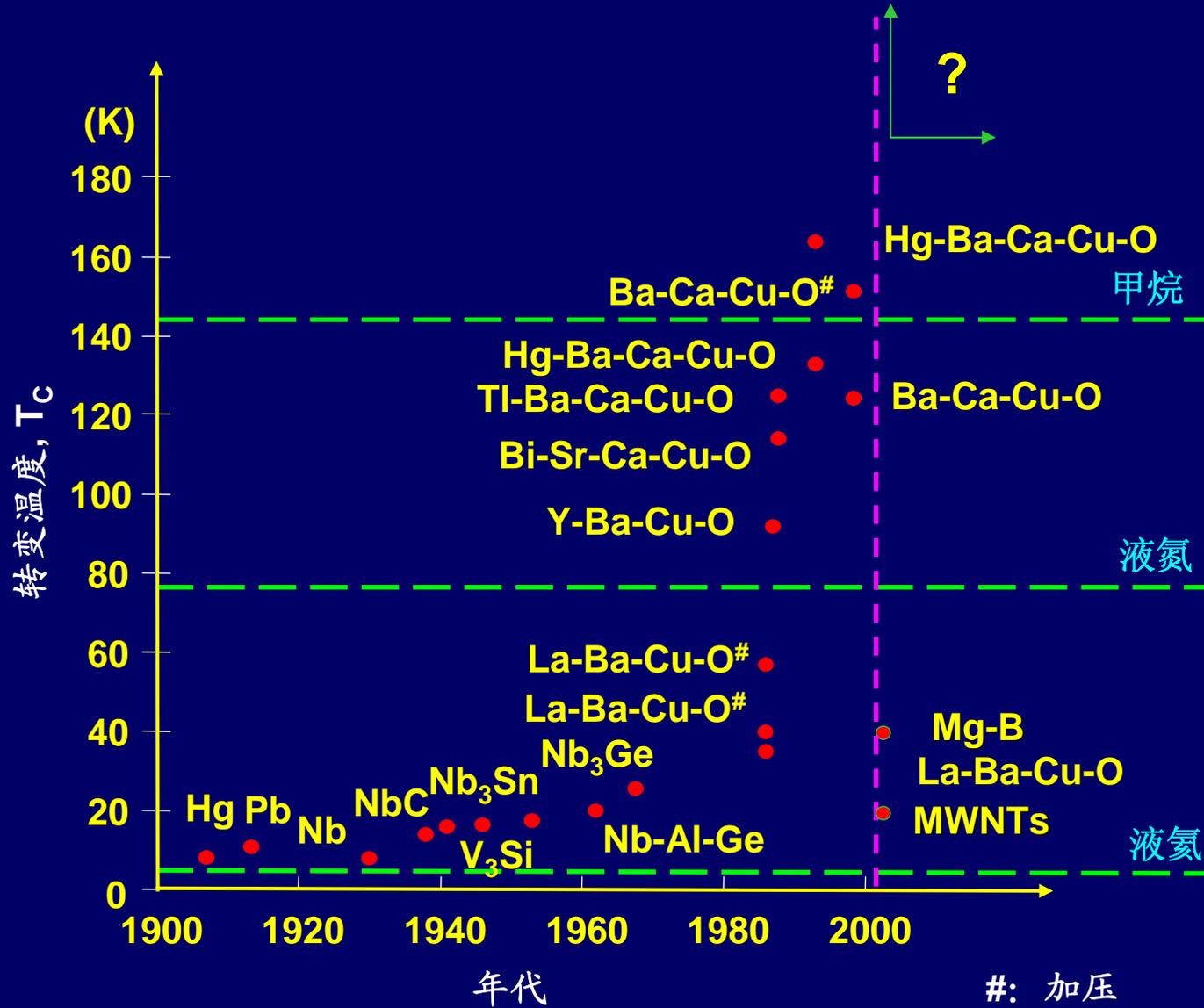
化学组成



功能材料

超导材料

超导材料 T_c 提高年表



高温超导材料： 临界温度 T_c 达到液氮（77K）以上的超导材料。

第一代镧系 La-Cu-Ba氧化物为代表，
临界温度： $T_c=91\text{K}$ 。

第二代钇系 Y-Ba-Cu氧化物为代表，
临界温度： $T_c=92.3\text{K}$ 。

第三代铋系 Bi-Ca-Cu氧化物为代表，
临界温度： $T_c=114-120\text{K}$ 。

第四代铊系 Tl-Ca-Ba-Cu氧化物为代表，
临界温度： $T_c=122-125\text{K}$ 。

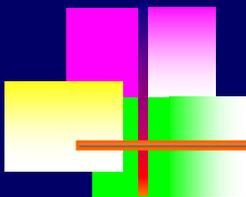
T_c 不断提高

含铜高温超导材料

1. 镧钡铜氧化物系 ($T_c=36K$)。
2. 钇钡铜氧化物系 ($T_c=93K$)。
3. 铋锶钙铜氧化物系 ($T_c=110K, 85K$)。
4. 铊钡钙铜氧化物系 ($T_c=125K$)。
5. 汞钡钙铜氧化物系 ($T_c=133K$)。

不含铜高温超导材料

1. 钡钾铋氧系 ($T_c=30K$)。
2. MgB_2 ($T_c=93K$)



功能材料

超导材料

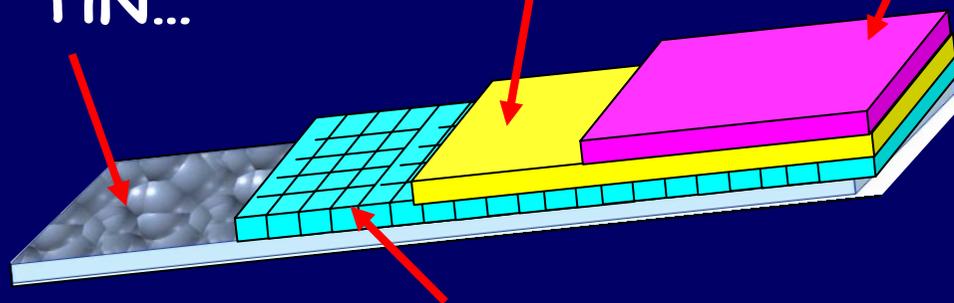
高温
超导
材料

钇钡铜氧高温超导材料

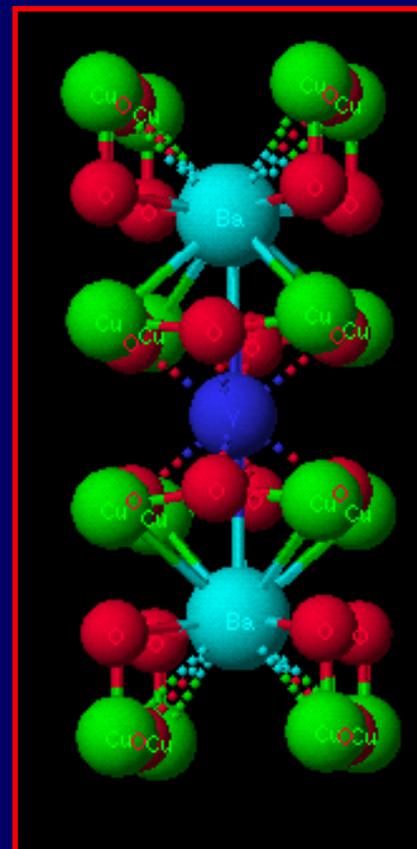
$RE_2O_3, CeO_2, YSZ, LMO, STO...$

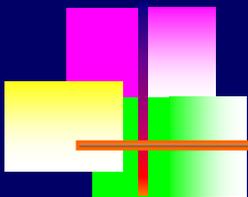
$MgO, YSZ,$
 $GZO, TiN...$

YBCO



Polycrystalline Substrate:
SS, Hastelloy, Ag...

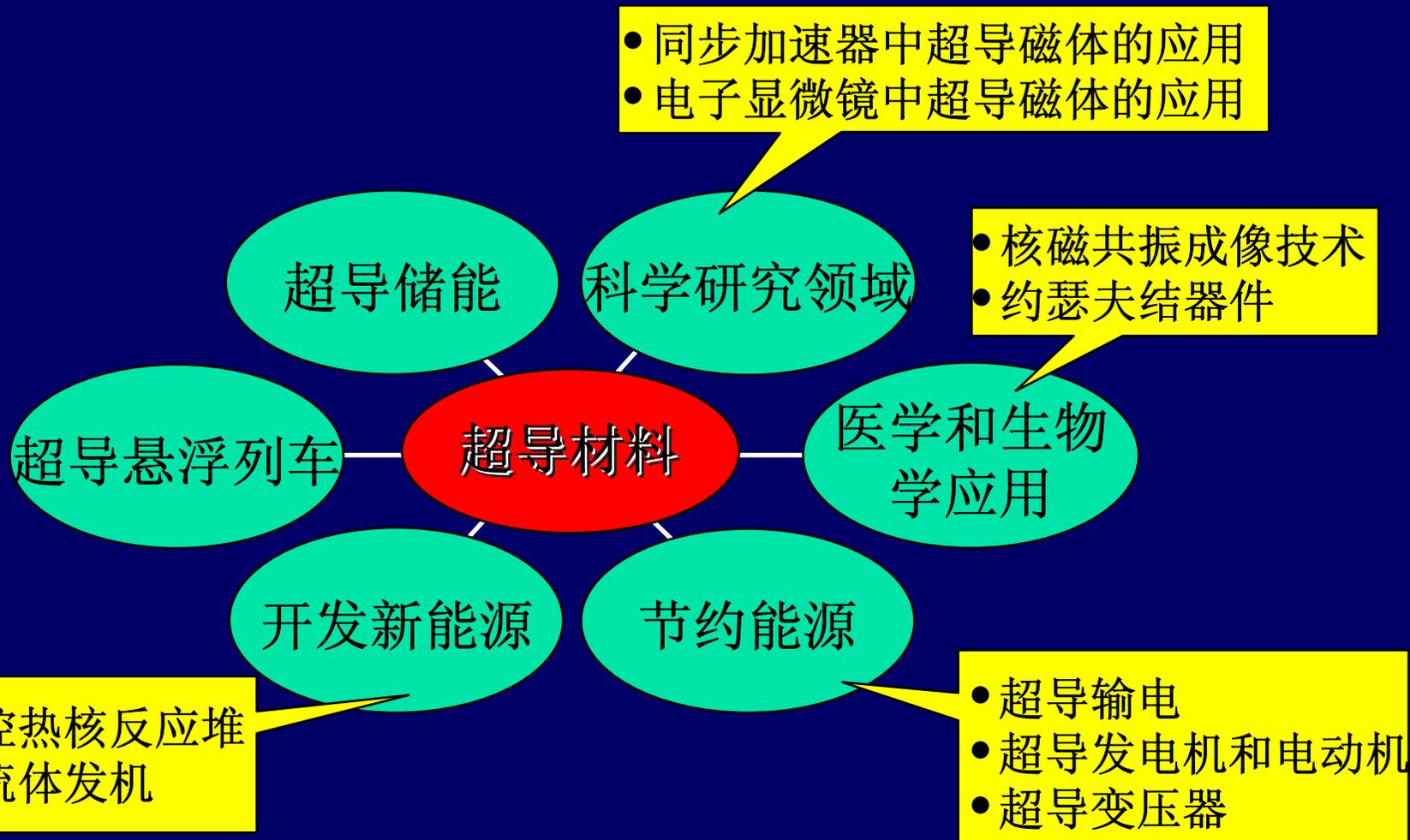


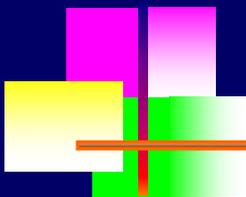


功能材料

超导材料

超导材料的应用

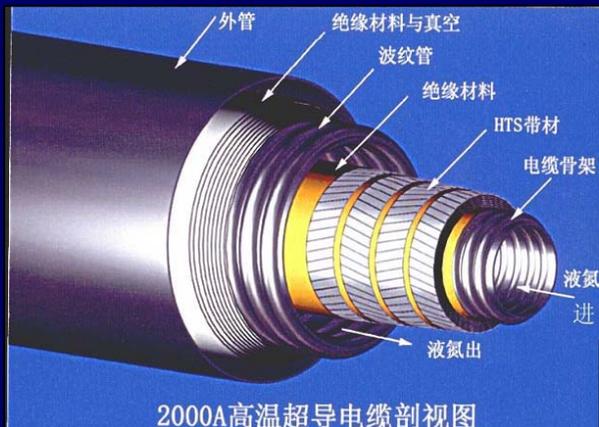




功能材料

超导材料

超导材料的应用



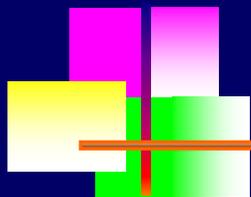
2000A超导电缆



磁悬浮列车

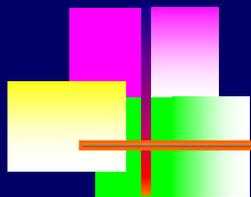


核磁共振设备



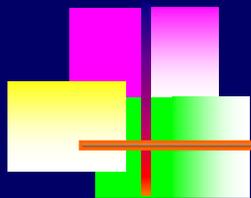
什么是“纳米材料”？

纳米材料通常定义为材料的显微结构中，包括颗粒直径、晶粒大小、晶界、厚度等特征尺寸都处于纳米尺寸水平的材料。其性能发生突变的材料。



界面结构

界面占有可与微粒整体相比的体积分数。纳米晶体的界面结构既不是非晶态的长程有序，也不是非晶态的短程有序。而是一种类似于气态的更无序排列的结构。

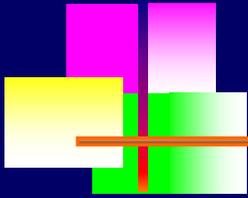


晶粒结构

纳米尺寸的晶粒结构与完整晶格也有差异。纳米晶粒在一定程度上表现出点畸变效应，点阵常数偏离平衡值。

晶界偏聚

纳米晶体中，溶质原子或杂质原子易在晶界上偏聚，从而降低晶界能。



功能材料

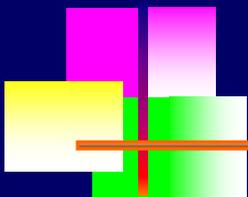
纳米材料

纳米材料的特点

表面效应



| 个数 | 1 | 10^{21} | $10^{21} \times$ |
|-----|----------------|-----------------------|------------------|
| 总体积 | 1cm^3 | 1cm^3 | $1 \times$ |
| 总面积 | 6cm^2 | 6000m^2 | $10^{21} \times$ |
| 棱边数 | 12 | 12×10^{21} 条 | $10^{21} \times$ |
| 顶角数 | 8 | 8×10^{21} 个 | $10^{21} \times$ |

