

# 第一章 绪论

1. Materials and MSE
2. History of materials
3. Classification of materials
4. Environmental and other effects
5. Development of MSE

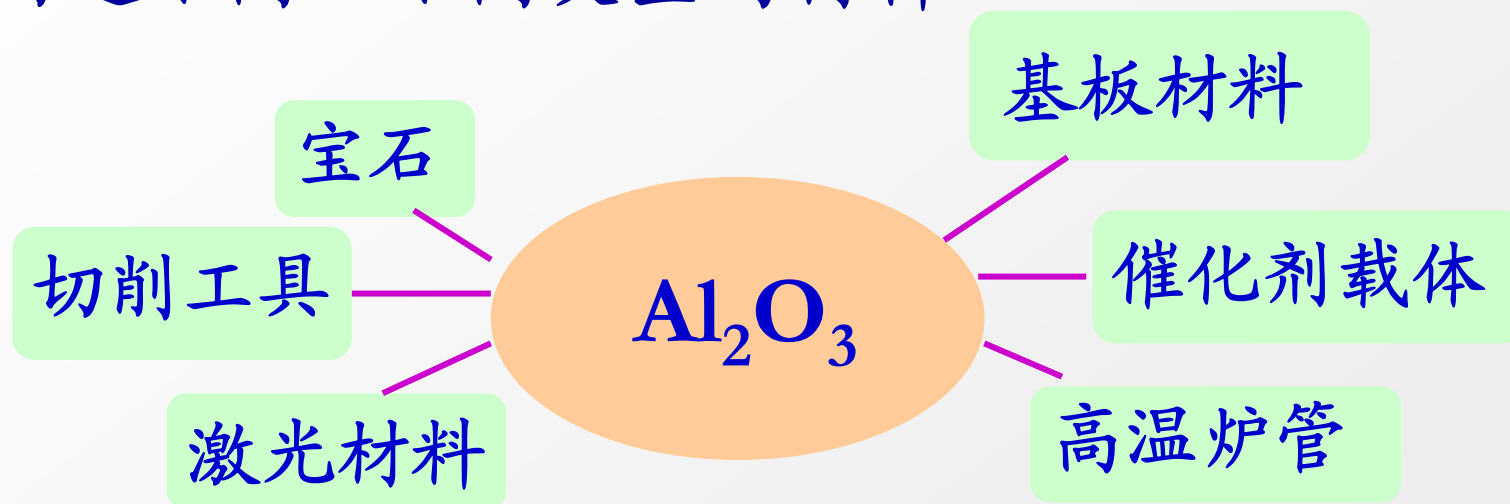
# 1. 什么是材料？

■ 材料是由一定配比的若干相互作用的元素组成、具有一定结构层次和确定性能，并能用于制造物品、器件、构件、机器或其他产品的物质。

# 注意:

- 材料是物质，但不是所有物质都可以称为材料。例如用铁矿石和焦炭炼成钢铁，铁矿石和焦炭是原料，而钢铁是材料，可用于制成各种机械、汽车、飞机等。
- 大多数的物质需通过一定的工艺过程才能转化为材料，如玻璃的制备。
- 材料制备两个过程，① 材料合成，即通过原料质的化学反应过程实现；② 材料化过程，保证它的物性、强度、形状。

- 材料可由一种物质或若干种物质构成.
- 同一种物质, 由于制备或加工方法不同, 可成为用途不同——不同类型的材料.



- 材料存在于我们的周围, 与我们的生活、我们的生命息息相关。

# 生活中的材料

## —— 可口可乐容器



铝——金属材料



玻璃——无机非金属材料

塑料——高分子材料



## Technical Materials



- 新技术的发展离不开材料的发展，只有开发制备出了满足性能需要的新材料后，技术创新才可能实现，我们的生活才会丰富多彩。
- 例如，半导体材料的发展促进了微电子领域的发展，单晶硅的开发成功开创了崭新的信息时代。

## 2. 材料的发展与人类文明

- 材料是人类文明的里程碑;
- 材料是人类赖以生存和发展的重要物质基础;
- 人类的历史曾以使用的主要材料来加以划分。

### 1) 材料发展的历史

旧石器时代

新石器时代

青铜器时代

铁器时代



# 新石器时代 (距今10000-4000年)

磨制石器  
7000年前



# 旧石器时代 (10000年前)



左上: 元谋人的刮削器  
右上: 贵州黔西县观音洞  
旧石器早期砍砸器  
右下: 蓝田人的尖状器

陶器



南京工业大学

# 青铜时代 (1) 公元前5000年

兽面纹罍，商前期



龙纹觥，商后期



铜冰鉴，战国曾侯乙墓



天觚，周前期



父庚觥，周前期



## 青铜时代 (2)



四羊方尊 商后期



# 铁器时代 (1) 公元前1200年



## 铁刀铜钺

左：北京平谷  
刘家河

右：河北藁城  
台西

刃部均为陨铁  
商代晚期

## 铁器时代 (2)



▲ 1990 年河南三门峡市上村岭西周虢国墓发现的玉柄铁剑，约公元前 800 年左右。



▲ 1957 年甘肃灵台县景家庄出土铁剑，春秋早期。

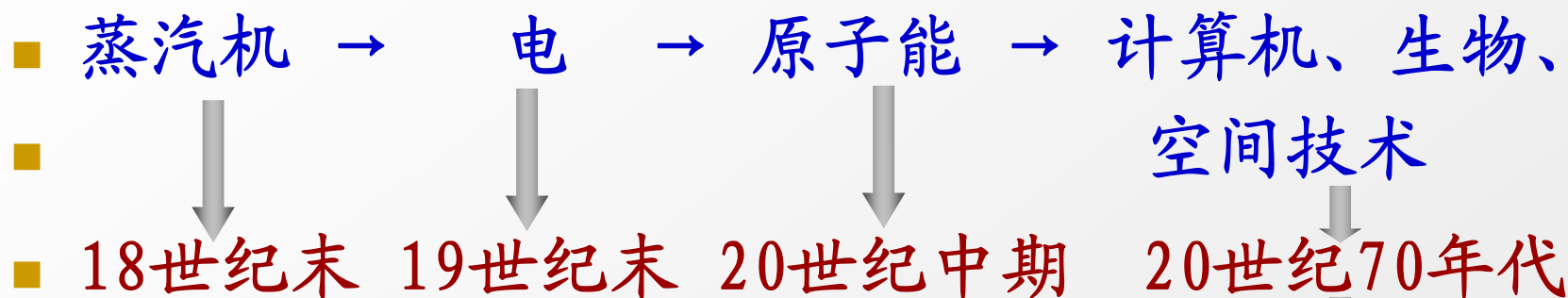


▲ 1957 年河南陕县出土铁剑，春秋早期。

人类的文明史就是材料的发展史  
——是人类学习利用材料、制造  
材料、创新材料的历史。

## 2) 材料发展近代史

- 以1712年蒸汽机发明为起点，近300年来，人类经历了4次技术革命。



纺织  
冶金  
机械  
造船

电子  
石油  
化工  
电气

合成材料  
半导体材料

新型无机材料  
高分子材料  
新型金属材料  
复合材料

### 3) 当代材料的发展

- 人类进入了人造材料的阶段：
- **第一阶段：**材料初级合成阶段。陶器、砖瓦、铜、铁、合金、玻璃、水泥——化学范畴。
- **第二阶段：**一方面从化学角度出发，研究材料化学组成、化学键、结构及合成方法；另一方面从物理的角度，研究材料的组成、结构及性能的关系——材料科学形成。
- **第三阶段：**采用天然原料或合成原料，有目的地利用一系列物理与化学原理与现象来制造新材料，材料的合成制造方法得到了极大地丰富，合成出一系列高性能结构材料和功能材料——材料科学与工程。





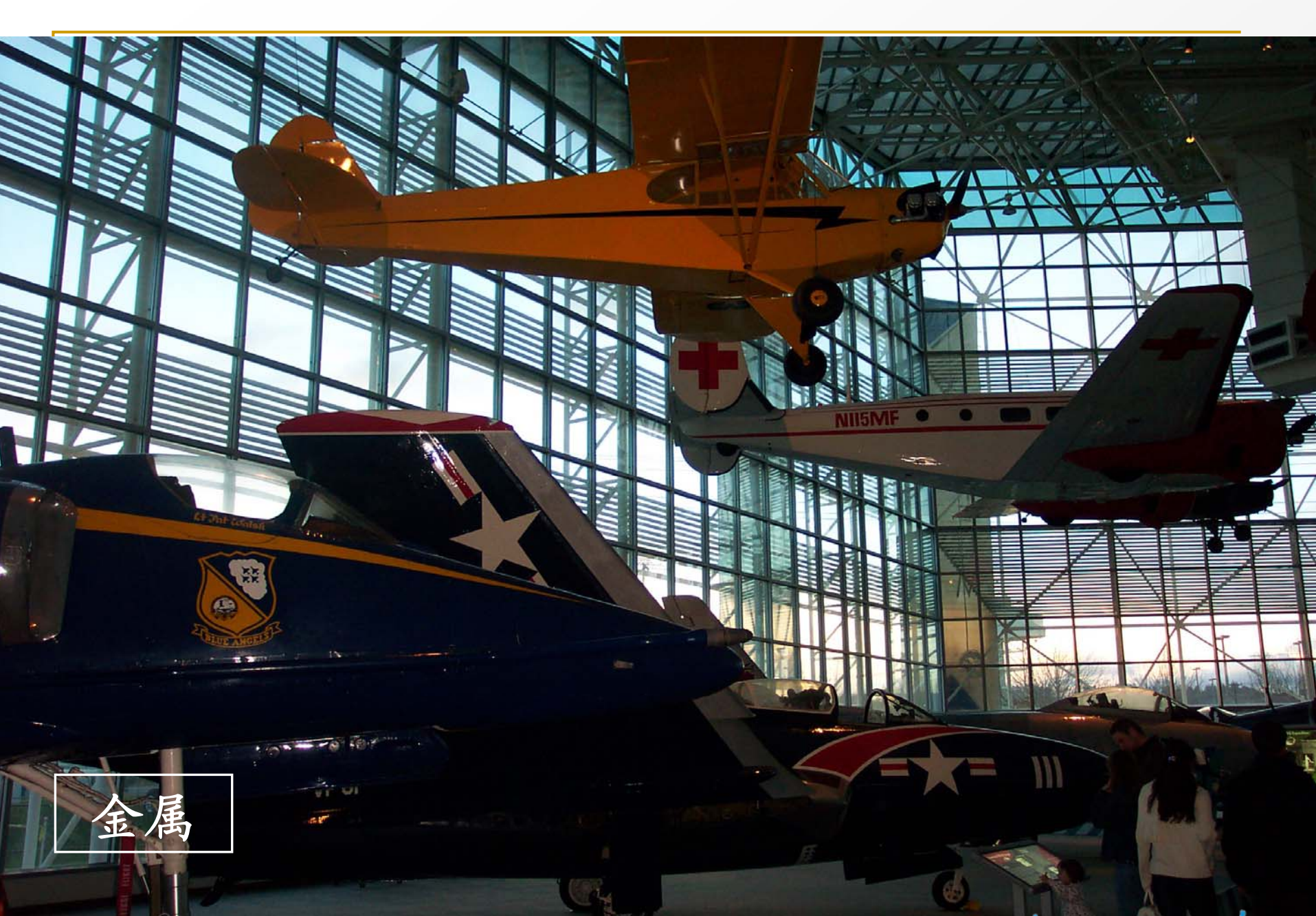
木制





木制

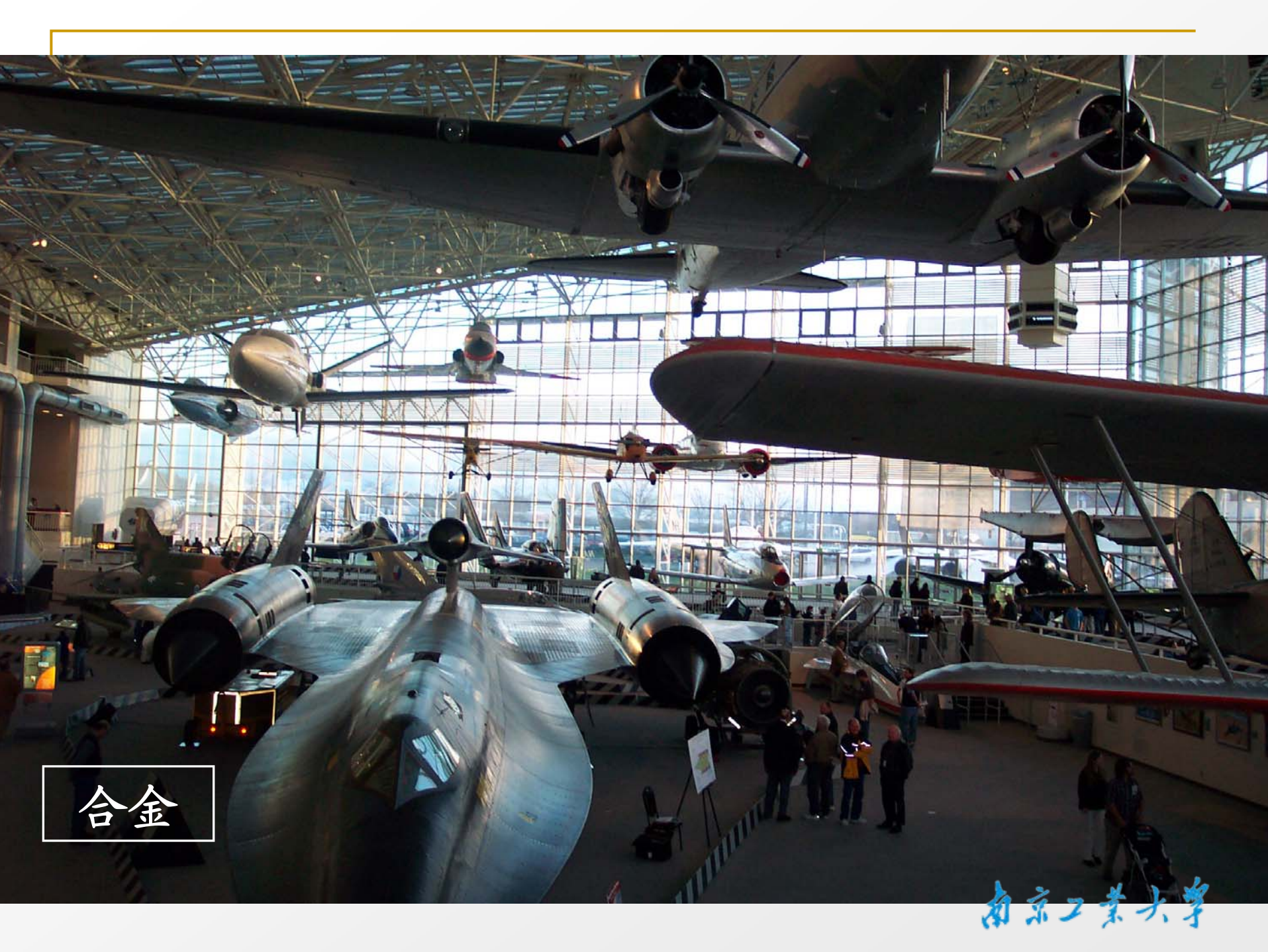




金属

南京工业大学



A wide-angle photograph of a large aircraft museum. In the foreground, a sleek, silver fighter jet is prominently displayed, facing the viewer. Above it, a large, multi-engine propeller plane is suspended from the ceiling. To the right, another large aircraft with a red stripe is visible. The background is filled with various other planes, including a biplane and several smaller jets, all displayed in a vast, high-ceilinged hall with a large glass and steel structure. People are seen walking around the exhibits, and the overall atmosphere is one of a well-lit, spacious museum.

