

Semiconductor Physics

(半导体物理学)

曹丙强

济南大学材料科学与工程学院

2019年秋季学期



绪论（1）

《半导体物理》课程简介

第一节

Syllabus

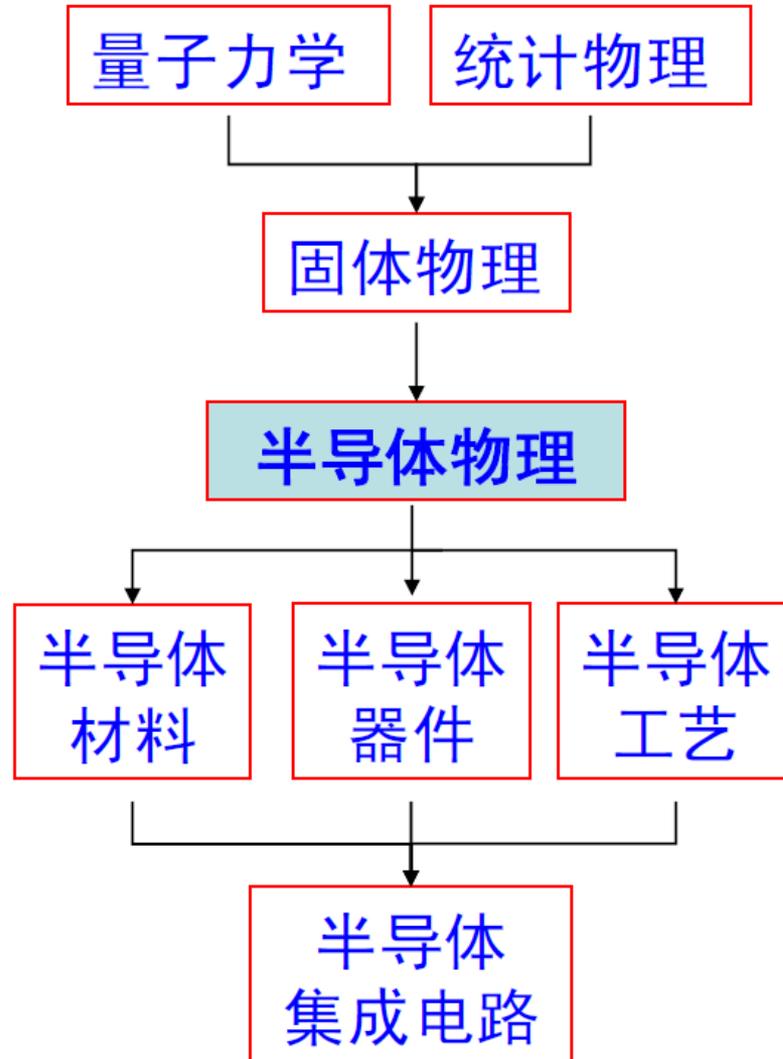
- 针对工科材料专业本科生的基础课
- 讲授半导体材料共性的物理基础

- 每周4学时（周一1/2；周四5/6）
- **课前预习+课堂讨论+课后理解**

- 课后理解：作业 + 搜集资料 + 实验(?)

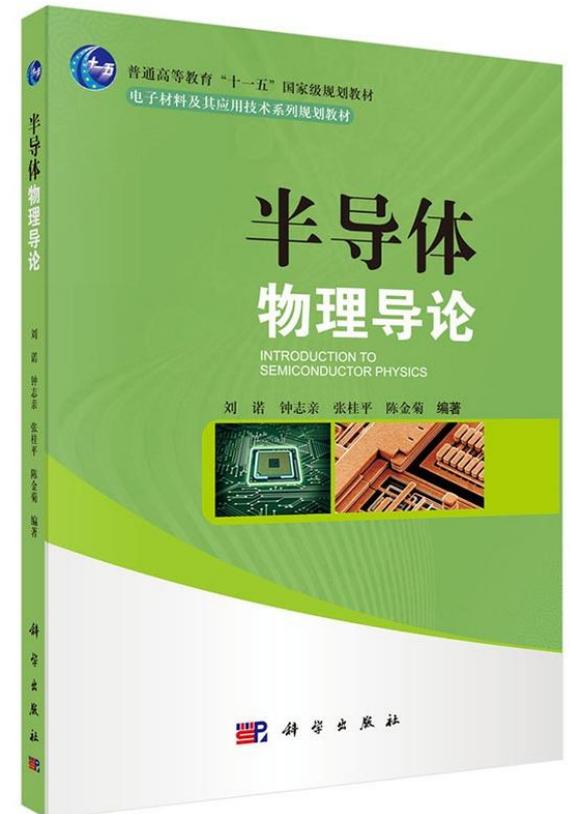
- 教学资料：<http://www.ujncaogroup.org/>

课程简介

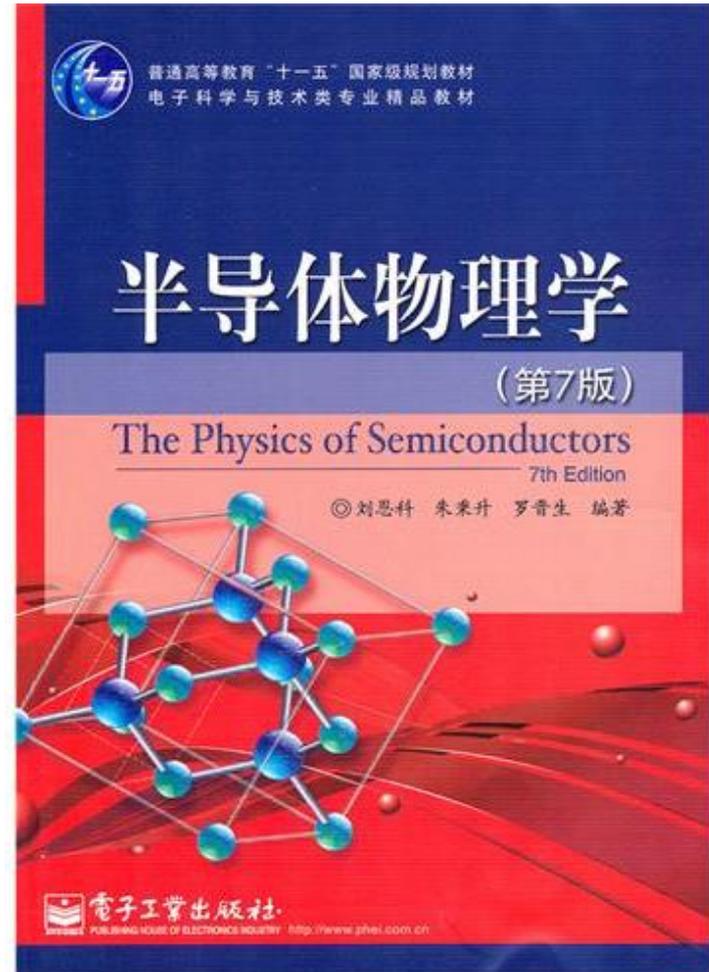
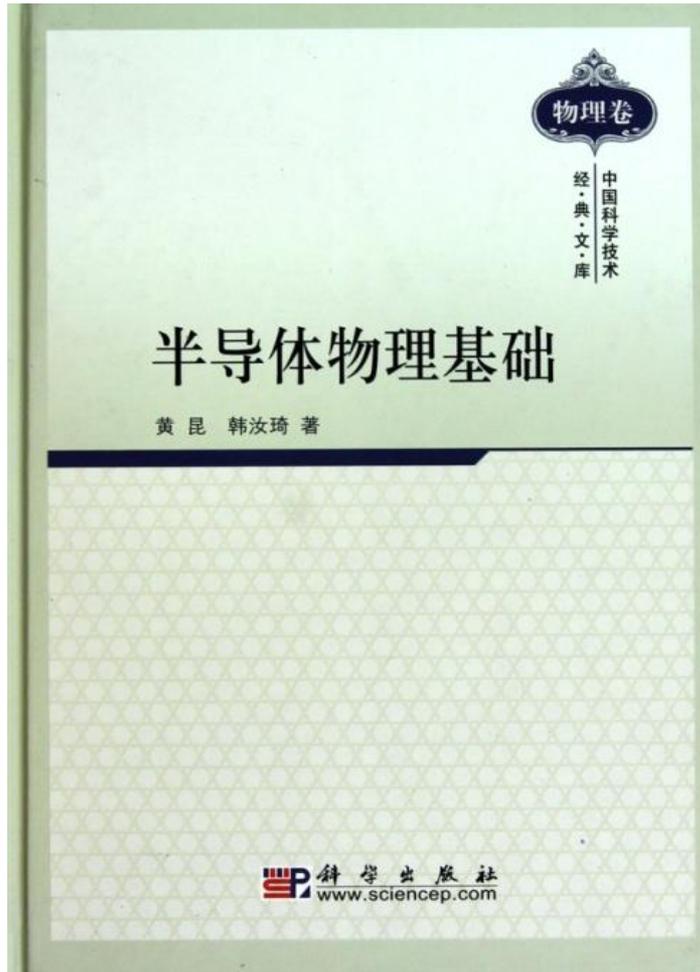


授课计划

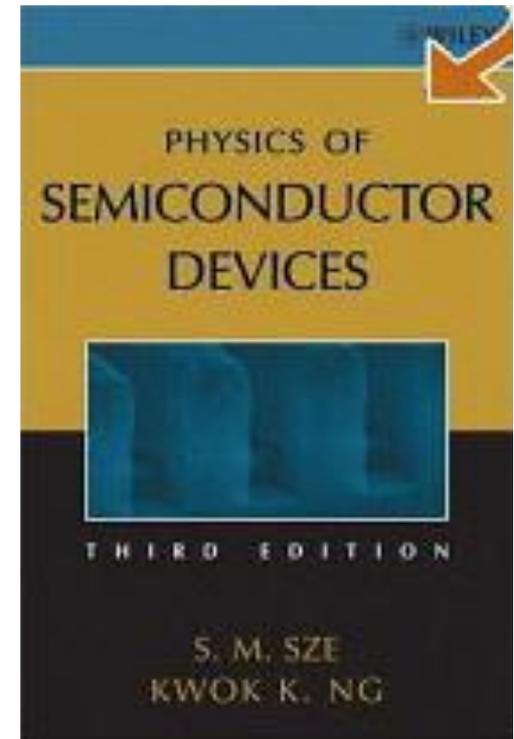
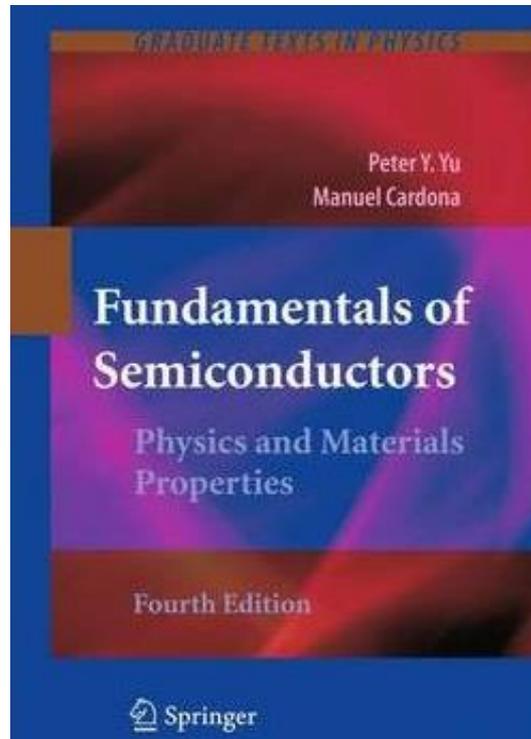
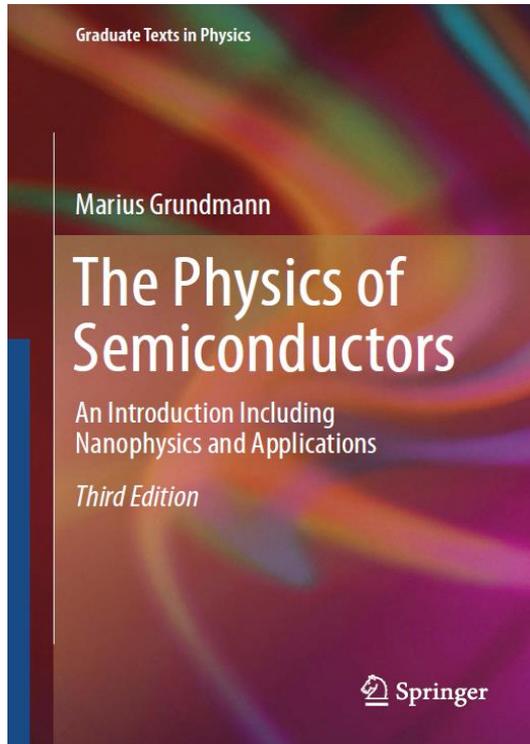
- **主要参考书**：刘诺等《半导体物理导论》，科学出版社，（2014年）
- **主讲老师**：
 - 曹丙强 Ch 1~3 （约12 学时）
 - 杨晓朋 Ch 4~9 （约30 学时）



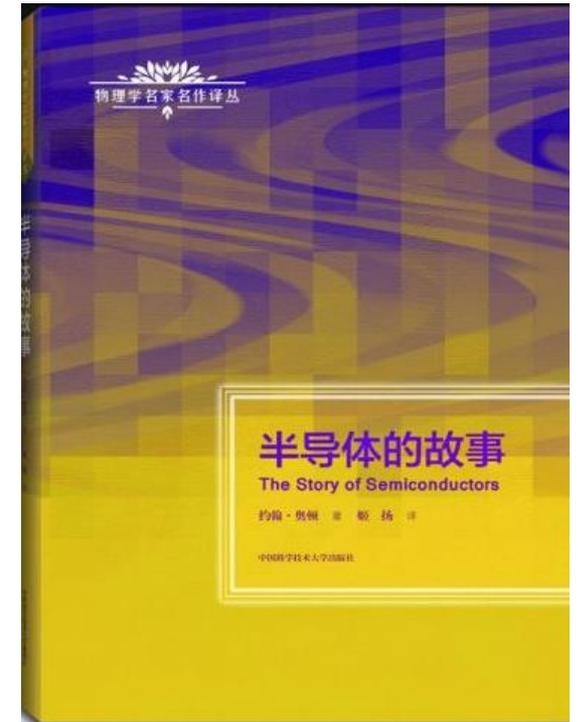
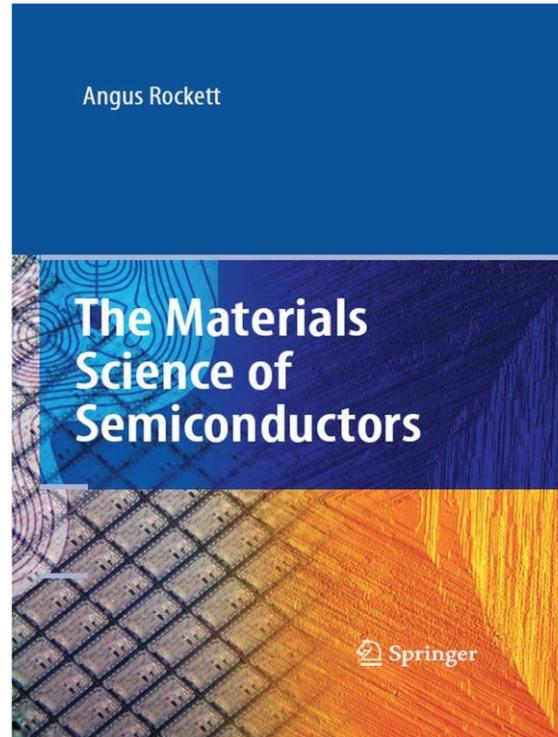
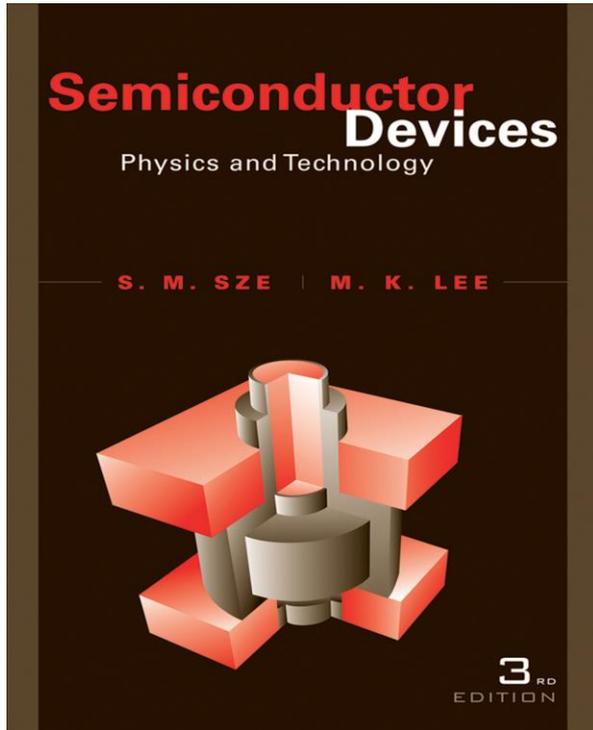
Reference: Textbooks



Reference: Further readings



Reference: Further readings



绪论（一）： 如何从学科、专业、材料的角度 认识《半导体材料物理》

- 学科
- 专业设置
- 材料及分类

学位授予和人才培养学科目录

(2011版)

国务院学位委员会

教育部

二〇一一年三月

7 理学

- 0701 数学
- 0702 物理学**
- 0703 化学
- 0704 天文学
- 0705 地理学
- 0706 大气科学
- 0707 海洋科学
- 0708 地球物理学
- 0709 地质学
- 0710 生物学
- 0711 系统科学
- 0712 科学技术史（分学科，可授理学、工学、农学、医学学位）
- 0713 生态学
- 0714 统计学（可授理学、经济学学位）

理学/工学门类： 开设《半导体物理课程》

- 0801 力学（可授工学、理学学位）
- 0802 机械工程
- 0803 光学工程
- 0804 仪器科学与技术
- 0805 材料科学与工程（可授工学、理学学位）**
- 0806 冶金工程
- 0807 动力工程及工程热物理
- 0808 电气工程
- 0809 电子科学与技术（可授工学、理学学位）**
- 0810 信息与通信工程
- 0811 控制科学与工程
- 0812 计算机科学与技术（可授工学、理学学位）**
- 0813 建筑学
- 0814 土木工程
- 0815 水利工程
- 0816 测绘科学与技术
- 0817 化学工程与技术
- 0818 地质资源与地质工程
- 0819 矿业工程
- 0820 石油与天然气工程
- 0821 纺织科学与工程
- 0822 轻工技术与工程
- 0823 交通运输工程
- 0824 船舶与海洋工程
- 0825 航空宇航科学与技术
- 0826 兵器科学与技术
- 0827 核科学与技术
- 0828 农业工程
- 0829 林业工程
- 0830 环境科学与工程（可授工学、理学、农学学位）
- 0831 生物医学工程（可授工学、理学、医学学位）
- 0832 食品科学与工程（可授工学、农学学位）
- 0833 城乡规划学
- 0834 风景园林学（可授工学、农学学位）
- 0835 软件工程
- 0836 生物工程
- 0837 安全科学与工程
- 0838 公安技术

材料科学与工程的专业设置

- 2012版教育部本科专业目录

0804

材料类

080401

材料科学与工程 ✓

080402

材料物理（注：可授工学或理学学士学位）✓

080403

材料化学（注：可授工学或理学学士学位）

080404

冶金工程

080405

金属材料工程

080406

无机非金属材料工程 ✓

080407

高分子材料与工程

080408

复合材料与工程

特设专业

0804

材料类

080409T

粉体材料科学与工程

080410T

宝石及材料工艺学

080411T

焊接技术与工程

080412T

功能材料 ✓

080413T

纳米材料与技术 ✓

080414T

新能源材料与器件 ✓

◆ 多数专业，绝大部分新兴材料类专业都开设
《半导体材料物理》课程

◆ 济南大学材料专业开设此门课程时间：2014

什么是“物理学”

- **物理学**：有关物质和能量及两者之间相互作用的科学。
- **物理**是研究**物质结构**、**物质相互作用**和**运动规律**的自然科学。
是一门以实验为基础的自然科学，物理学的一个永恒主题是寻找各种序（orders）、对称性（symmetry）和对称破缺（symmetry-breaking）、守恒律（conservation laws）或不变性（invariance）
- $E=mc^2$

什么是“材料科学与工程”

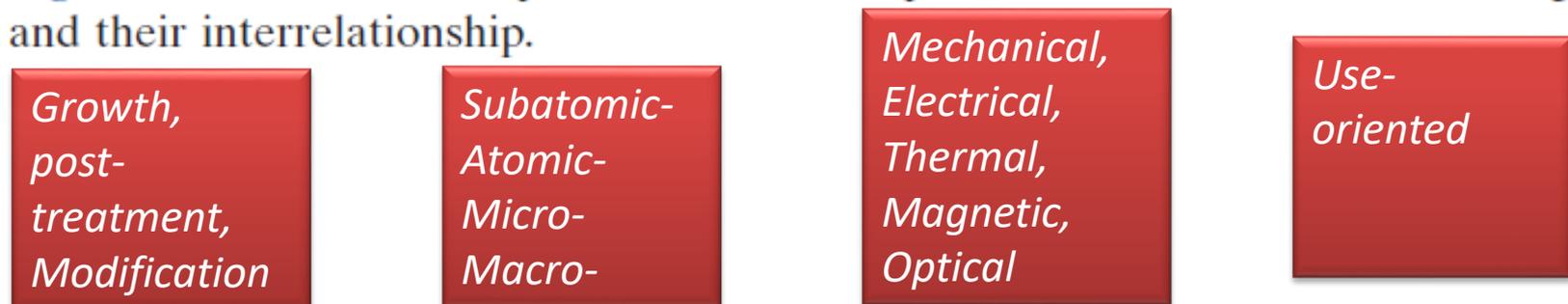
- ▶ **材料科学**和**材料工程**是一个多学科领域，涉及物质的性质及其在各个科学和工程领域的应用。
- ▶ 它是研究材料的**制备或加工工艺**、**材料的微观结构**与**材料宏观性能**三者之间的相互关系的科学。
- ▶ 涉及的理论包括固体物理学，材料化学，应用物理和化学，以及化学工程，机械工程，土木工程和电机工程。
- ▶ 与电子工程结合，则衍生出电子材料，与机械结合则衍生出结构材料，与生物学结合则衍生出生物材料等等。随着近年来媒体将注意力大量集中在纳米科学和纳米技术上，材料科学在许多大学被推到了最前沿。

什么是“材料科学与工程”

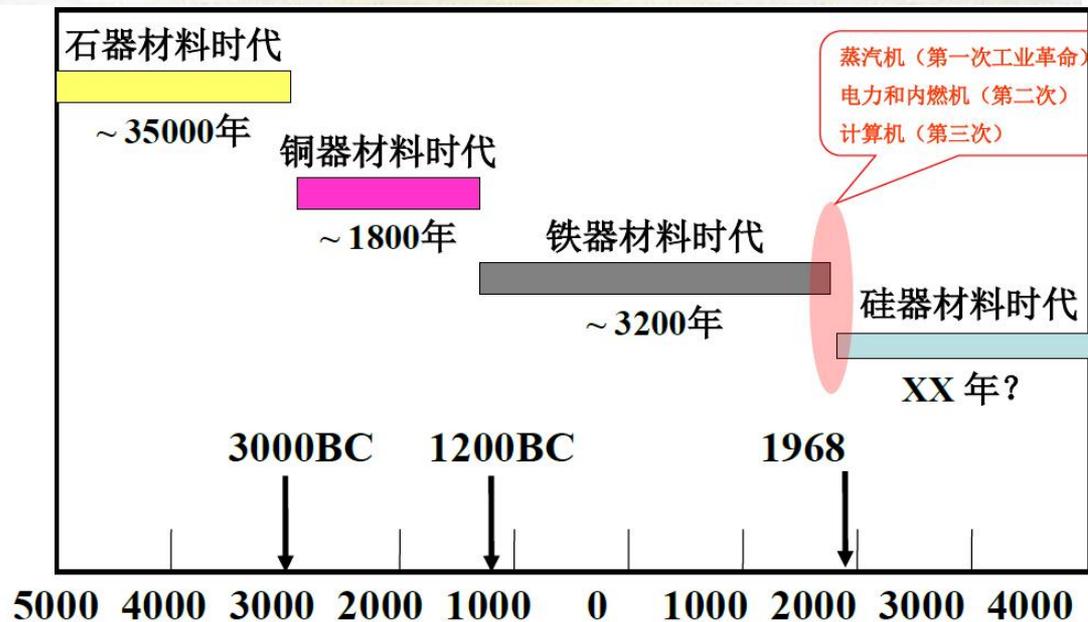
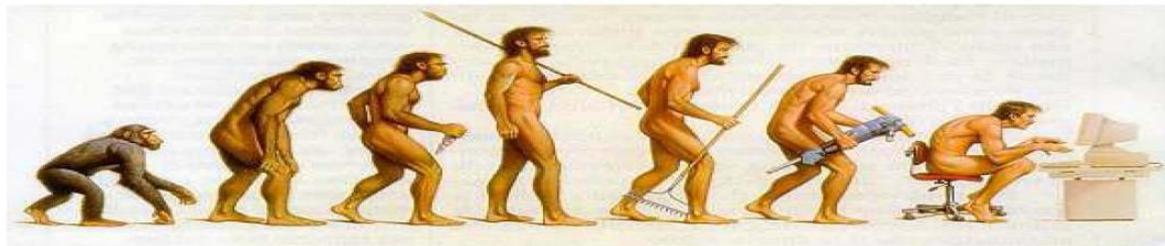
- **materials science** involves investigating the relationships that exist between the structures and properties of materials.
- **materials engineering** is, on the basis of these structure–property correlations, designing or engineering the structure of a material to produce a predetermined set of properties。



Figure 1.1 The four components of the discipline of materials science and engineering and their interrelationship.



什么是『材料』？



材料:

可以用来制造有用物件、构件、器件或其他产品的那些物质。

材料是物质，但不是所有物质都可以称为材料。

材料的分类

➤ 按化学状态分类

[金属材料](#)

无机物非金属材料

([陶瓷材料](#))

有机材料

([高分子材料](#))

➤ 按物理性质分类

[高强度材料](#)

[耐高温材料](#)

[超硬材料](#)

[导电材料](#)

[绝缘材料](#)

[磁性材料](#)

[透光材料](#)

[半导体材料](#)

➤ 按状态分类

[单晶材料](#)

[多晶质材料](#)

[非晶态材料](#)

[准晶态材料](#)

➤ 按物理效应分类

[压电材料](#)

[热电材料](#)

[铁电材料](#)

[光电材料](#)

[电光材料](#)

[声光材料](#)

[磁光材料](#)

➤ 按用途分类

[建筑材料](#)

[结构材料](#)

[研磨材料](#)

[耐火材料](#)

[耐酸材料](#)

[电工材料](#)

[电子材料](#)

[光学材料](#)

[感光材料](#)

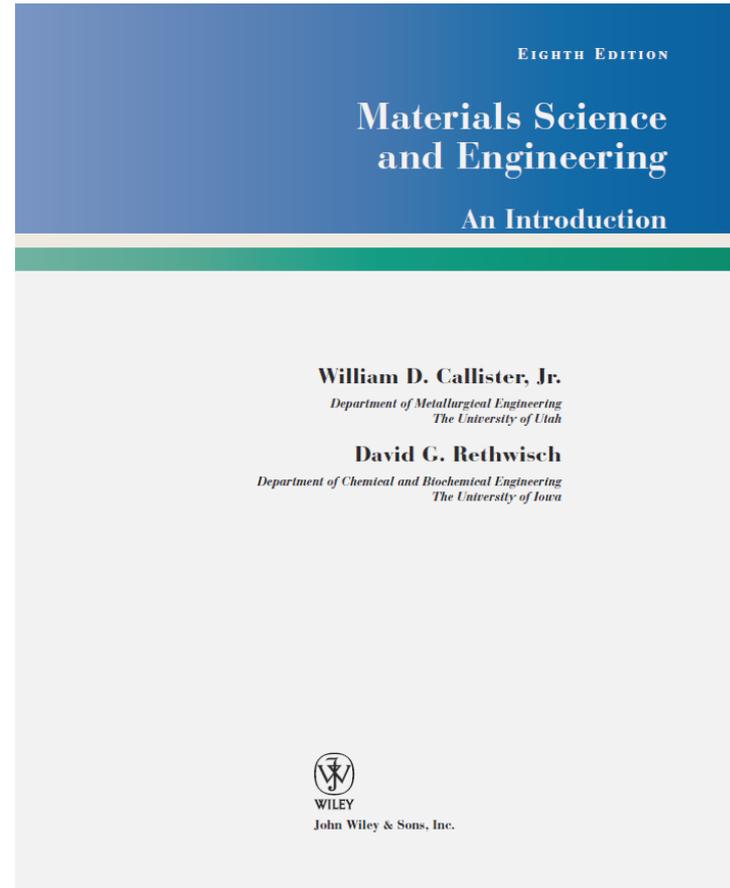
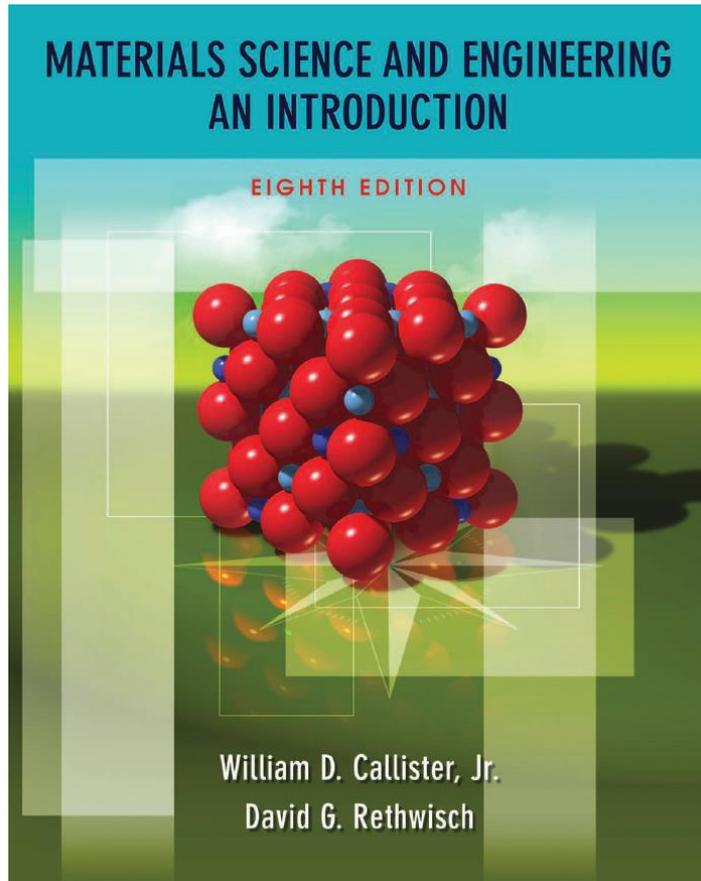
[包装材料](#)

➤ 按组成分类

[单组分材料](#)

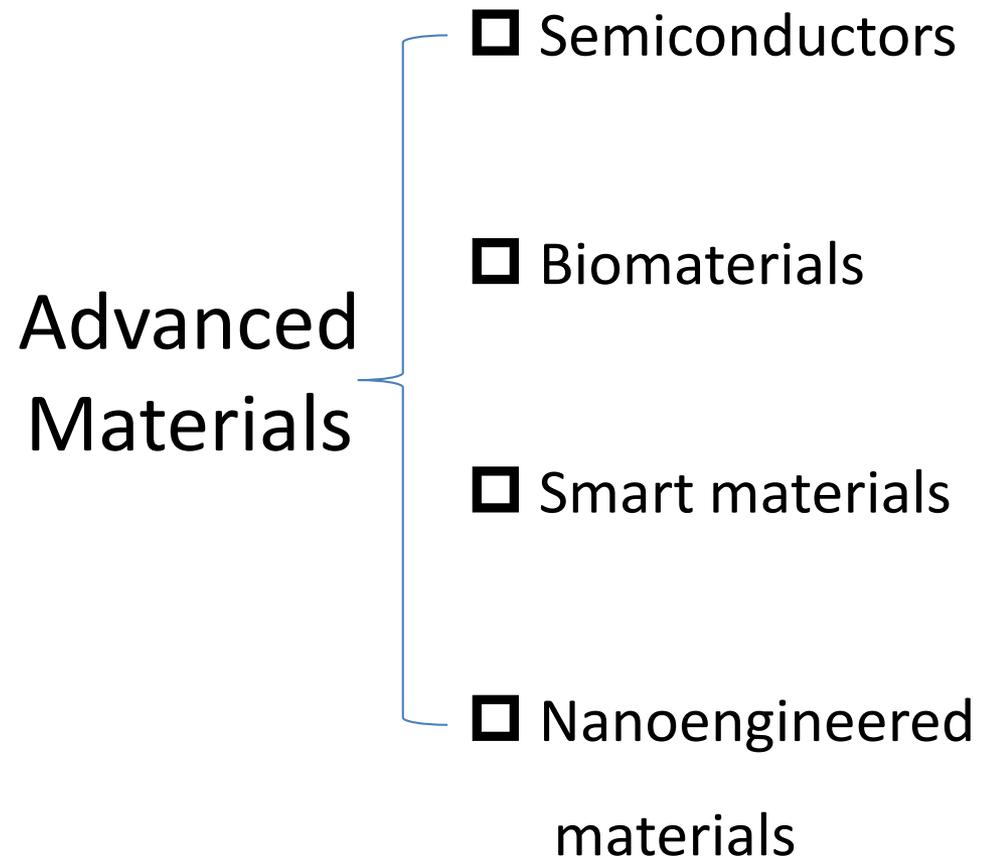
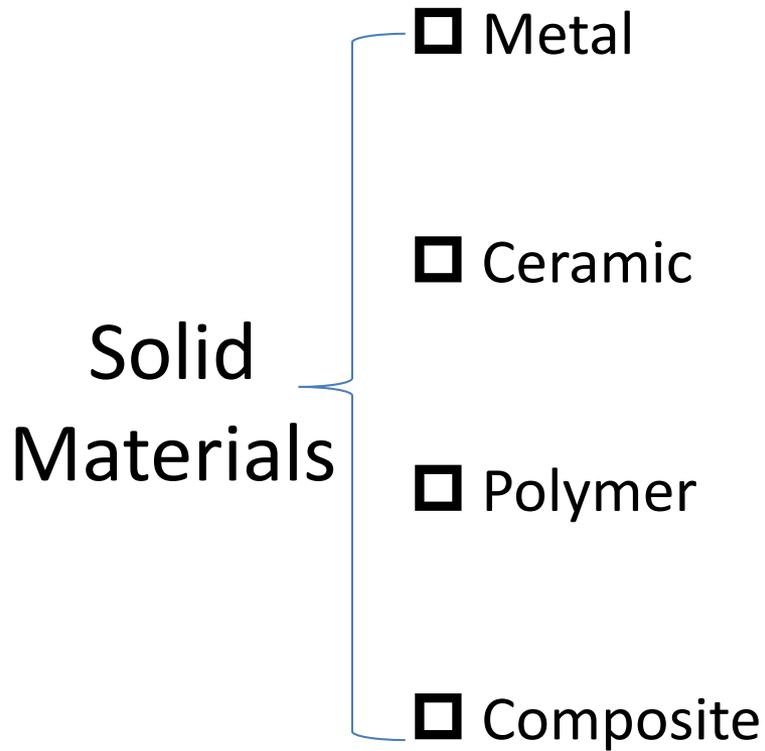
[复合材料](#)

材料的分类

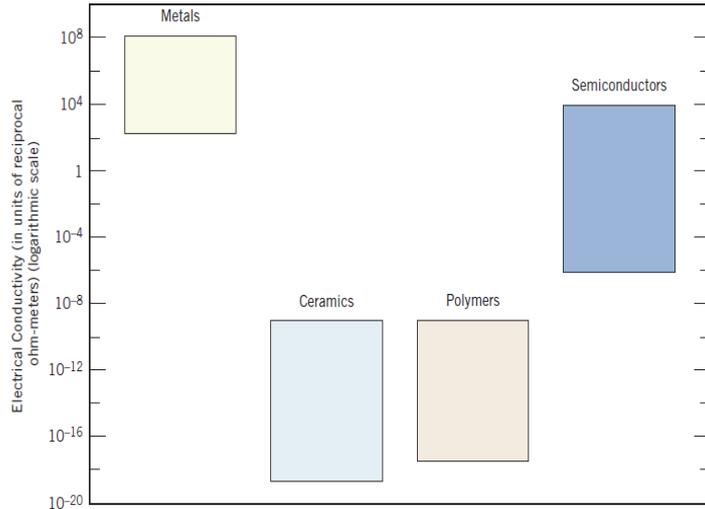


“Bible” of Students majoring in MSE

依据材料的化学组成和原子结构分类

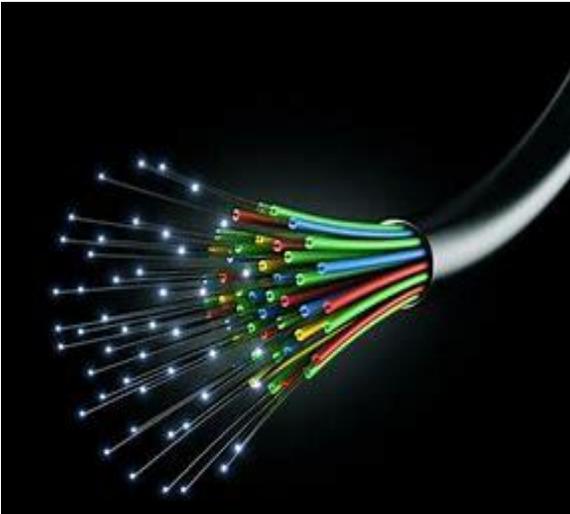
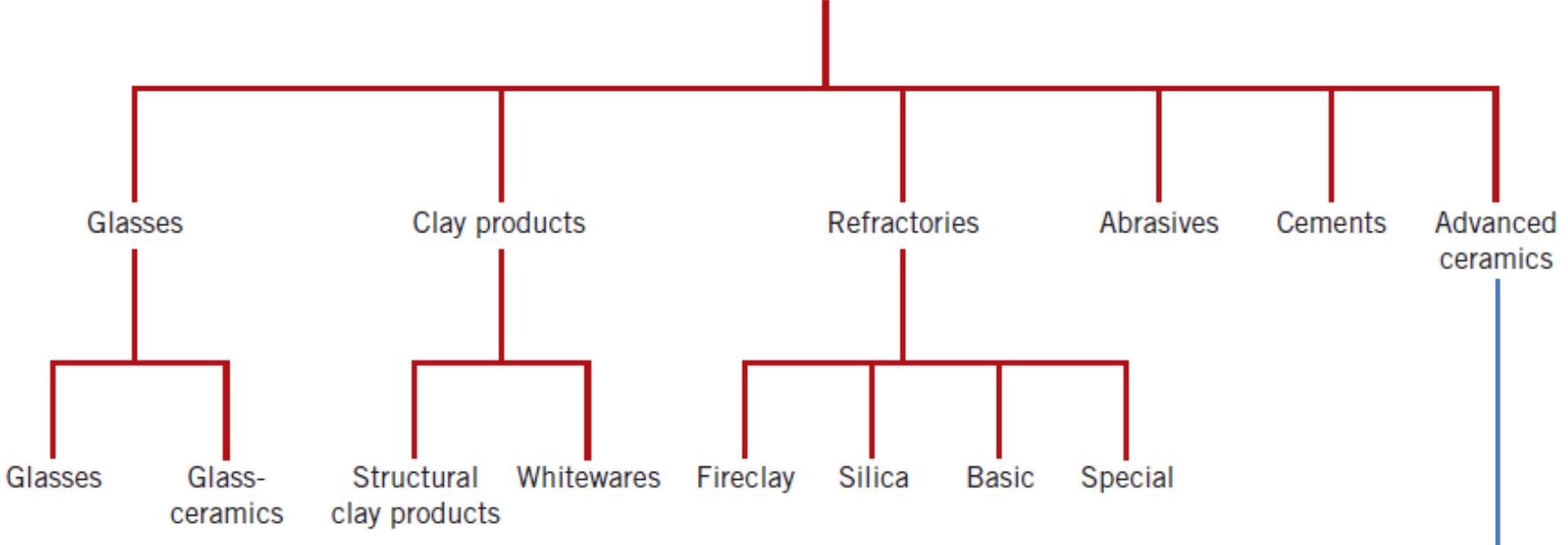


Metals



Ceramics

Ceramic materials



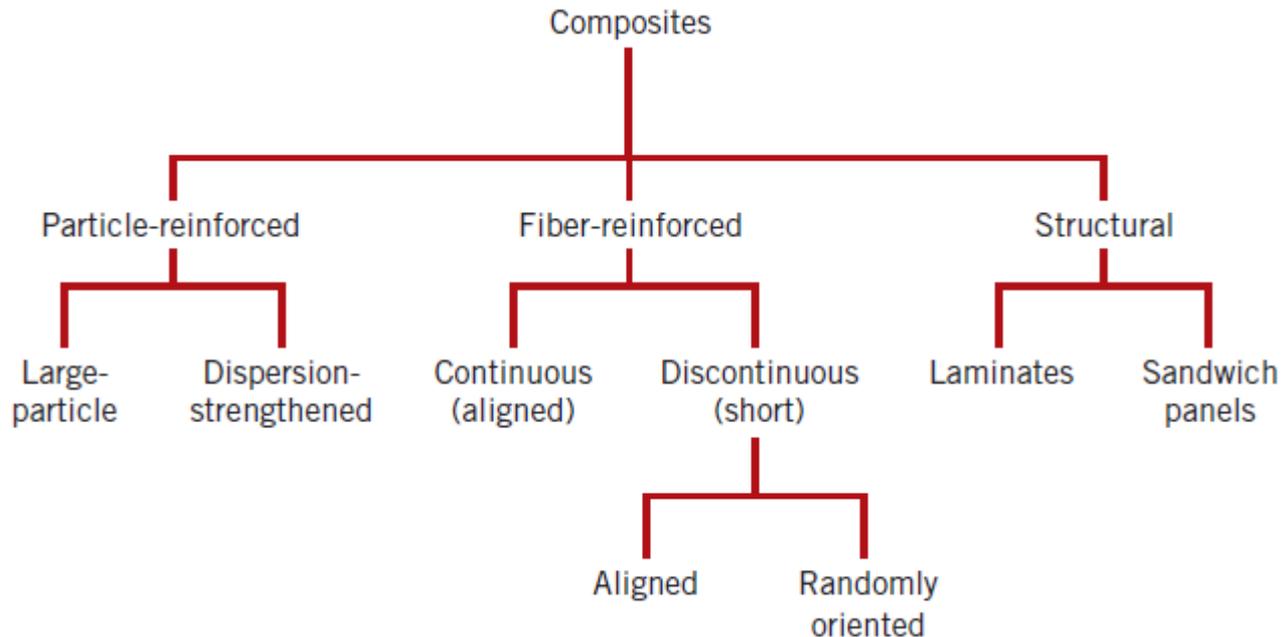
Polymers

<i>Polymer</i>	<i>Repeat Unit</i>
Polyethylene (PE)	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \\ -\text{C}-\text{C}- \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array}$
Poly(vinyl chloride) (PVC)	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \\ -\text{C}-\text{C}- \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{Cl} \end{array}$
Polytetrafluoroethylene (PTFE)	$\begin{array}{c} \text{F} \quad \text{F} \\ \quad \\ -\text{C}-\text{C}- \\ \quad \\ \text{F} \quad \text{F} \end{array}$
Polypropylene (PP)	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \\ -\text{C}-\text{C}- \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{CH}_3 \end{array}$
Polystyrene (PS)	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \\ -\text{C}-\text{C}- \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{C}_6\text{H}_5 \end{array}$

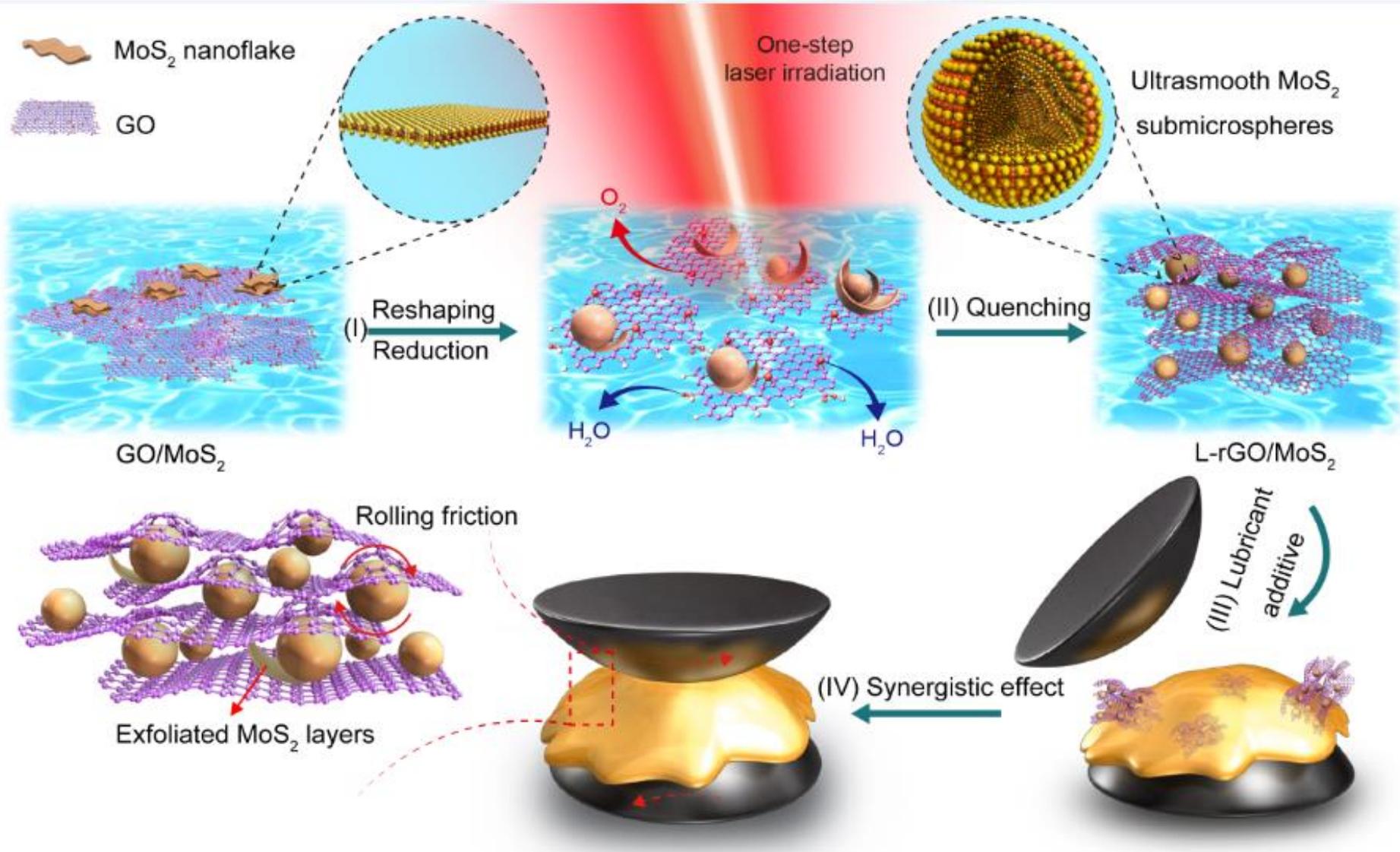


Composite

- A composite is composed of two (or more) individual materials, which come from the categories previously discussed—metals, ceramics, and polymers.
- The design goal of a composite is to achieve a combination of properties that is not displayed by any single material, and also to incorporate the best characteristics of each of the component materials.
- Natural composite, but MORE human-made



Example: 二维/零维L-rGO/MoS₂复合材料



► 激光辐照时间和PEG对rGO/MoS₂复合材料形貌的影响

300 mJ pulse⁻¹ cm⁻² 15 min

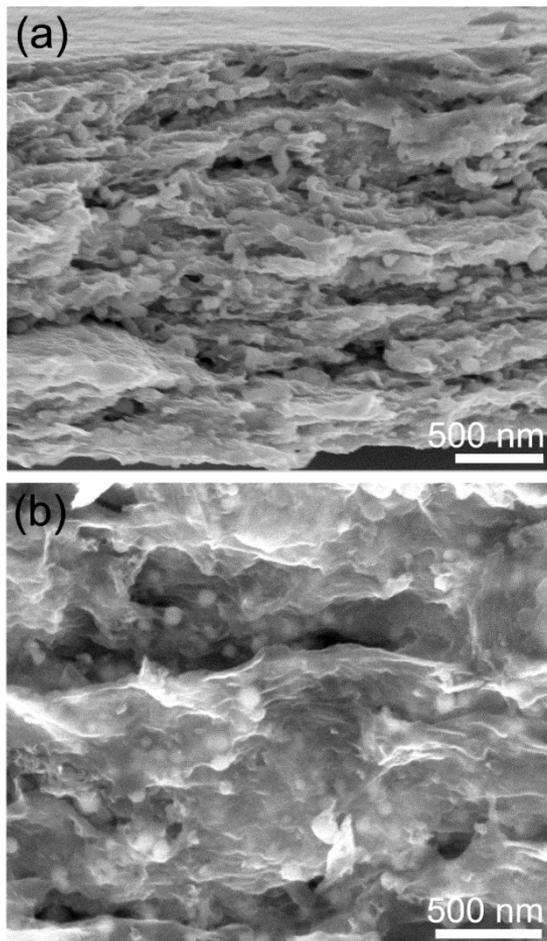


Fig. 3.2 The morphology of rGO/MoS₂ composite (a) with and (b) without PEG. The laser fluency is 300 mJ pulse⁻¹ cm⁻¹.

400 mJ pulse⁻¹ cm⁻²

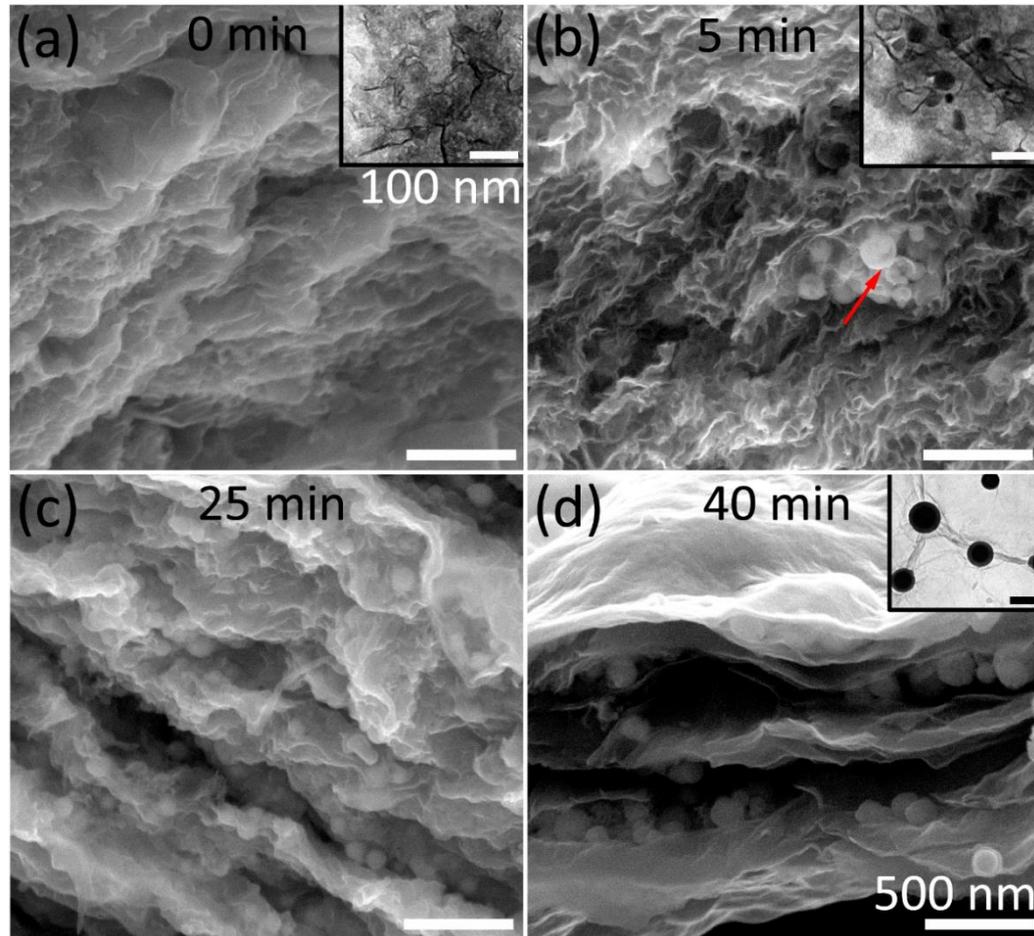


Fig. 3.3 Morphology evolution of the mixture of GO nanosheets and MoS₂ nanoflakes after laser irradiation for different times. The laser fluency is 400 mJ pulse⁻¹ cm⁻¹.

Advanced Materials

➤ **Semiconductors:**

They have made possible the advent of integrated circuitry that has totally revolutionized the electronics and computer industries (not to mention our lives) over the past three decades

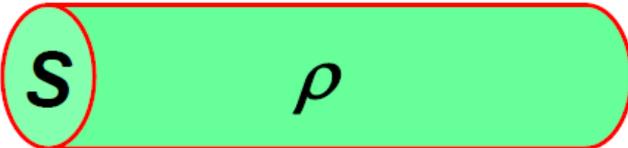
➤ **Biomaterials**----- They are employed in components implanted into the human body to replace diseased or damaged body parts.

➤ **Smart (or intelligent) materials** are a group of new and state-of-the-art materials now being developed that will have a significant influence on many of our technologies. (Sensor/Actuator)

Nanomaterials Size effect

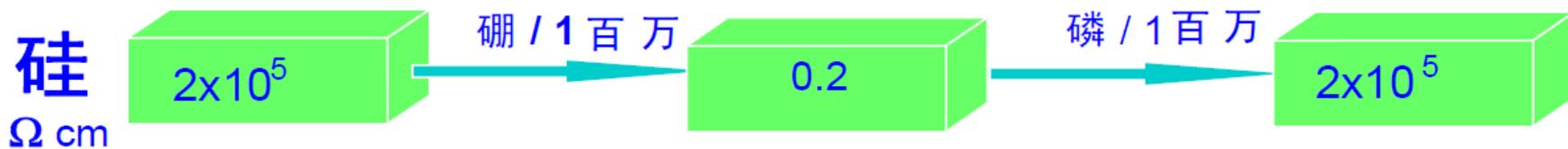
一、什么是半导体(semiconductor)?

	导体	半导体	绝缘体
电阻率 (Ωcm)	$10^{-6} \sim 10^{-4}$	$10^{-4} \sim 10^{10}$	$>10^{10}$

$$R = \rho \frac{L}{S}$$


二、半导体的主要特征: 电阻率可在很大范围内变化

例子: 杂质对半导体电阻率的影响



硅的纯度仍高达99.9999%

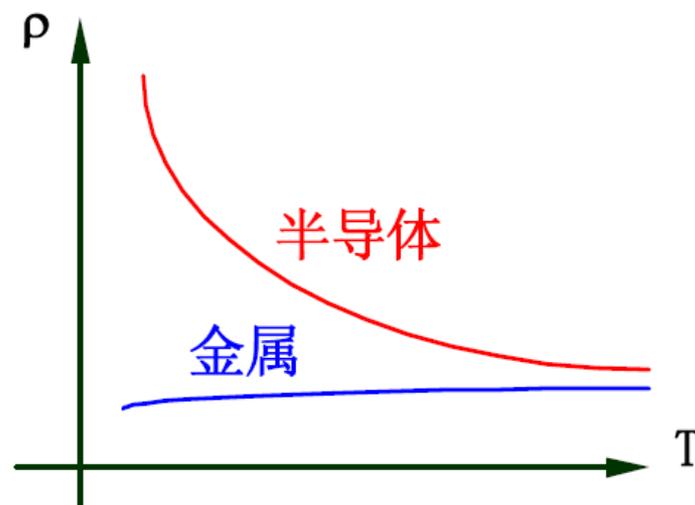
温度对半导体的影响

纯硅: $T=300\text{K}$ $\rho = 2 \times 10^5 \Omega \text{ cm}$

$T=320\text{K}$ $\rho = 2 \times 10^4 \Omega \text{ cm}$

光照对半导体的影响

硫化镉(CdS)半导体薄膜，无光照时的暗电阻为几十 $\text{M}\Omega$ ，当受光照后电阻值可以下降为几十 $\text{K}\Omega$ 。



气体、压力、磁场等对半导体电阻率都产生较大的影响

气敏传感器

压力传感器

霍尔传感器