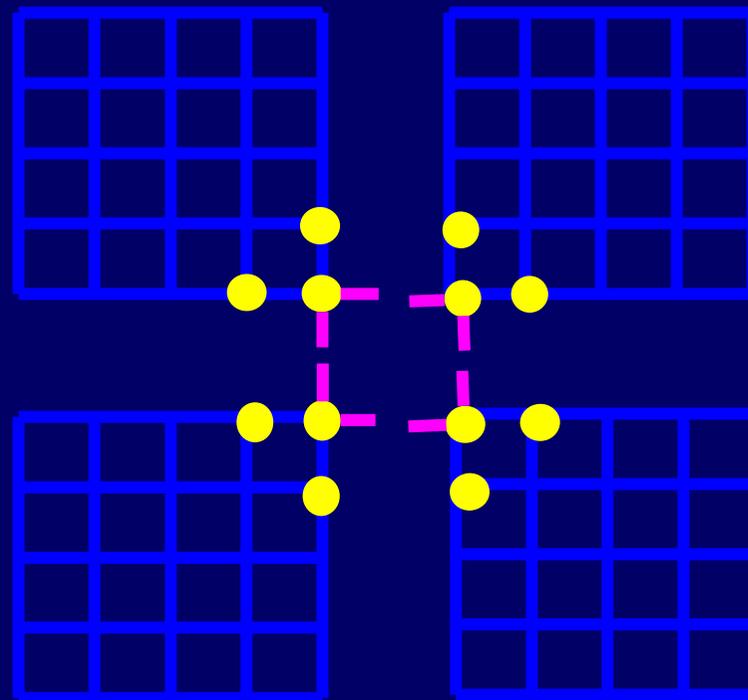
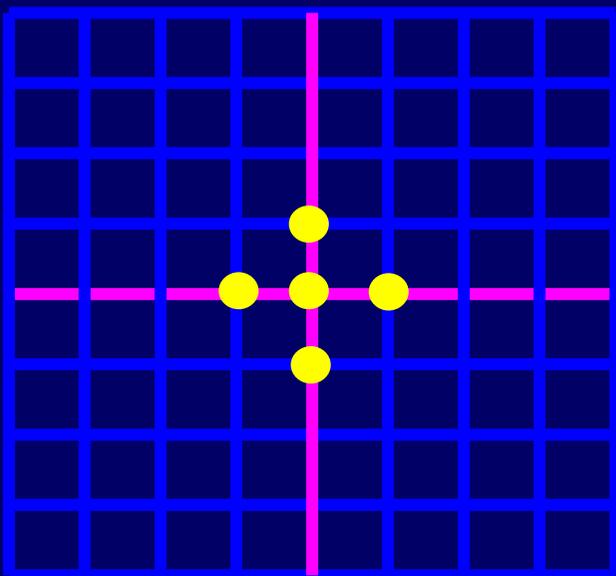


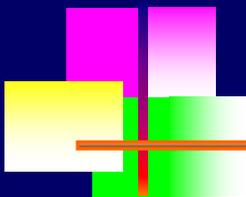
功能材料

纳米材料

纳米材料的特点

表面效应

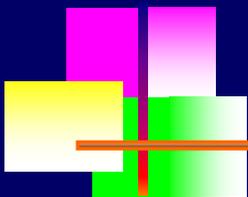




表面效应

表面原子随颗粒粒径的变化规律

| 粒径 (nm) | 总原子数 | 表面原子数/总原子数 |
|---------|------------------|------------|
| 1 | 30 | 90 |
| 2 | 250 | 80 |
| 5 | 400 | 40 |
| 10 | 3×10^4 | 20 |
| 20 | 25×10^4 | 10 |
| 100 | 3×10^7 | 2 |



功能材料

纳米材料

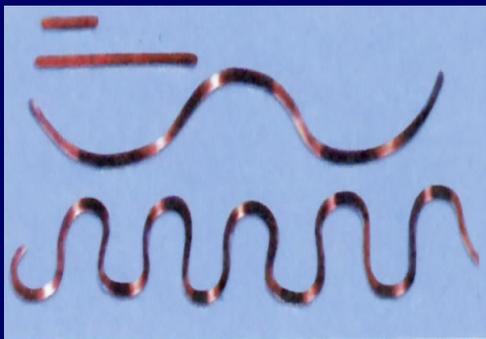
纳米材料的特点

小尺寸效应

随着颗粒尺寸的量变，在一定条件下会引起颗粒性质的质变，由于颗粒尺寸变小所引起的宏观物理性质的变化称为小尺寸效应。

| 颗粒大小 | 常态 | 10nm | 2nm |
|------|--------|--------|-------|
| 金熔点 | 1064°C | 1037°C | 327°C |

----->

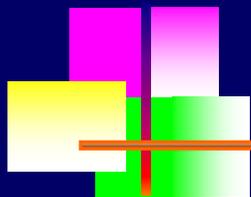


纳米金属具有超塑延展性，纳米铜在室温下竟可延伸**50多倍**而“不折不挠”。

量子效应

对纳米颗粒而言，大块材料中连续的能带将分裂为分立的能级，能级间的间距随颗粒尺寸减小而增大。当热能、电场能或者磁场能比平均的能级间距还小时，就会呈现一系列与宏观物体截然不同的反常特性，称之为量子效应。

- ✓ 粒径小于20nm的纳米银会变成绝缘体。
- ✓ 原本导电的铜到某一纳米界限就不导电。



力学性能

◆强度高

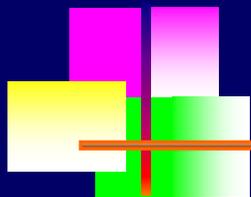
例如纳米铜的屈服强度高达**350MPa**，而冷扎态晶铜为**260MPa**，退火态粗晶铜为**70MPa**。

◆塑性低

纳米材料的塑性都很低，且塑性随晶粒的减小而降低。主要原因是缺陷密度增加。

◆弹性模量

纳米材料的弹性模量比多晶材料低**15 - 50%**。



热学性能

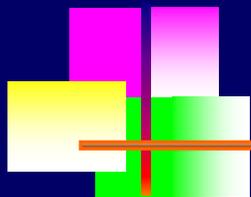
- ◆ 纳米材料界面体积分数大，具有较大的总界面能，使其熔点大大下降。
- ◆ 纳米材料的热容比多晶材料的大。

气相冷凝法

其中纳米微粒采用气相冷凝制得。然后再通过压制、烧结等环节制备纳米材料的方法。

球磨法

球磨法可以降低粉粒尺寸，固态合金化、混合或融合，以及改变粉粒的形状。球磨法可以制备纳米晶纯金属、不互溶体系的固溶体纳米晶、纳米非晶、纳米金属间化合物以及纳米金属-陶瓷复合材料等。

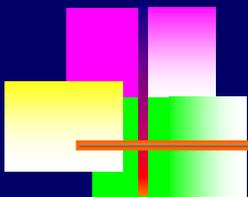


非晶晶化法

先将原料用急冷技术制成非晶薄带或薄膜，控制晶化退火时间和温度，使非晶全部或部分晶化，生成尺寸为纳米级的粉粒。

溶胶 - 凝胶法

将易于水解的金属化合物与水溶剂中水发生水解与缩聚反应而逐渐凝胶化，再讲过干燥、烧结等过程，可制得纳米材料。



功能材料

纳米材料

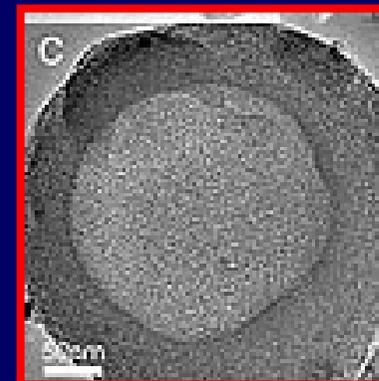
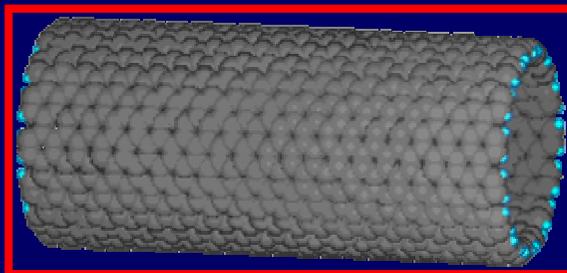
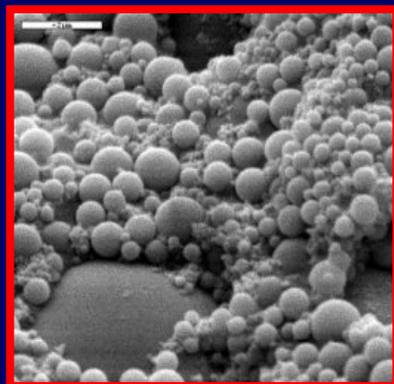
纳米材料发展趋势

◆ 纳米材料的内涵不断扩大

纳米颗粒

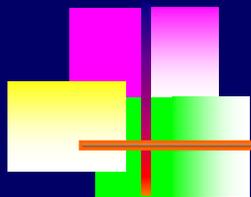
纳米线（丝、管）

介孔材料



◆ 纳米材料的制备技术不断发展

模板制备技术、粉末冶金技术、非水热合成技术 ……



功能材料

纳米材料

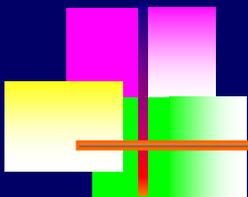
纳米材料发展趋势

- ◆ 纳米科技由基础研究向技术应用转化，其产业应用成为关注焦点。

美国国家科学基金会预测，未来**15-20**年，全球纳米市场规模达**1万亿美元/年**。

- ◆ 纳米科技与其他学科的交叉融合加速

纳米科技向物理、化学、材料、信息、生物、医学、国防、环境、能源、农业和食品等不同领域渗透。

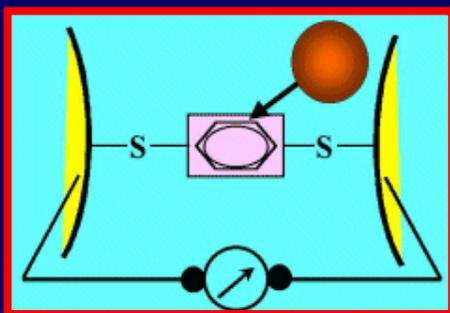


功能材料

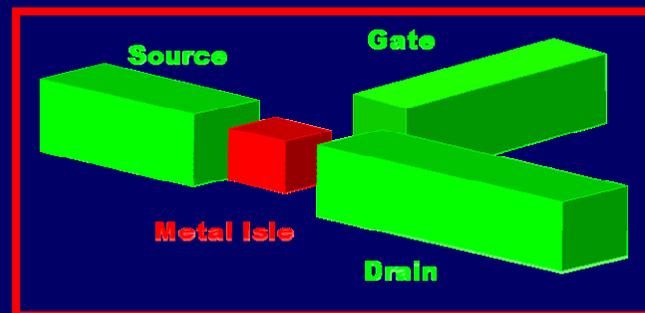
纳米材料

纳米材料发展趋势

- ◆ 逐渐转向以加工和器件为核心的材料研究
分子开关、分子储存器、单分子整流器等原型分子器件已开发成功。



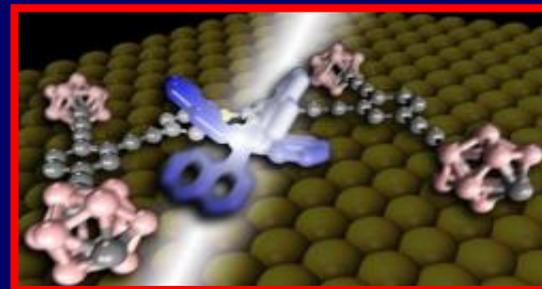
分子开关



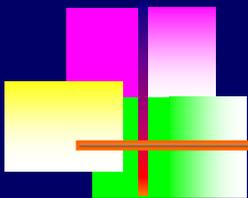
单电子晶体管结构



纳米齿轮



纳米发动机组装的纳米汽车



功能材料

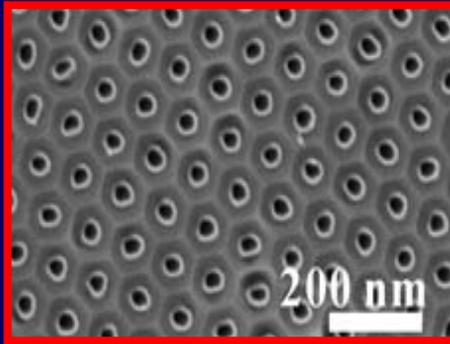
纳米材料

纳米材料的应用

✓ 纳米结构材料、纳米复合材料的应用



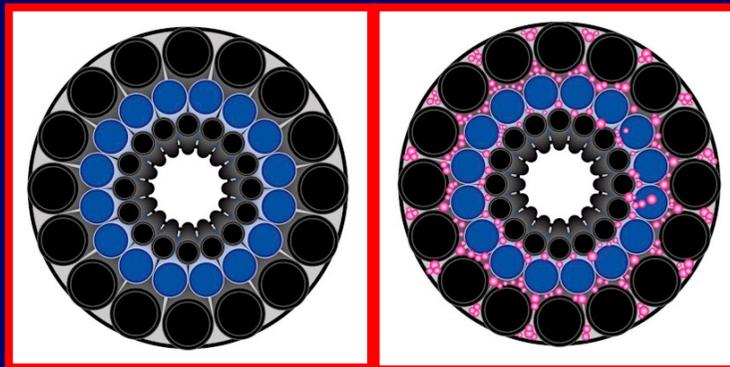
纳米钢管



纳米弥散颗粒增强结构材料

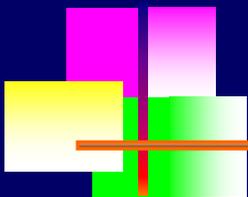


纳米钛合金球拍



纳米复合



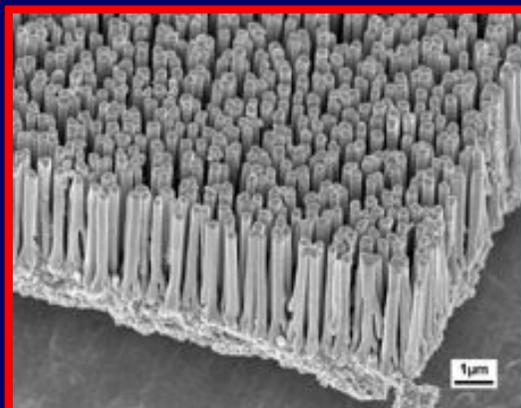


功能材料

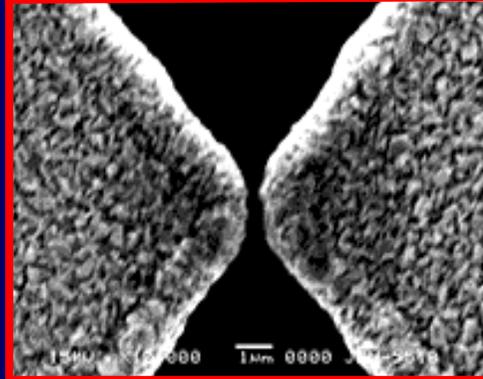
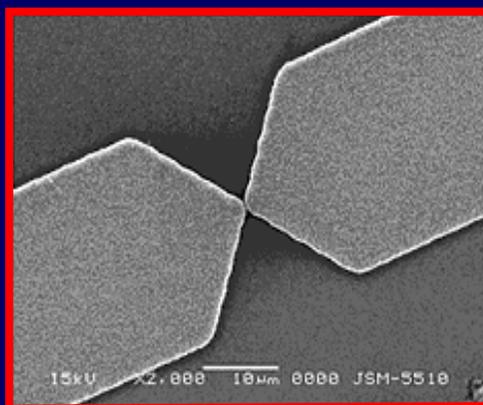
纳米材料

纳米材料的应用

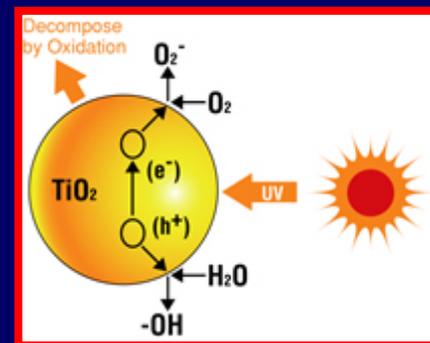
✓ 纳米能源材料、纳米净化材料、纳米特种功能材料



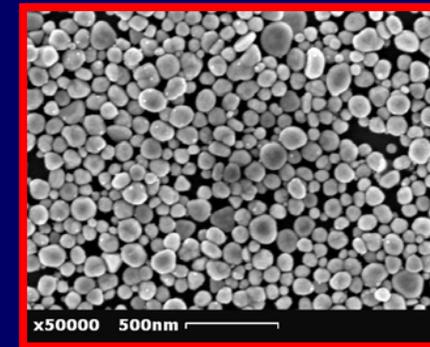
纳米能源材料



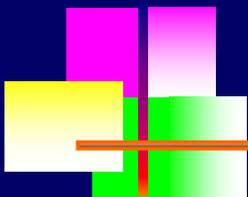
纳米Pt电极



纳米TiO₂光催化



纳米Ag的消毒杀菌

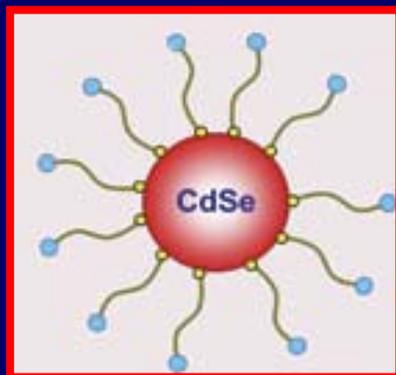


功能材料

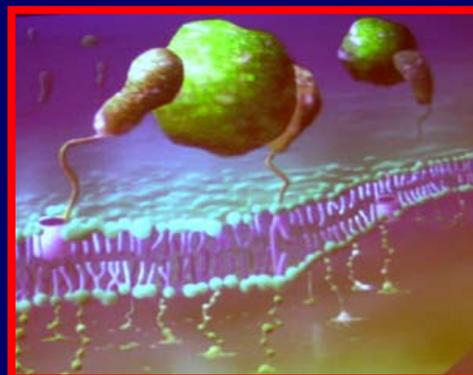
纳米材料

✓ 纳米生物医学器件

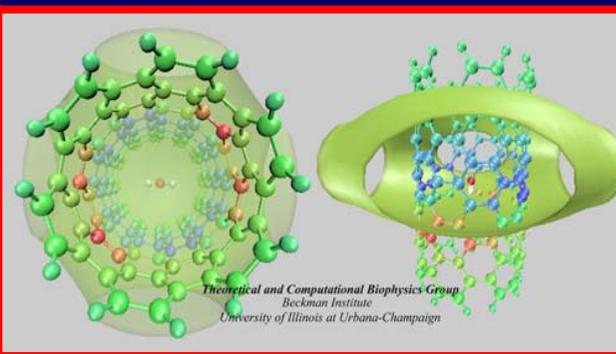
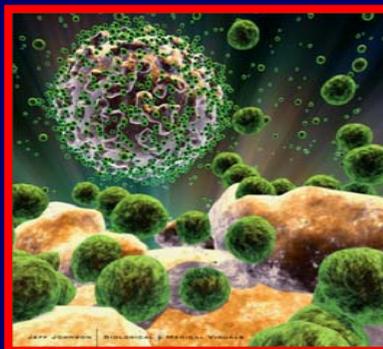
纳米材料的应用



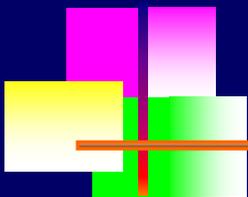
检测生物毒性的
纳米传感器



检测单分子的
纳米传感器



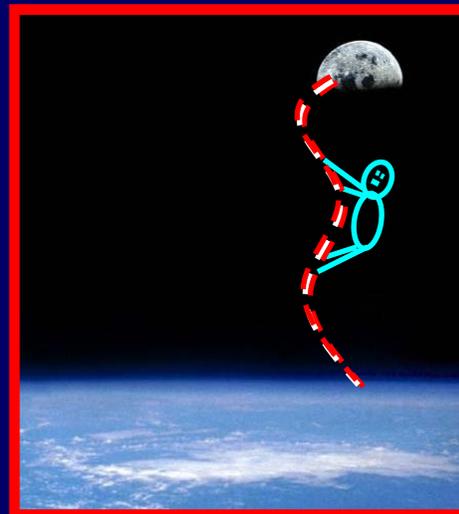
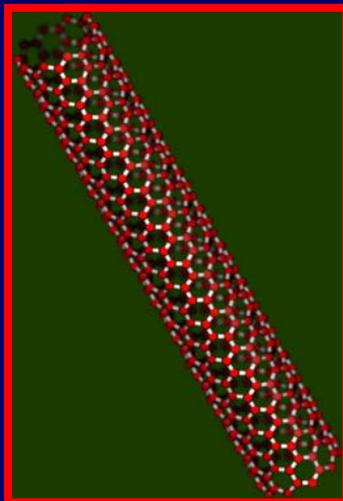
纳米药物



功能材料

纳米材料

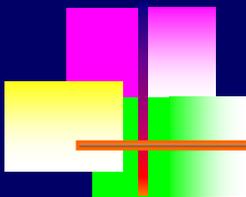
纳米材料的应用



碳纳米管及其应用前景



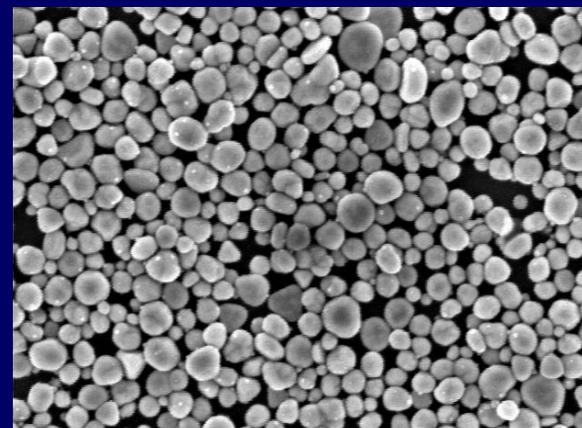
纳米齿轮



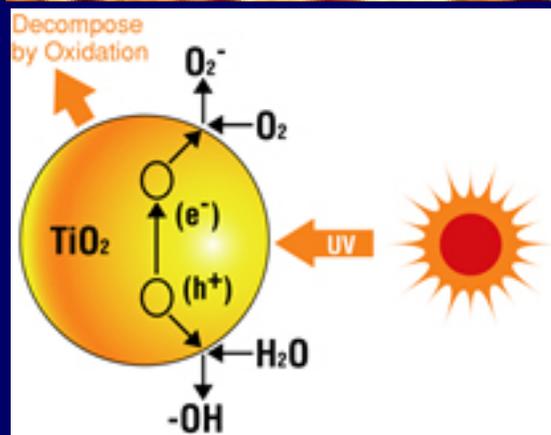
功能材料

纳米材料

纳米材料的应用



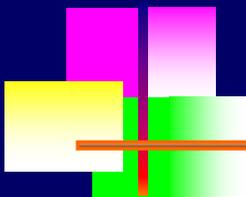
x50000 500nm



纳米 TiO_2 光催化

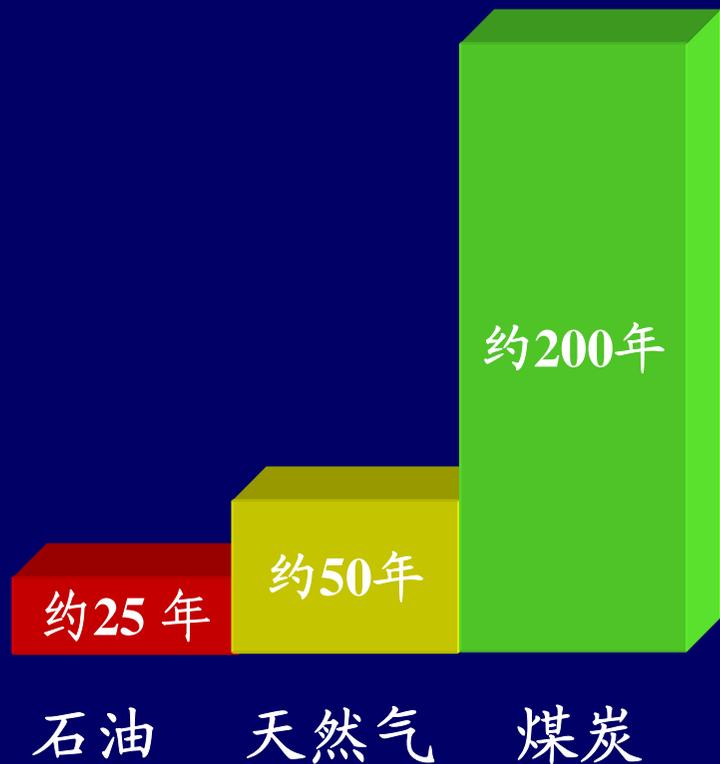


纳米Ag的消毒杀菌



功能材料

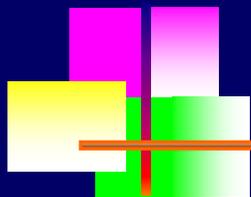
能源材料



按2000年需求，主要能源预计可开采年限

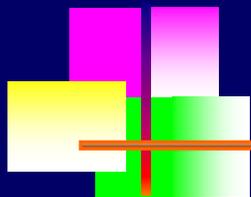


新能源



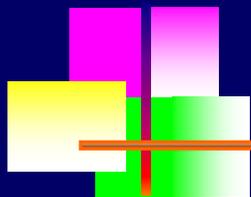
材料在新能源发展中的作用

- ◆ 把习用已久的能源变为新能源；
- ◆ 提高储能和能量转化效果；
- ◆ 确保新能源系统运行的安全和环境保护，尤指核反应堆的安全和废料处理；
- ◆ 决定新能源的投资和运行成本；



什么是“新能源材料”？

新能源材料指正在发展的，可能支撑新能源体统的建立，满足各种新能源及节能技术所要求的一类材料。

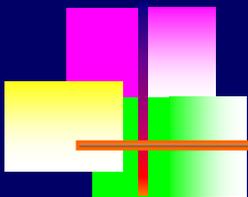


功能材料

能源材料

新能源材料的种类

- ◆ 新型二次电池材料
- ◆ 燃料电池材料
- ◆ 太阳能电池材料
- ◆ 储氢材料
- ◆



二次电池的概念

又称为**充电电池**，是指在电池放电后可通过充电的方式使活性物质激活而继续使用的电池。

二次电池体系的发展

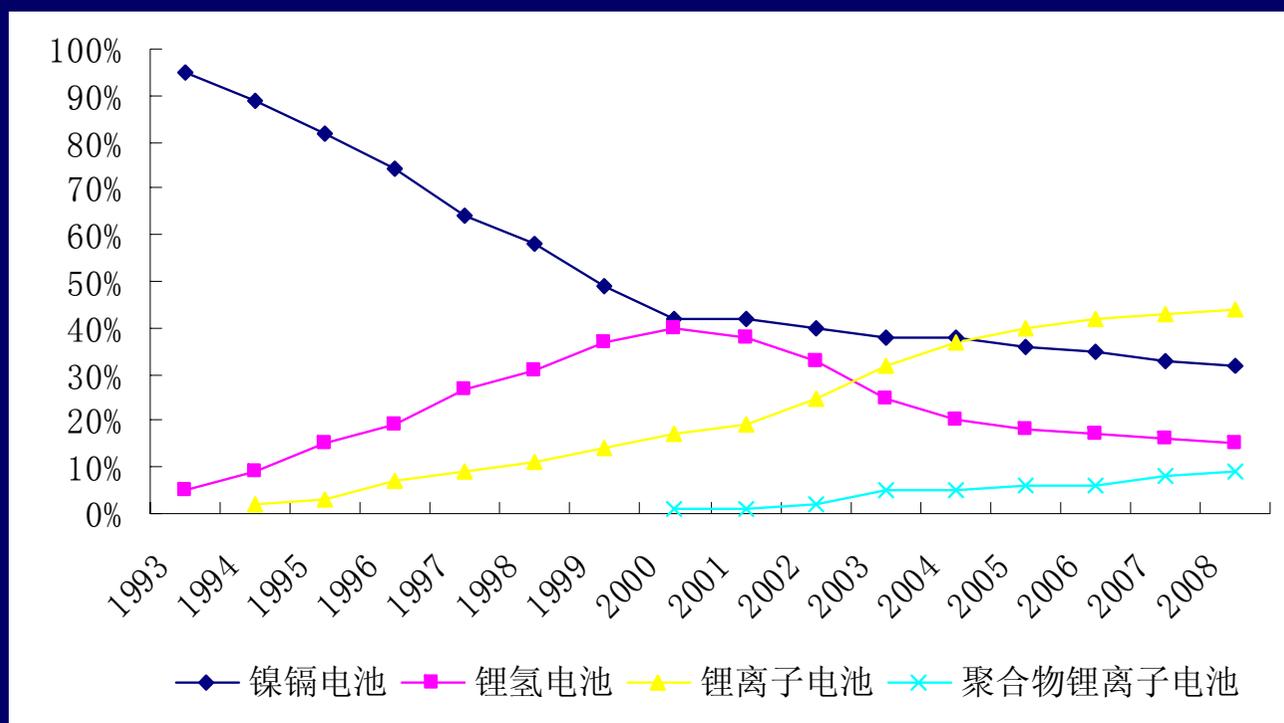
铅酸电池

镍镉电池

镍氢电池

锂离子电池

燃料电池



1993-2008 年全球各类二次电池的市场份额统计和预测

典型的二次电池体系

二次 电 池 材 料

| 电池系列 | 负极 物质 | 正极 物质 | 电性能 (理论值) | | |
|------|------------------------|--------------------------|-----------|------------------------|------------------------|
| | | | 电压/V | 比容量/AhKg ⁻¹ | 比能量/AhKg ⁻¹ |
| 铅酸电池 | Pb | PbO₂ | 2.1 | 120 | 252 |
| 镍镉电池 | Cd | NiOOH | 1.35 | 181 | 244 |
| 锌镍电池 | Zn | NiOOH | 1.70 | 189 | 321 |
| 镍氢电池 | MH | NiOOH | 1.5 | 160 | 240 |
| 硫钠电池 | Na | S | 2.1 | 345 | 791 |
| 锂电池 | LiC₆ | LiCoO₂ | 4.1 | 377 | 697 |

二次电池材料

功能材料

能源材料

应用:

二次
电池
材
料

镍氢电池



锂电池

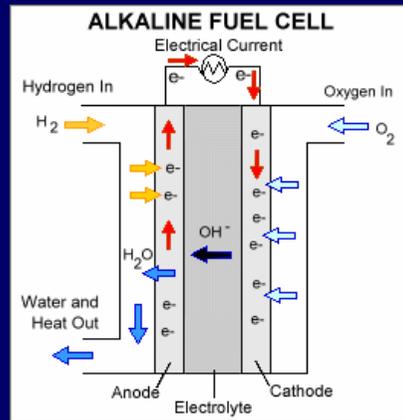


功能材料

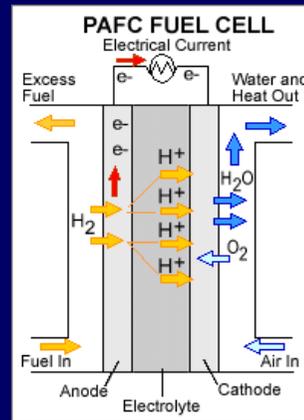
能源材料

燃料电池体系

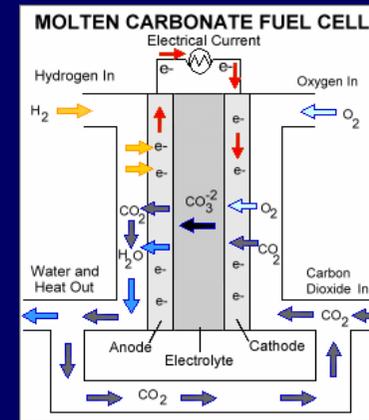
燃料电池材料



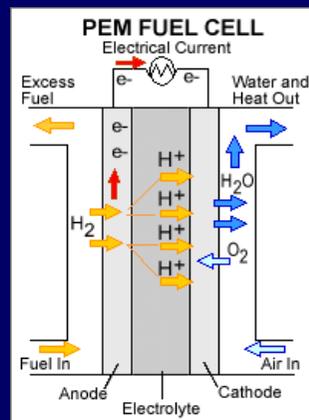
碱性



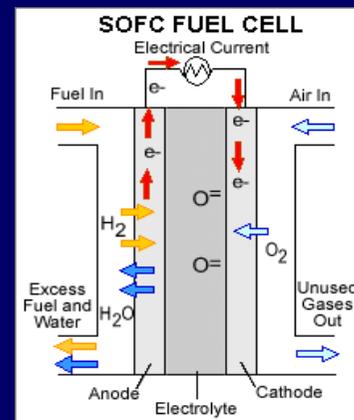
磷酸



熔融碳酸盐



质子交换膜



固体氧化物

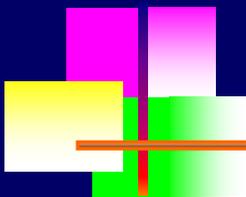
功能材料

能源材料

燃料电池体系

| 燃料电池体系 | | 磷酸型 (PAFC) (第一代) | 熔融碳酸盐 (MCFC) (第二代) | 固体电解质 型(SOFC) (第三代) | 碱性氢-氧 型(AFC) | 质子交换 膜型 (PEMFC) |
|--------|-----|------------------------|--------------------------|---------------------------|-------------------------|-----------------------|
| 燃料电池材料 | 燃料 | 天然气 甲醇 | 煤气天然气 甲醇 | 煤气天然气 甲醇 | 氢 | 氢 重整氢 |
| | 氧化剂 | 空气 | 空气 | 空气 | 纯氧 | 空气 |
| | 电解质 | 磷酸水溶液 (氢离子) | 碳酸盐 (碳酸离子) | 氧化锆等 (氧离子) | 氢氧化钾水 溶液(氢氧 离子) | 全氟磺酸 膜(氢离 子) |
| | 电极 | 多孔质石墨 Pt催化剂 | 多孔质镍等 (不用Pt催 化剂) | 氧化镍等 (不用催化 剂) | 多孔质石墨 (Pt或Ni催 化剂) | |

燃料电池材料



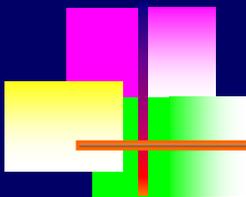
功能材料

能源材料

燃料电池的应用

燃料电池材料



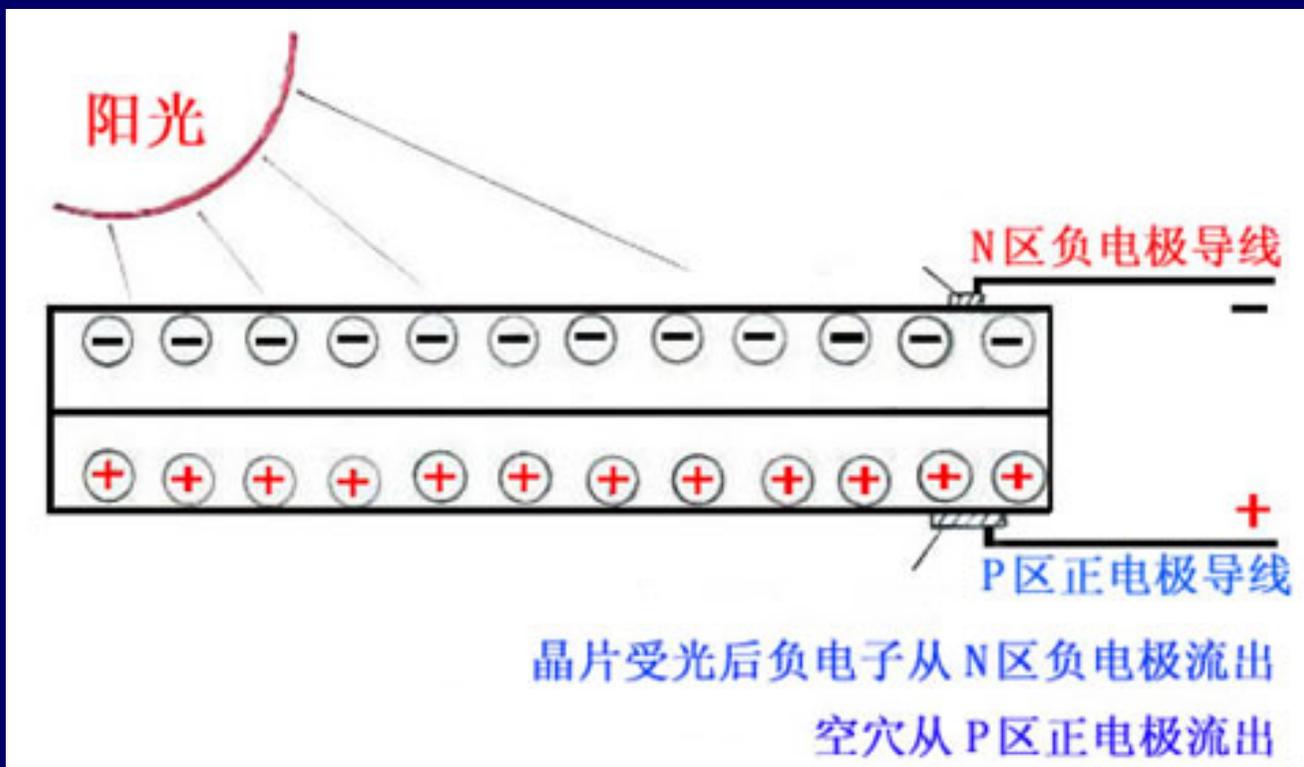


功能材料

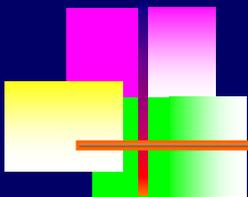
能源材料

太阳能电池发电的原理

太阳
电
池
材
料



光生伏特效应



功能材料

能源材料

太阳电池的分类:

太阳
电
池
材
料

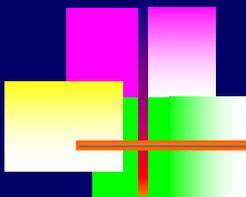
太阳电池

空间用太阳电池

地面用太阳电池

电源用太阳电池

消费电子产品用
太阳电池



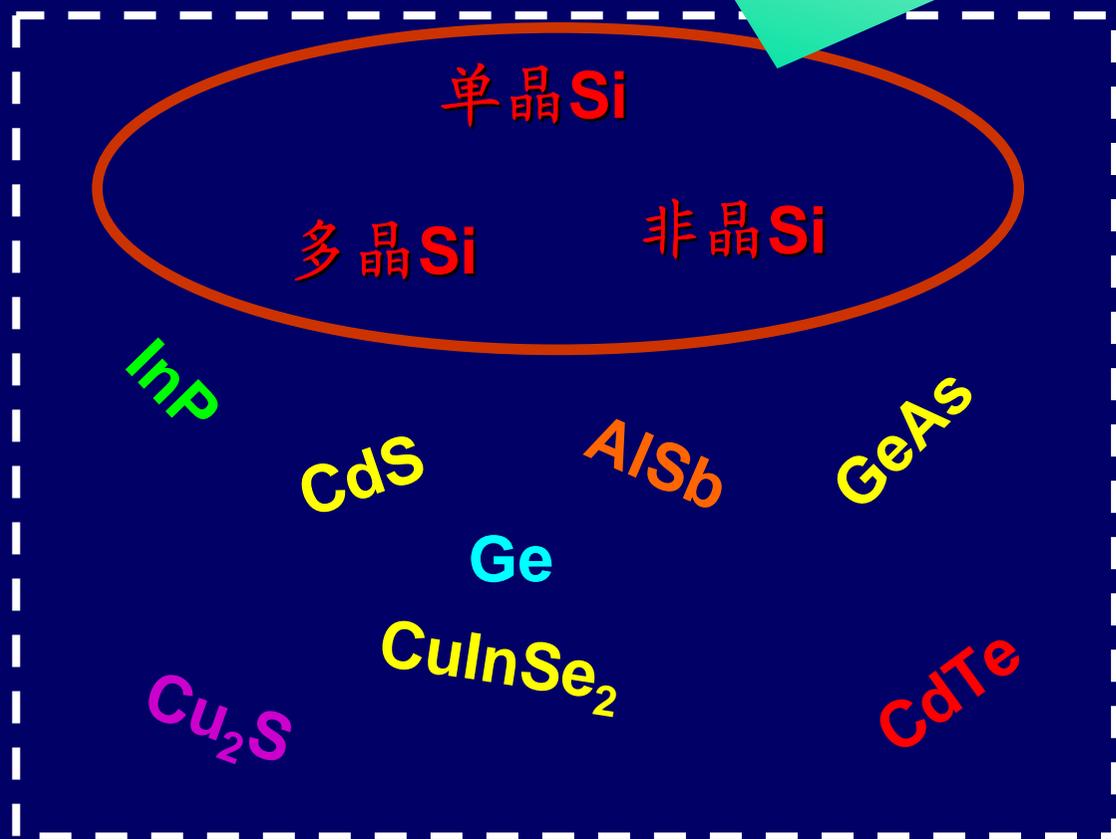
功能材料

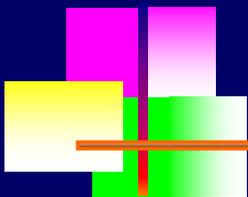
能源材料

太阳能电池材料:

80-90%以上

太阳能电池材料





功能材料

能源材料

太阳能电池材料

太阳
电
池
材
料



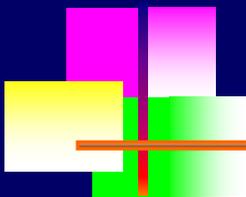
单晶硅



多晶硅



非晶硅

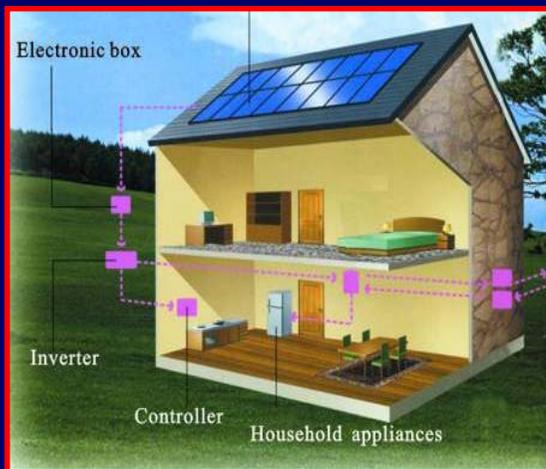


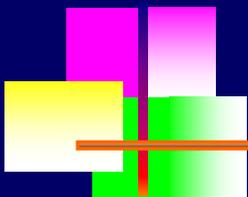
功能材料

能源材料

太阳能电池的应用

太阳能电池材料





功能材料

能源材料

储氢材料:

能以物理或化学方法保存氢气而使氢气改变状态的材料。

储
氢
材
料

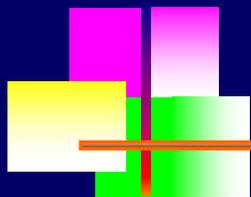
氢的存储

物理法

高压压缩法、深冷液化法、
活性炭吸附法等;

化学法

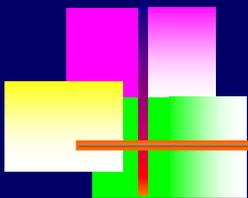
金属氢化物、无机化合物、
有机液态氢化物;



储氢材料的分类:

储氢材料

- ◆ 活性炭储氢材料
- ◆ 储氢合金
- ◆ 无机化合物储氢材料
- ◆ 有机液体氢化物储氢材料



功能材料

能源材料

典型金属储氢材料

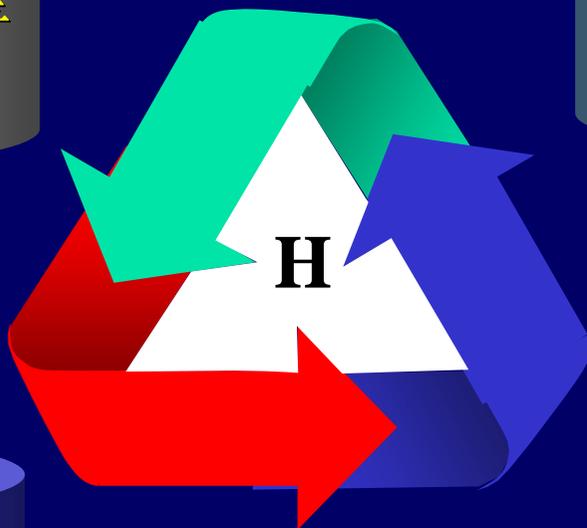
储氢材料

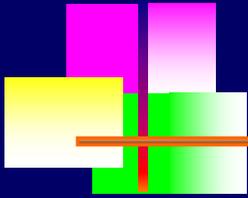
稀土系储氢合金
 LaNi_5 为代表

钛系储氢合金
 TiFe 为代表

镁系储氢合金
 Mg_2Ni 为代表

锆系储氢合金
 ZrV_2 等为代表



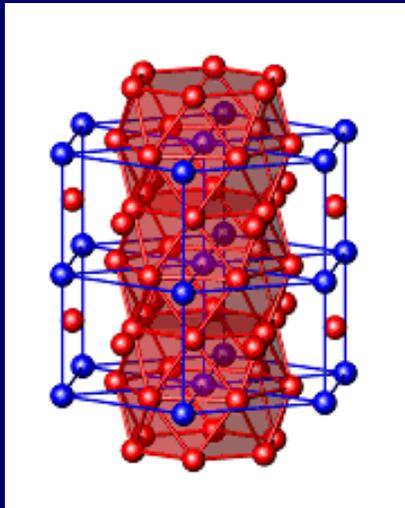


功能材料

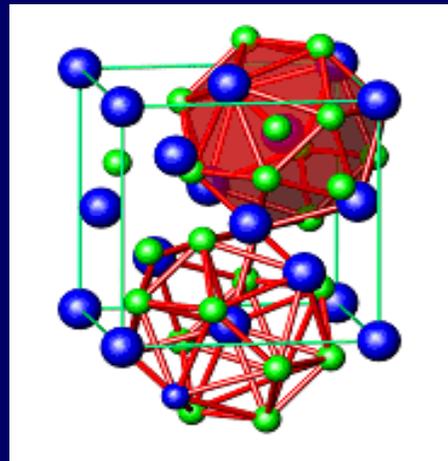
能源材料

以金属储氢材料为例

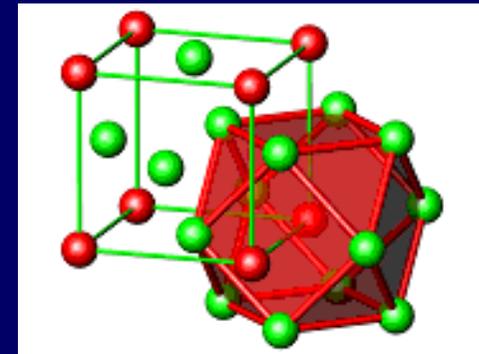
储氢材料



LaNi₅-Type

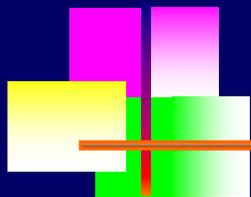


MgCu₂-Type



CuAu₃-Type





功能材料

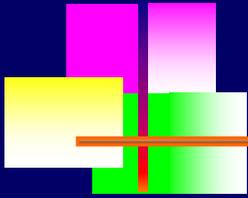
热电材料

什么是“热电材料”？

能把热转化为电的材料就称之为**热电材料**。

热电导材料

热释电材料



功能材料

热电材料

热电导材料又称**热敏材料**。实质上是温敏材料，重要的传感器材料。

热电导材料

正温度系数热电材料

温度升高，材料的电导率增加。这类材料多半时具有半导性的金属氧化物和过渡金属的复合氧化物

负温度系数热电材料

温度升高，材料的电导率下降。这类材料主要是掺杂半导体陶瓷如镧掺杂钛酸钡，钛酸锶陶瓷等。

热电导材料的应用

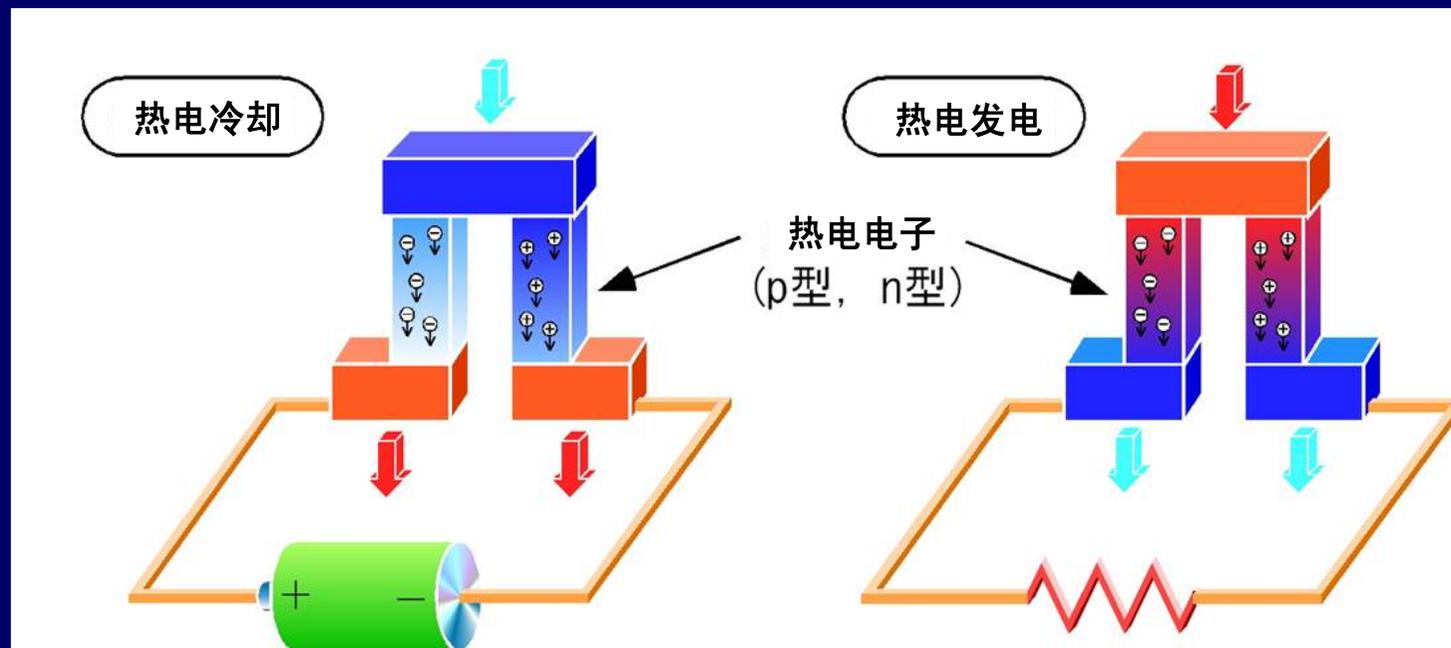
热电导材料

热电导材料可以作热敏电阻等**热敏元件**。这类合金有钴基、镍基和铁基，它们广泛应用与航空、航天器的大气温度加热器、家用电器元件，如电褥、电熨斗、电烙铁等。

半导体热点材料还可以作**半导体热敏器件**，如二极管温度敏感器、半导体热敏传感器等。

热电导材料还可用作**红外探测器元件**，如红外成像集成阵列等。

热释电效应是指当某些晶体受到温度变化时，由于自发极化的相应变化而在晶体的一个方向上产生表面电荷的现象。



热释电材料的种类

◆ 晶体

可以是单晶也可以是陶瓷。这类热释电晶体可以分为具有自发极化，但自发极化不能为外电场所转向的晶体，如电气石、CaS、CaSe、ZnO等，以及自发极化可以为外电场转向的晶体，如LiTaO₃、PbTiO₃等

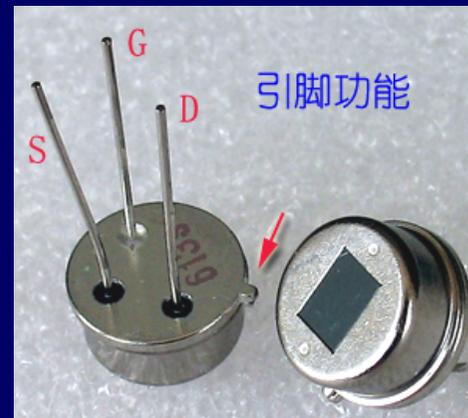
◆ 有机高聚物晶体

如聚偏二氟乙烯（PVDF）等热释电材料。

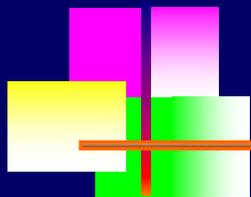
热释电材料的应用

热释电材料可作热释电探测器使用。其中锆钛酸铅 ($\text{Pb}(\text{Zr}, \text{Ti})\text{O}_3$) 铁电-顺电相变陶瓷材料, 由于改性减少了热滞, 使它显示了良好的热释电性能, 已制成了单个探测器和矩阵, 在红外探测和热成像系统中得到应用。

热
释
电
材
料



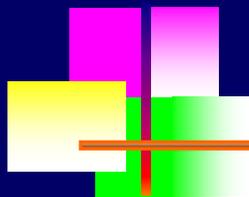
热释电红外检测元件



生物医学材料

顾名思义，是和医学、生物科学发展相关的材料的总称。

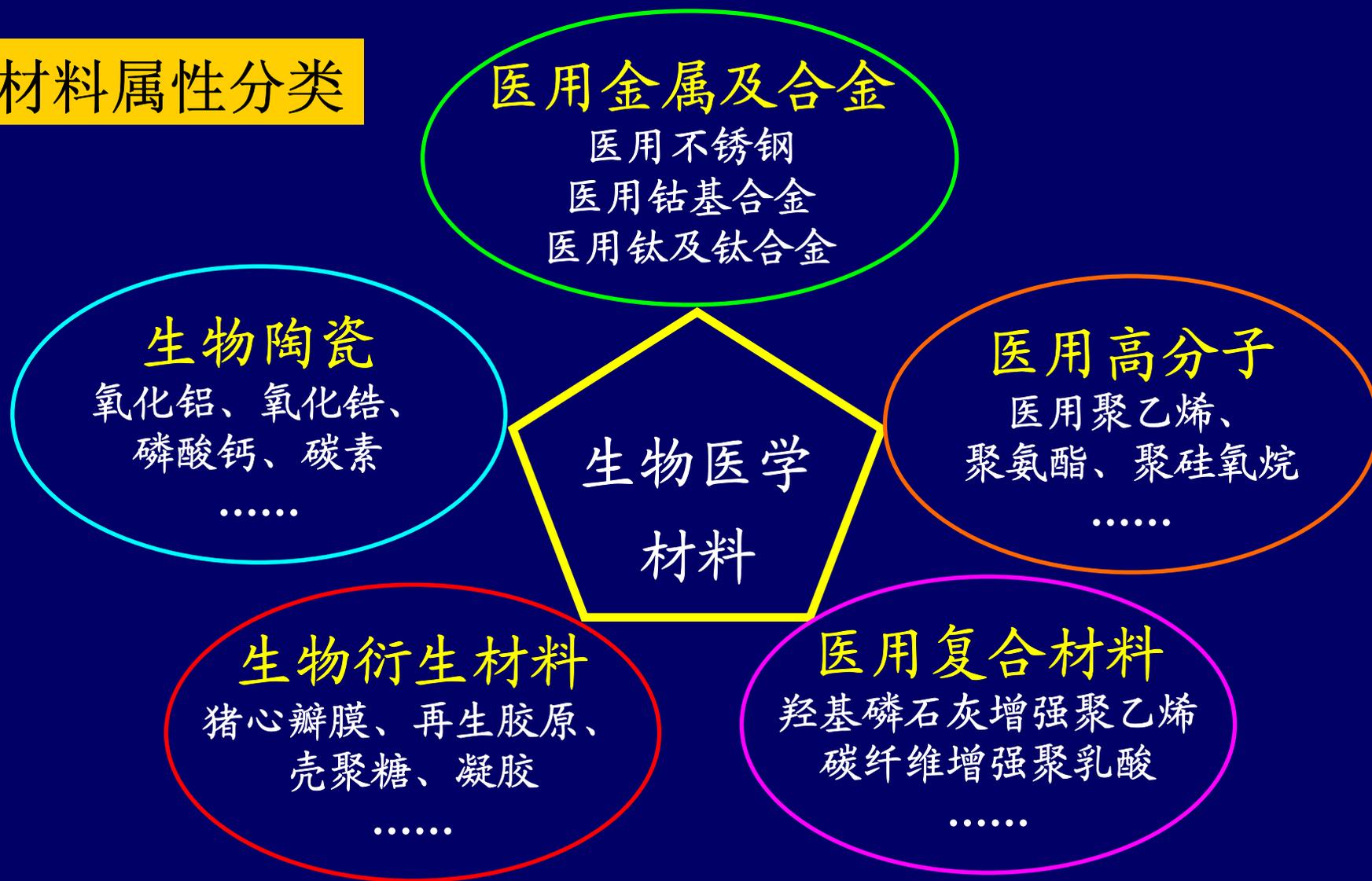
1987年，国际标准化组织（ISO）定义——
“以医用目的，用于和活体组织接触，具有功能的无生命材料”。

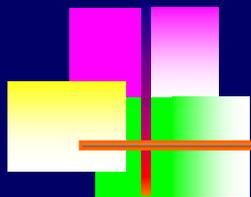


功能材料

生物医学材料

按材料属性分类





功能材料

生物医学材料

按与生体间相互作用分类

生物
医学
材料

生物惰性材料

生物活性材料
与可降解生物材料

细胞与基因活性生物材料

生物惰性材料

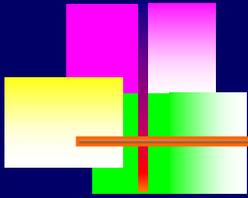
第一代生物材料。指生物化学性能稳定、相容性好的材料，包括生物惰性金属、陶瓷、高分子材料等。

生物活性材料与可降解生物材料

第二代生物材料。生物活性材料主要包括多孔陶瓷植入体，表面反应性陶瓷、玻璃等。可降解吸收材料包括可吸收陶瓷、可吸收玻璃及可吸收高分子材料等。

细胞与基因活性生物材料

第三代生物材料。期望在分子水平上激活特定细胞对材料的识别和反应，最大限度地使生物材料与主体组织融为一体，参与主体组织的修复过程。



生物金属

生物金属

生物医用金属材料是人类最早利用的生物材料之一。

由于其具有高强度、耐疲劳和易加工等优良性能，至今在临床上仍占有重要地位。

金属丝固
定牙缺失

纯金片修复
缺损颅骨

银被用于缝
合膝盖骨

镀镍钢钉用
于骨折治疗

公元前
300-400年

1546年

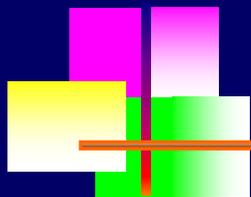
1880年

1896年

重要的生物金属材料

生物金属

- ◆ 医用不锈钢
 - 最早开发、应用广
- ◆ 医用钴基合金
 - 耐蚀性、硬度较前者更高
- ◆ 医用钛及其合金
 - 生物相容性、耐蚀性、硬度均优于前两者，极具开发价值
- ◆ 医用铂及其合金
 - 优异的抗氧化性、耐蚀性
- ◆ 其他医用合金
 - ✓ 钽、铌和锆等金属及其合金
 - ✓ 医用形状记忆合金
 - ✓ 医用磁性合金

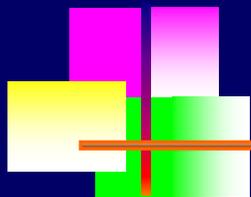


生物陶瓷

生物陶瓷

什么是生物陶瓷？ 用于人体器官替换、修补以及外科矫形的陶瓷材料。

要求： 具有良好的力学性能，在体内难于溶解，不易氧化，不易腐蚀变质，热稳定性好，耐磨且有一定的润滑性，和人体组织的亲和性好，组成范围宽，易于成形等。



生物惰性陶瓷

生物
陶
瓷

具有优异的生物相容性，能与骨形成结合面，结合强度高，稳定性好，参与代谢。

生物活性陶瓷

该陶瓷的物理、化学性能稳定，在生物体内完全呈惰性状态。

生物陶瓷

生物惰性陶瓷

氧化铝陶瓷

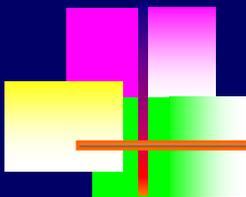
传统的生物陶瓷，稳定性好，纯度高。可制成单晶、多晶或多孔材料。

氧化锆陶瓷

与血液相容性、抗血栓性好，与人体组织亲和性好，耐蚀、耐疲劳、量轻。

炭素类陶瓷

生物相容性好，稳定性高，具有更高的断裂韧性和更耐磨。



生物惰性陶瓷

生物陶瓷

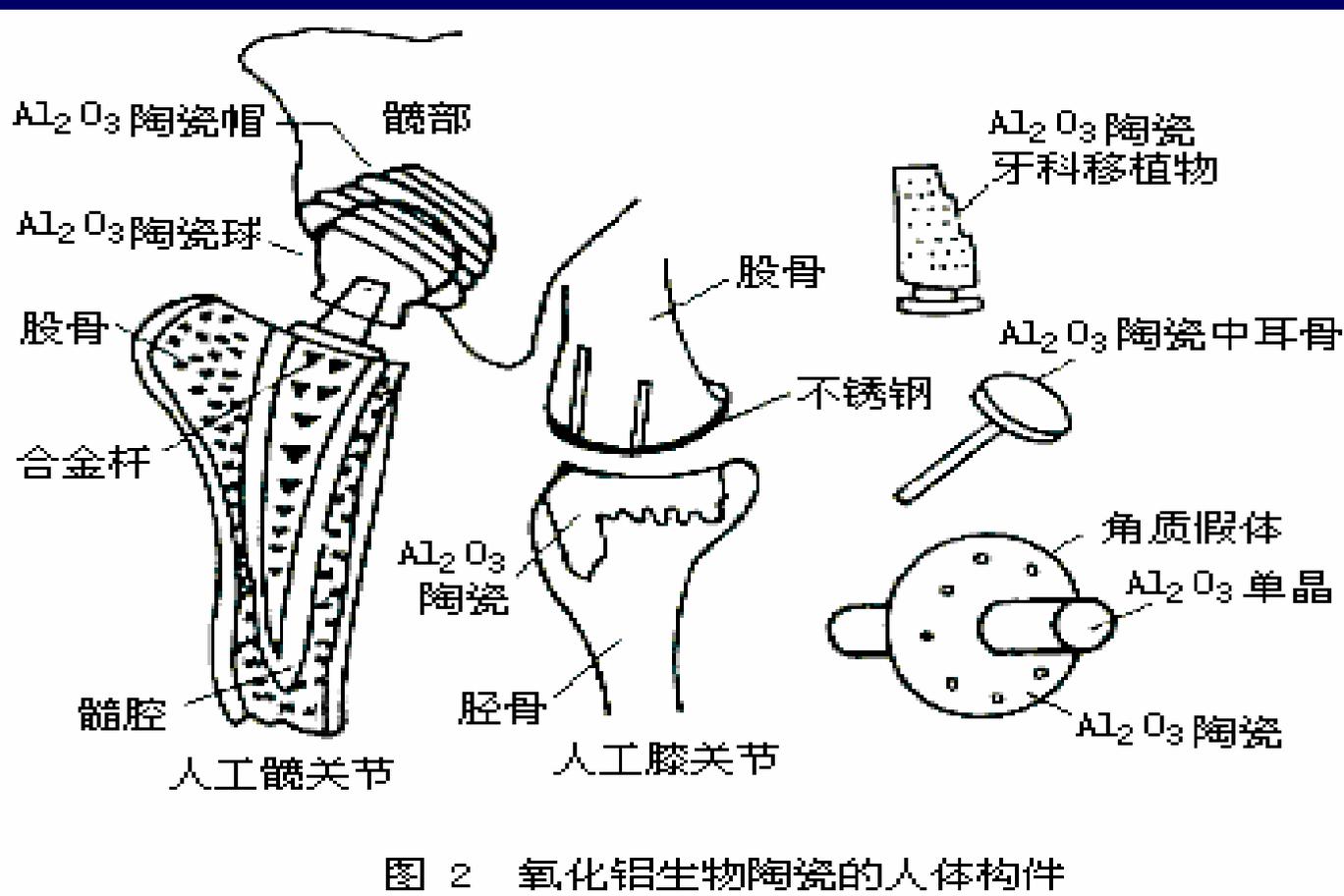
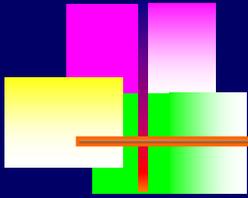


图 2 氧化铝生物陶瓷的人体构件



功能材料

生物医学材料

生物陶瓷

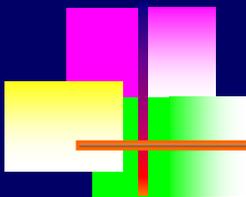
生物活性陶瓷

磷酸钙陶瓷

生物活性玻璃陶瓷

$\text{Na}_2\text{O-K}_2\text{O-MgO-CaO-SiO}_2\text{-P}_2\text{O}_5$ 陶瓷

BCG人工骨头

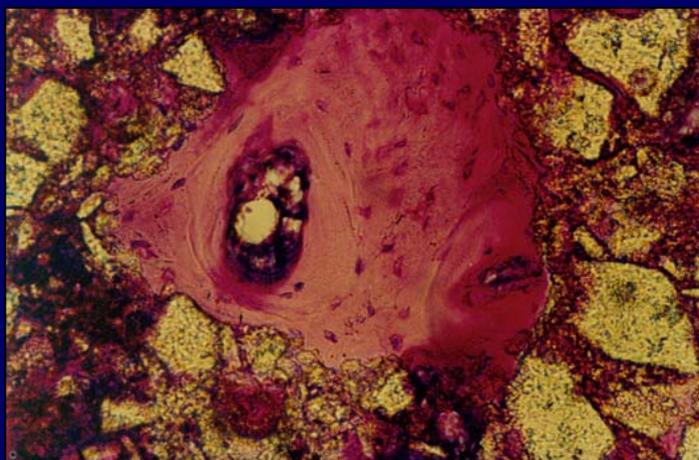


功能材料

生物医学材料

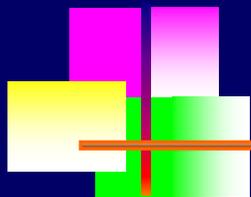
生物活性陶瓷

生物陶瓷

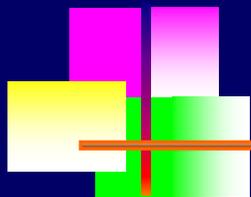


磷酸钙陶瓷植入狗体6
个月





- ◆ 医用高分子
 - ✓ 人工生体软组织
 - ✓ 人工生体硬组织
- ◆ 药用高分子
 - ✓ 高分子药物
 - ✓ 高分子载药体系
- ◆ 医疗器械与诊断材料

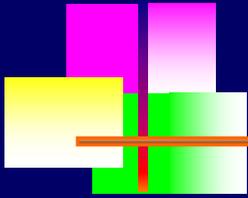


功能材料

生物医学材料

医用高分子

- ◆ 医用修复材料
 - ✓ 龋齿密封材料、外科缝合线、高分子绷托
 - ✓ 眼球人工玻璃体
 - ✓ 隐形眼镜
- ◆ 人工脏器
 - ✓ 人造皮肤、人工骨、肌肉腱、角膜、喉、食道、人工肺、肾、肝、心脏等等。
 - ✓ 在美国，每年有几百万件人工器件或修复材料植入病人体内。

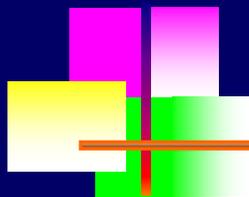


功能材料

生物医学材料

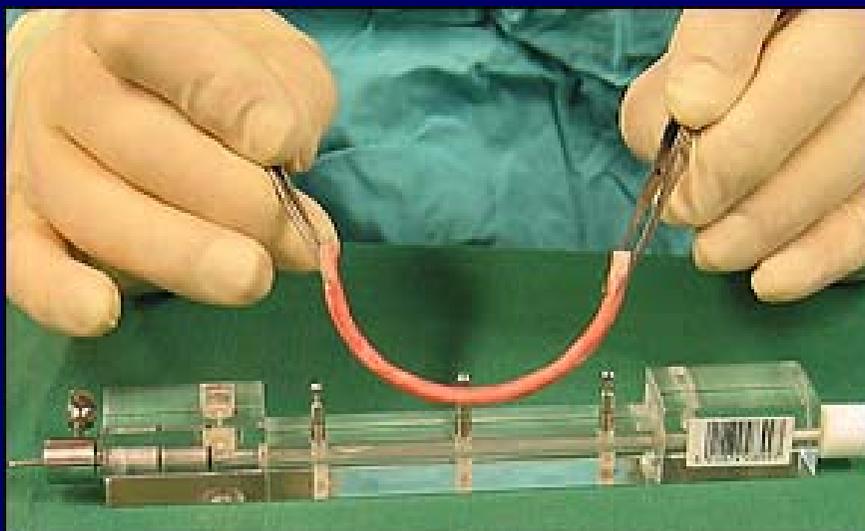
生物材料的应用

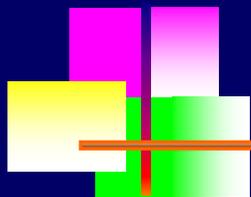




功能材料

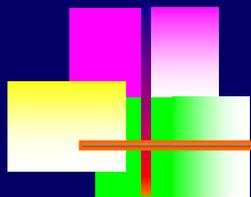
生物医学材料





生物材料发展的前沿

- ◆ 组织工程与组织工程材料
- ◆ 药物、基因与DNA控释材料与系统
- ◆ 生物材料与人体器官克隆



功能材料

功能陶瓷材料

什么是“功能陶瓷”？

功能陶瓷是指具有电、光、磁以及部分化学功能的多晶无机固体材料。其功能的实现主要来自于它所具有的特定的电绝缘性、半导体性、导电性、压电性、铁电性、磁性、生物适应性等。

电子陶瓷

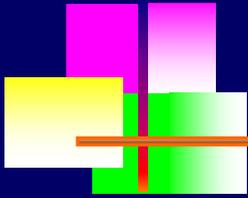
超导陶瓷

磁性陶瓷

敏感陶瓷

生物陶瓷

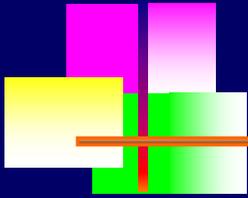
光学陶瓷



压电效应

压电陶瓷

当外力作用于晶体时，发生与应力成比例的介质极化，同时在晶体两端将出现正负电荷，这种由于形变而产生的电效应，称为**压电效应**。反之，当在晶体上施加电场引起极化时，将产生与电场成比例的变形或压力，称之为**逆压电效应**。材料的压电效应取决于晶体结构的不对称性，晶体必须有极轴，才有压电效应。



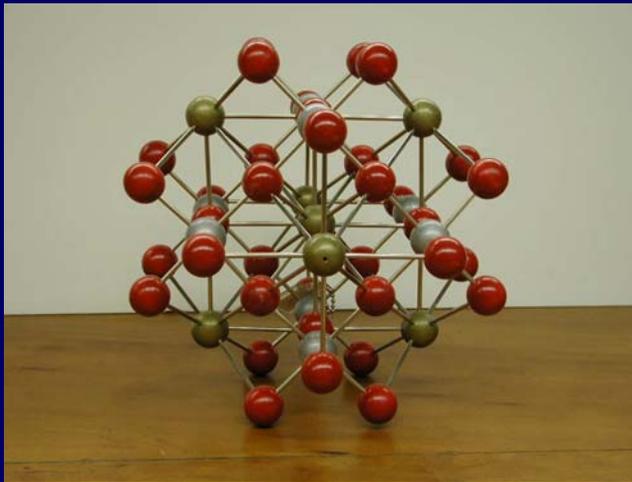
功能材料

功能陶瓷材料

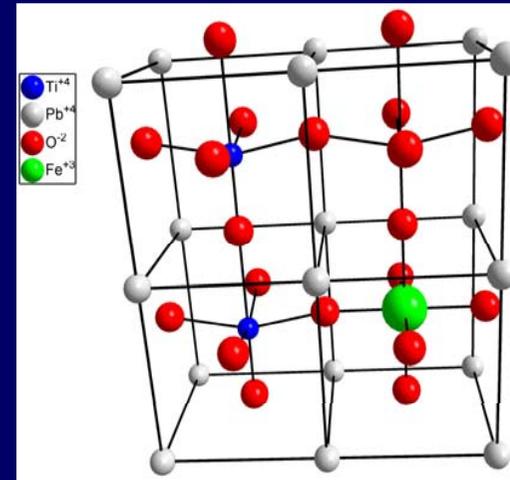
压电陶瓷的种类

压
电
陶
瓷

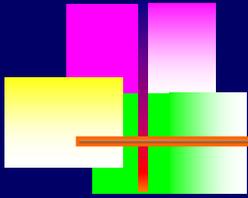
压电陶瓷主要有钛酸钡、钛酸铅、锆钛酸、(PZT)、改性PZT等。



钛酸钡



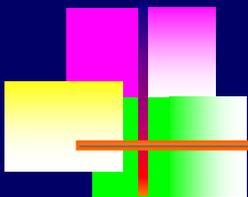
PZT



压电陶瓷

压电陶瓷的晶体结构随温度的变化而变化。对于钛酸钡和钛酸铅，当温度高于居里温度 T_c 时，为立方晶体，具有对称性，无压电效应；低于 T_c 时，为四方晶体，具有非对称性，有压电效应。

压电陶瓷的优点是价格便宜，可以批量生产，能控制极化方向，添加不同成分，可改变压电特性。



功能材料

功能陶瓷材料

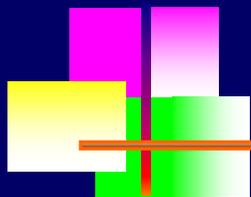
压电陶瓷的应用

压电陶瓷

压电陶瓷可用作超声波发生源的振子或水下测声仪器上的振子；也可用作声转换器。



同时压电陶瓷收到机械应力的作用时，由压电效应发生的电能可用于煤气灶的点火器和打火机等；压电陶瓷还可用于滤波器等。

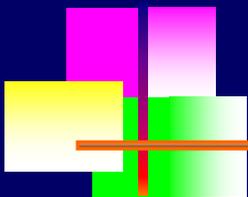


光电导现象和光电陶瓷

光电陶瓷

当光电陶瓷受到光照射时，由于能带间的迁移和能带与能级间的迁移而引起光的吸收现象时，能带内产生自由载流子，而使电导率增加，这种现象称为光电导现象。

光电陶瓷是具有光电导效应的陶瓷材料



功能材料

功能陶瓷材料

光电陶瓷的应用

光电陶瓷

利用光电导效应检测光强度的元件称为光敏元件。检测从波长很短的X射线到波长很长的紫外线的光敏元件主要是烧结GdS多晶；如果在GdS中添加Cu杂质，可以用作检测可见光的光敏元件。



功能材料

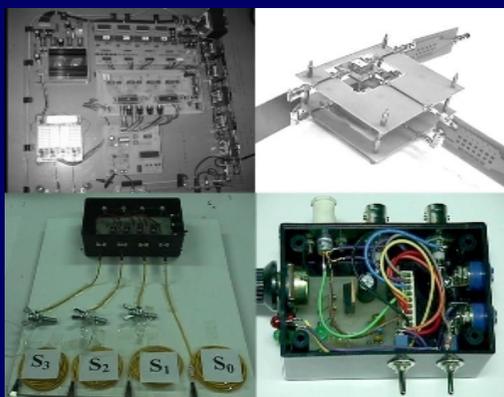
功能陶瓷材料

光电陶瓷

信息领域: 用作高速转换元件、通信元件和连接电路。

生物医学领域: 用于核磁共振断层摄影仪、量子干涉仪、粒子线治疗装置等。

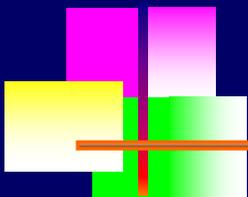
电子能源领域: 用于超导磁体发电、超导输电、超导储能等。



通信元件



超导量子干涉仪



功能材料

功能陶瓷材料

交通运输领域: 完全抗磁体制造的磁悬浮列车、电磁推进器、飞机航天飞机发射台等。

宇宙开发、军事领域: 潜艇的无螺旋桨无噪声电磁推进器、超导磁炮等。

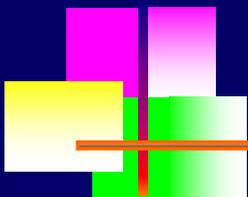
光电陶瓷



磁悬浮列车



航天飞机发射台



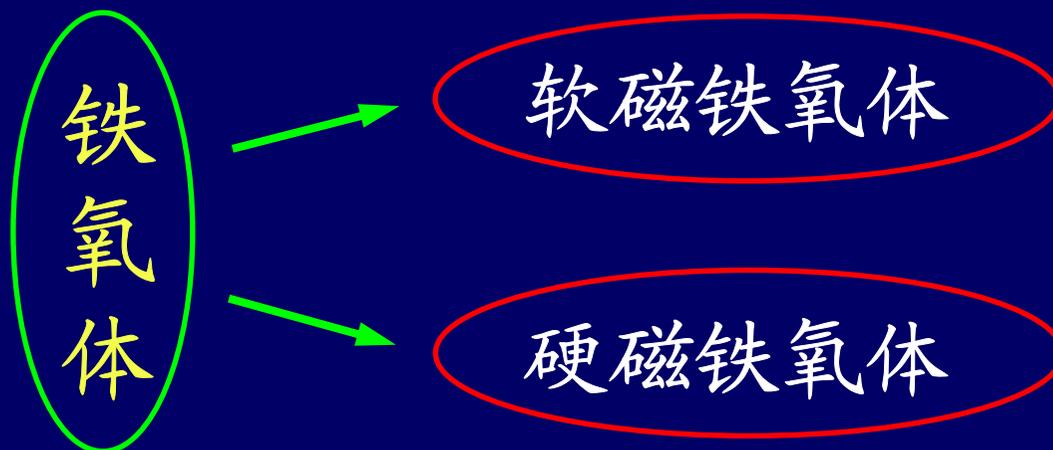
功能材料

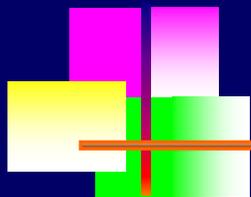
功能陶瓷材料

磁性陶瓷

什么是铁氧体？铁氧体是铁和其他金属的复合氧化物， $MO-Fe_2O_3$ ，M代表一价、二价金属。铁氧体属半导体，电阻率在 $1-10^{10}\Omega m$ 。由于电阻率高，涡流损失小，介质损耗低，故广泛用于高频和微波领域。

磁性陶瓷主要指铁氧体



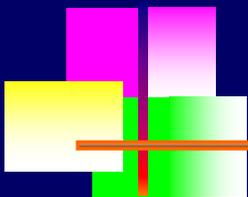


软磁铁氧体

磁性陶瓷

主要有：尖晶石型的Mn-Zn铁氧体、Ni-Zn铁氧体、Mg-Zn铁氧体、Li-Zn铁氧体和磁铅石型的甚高频铁氧体（ $\text{Ba}_3\text{Co}_2\text{Fe}_{24}\text{O}_{41}$ ）。

软磁铁氧体要求起始磁化率高，磁导率温度系数小，矫顽力小，比损耗因数小。



功能材料

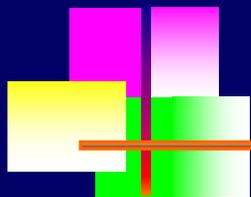
功能陶瓷材料

软磁铁氧体的应用

磁性陶瓷



软磁铁氧体主要用于无线电电子学和电讯工程等弱点技术中，如各种电感线圈的磁芯、天线磁芯、变压器磁芯、滤波器磁芯以及录音与录像磁头等。



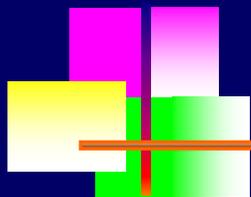
硬磁铁氧体

磁性
陶瓷

硬磁铁氧体可分为：

$\text{BaO-xFe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{CoFe}_2\text{O}_4\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 两种

硬磁铁氧体要求具有较大的矫顽力 H_c 、较高的剩余磁 B_r 和高的最大磁积能 $(BH)_{\max}$ 。



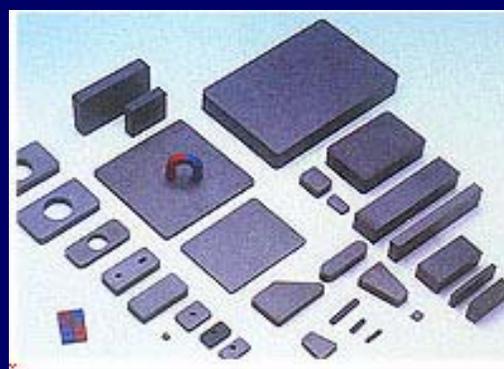
功能材料

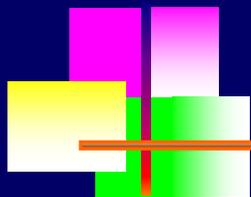
功能陶瓷材料

硬磁铁氧体的应用

磁性陶瓷

硬磁铁氧体可用作永磁体，用于高频磁场领域。由于 H_c 值大，可制成片状或粉末状，应用在与橡胶和树脂混合制成的复合磁铁上。





敏感陶瓷

指某些性能随外界条件（温度、湿度、气氛）的变化而发生改变的陶瓷材料。

敏
感
陶
瓷

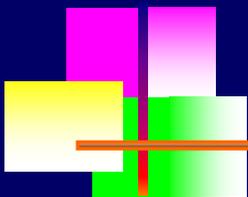
磁敏电阻陶瓷

湿敏电阻陶瓷

气敏电阻陶瓷

压敏电阻陶瓷

热敏电阻陶瓷

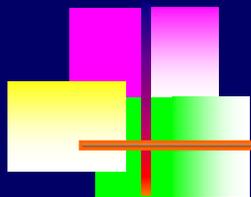


热敏电阻陶瓷

敏感陶瓷

热敏电阻陶瓷是电阻随温度发生明显变化的陶瓷材料，它包括：负温度系数陶瓷（**NTC**）、临界温度系数陶瓷（**CTC**）和正温度系数陶瓷（**PTC**）。





1. 负温度系数陶瓷 (NCT)

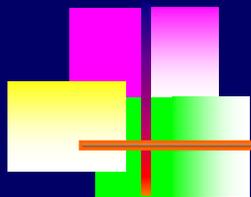
电阻随温度升高而减小的陶瓷材料。

多为尖晶石型氧化物，有二元和三元等。如：
 $\text{MnO-CuO}_2\text{-O}_2$; Mn-Co-Ni 等。

2. 正温度系数陶瓷 (PCT)

电阻随温度升高而增加的陶瓷材料。

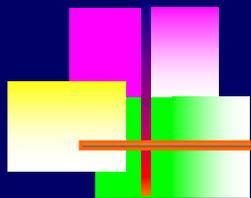
钛酸钡陶瓷或以钛酸钡为主晶相的陶瓷



应用:

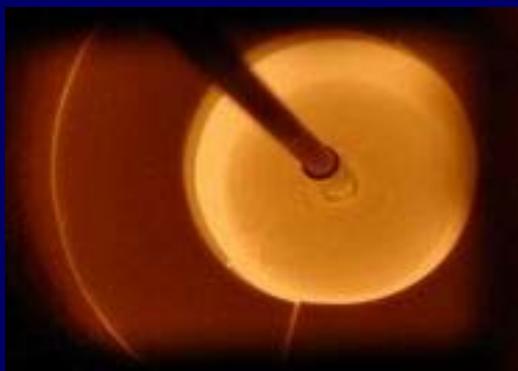
敏感陶瓷

- ① 马达的过热保护、液面深度测量、温度控制和报警、非破坏性保险丝、晶体管过热保护、温度电流控制器等。
- ② 彩色电视机自动消磁、马达启动器、自动开关等。
- ③ 等温发热件、空调加热器等。



正温度系数陶瓷 (PCT)

敏
感
陶
瓷



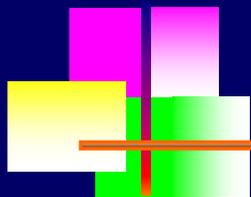
生长中的钛酸钡晶体



钛酸钡毛坯



钛酸钡晶体元件

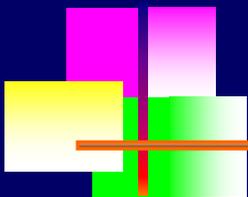


压敏电阻陶瓷

敏
感
陶
瓷

电阻值对外加电压敏感的陶瓷材料。电压提高，电阻率下降。

压敏陶瓷有SiC、Si、Ge、ZnO等。以ZnO的性能最优。具有高非线性、大电流和高能量承受能力。



功能材料

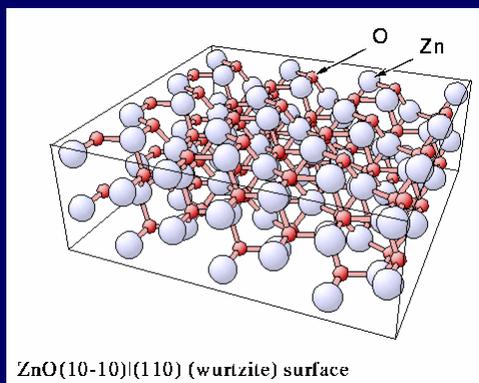
功能陶瓷材料

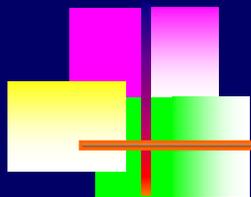
压敏电阻陶瓷

稀土氧化镨为主要添加剂的ZnO压敏陶瓷。

应用：微型马达电噪声、彩色显像管放电吸收、继电器节点保护、汽车发动机异常输出功率吸收、电火花、稳压元件等。

敏感陶瓷





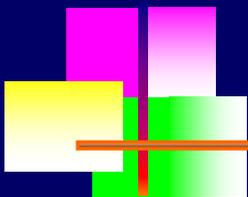
湿敏电阻陶瓷

敏
感
陶
瓷

将湿度信号转化成电信号的陶瓷材料。

- ✓ $\text{ZnO} - \text{Cr}_2\text{O}_3$ 陶瓷
- ✓ $\text{Zn} - \text{Cr}_2\text{O}_3 - \text{Fe}_2\text{O}_3$ 陶瓷
- ✓ $\text{MgCr}_2\text{O}_4 - \text{TiO}_2$ 陶瓷

应用：用于湿度指示、记录、预报、控制和自动化等。



功能材料

功能陶瓷材料

磁敏电阻陶瓷

将磁性物理量转化成电信号的陶瓷材料。

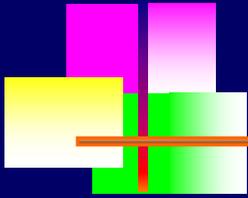
敏
感
陶
瓷

应用：可用来检测磁场、电流、角度、转速、相位等。
汽车工业中无触点汽车点火开关、在计算机工业中霍尔
键盘、家用电器和工业上无刷电机和无触点开关等。



无
刷
电
机

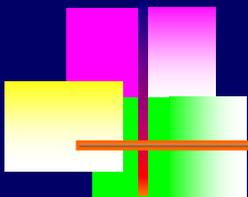




1986年超导陶瓷的出现，使超导体的临界温度 T_c 有了很大提高，出现了**高温超导体**。

超导陶瓷主要有：

- ① 镧系高温超导陶瓷：以 La_2CuO_3 为代表
- ② 钇系高温超导陶瓷：以 $\text{YBa}_2\text{Cu}_2\text{O}_y$ 为代表
- ③ 铋系高温超导陶瓷：以 Bi-Sr-Cu-O 为代表
- ④ 铊系高温超导陶瓷：以 Tl-Ba-Ca-Cu-O 为代表



功能材料

功能陶瓷材料

光学陶瓷：能够透光的陶瓷材料。

要求：具有优良的耐热性、耐风化性、耐膨胀性；除了能透过可见光外，还能够波长更长或波长更短的光；光损耗低，能在远距离进行光传播；经光的照射，其性质发生可逆或不可逆变化。

光学陶瓷

光学陶瓷

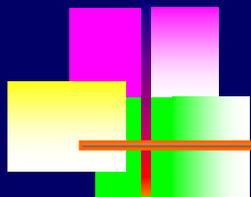
激光陶瓷

透明陶瓷

红外光学陶瓷

氧化物透明陶瓷

非氧化物透明陶瓷



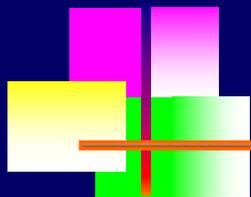
陶瓷材料怎样才能透明？

光学陶瓷

在各向同性晶体构成的多晶体中，晶界不产生散射，不存在气孔等缺陷时，是透明的；在各向异性的晶体中，光从一个晶粒向邻近的晶粒入射时，由于双折射现象而产生散射，是不透明的。若要得到透明多晶体，双折射必须很小。



光学透明陶瓷

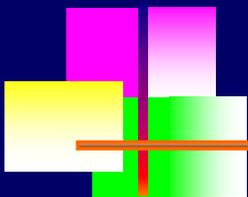


制造透明陶瓷的关键:

消除气孔和控制晶粒异常长大!

光
学
陶
瓷

1. 添加微量或少量的添加剂
2. 改变烧结气氛
3. 改变原料
4. 采用先进的烧结技术



功能材料

功能陶瓷材料

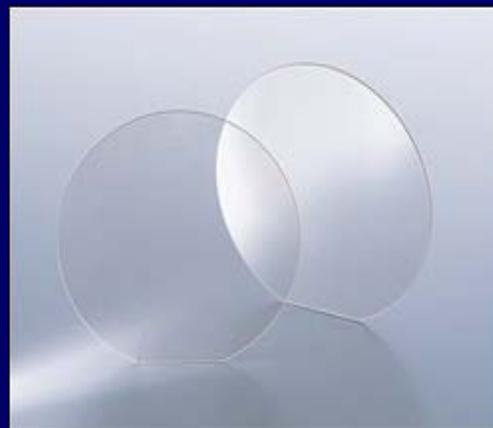
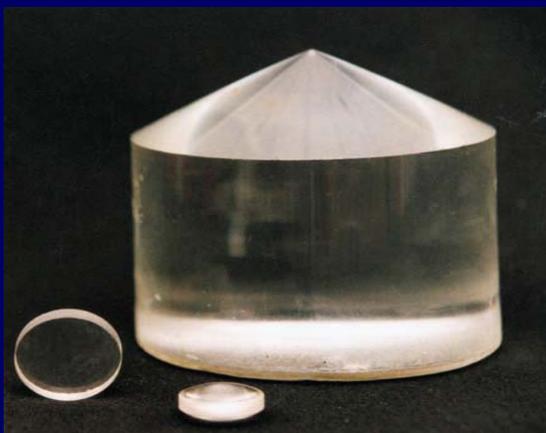
氧化物透明陶瓷

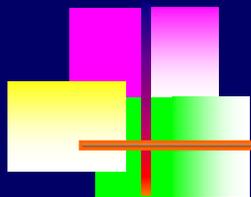
Al_2O_3 、 Gd_2O_3 、 CaO 、 LiAl_5O_8 、 MgO 、 HfO 、 BeO 等

非氧化物透明陶瓷

GaAs 、 ZnS 、 ZnSe 、 MgF_2 、 CaF_2 等

光
学
陶
瓷





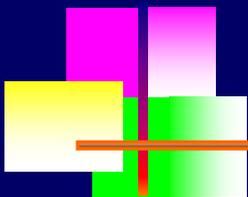
功能材料

功能陶瓷材料

红外光学陶瓷

光学陶瓷

随着红外技术的发展，出现了很多新型的材料和器件。这些材料包括滤光材料、红外接受材料和红外探测材料。以往这类材料主要采用单晶或玻璃，最近已开始使用多晶陶瓷。这样的陶瓷材料就称为红外光学陶瓷。



功能材料

功能陶瓷材料

红外光学陶瓷

光学陶瓷

氧化钇是一种优良的高温红外材料，主要用于红外导弹的窗口和整体罩、天线罩、微波基板、绝缘支架、红外发生器管壳、红外透镜和其他高温窗口。

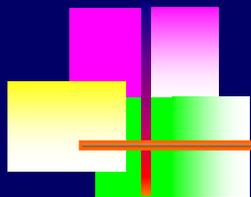


Y_2O_3



Y_2O_3 掺杂材料



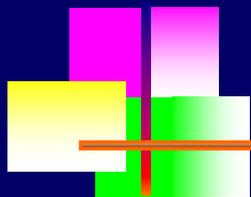


激光陶瓷

光学陶瓷

激光陶瓷的实质是具有适当的能级结构，通过激励，使粒子从低能级向高能级跃迁。

激光晶体通常包括两部分：组成晶格的称为基质晶体，其主要作用是为激活离子提供适当的晶格场；另一部分是发光中心，即少量的掺杂离子。



功能材料

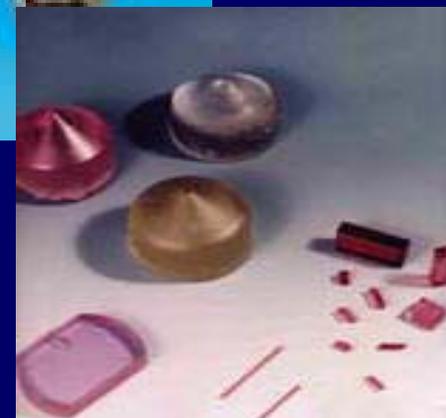
功能陶瓷材料

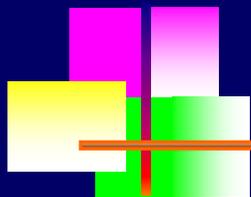
几种典型的激光陶瓷材料:

光学陶瓷

① 红宝石激光晶体:
 α - Al_2O_3 单晶为基质,
掺入 Cr^{3+}

② 掺钕的钇铝石榴石晶体。





功能材料

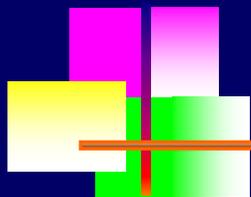
功能高分子材料

功能高分子材料

在外部环境作用下，敏锐地表现出高选择性和特异性能的高分子化合物及高分子材料。

分类

- ◆ 导电高聚物
- ◆ 液晶高分子
- ◆ 智能聚合物
- ◆ 高吸水性树脂
- ◆



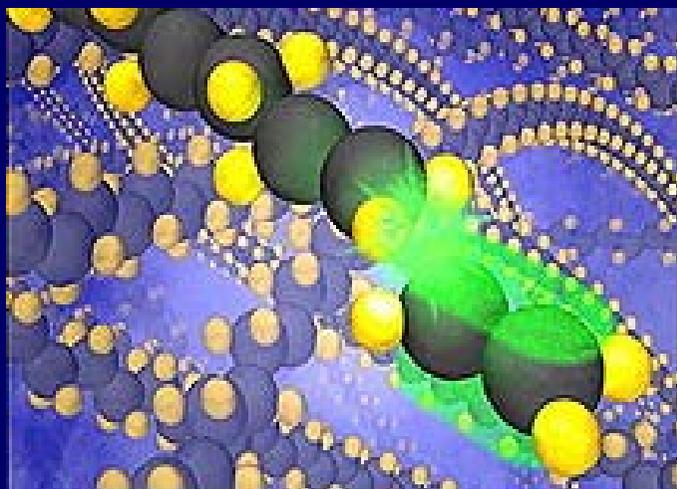
功能材料

功能高分子材料

导电高聚物

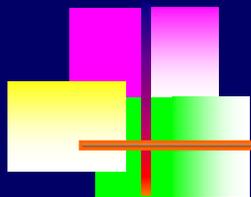
结构特点:

具有 π 电子共轭体系



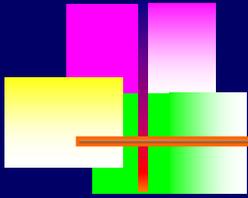
特性:

其电导率可在绝缘体、半导体和金属态范围内变化。



导电高聚物应用前景

- ◆ 二次电池、太阳能电池
- ◆ 传感器
- ◆ 电磁屏蔽材料
- ◆ 隐身材料
- ◆ 金属防腐



功能材料

功能高分子材料

应用

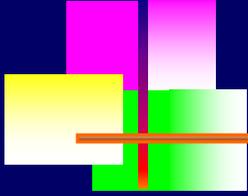
导电高聚物



B-2 Bomber



F-117A Fighter



功能材料

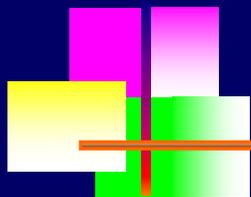
功能高分子材料

导电高聚物

应用



A stealth ship



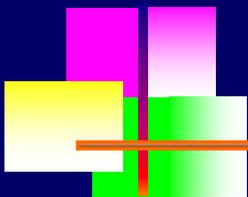
液晶高分子的概念：

既具有液体的流动性，又有晶体的各向异性。

液晶高分子的特点：强度和模量极高

液晶高分子的应用

- ✓ 防弹背心
- ✓ 火箭发动机外壳、导弹壳体
- ✓ 阿波罗登月飞船软着陆降落伞绳、直升飞机吊绳、人造卫星电子部件等等。



功能材料

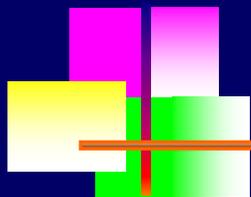
功能高分子材料

液晶高分子材料

为什么液晶高分子的强度极高？

为什么尼龙的强度高于普通的高分子材料？





高聚物的分子间作用力

- ◆ 范德华力
- ◆ 氢键
- ◆ 用内聚能或内聚能密度来表征分子间作用力的大小
 - ✓ 橡胶内聚能密度小于 334.94 J/cm^3
 - ✓ 纤维内聚能密度大于 418.68 J/cm^3

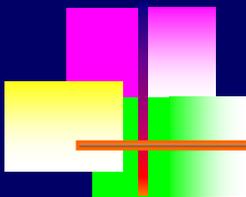
聚合物分离膜是具有选择性分离功能的材料。利用膜的选择性分离实现液或气体的不同组分的分离、纯化、浓缩的过程。

依据其孔径的不同（或称为截留分子量），可将膜分为**微滤膜、超滤膜、纳滤膜和反渗透膜**。

聚合物分离膜是由高分子材料做成的，如醋酸纤维素、芳香族聚酰胺、聚醚砜、聚氟聚合物等等。

应用

- ◆ 超滤膜
 - ✓ 污水处理
 - ✓ 食品浓缩、灭菌
 - ✓ 药物精制、浓缩，血液过滤等
- ◆ 反渗透膜
 - ✓ 大规模海水和苦咸水的淡化
 - ✓ 制备医药、电子工业用
无菌、去离子和超纯水
- ◆ 气体分离膜等等

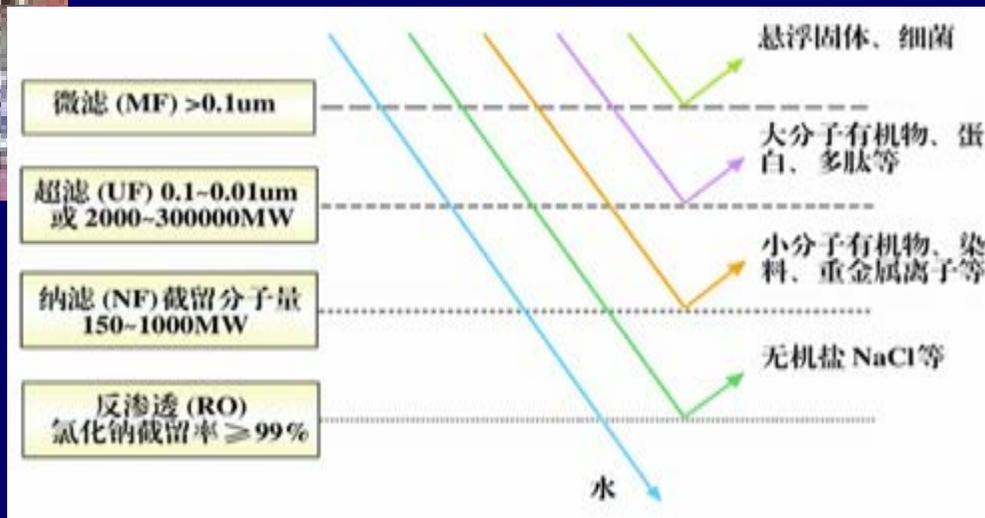


功能材料

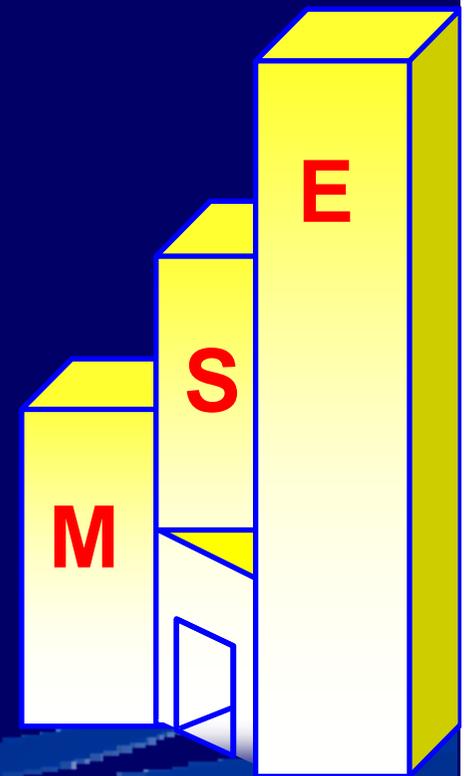
功能高分子材料

应用

聚合物分离膜



Thank You



opening

is

MSE

The door to