合金

南京工业大学



# 复合材料



- ✦ 材料是人类生存、社会发展、科技进步的物质基础、现代科技发展的先导。
- ✦ 我国是材料大国，但不是材料强国。
- ✦ 如2005/2006/2007年，全球水泥产量22.20/24.5/27亿吨，中国生产10.60/12.36 /13.6亿吨；全球粗钢产量11.29/12.4/13.44亿吨，中国产量为3.49/4.19/4.89亿吨，高炉铁全球产量为7.78/8.67/9.44亿吨，中国产量3.30/4.05/4.69亿吨。



## 4) 材料在国民经济中的地位

### ■ 材料是当代文明的三大支柱之一

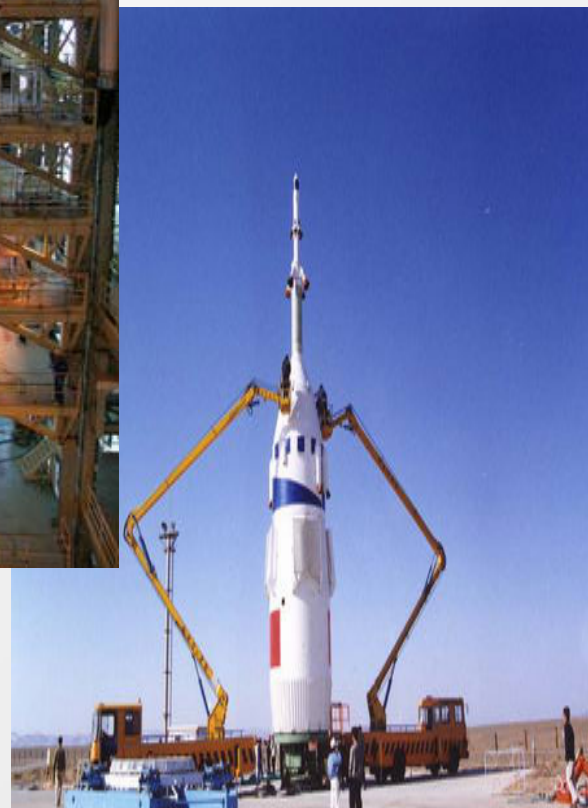
材料、能源、信息是当代社会文明和国民经济的三大支柱，是人类社会进步和科学技术发展的物质基础和技术先导。

### ■ 材料是全球新技术革命的四大标志之一

### ■ 新材料技术、新能源技术、信息技术、生物技术。

### ■ 新型材料的研究、开发与应用反映一个国家的科学技术与工业水平，关系到国家的综合国力与安全。

波音777客机上的发  
动机的压缩机、叶  
片及紧固件







## 超级钢

钛结构自行车：“自行车发烧友”选择钛合金制自行车。钛合金的应用场合很特殊。通常用于需要抗腐蚀，耐疲劳，高弹性的场合。

超级钢：汽车用钢，比原先的轻24%，而强度高34%，称为超级钢



材料和生活用品

## 磁悬浮列车

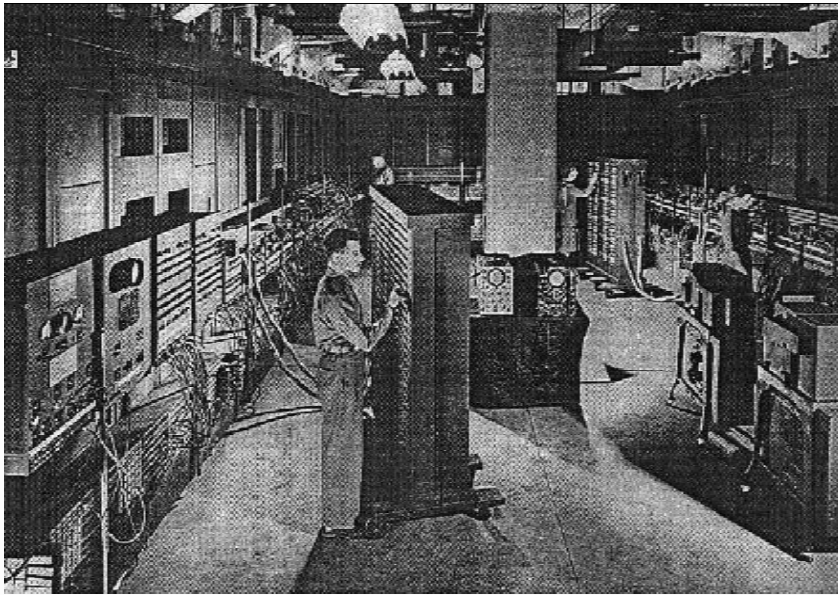
Maglev train

magnetically levitated train

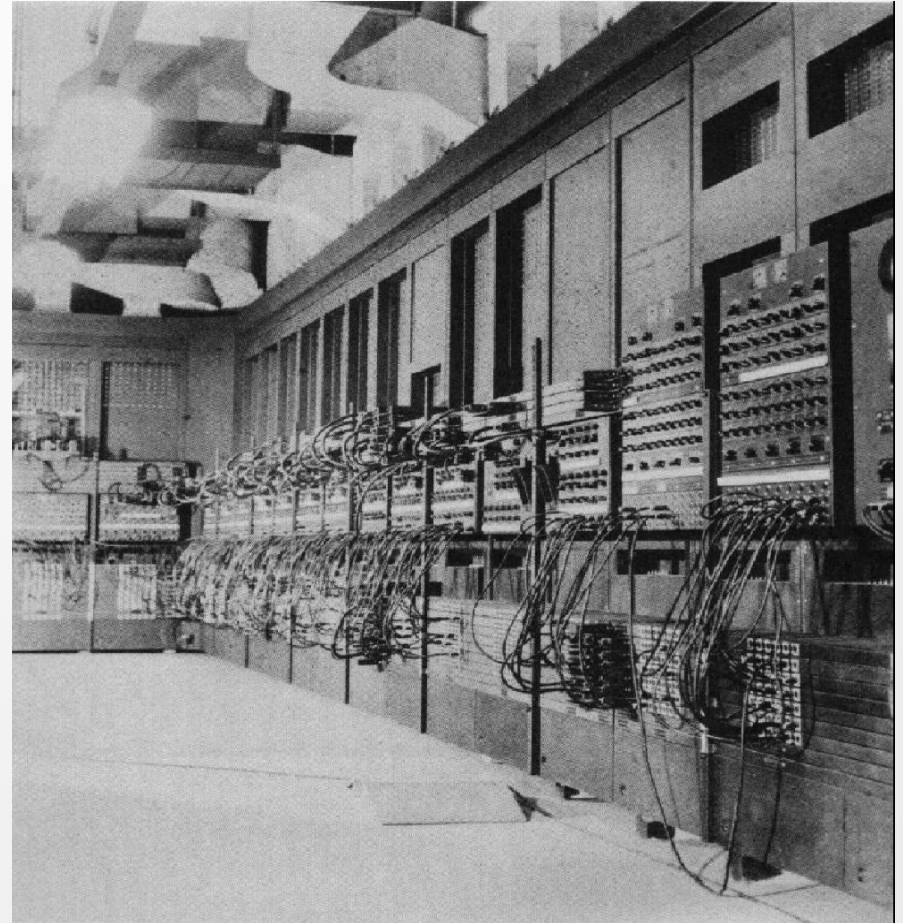


## 核磁共振仪

NMR - Nuclear magnetic resonance instrument



- The first computer appear in the world in 1946, which occupy the area of 170 m<sup>2</sup>, and weigh 30 ton. Its running speed is 5000 time/s (现几百亿次/秒).



- The discovery of *silicon single crystals* and an understanding of their properties have enabled the information age.
- 摩尔定律 - 每两年芯片的计算能力就会翻倍.
- 四个阶段:
- Radio/vacuum tube 电子管
- Transistor 晶体管
- Integrated circuit 集成电路
- Very large scale integrated circuit 超大规模集成电路





一次大战水冷式

30年代空冷式

风扇喷气发动机

蜗轮喷气发动机

超音速燃烧冲压  
式喷气发动机

## 发动机温度

149<sup>0</sup>C

315<sup>0</sup>C

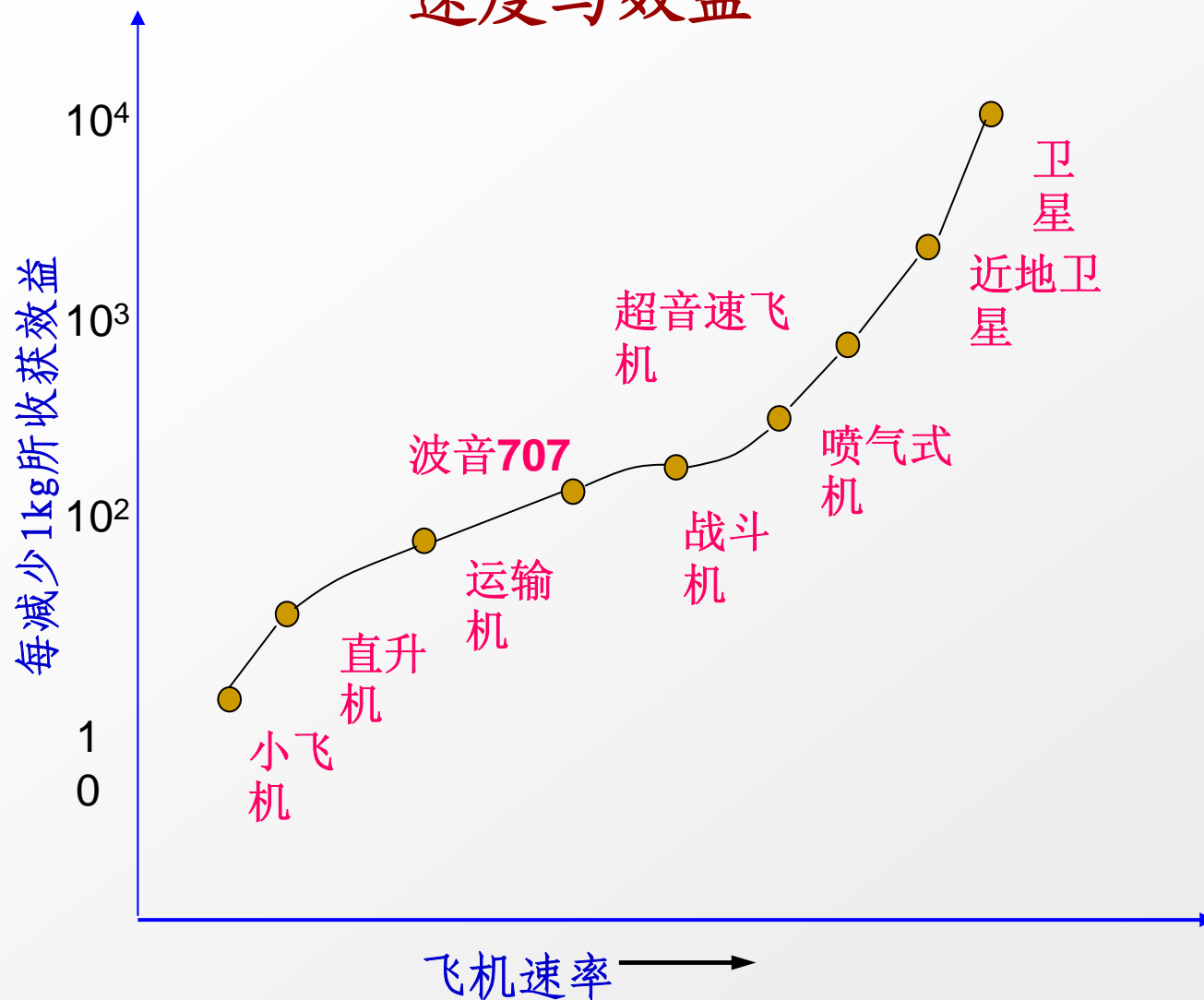
649<sup>0</sup>C

1093<sup>0</sup>C

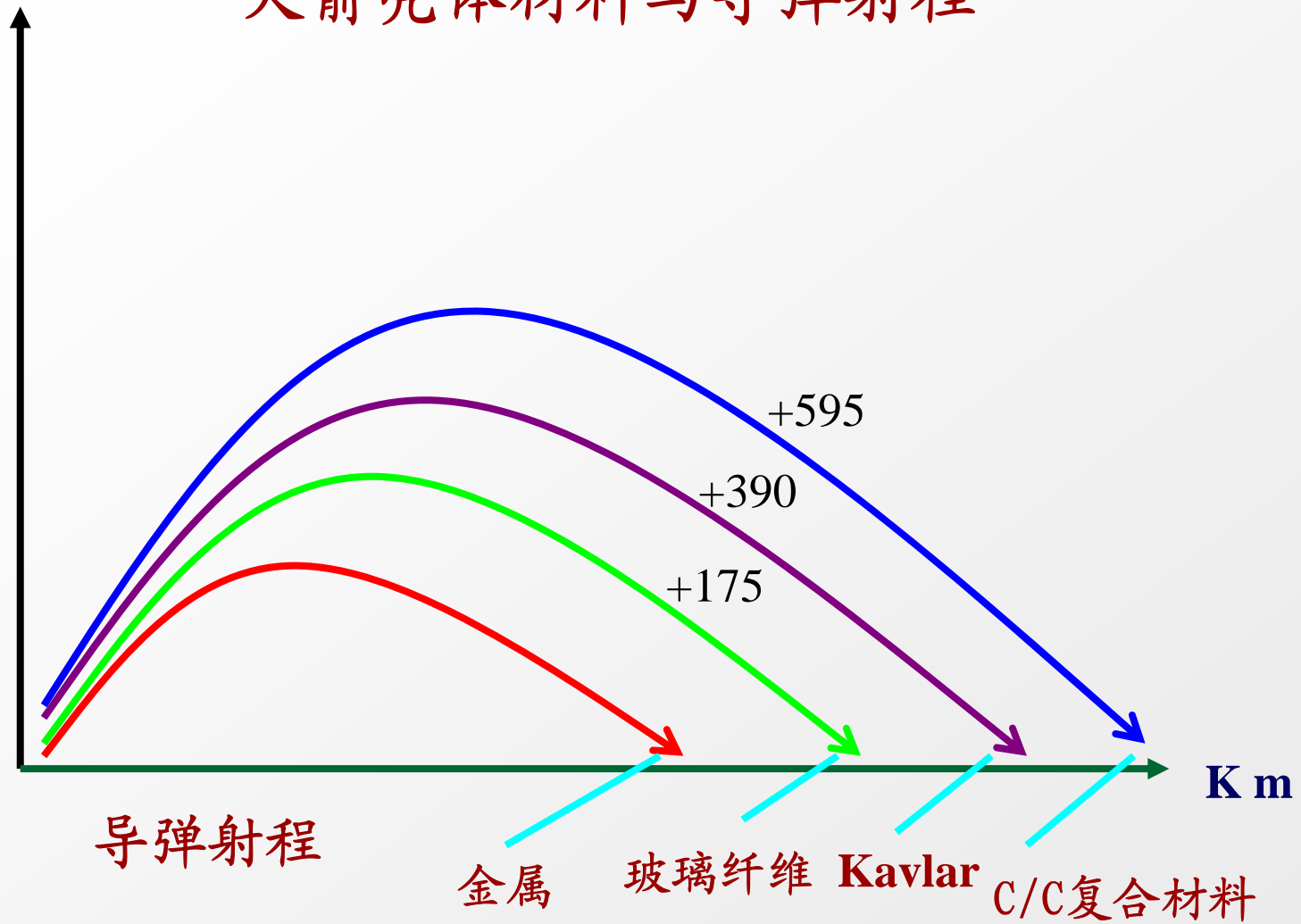
1927<sup>0</sup>C

温度 (°C)

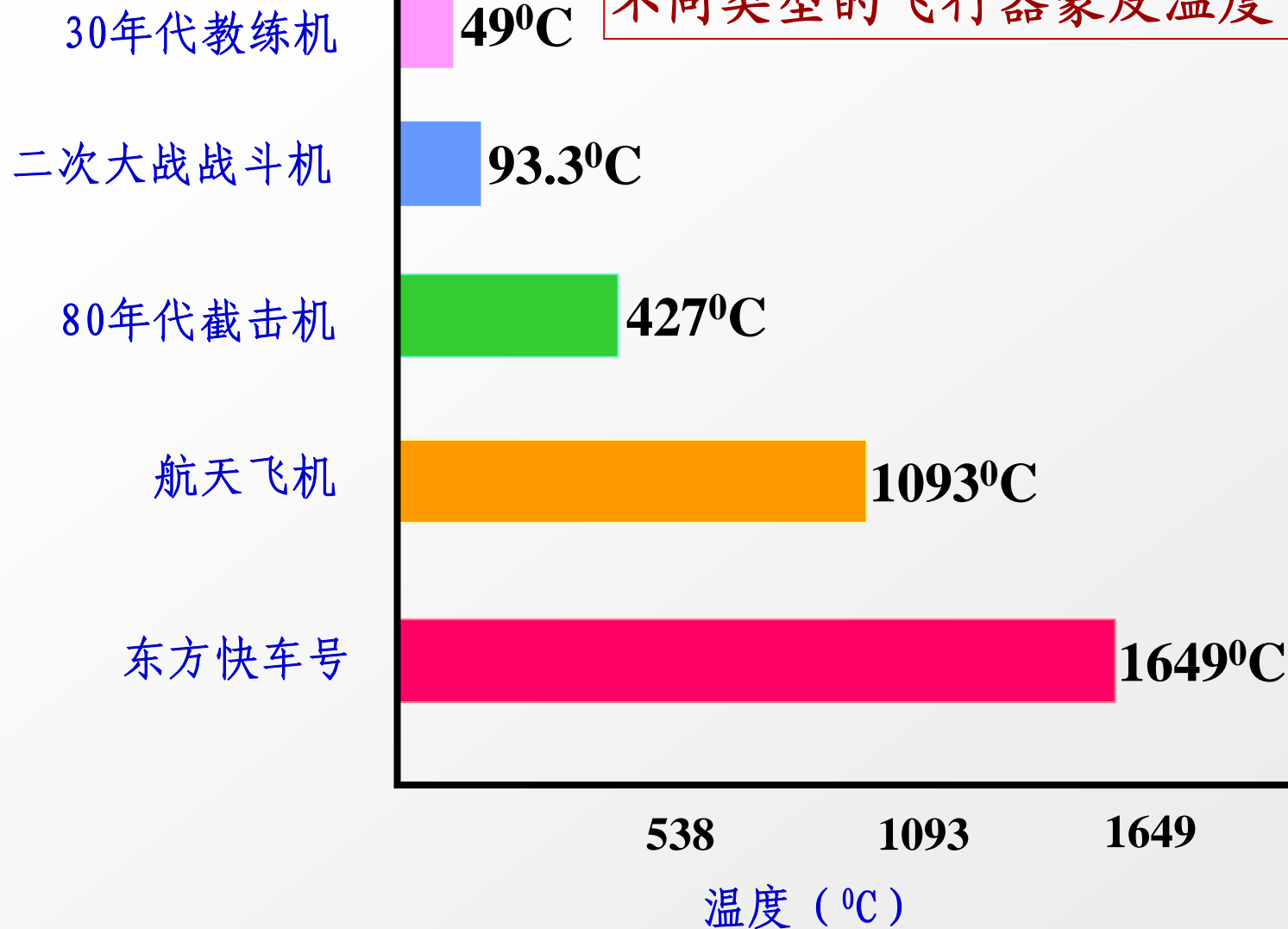
## 速度与效益



# 火箭壳体材料与导弹射程



## 不同类型的飞行器蒙皮温度

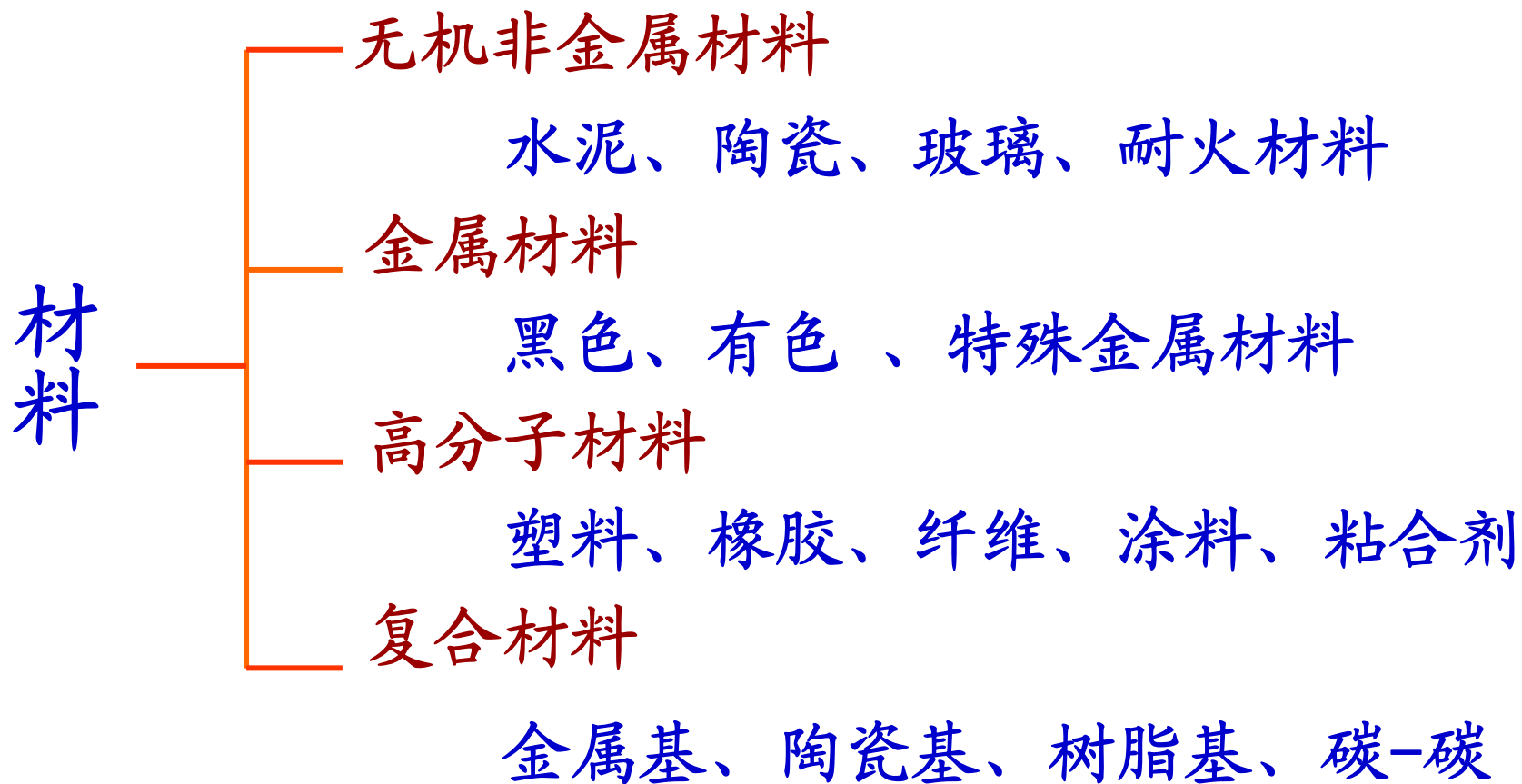




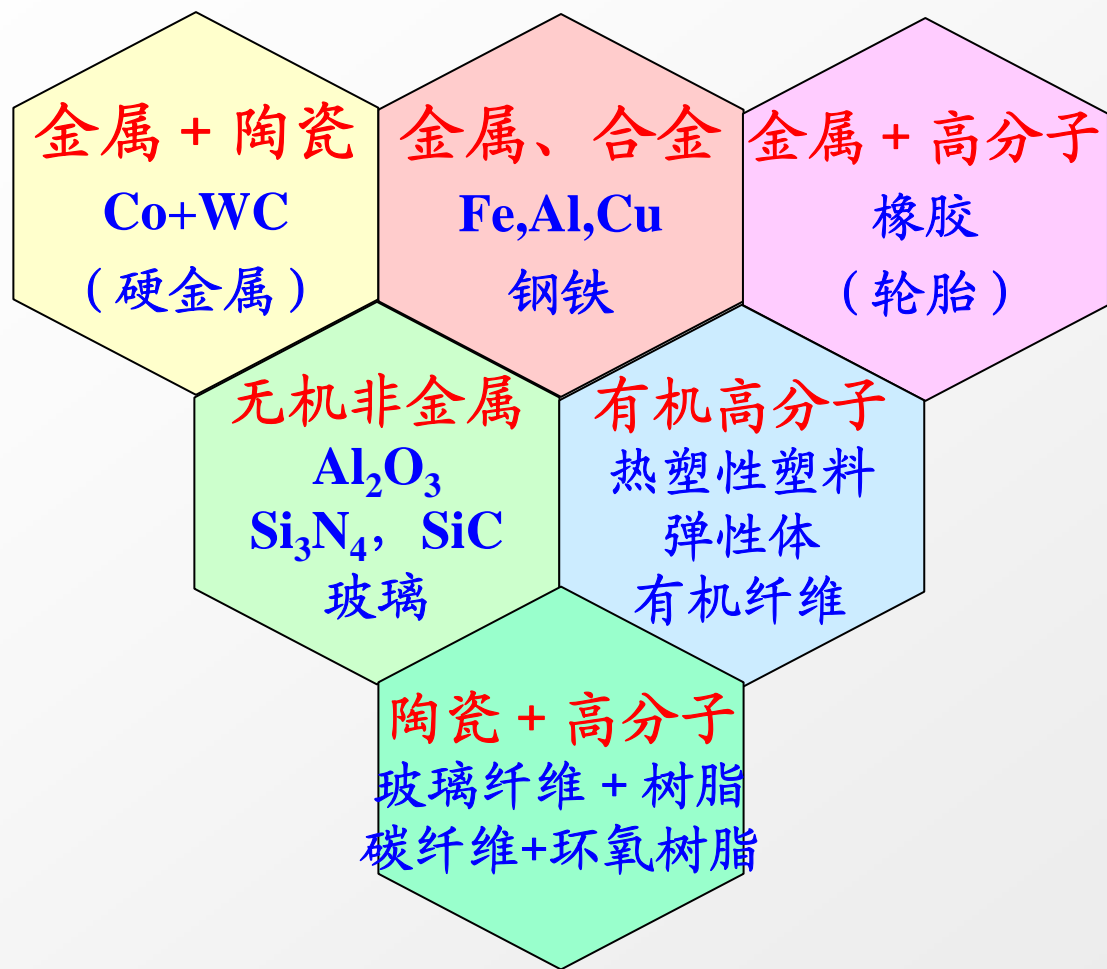
### 3. 材料的分类

- ① 按化学组成分类
- ② 按材料的功能分类
- ③ 按材料的性能分类
- ④ 按材料的应用分类
- ⑤ 按材料结晶状态分类
- ⑥ 按材料的尺寸分类

# 1) 按化学组成分类



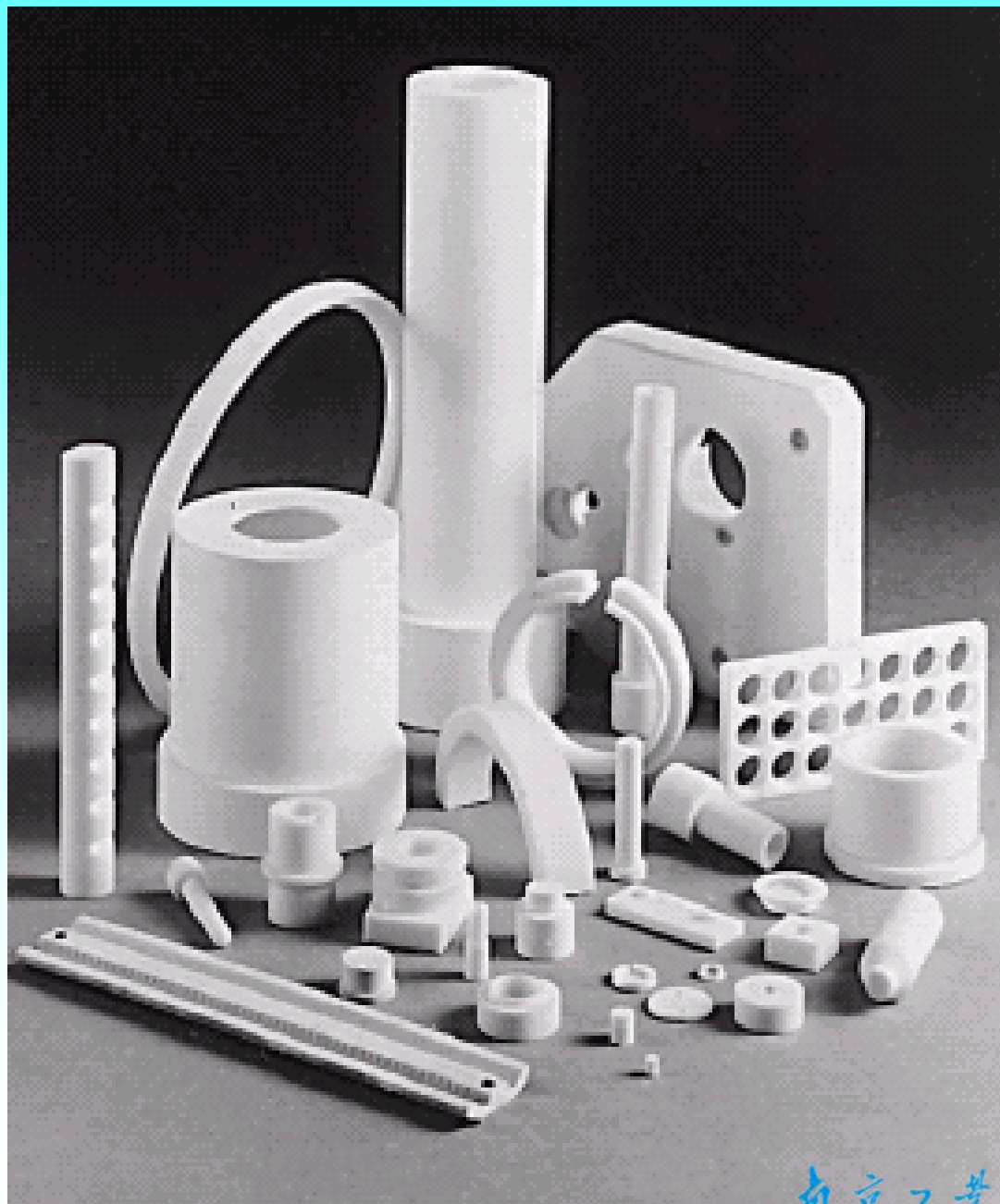
# 四大类传统材料



# 各种金属零部件



# 高温结构陶瓷零件

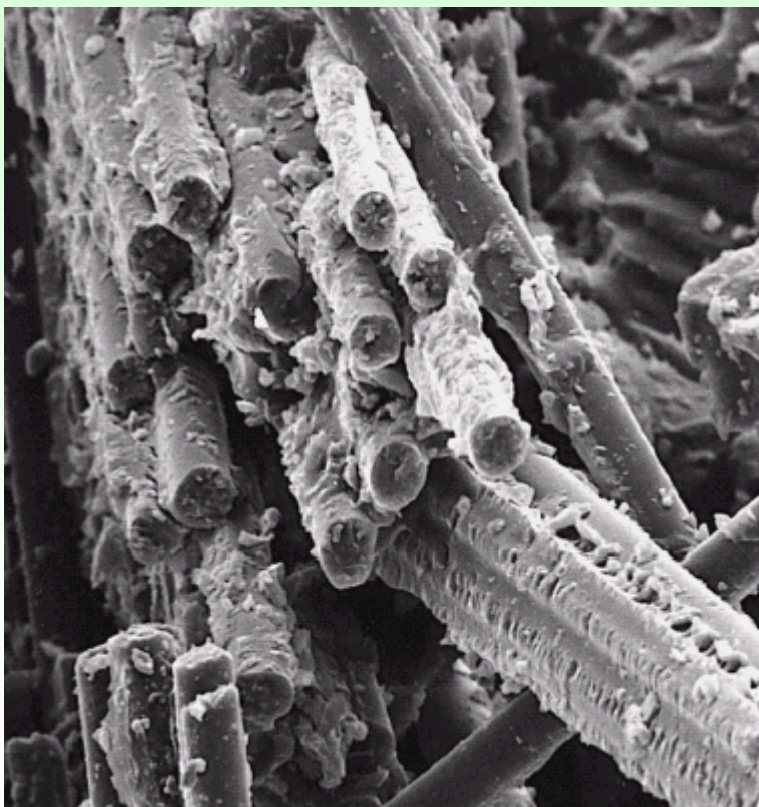


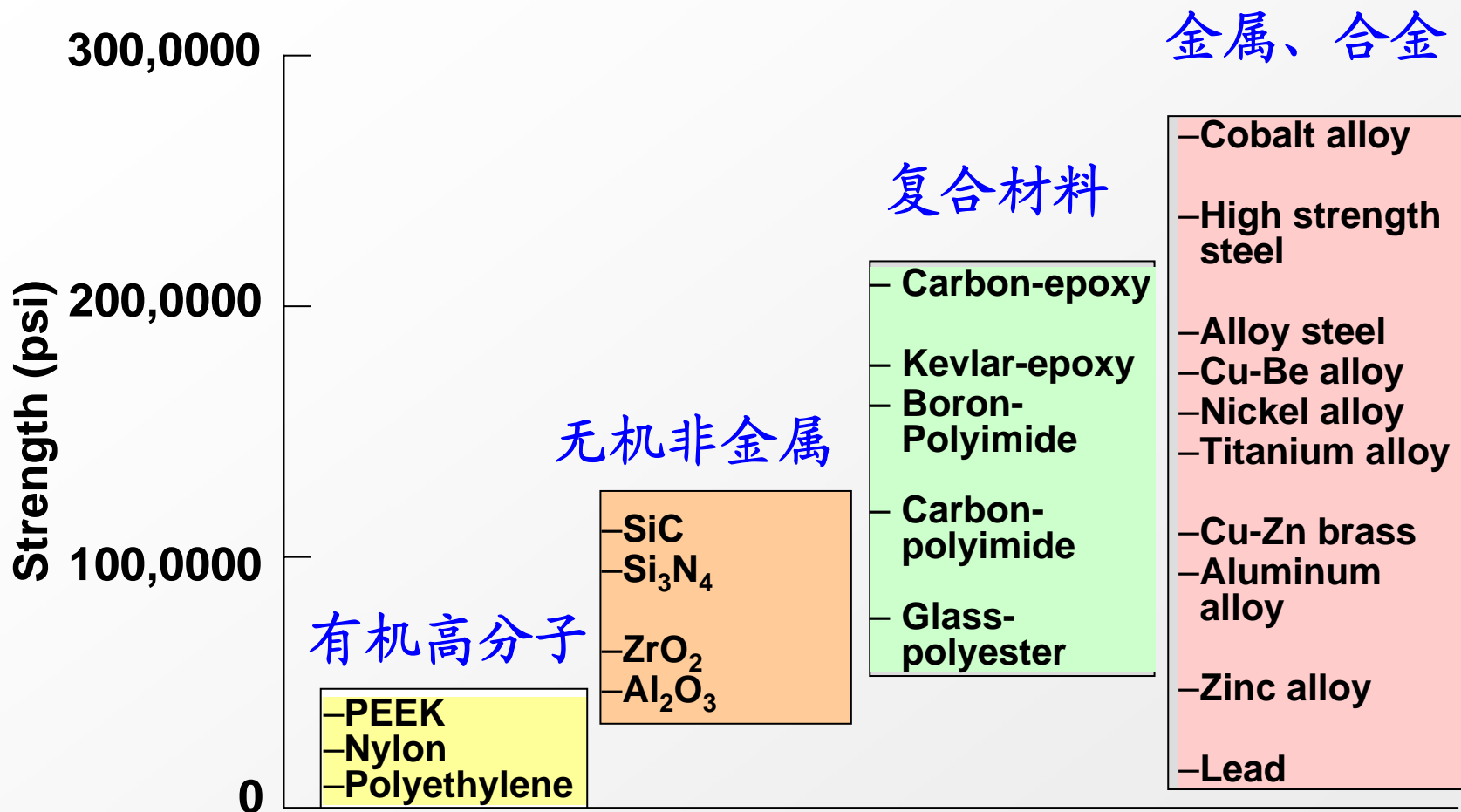
# 工程塑料制成的零件



# 复合材料

用碳纤维增强环氧树脂制得的高尔夫球杆强度高、重量轻、刚性好。

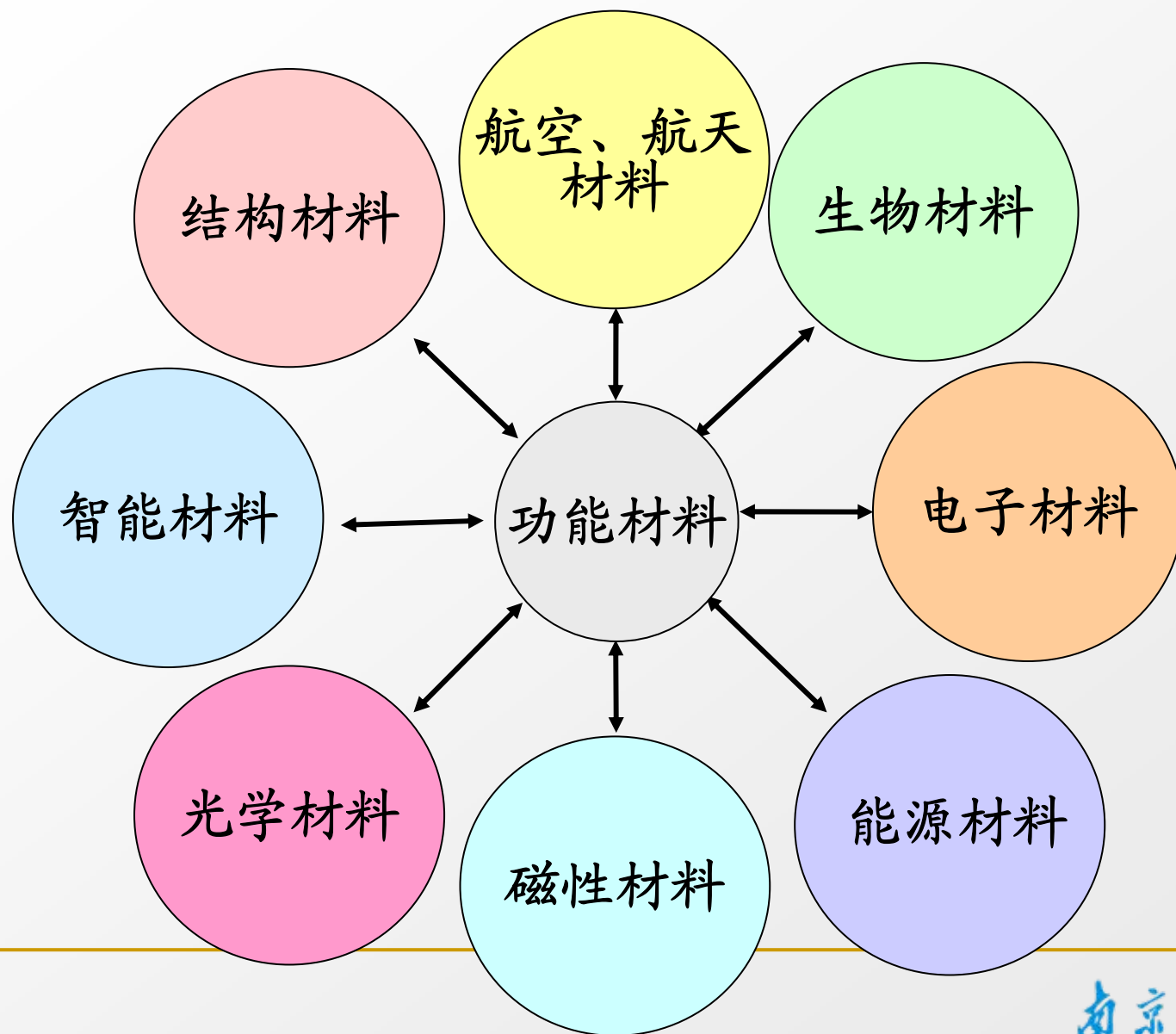




各种材料的典型强度



