

材料学概论

Introduction to Materials Science

清华大学 材料学院

王秀梅 田民波

内部学习资料

第四章

粉体材料和纳米技术

内部学习资料

MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING

4.1 粉体及其特殊性能

4.2 粉体性能的测试

4.3 粉体的制备方法

4.4 常见的粉体材料

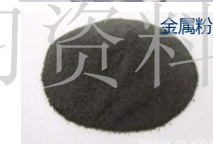
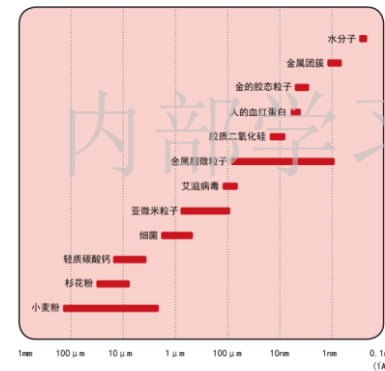
4.5 纳米材料和纳米技术

内部学习资料

MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING

4.1 粉体及其特殊性能

各种各样物质的大小



MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING



咖啡粉末粒径大小 影响咖啡的味道



咖啡粉末粒径大小会影响咖啡的香气，粉末粒径越细，细粉容易堆积在滤纸上造成速度变慢，进而产生又浓又苦的咖啡。反之，粒径越粗速度越快，产生较淡的咖啡。

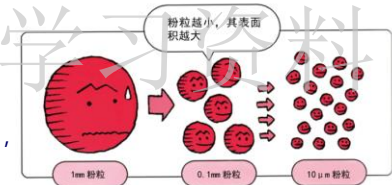
MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING

粉体的特殊性能

■ 小粒径和高比表面积

- 比表面积是指单位质量物料所具有的总表面积。
- 粒径越小，其比表面积越大
- 固体表面原子和内部原子不同：表面的原子缺少相邻的原子，所以原子配位数减少，存在剩余价键。
- 表面是一种面缺陷。粒径越小，缺陷越多。

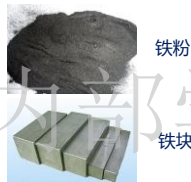
粒子直径 / μm	个数	总体积 / m^3	总表面积 / m^2
1 000	1 个	5.2×10^{-10}	3.1×10^{-4}
100	1 000	5.2×10^{-10}	3.1×10^{-4}
10	1 000 000	5.2×10^{-10}	3.1×10^{-4}



MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING

粉体的特殊性能

■ 小粒径和高比表面积



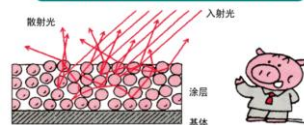
- 同样源于水，为什么冰是透明的，而雪是白色的呢？
- 同样是铁，为什么铁粉是无光泽的黑色，铁块是有光泽的银白色？



涂料粒子使光(色)散射的原理图

- 散射：由于介质中存在的微小粒子或者分子对光的作用，使光束偏离原来的传播方向而向四周传播的现象。

- 光散射与粒径大小有关（激光光散射粒度仪）

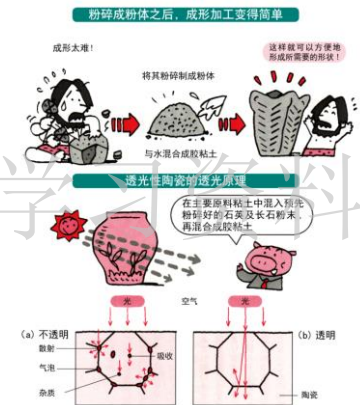


MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING

粉体的特殊性能

■ 高分散性和易流动性

- 粉体的流动性与粒度和粒度分布、粒子状态、比表面积、孔隙率与密度、填充性、吸湿性等有关。与环境的温度、压力、湿度有关。
- 例1：地震中因地基液化而引起系列灾害。
- 例2：粉体成型加工更容易



MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING

粉体的特殊性能

低熔点和高化学活性

- 表面原子由于配位不饱和性导致大量悬挂键、不饱和键，具有高的活性，**不稳定**。
- 颗粒越细，越易燃，易于溶解。
- 粉尘爆炸



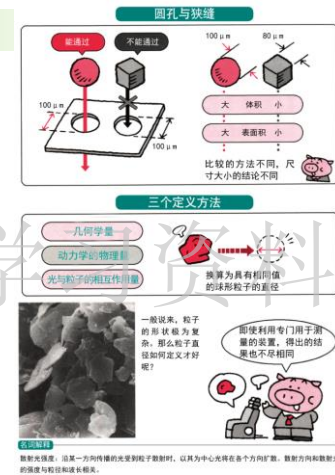
MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING

4.2 粉体性能的测试

粒径和粒径分布的测定

粒径

- 如何定义粒径？
- 只有球形粒子能按**直径**定义
- 按“**粒径**”换算：测定与粒子大小相关的物理量或几何学量，换算为与之具有相同值的球形粒子的直径。

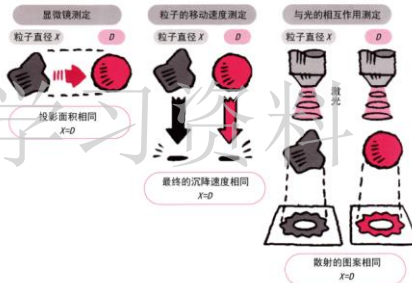


MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING

粒径和粒径分布的测定

粒子直径测定的概念图

- 几何学量**：用显微镜测定面积及体积等几何学量；
- 动力学的物理量**：沉降速度及扩散速度；
- 光与粒子的相互作用**：散射光强度及遮光量等



MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING

粒径和粒径分布的测定

粒径的计测方法

- Feret粒径；
- Martin粒径；
- Krummbein粒径；
- 粒径分布
 - 频度分布：不同粒径范围的百分数
 - 累积分布：筛上积算；筛下积算



MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING

粒径和粒径分布的测定

复杂形状粒子的形状指数

- 面积相当径 X_H ：具有相同面积的球；
- 周长相当径 X_L ：具有相同周长的球；
- 圆形式： X_H/X_L
- 长短比： X_L/X_S

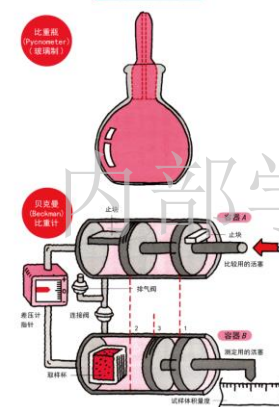


MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING

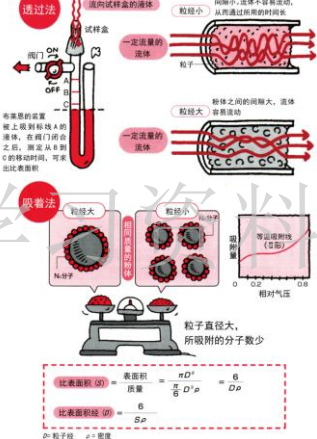
13

密度及比表面积测定

粒子密度的测定



粒子的比表面积测定



MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING

14

4.3 粉体的制备方法

破碎与粉碎

- 粗破碎 (破碎)：10cm以下
- 中破碎 (中碎)：1cm以下
- 粉碎：1mm以下
- 微粉碎：10 μ m以下



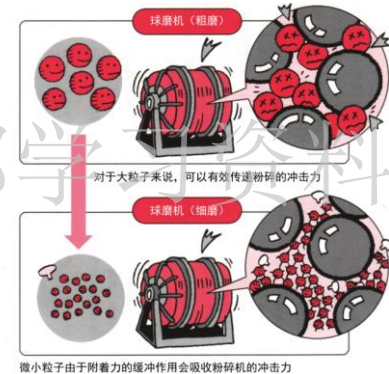
MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING

15

球磨

介质搅拌粉碎机

- 利用下落的研磨体 (如钢球、鹅卵石等) 的冲击作用以及研磨体与球磨内壁的研磨作用而将物料粉碎并混合。
- 当球磨转动时, 由于研磨体与球磨内壁之间的摩擦作用, 将研磨体依旋转的方向带上后再落下。这样物料就连续不断地被粉碎。



MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING

16

粉体的非机械式制作方法

▪ PVD(Physical Vapor Deposition)法

- 通过蒸发、熔融、凝固、形变等物理变化形成粉体 (5-100nm)
- 热蒸发和离子溅射法

▪ CVD(Chemical Vapor Deposition)法

- 一种或数种反应气体在加热、激光、等离子体等作用下发生化学反应析出超微小颗粒粉的方法
- 气-气反应；气-固反应；气-液反应

▪ 液相化学反应法

- 均相的溶液通过化学反应，生成的溶质与溶剂分离后形成一定形状和大小的颗粒，经热分解及干燥后获得纳米微粒。
- 沉淀法；水热法；雾化水解法；喷雾水解法；溶胶-凝胶法

▪ 界面活性剂法

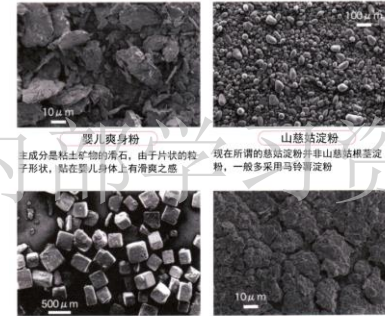
- 两种互不相溶的溶剂在表面活性剂的作用下形成均匀乳液，再从乳液中析出固相（成核、生长、聚结、团聚等）。

MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING

17

4.4 常见的粉体材料

生活中常用的粉体的电子显微镜照片

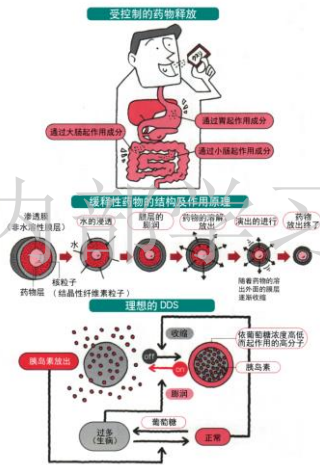
食盐
反映 NaCl 的立方晶系晶体结构，因此粉体颗粒呈立方形状防晒霜
防晒霜中混入大量超微粒 TiO₂，后者起防紫外线的作用

MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING

18

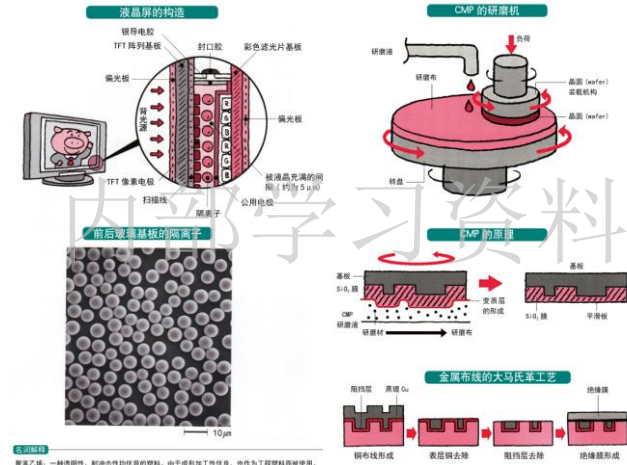
药物递送系统(Drug Delivery System)

▪ 载药微球/载药纳米粒子



MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING

19

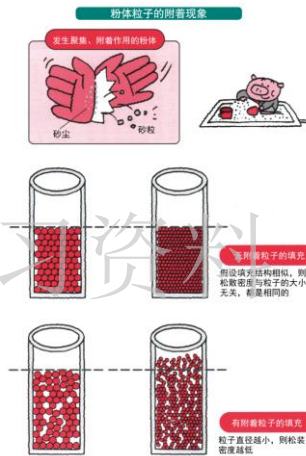


MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING

20

粉体粒子的附着现象

- 粉体粒子容易在容器壁发生聚集，形成附着层。
- 分子间作用力、静电力、磁场力的影响



MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING

21

4.5 纳米材料和纳米技术

■ 纳米材料 (Nanomaterials)

- 纳米材料是指在三维空间中至少有一维处于纳米尺寸(0.1-100 nm)或由它们作为基本单元构成的材料，这大约相当于10~100个原子紧密排列在一起的尺度。

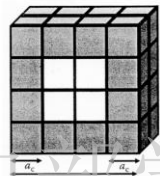
■ 纳米技术 (Nanotechnology)

- 纳米技术是用单个原子、分子制造物质的科学技术，研究结构尺寸在1至100纳米范围内材料的性质和应用。
- Nanotechnology ("nanotech") is **manipulation of matter on an atomic, molecular, and supramolecular scale**. The earliest, widespread description of nanotechnology referred to the particular technological goal of **precisely manipulating atoms and molecules for fabrication of macroscale products**, also now referred to as molecular nanotechnology.