## 2) 按材料的功能分类





进气管



排气管



球墨铸铁管道接口



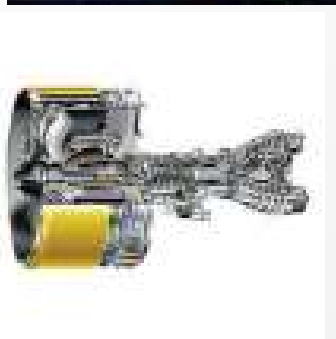
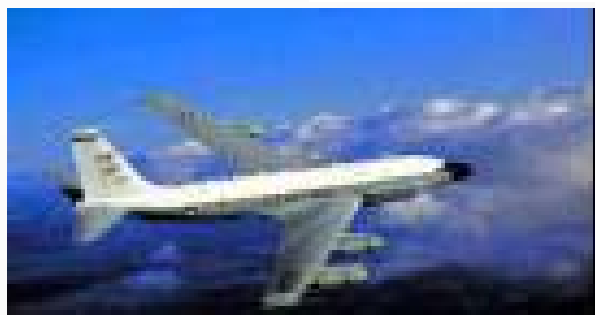
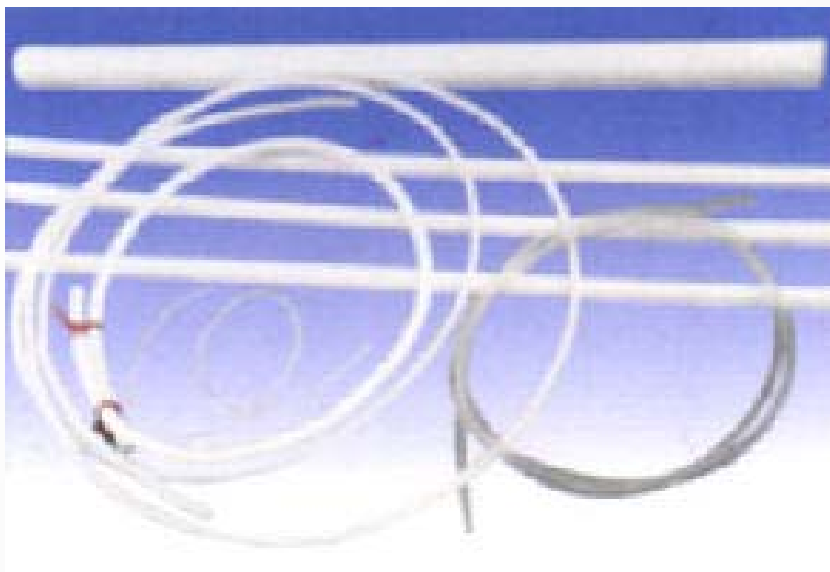
连杆



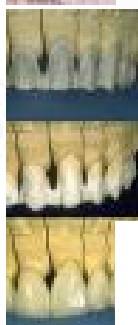
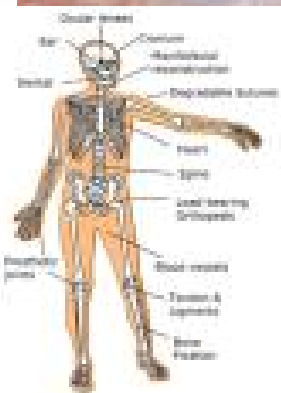
曲轴

## 结构材料

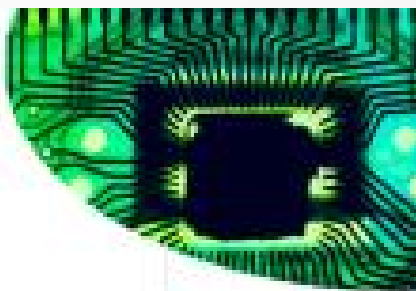
# 航空、航天材料



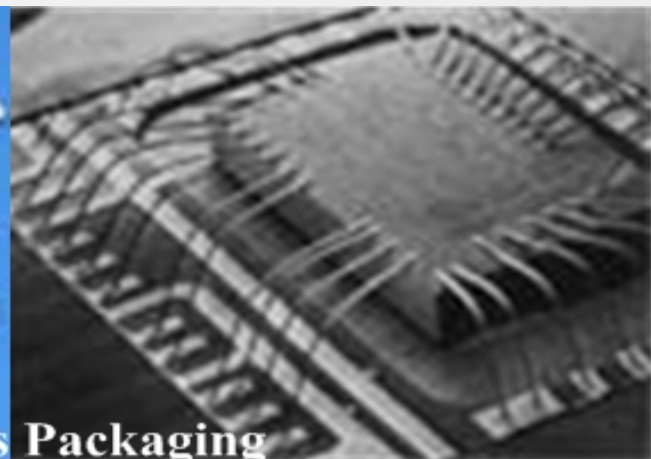
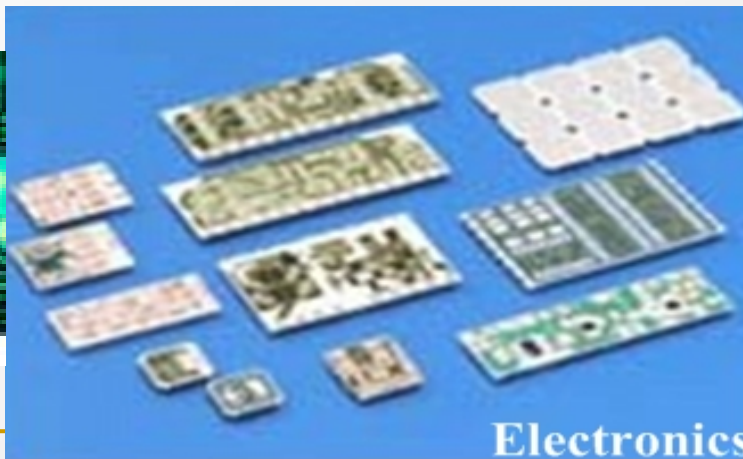
## 能源材料



## 生物材料



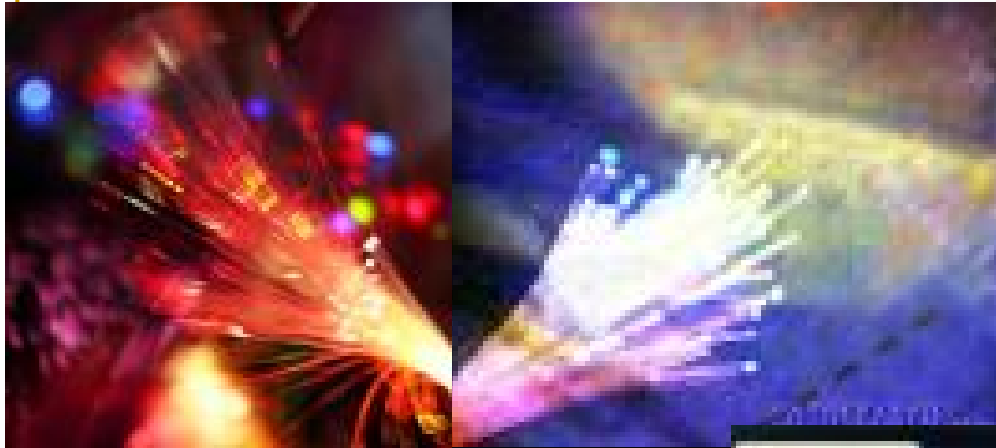
## 电子材料



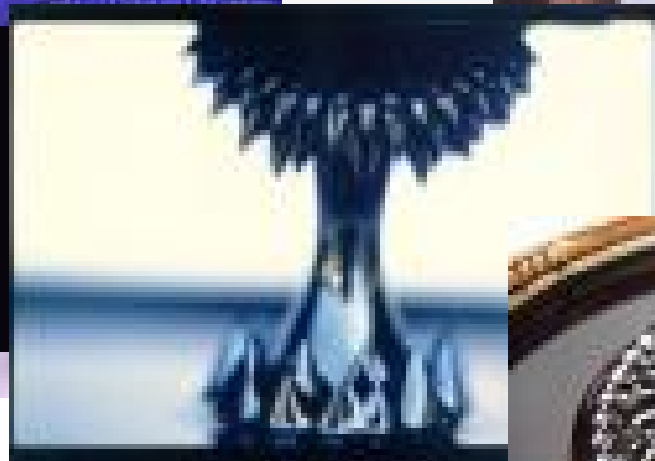
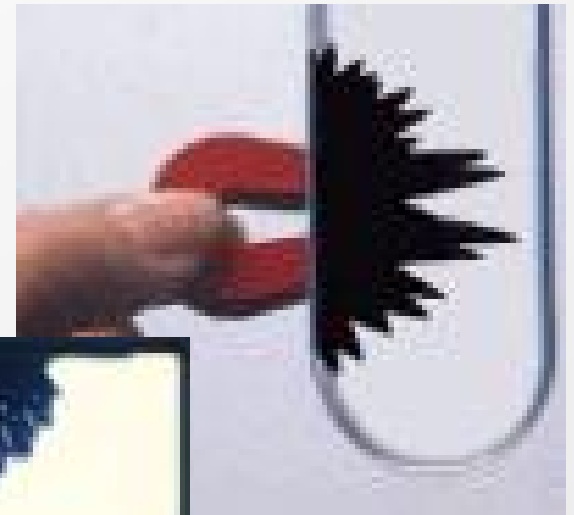
Electronics Packaging

南京工业大学

## 光学材料



## 磁性材料



### 3) 按材料的性能分类

按物理性质分为： 导电材料、半导体材料  
绝缘材料、磁性材料  
透光材料、高强度材料  
高温材料、超硬材料等

按物理效应分为： 压电材料、热电材料  
铁电材料、非线性光学材料  
磁光材料、电光材料  
声光材料、激光材料等



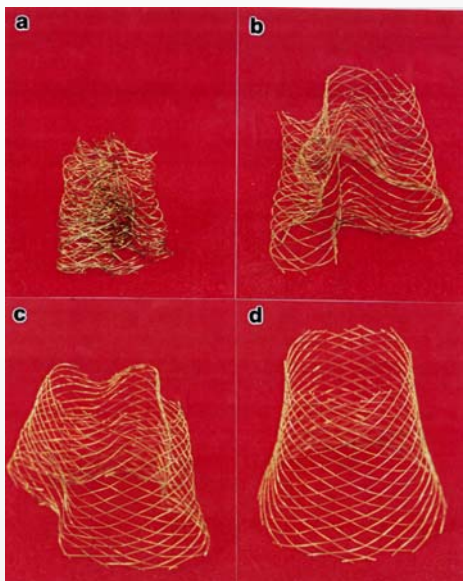
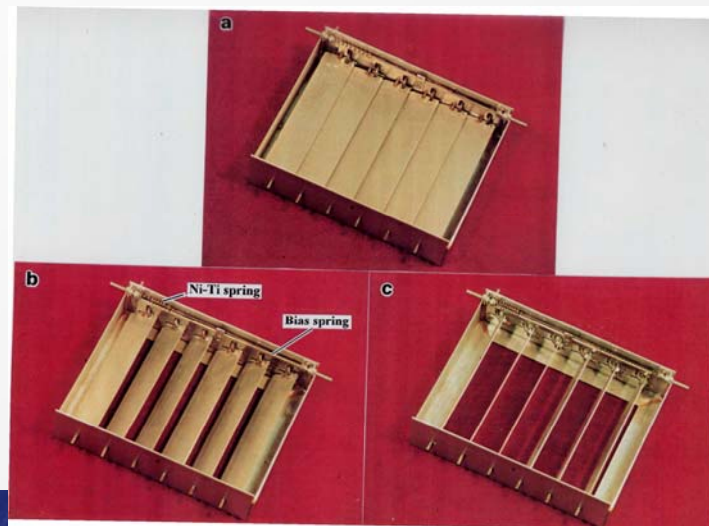
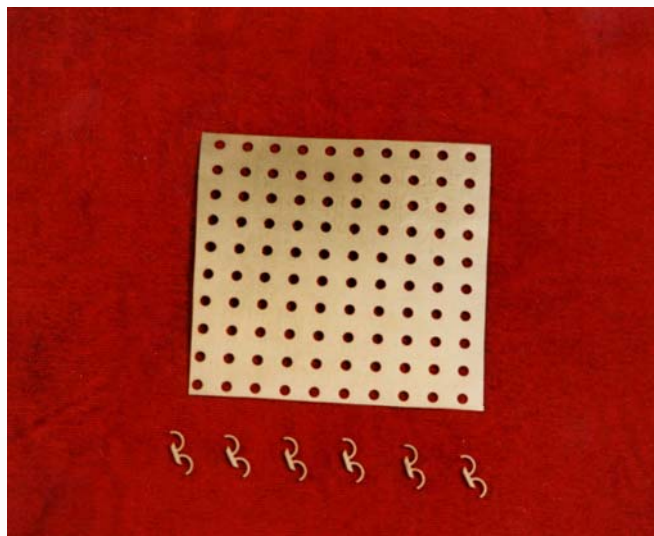


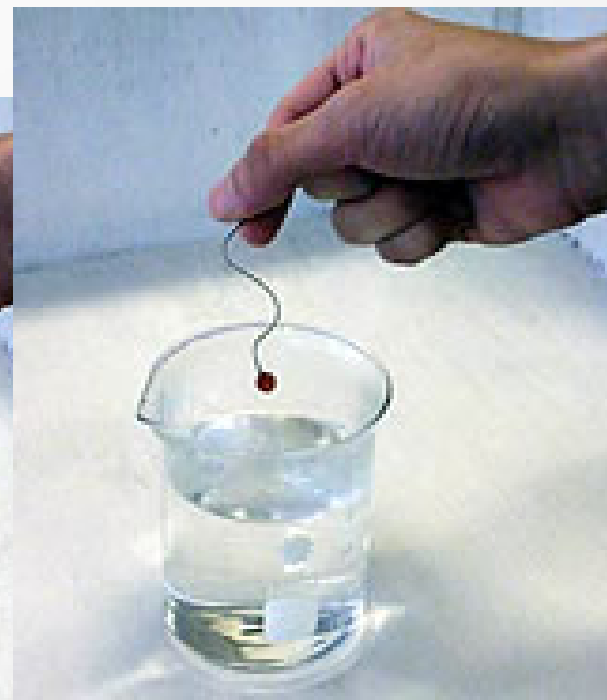
铌酸锂 铌酸锂单晶及单晶片

压电晶体  
光电晶体



# 形状记忆合金





(a) 原始形状

(b) 拉 直

(c) 加热后恢复

形状记忆效应简易演示实验

## 4) 按材料的应用分类

电子材料、电工材料、光学材料、感光材料  
耐蚀材料、研磨材料、耐火材料、建筑材料  
结构材料、包装材料等。

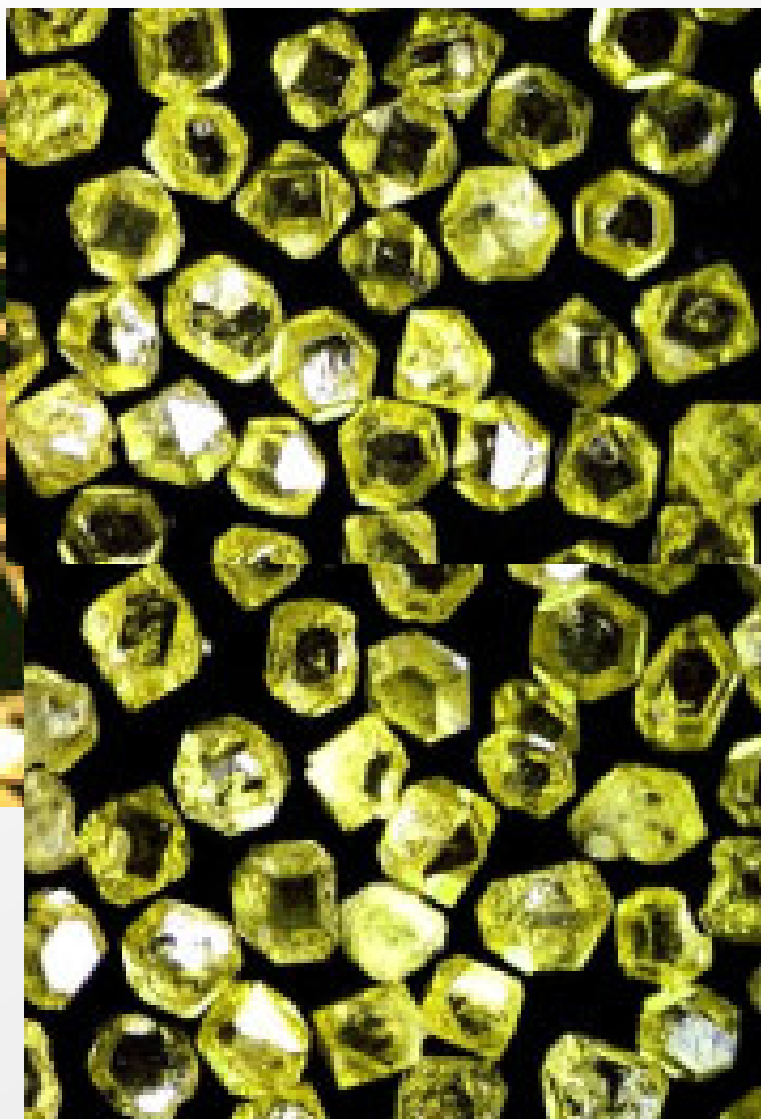
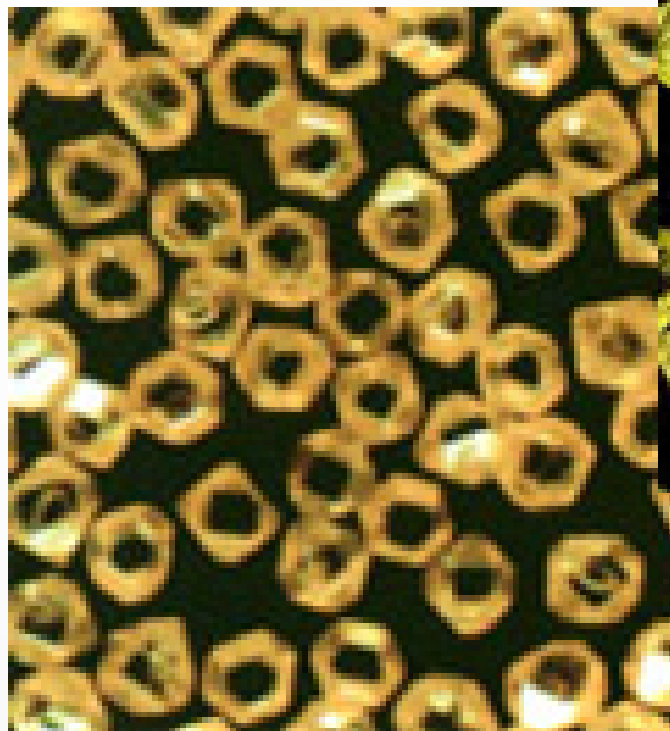


## 建筑材料

## 5) 按材料的结晶状态分类

- 单晶材料：由一个比较完整的晶粒构成的材料，单晶纤维、单晶硅；
- 多晶材料：由许多晶粒组成的材料，其性能与晶大小、晶界的性质有密切的关系。
- 非晶态材料：由原子或分子排列远程无序的固体材料，如玻璃、高分子材料。



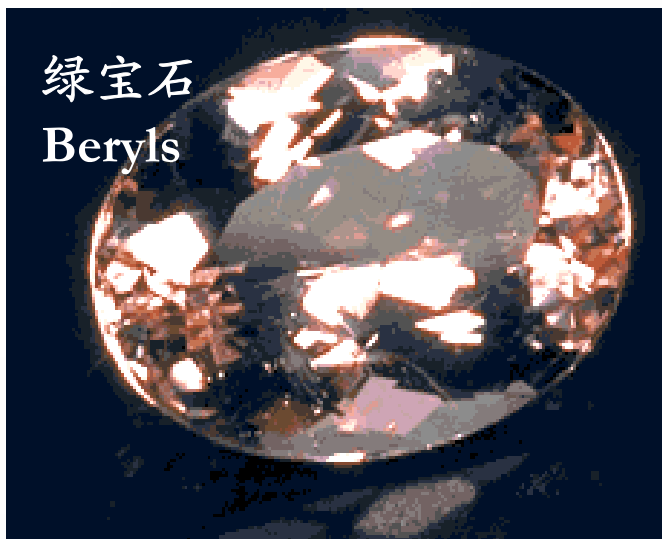


单晶金刚石

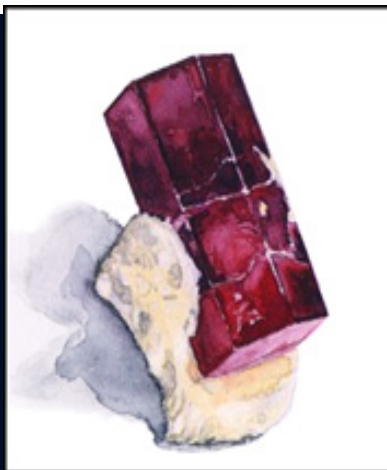


南京工业大学

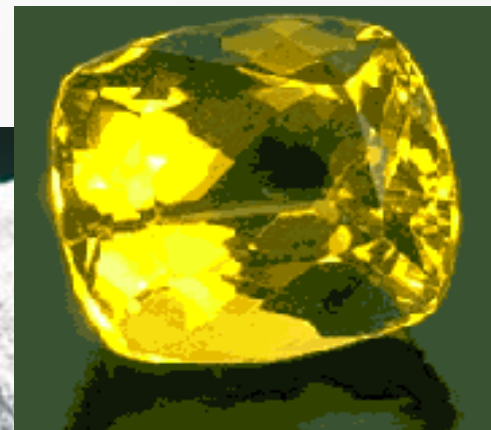
绿宝石  
Beryls



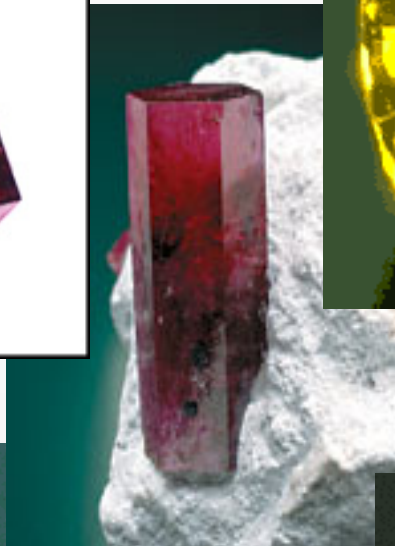
红绿柱石



金绿柱石  
Heliodor



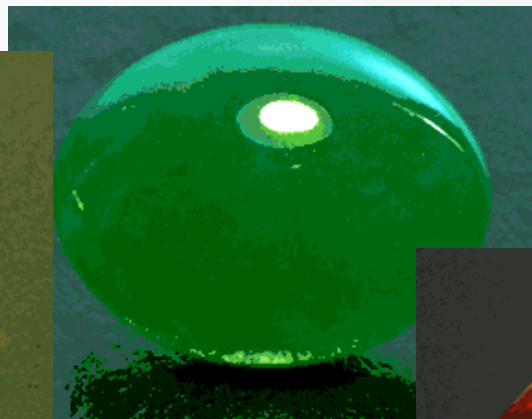
黄玉 Topaz



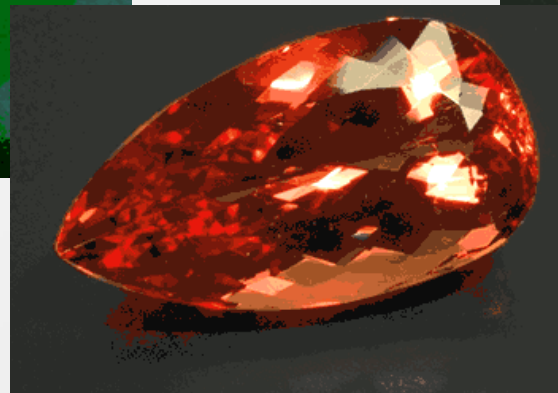
尖晶石 Spinel



玉石 Jade



红宝石 Ruby



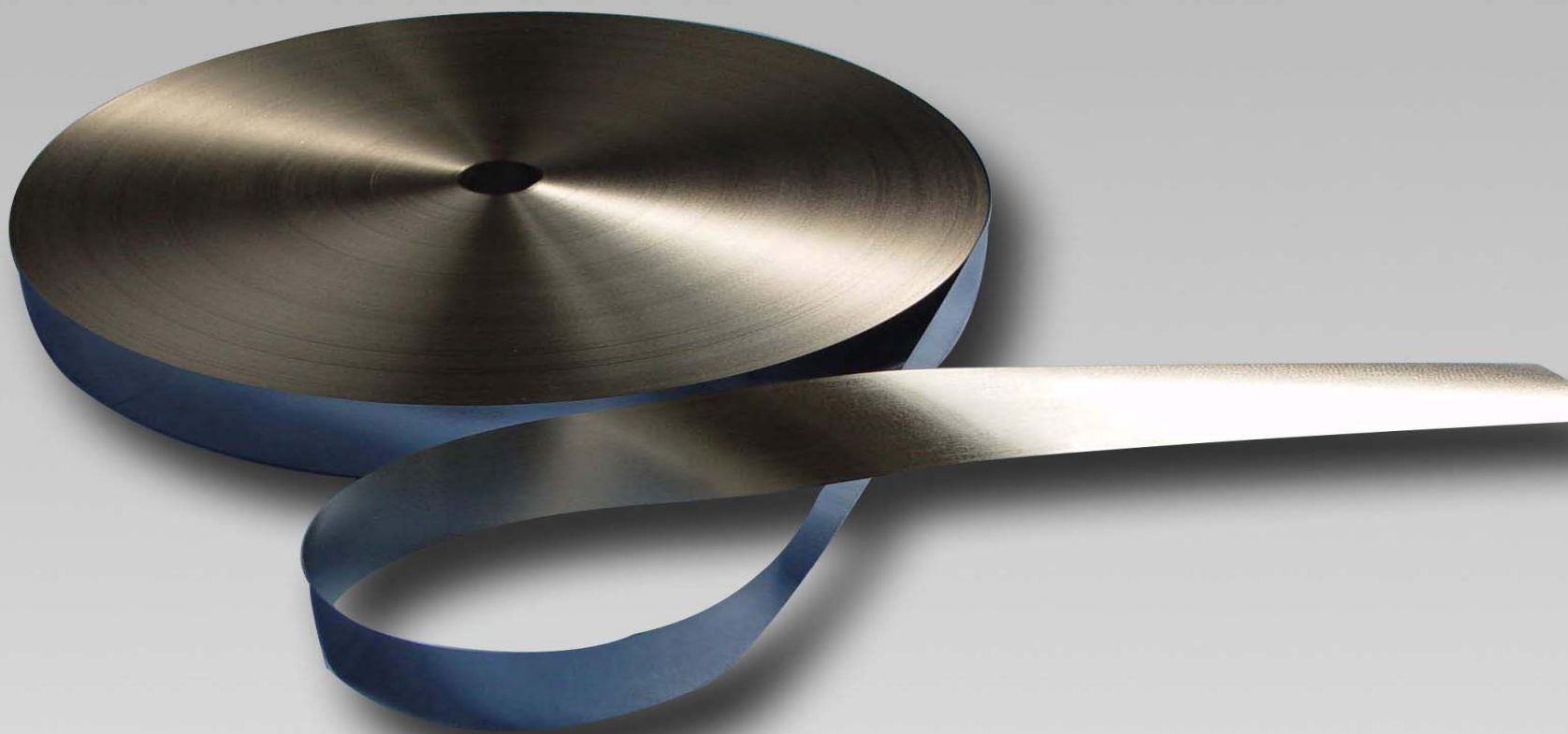
# 液晶





## 6) 按材料的尺寸分类

- 零维材料 即超微粒子大小1—100nm的超微粒
- 一维材料 光导纤维、碳纤维、硼纤维、陶瓷纤维。晶须强度和刚度最高。
- 二维材料 金刚石薄膜、高温超导薄膜、半导体薄膜
- 三维材料 块状材料。

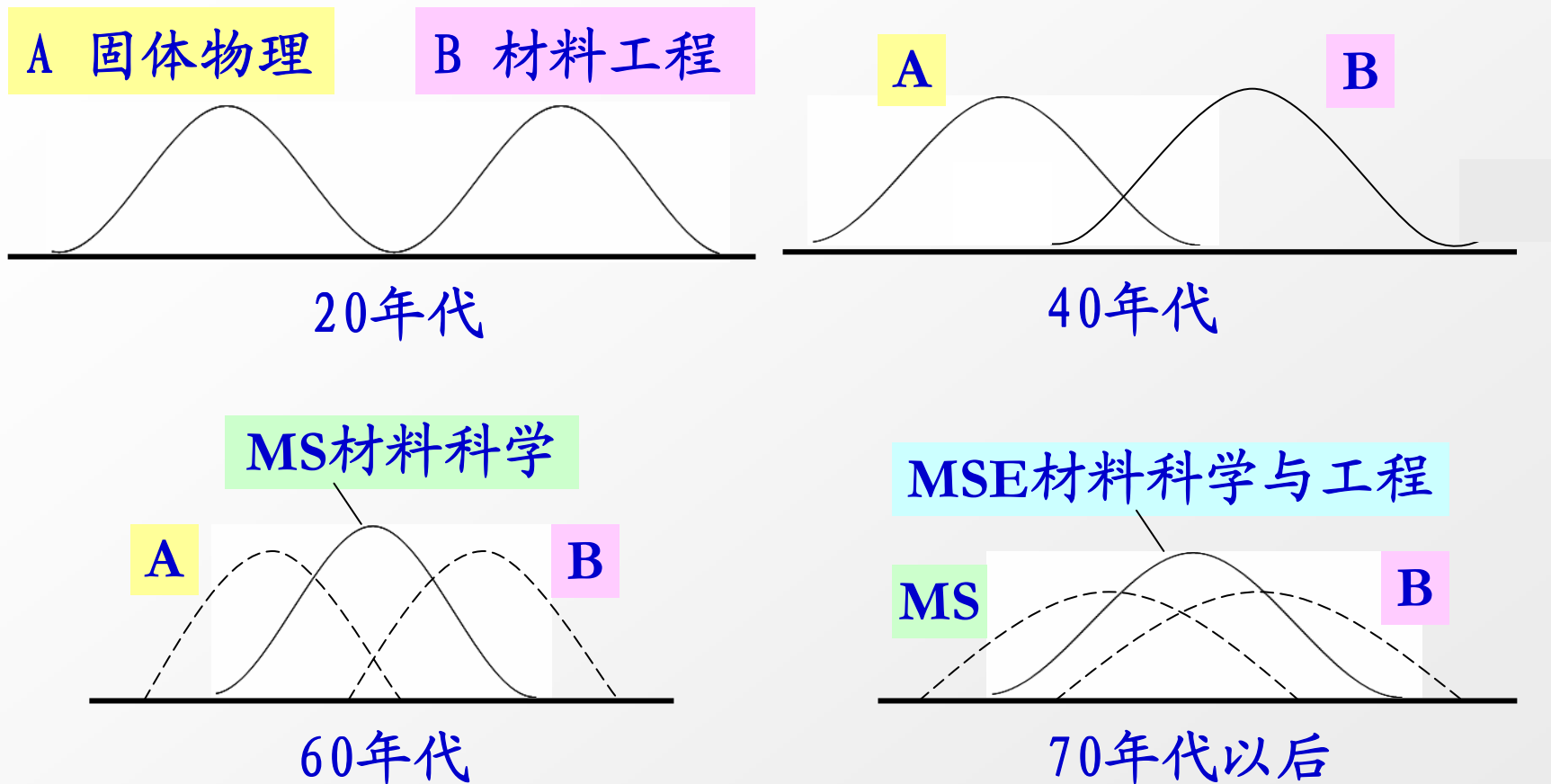


铁基纳米晶带材

## 4. 材料科学与工程

- 材料科学与工程是关于材料成分、结构、工艺和它们性能与应用之间有关知识开发和应用的科学。它是一个多学科的交叉领域，是从科学到工程的一个专业连续领域。
- 材料科学专注于理解材料成分、结构、工艺和它们性能之间的关系。
- 材料工程则着重于将物质或原料转变成具有适当结构、满足使用性能要求的材料——材料化过程。

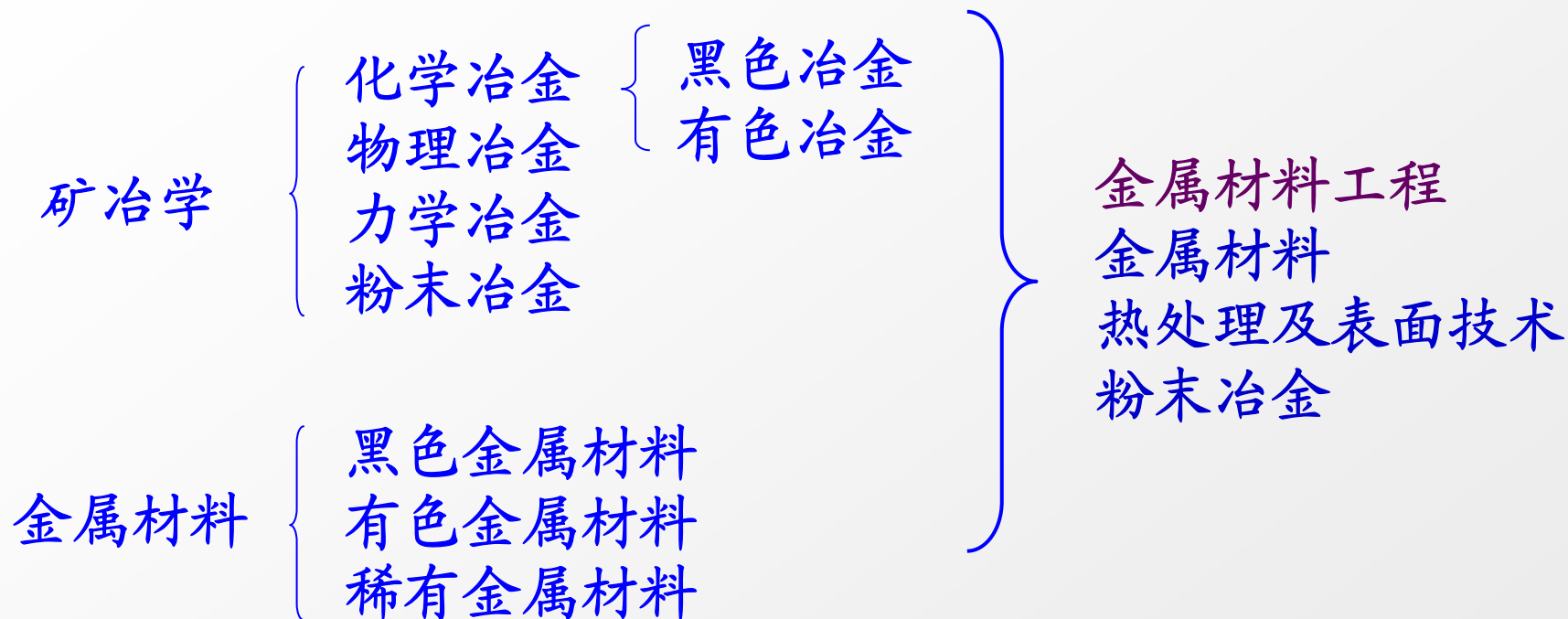
# 材料科学与工程（MSE）的形成



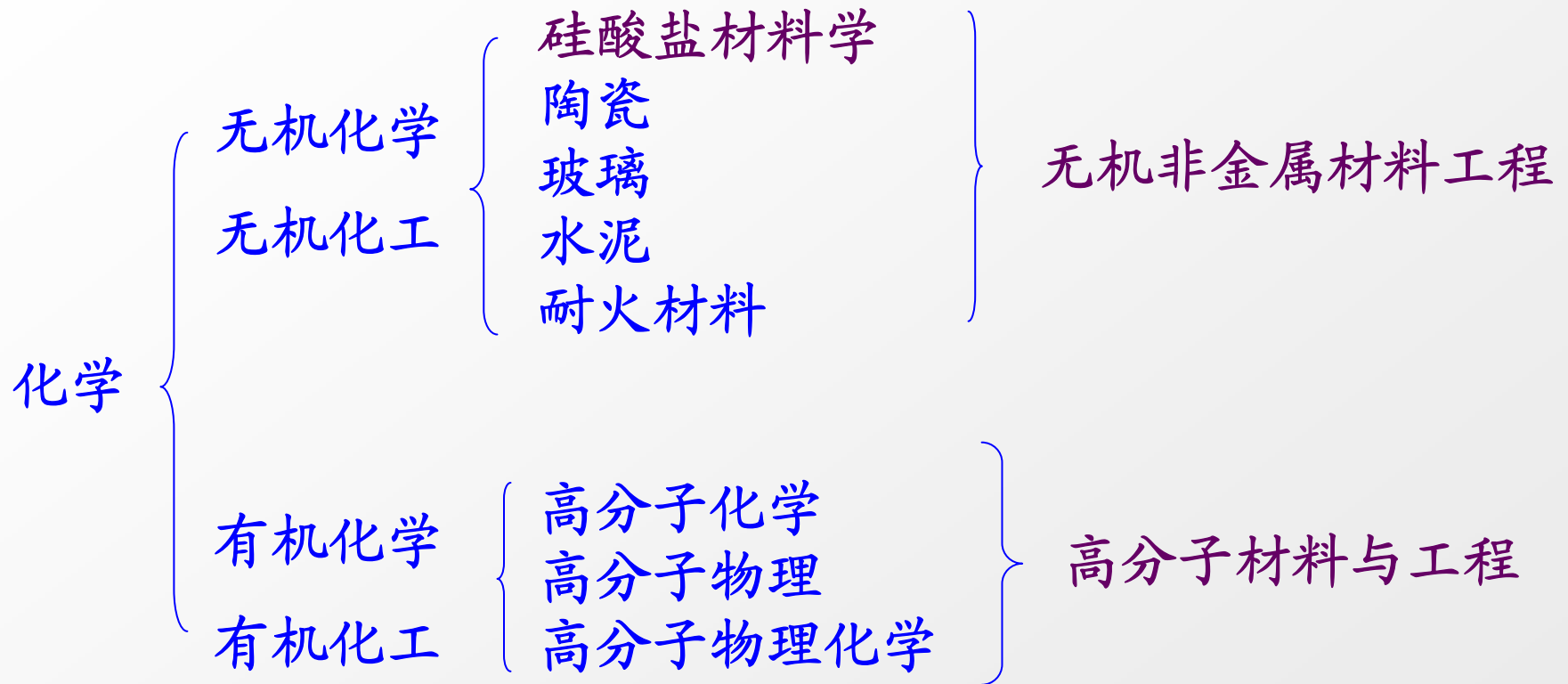
- MSE是多学科性的交叉学科。



# 材料学科的细分化到综合（一）



# 材料学科的细分化到综合（二）



# 材料学科的细分化到综合（三）

金属材料  
无机非金属材料  
高分子材料  
材料力学

} 复合材料与工程

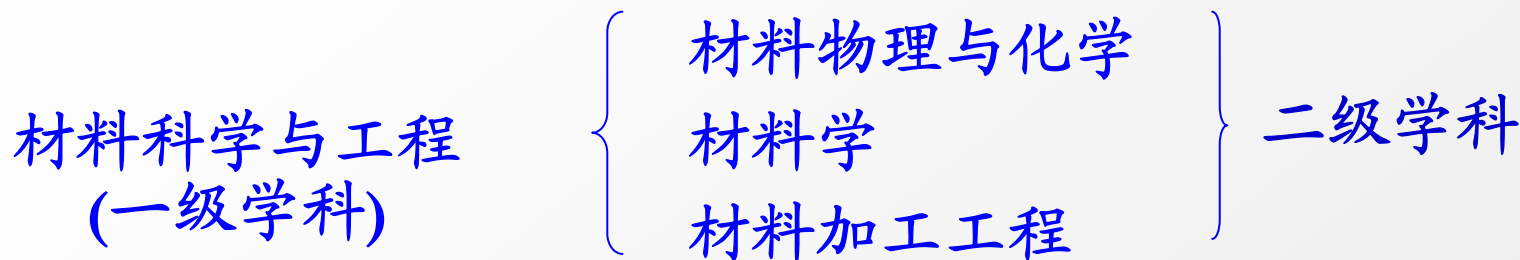
无机化学  
固态化学

} 材料化学

金属物理  
固体物理

} 材料物理

# 全材料科学的形成



- 材料科学与工程学科以数学、力学及物理、化学  
自然科学为基础，以工程学科为服务和支撑对  
象，是一个理工结合、多学科交叉的新兴学科，  
其研究领域涉及自然科学、应用科学和工程学。



# 材料物理与化学

- 以理论物理、凝聚态物理和固体化学等为理论基础，应用现代物理与化学研究方法和计算技术，研究材料科学中的物理与化学问题。从电子、原子、分子等层次上着重研究材料的微观组织结构的变化规律，以及它们与材料的各种物理、化学性能之间的关系，并运用这些规律来改进材料性能，研究开发先进材料与器件，发展材料科学的基础理论，探索从基本理论出发进行材料设计，着重现代物理与化学的新概念和新方法在材料研究中的应用。

# 材料学

- 研究材料的组成、结构、工艺、性质和使用性能之间的相互关系，致力于材料的性能优化、工艺优化及材料的开发与合理应用。
- 是应用性比较强的应用基础学科，其研究既要探讨材料的普遍规律，又要有重要的工程价值。研究的范围包括金属材料、无机非金属材料、高分子材料和复合材料。
- 材料学及其发展不仅与揭示材料本质和演化规律的材料物理与化学有关，而且和提供材料工程技术的材料加工过程学科有密切的关系。

# 材料加工工程

- 是研究控制材料的外部形状和内部组织结构，以及将材料加工成人类社会所需求的各种零部件及成品的应用技术的学科。
- 其研究范围包括金属材料、无机非金属材料、高分子材料和复合材料等，主要研究这些材料的外部形状和内部组织结构形成规律，材料加工的先进技术和相关工程问题，材料的再循环技术，加工工程的自动化、智能化及集成化，材料加工工程的质量检测与控制，材料加工工程模拟仿真，材料加工的模具和关键设备的设计与改进。

# 材料学科的交叉和渗透

物理、化学、力学、热力学、动力学+金属材料 → 物理冶金

金属学 → 金属物理学

断裂物理、断裂化学

物理化学向无机和有机材料

无机材料化学、高分子物理学

三大材料的固体物理学、固体化学、

材料科学

- 三大材料  
金属位错理论解释陶瓷的形变、高温强度与蠕变和断裂行为。

- 基础学  
Griffith裂纹强度理论

- 各材料科学学科交叉  
粉末冶金 → 金属陶瓷术  
塑料压延成型来自于金属板材轧制成型

- 在制造技术

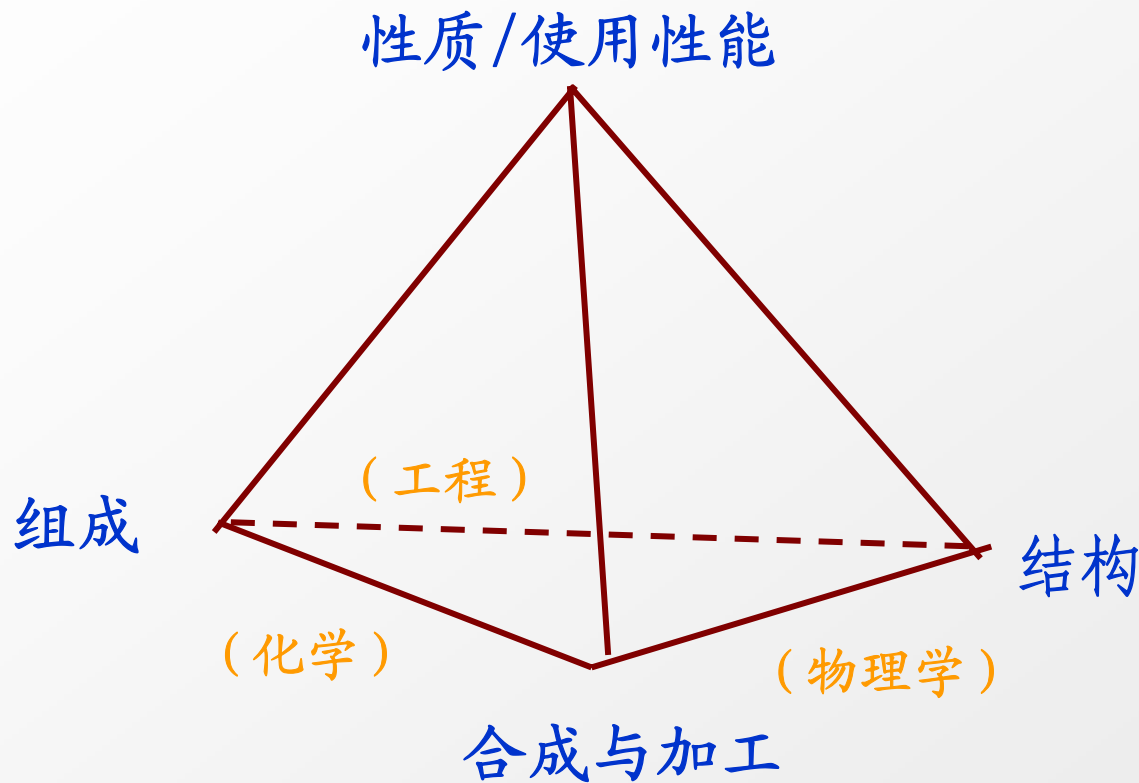
- 新技术在各

如等离子技术在冶金工业、金属材料焊接、表面化学热处理、气相沉积、高分子和无机非金属材料等领域得到广泛应用。



- 各类材料互相交叉、渗透、移植、借鉴，已融合而成为具有共同的理论基础、相近的测试技术和基础技术的一门新的综合科学——材料科学与工程。

# 材料科学与工程的四要素



- 探索这四个要素之间的关系，涵盖从基础学科到工程的全部内容。

# 组成与结构

化学组成：构成材料的元素组成

晶 体：原子排列长程有序，有周期

非晶体：原子排列短程有序，无周期

# 合成与加工

- **合成** 是指把各种原子或分子结合起来，制成材料所采用的各种化学方法和物理方法。
- **加工** 是指材料制造。包括传统的冶炼、熔融、制粉、成型、锻、焊接等，也包括新发展的真空溅射、气相沉积等新工艺。
- **合成是新技术开发的关键性要素、人造材料的唯一实现途径**

# 性能

**材料的性质** 是指材料对电、磁、光、热、机械载荷的反应，主要决定于材料的组成与结构

**力学性质** 强度、硬度、钢度、塑性、韧性

**物理性质** 电学性质、磁学性质、光学性质、热学性质

**化学性质** 催化性质、防腐性质



# 使用性能

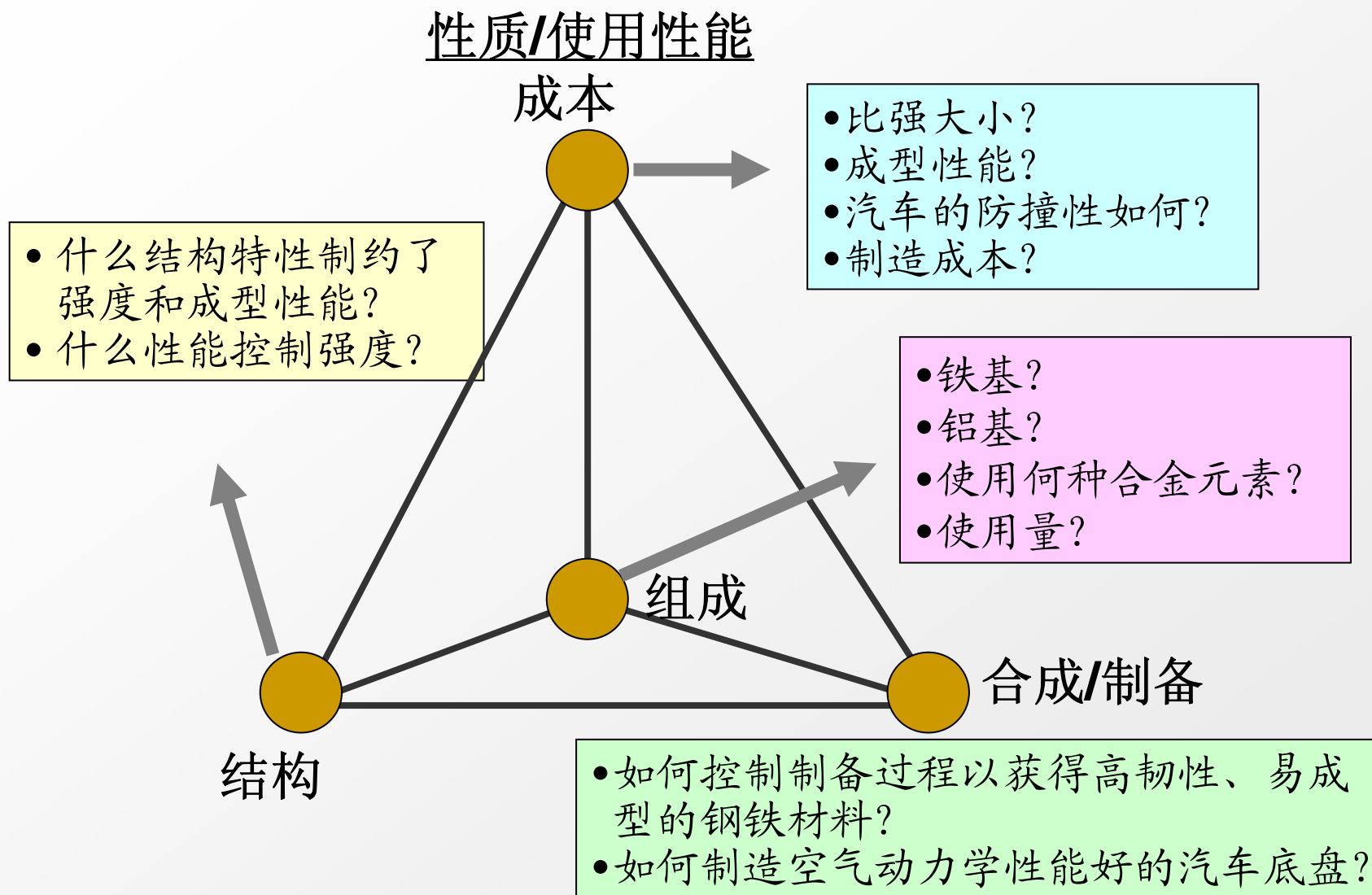
材料在使用状态下表现的行为。

它与材料设计、工程环境密切相关。

包括可靠性、耐用度、寿命、性能价格比、

安全性的各种性能指标。

# 例一、汽车底盘材料

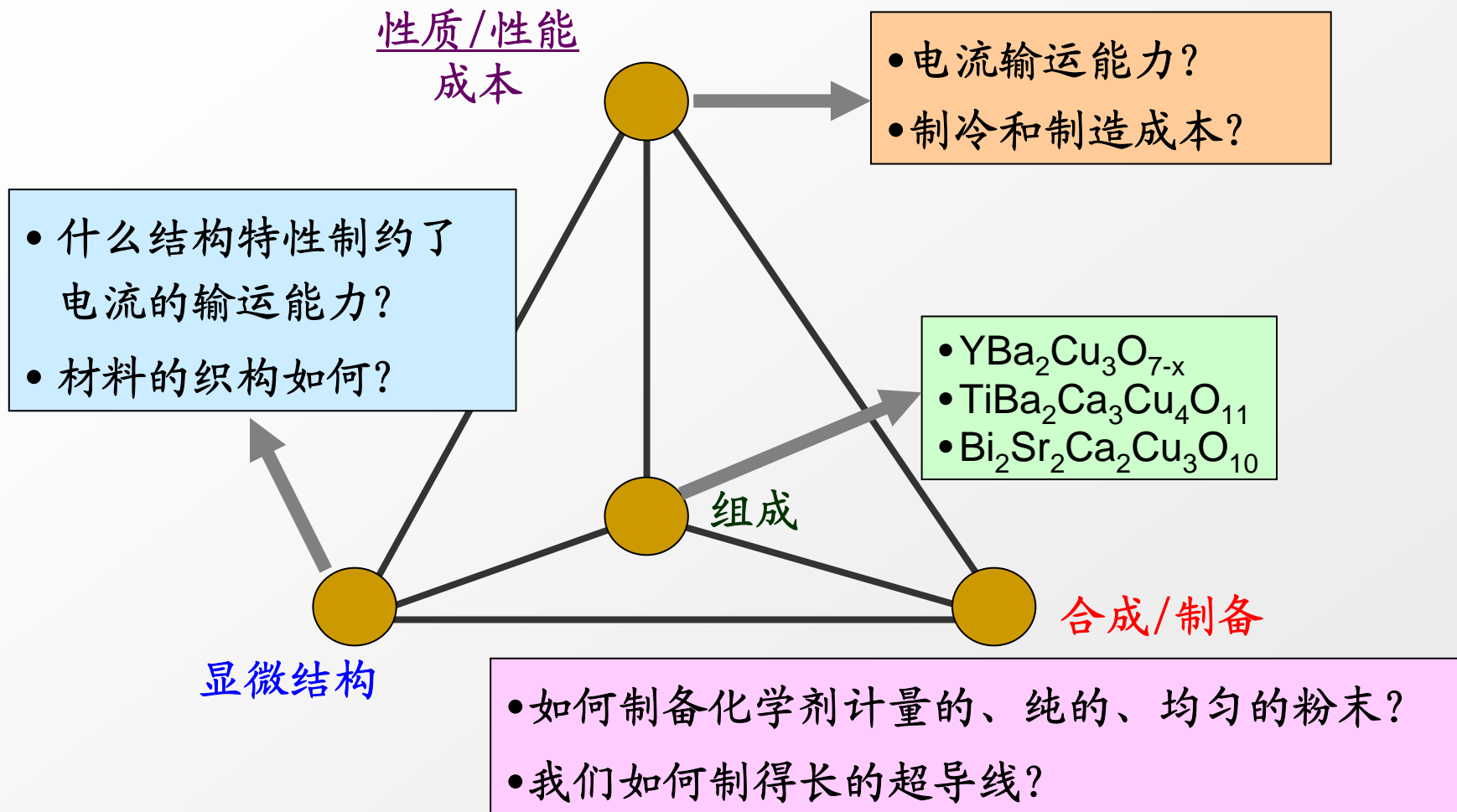


## ■ 制备汽车底盘的材料要求:

- 1) 具有极高的强度，但易于成型，以制造出满足空气动力学要求的外形轮廓；
- 2) 考虑到能耗，钢板必须薄而轻；
- 3) 为增加汽车的安全性，在撞车情况下钢板还必须能够吸收大量的能量。

- 需考虑：成分、强度、重量、能量吸收性能以及延展性
- 材料科学家需从显微结构上检验钢材，以确定该材料是否满足上述要求；同时还需采用低成本的制造方法。
- 在材料选择和设计过程中还必须考虑：成型过程是否影响钢材的力学性能？采用何种涂层可更好地提高钢的抗腐蚀性能？这种钢材是否易于焊接？等等。

## 例二、高温超导体



## 组成-合成/制备-结构-性质/性能

- 无机非金属材料通常是电绝缘体.
- 钇钡铜氧 ( Yttrium barium copper oxides - YBCO) 在一定条件下为零电阻而可以导电, 其导电的主要条件是在低温下 ( $<150\text{K}$ ).
- 那么, 如何在高温下保持材料的超导性能呢?
- 如何来长距离传输大电流呢?
- 采用何种低成本的方法制备可靠的、重复性能好的超导导线呢?
- 陶瓷超导体通常是脆性的, 制备长导线是一个挑战, 对材料的制备技术提出了新的要求。目前的解决途径是首先制备中空银导线, 再将超导粉体装入其中, 然后拉伸成导线。

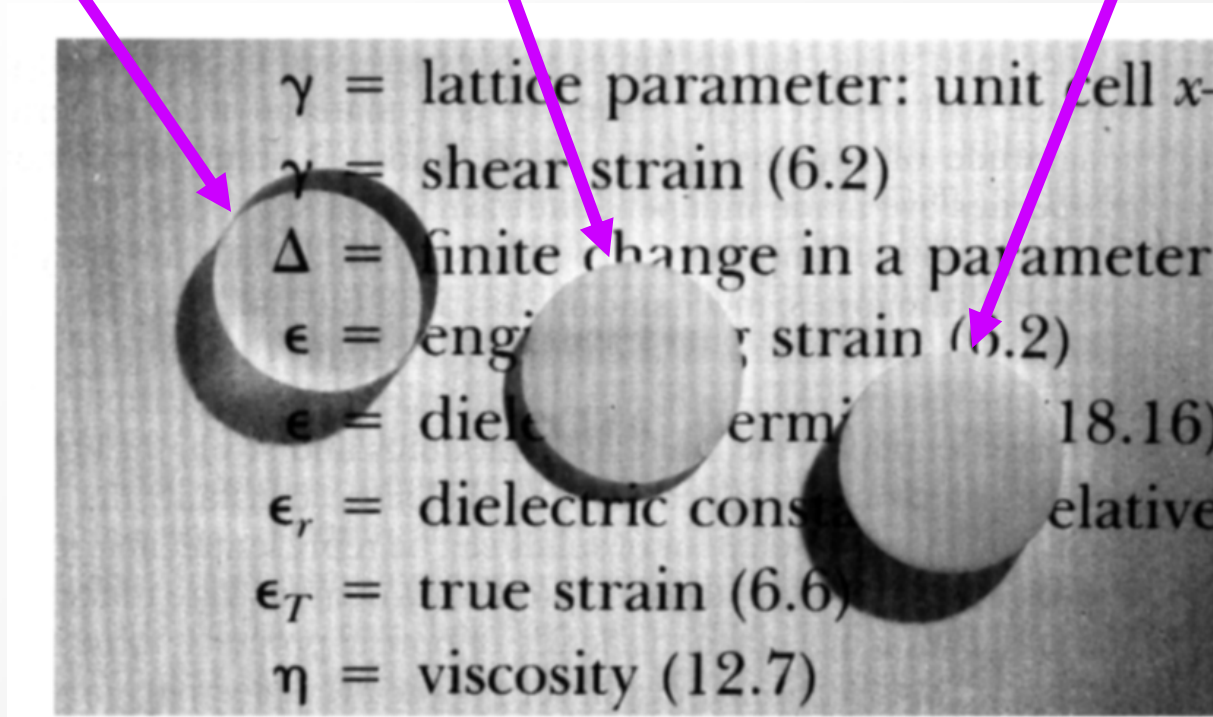


### 例三、三种不同的氧化铝材料

单晶

多晶、低孔隙率

多晶、高孔隙率



制备加工过程对产品性能的影响

## 5. 环境及其它影响材料的因素

- 材料设计及选用时需考虑温度、循环应力、突然撞击、以及腐蚀和氧化等环境因素的影响。
- **温度：**温度的猛然变化会改变材料的性能。

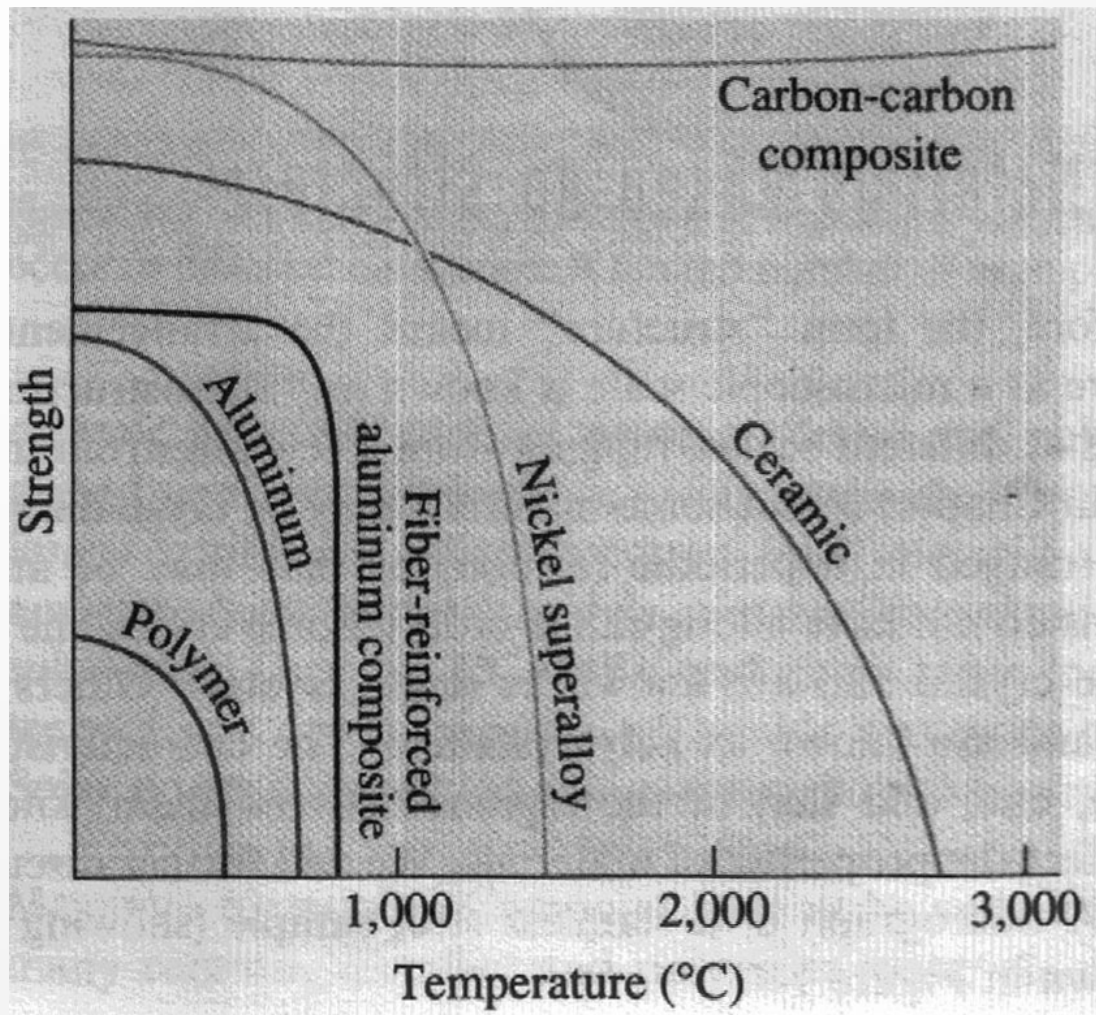
金属材料在高温下  
突然失去强度



- 极低温条件下，金属材料和高分子材料亦发生脆化。这就是Titanic号破裂和沉没的原因；1986“挑战者”号载人航天飞机失事的部分原因也是由于橡胶O圈的脆化。



# 材料强度随温度的变化



- **腐蚀:** 大多数金属和高分子材料与氧气和其它气体均会发生反应, 尤其是在较高温度下。材料也会受腐蚀性液体的侵蚀而永久损坏。在材料选择时需考虑其使用条件, 并采用涂层以防止上述反应的发生。如航空、航天材料的选择需考虑射线、臭氧的影响、以及空间碎片的撞击。
- **疲劳损伤:** 当材料在使用过程中经历反复的加载和卸载, 其内部微裂纹扩展而导致的材料损伤称为疲劳损伤。这在设计材料部件的载荷量时, 需考虑该因素。



- **应变速率**：材料选择和应用中，也应考虑应变速率。如silly Putty是一种硅橡胶，当被缓慢拉伸，可以变形很大，而被快速拉伸时，则很容易破裂。很多金属也有此现象。
- 在大多数情况下，温度、循环疲劳、应力和腐蚀是互相相关的。材料除受到上述因素影响外，还受到其它自然环境的影响，需根据材料使用的具体环境进行选择和处理。

## 材料的选择

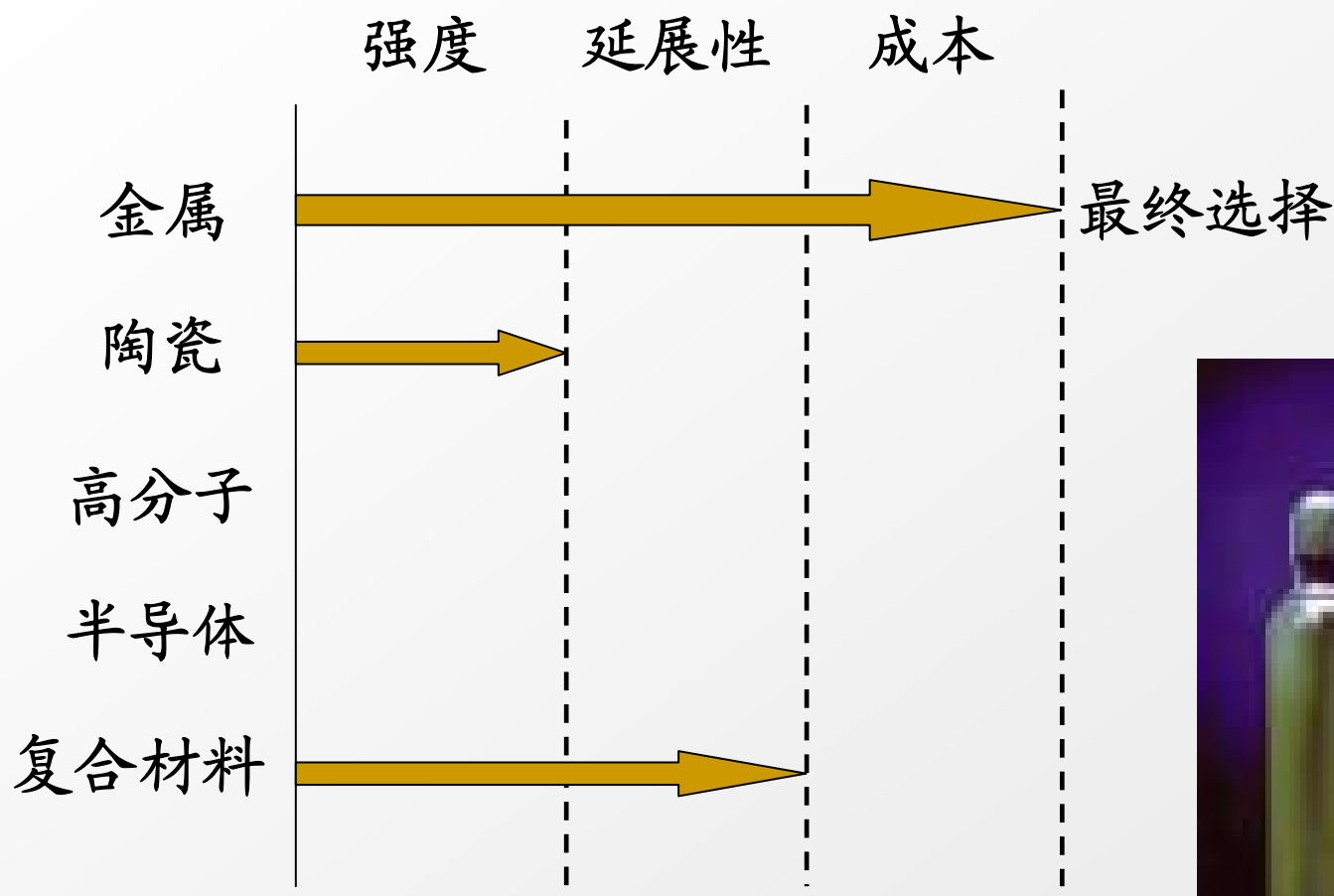
- 何种材料是恰当的？金属、陶瓷、高分子、复合材料？
- 具有满足性能的可选择材料。
- 例一、液体容器的选择
- 可选材料：玻璃杯、陶瓷杯（土陶、炻器、瓷器等）、金属（贵金属金、银等、不锈钢）、木杯、纸杯、塑料杯（硬塑料、泡沫塑料）等。

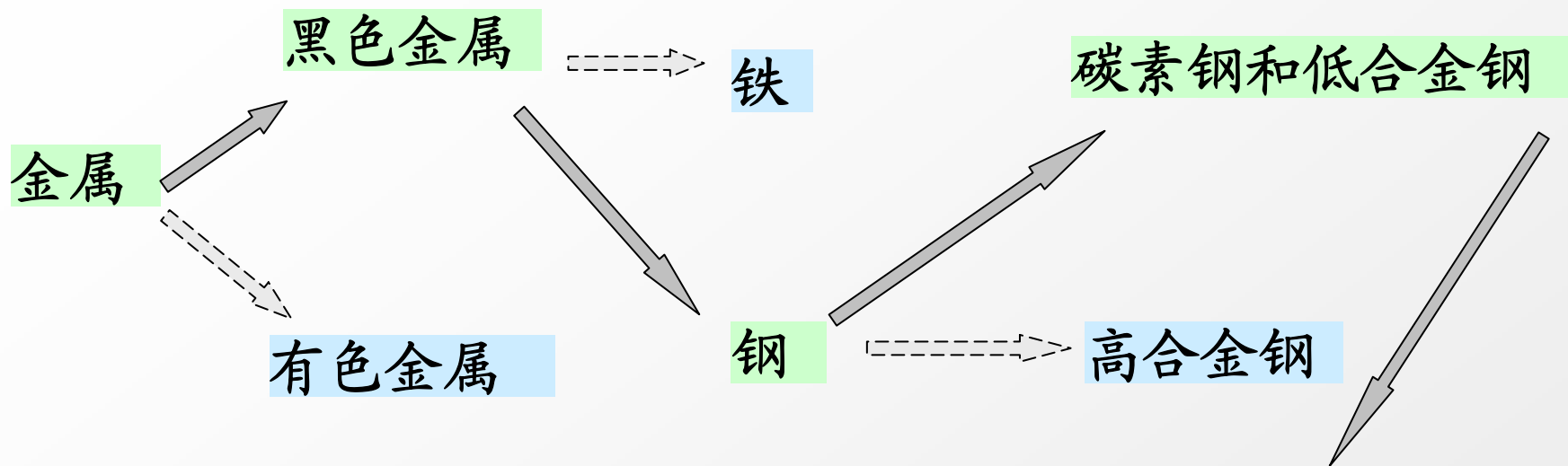


- 此外，还需考虑其它一些因素：
- **成本**
- **使用寿命**（一次性使用还是多次使用？）
- **耐久性**（边缘是否易损？可否经得起机器洗涤？色彩保持程度如何？）
- **外观**（是否具有装饰价值？色彩如何？等）
- **盛装何种液体**（热的还是冷的？是否具有腐蚀性等）
- 综合考虑可选材料的这些因素是材料工程师的任务，而开发新材料，扩展可选材料品种是材料科学家的工作。



## 例二、高压气体容器材料的选择(14MPa)





**ASTM A 414 - Grade G**  
=Iron +0.31 wt% C max  
+1.35 wt% Mn max  
+0.035 wt% P max  
+0.04 wt% S max



# 材料的选择与使用需考虑下列因素

- 所使用材料的主要功能和结构;
- 材料本身的性能: 强度、耐磨性、抗腐蚀性、导电、导热性能等;
- 材料的制造性能;
- 材料与环境的关系;
- 成本;
- 材料的循环利用等.

---

The End!

---