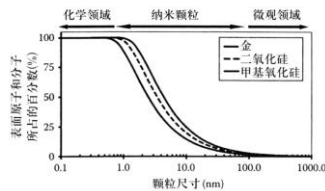
MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING

22

颗粒越小，表面原子所占比例越大



纳米颗粒尺寸定义为 ~ 100nm 的理由



■ 无序原子和内部的有序原子各占50%——以缺陷为主

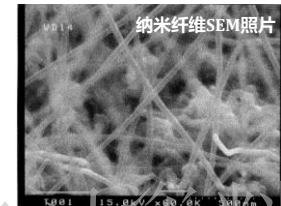
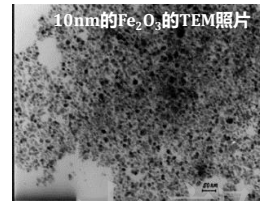
性能:

纳米铁材料的断裂应力提高10倍；纳米铜比普通铜硬度高5倍；纳米银粉的熔点低到了100℃等等；

气体通过纳米材料的扩散速度快几千倍，纳米颗粒是极好的催化剂；可以作为高记录密度的磁记录介质；纳米复合材料可用以制造红外、雷达波吸收材料等。

MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING

23

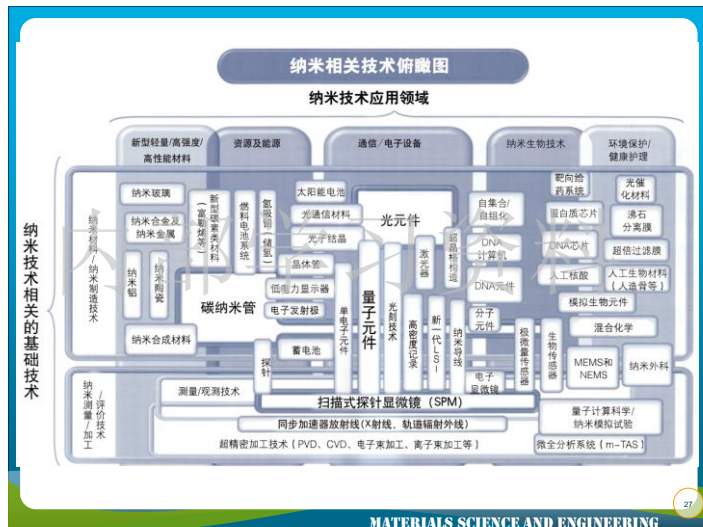
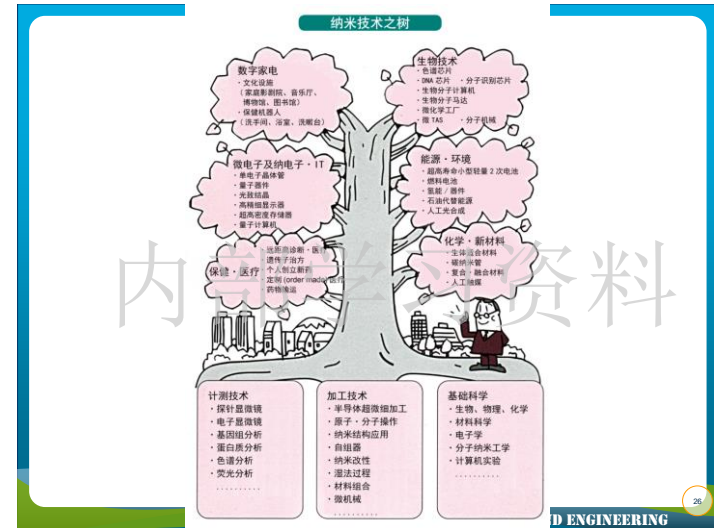


纳米效应

- 表面效应：高的表面活性
- 小尺寸效应：光、热、磁、力学
- 量子尺寸效应：
- 宏观量子隧道效应：

MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING

24



第四章作业

■ 4.12. 纳米材料的尺度定义为什么是1-100nm？请定量解释。

内部学习资料

MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING