

真平台,开发基于深度学习的检测与识别算法。

要求:给出实验设计,分析实验结果。

## 七、考核要求

开卷考试与课程实践相结合,采用百分制,其中考试占 50%,课程实践占 30%,课堂表现占 20%。

## 八、编写成员名单

杨俊(国防科技大学)、周富强(北京航空航天大学)、孙军华(北京航空航天大学)、胡天江(中山大学)、王光明(国防科技大学)、周晗(国防科技大学)

# 0805 材料科学与工程一级学科研究生核心课程指南

## 01 固态相变

### 一、课程概述

显微组织调控是材料研发和制备全流程都涉及的核心因素之一。固态相变理论专注显微组织演化规律,涉及热力学、动力学和晶体学的综合知识体系。热力学着重于驱动力和能垒的计算,是构建动力学理论的基础;动力学涉及扩散、位错运动和界面推移等;而晶体学则从原子到微米尺度表征新相形态,分析固态相变过程,并从空间方位验证动力学的推导结果。三者相辅相成,是固态相变知识的有机组成部分。

目前的研究生课程体系中,热力学、晶体缺陷和材料界面相关的知识通常已有单独的课程给予详细讲解,但综合这些知识(含扩散)的相变动力学和晶体学的内容没有得到应有的重视。鉴于这些原因,“固态相变”课程以传统晶体材料以及新型材料如纳米晶体、非晶和准晶为载体,以三种典型相变(非形核生长型、形核生长型和马氏体型)为例子,传授相变动力学与晶体学的核心知识。

### 二、先修课程

材料热力学,材料科学基础,材料加工原理,材料表征技术。

### 三、课程目标

让学生掌握固态相变的基础以及研究前沿,树立物理概念与数学建模的意识,提升材料专业学生的数学应用功底,使学生体会到动力学理论在传统材料改性和新型材料研发中的重要作用。

### 四、适用对象

材料科学与工程学科的博士研究生和硕士研究生。

### 五、授课方式

建议学时 48 学时。采用课堂授课、课外作业和课堂讨论相结合的授课方式。

### 六、课程内容

#### 1. 相变概述

- (1) 母相的失稳与相变
- (2) 典型扩散相变的特征
- (3) 马氏体相变的特征
- (4) 新型材料的相变
2. 相变的分类与特征
  - (1) 相变按热力学分类
  - (2) 一级相变按原子迁移方式分类
  - (3) 一级相变按动力学分类
  - (4) 一级相变的简明分类
3. 界面现象
  - (1) 两相界面结构
  - (2) 界面能的计算
  - (3) 界面的曲率效应
4. 相变动力学基础
  - (1) 不可逆过程热力学
  - (2) 相变的共同特征
  - (3) Landau 热力学与固态相变
5. 调幅分解和有序化
  - (1) 均匀相变的共同特征
  - (2) 均匀相变的动力学理论
  - (3) 相变波长和共格应变效应
6. 形核理论
  - (1) 均匀形核
  - (2) 非均匀形核
  - (3) 马氏体的形核理论
7. 新相生长
  - (1) 脱溶相的扩散生长
  - (2) 共析分解
  - (3) 马氏体的生长
8. 相变动力学的形式理论
  - (1) 等温相变动力学
  - (2) 变温相变动力学
  - (3) 马氏体相变动力学
9. 相变晶体学
  - (1) 矢量与矩阵
  - (2) 马氏体相变晶体学
  - (3) 扩散型相变的晶体学理论

## 七、考核要求

读书报告、期末考试、文献评述。

## 八、编写成员名单

孙宝德(上海交通大学)、徐现刚(山东大学)、程新(济南大学)、邓涛(上海交通大学)、张鹏(上海交通大学)、王红洁(西安交通大学)、刘铎(山东大学)、顾剑锋(上海交通大学)、郭正洪(上海交通大学)

## 02 晶体结构与缺陷

### 一、课程概述

晶体内原子排列的周期性是物质世界结构本质的一个重要方面,而晶体缺陷的存在又使得材料性能表现出多种变化。了解缺陷的形成及其变化规律,对于材料的设计、加工控制和失效分析具有重要意义。本课程围绕点、线、面(包括表面)、体四类典型的微观缺陷形式,从回顾晶体学基础知识(对称群、晶体空间点阵、晶体衍射效应等)入手,阐述缺陷的特征分类、形成、运动规律和对材料性能的影响,结合缺陷的表征和典型应用,以期学习如何趋利避害,加深对材料“结构-组织-性能”关系的理解和灵活运用。

### 二、先修课程

材料科学基础。

### 三、课程目标

深化学生在晶体学、晶体缺陷方面的基础理论知识;针对一些典型的点、线、和面晶体缺陷(如空位、间隙原子、位错、界面、晶界及晶粒取向、孪晶等)的结构特征和运动方式,懂得如何合理地运用现代先进的实验技术(如 TEM、SEM、EBSD、谱学等)分析表征,以及如何通过加工和处理对缺陷加以控制从而优化材料的性能。培养学生把所学理论知识运用于实践的能力。

### 四、适用对象

材料科学与工程学科硕士研究生和博士研究生。

### 五、授课方式

课堂讲解。

## 六、课程内容

### 1. 绪论

介绍课程情况及主要内容。

### 2. 晶体结构

#### (1) 群论基础

#### (2) 点阵与平移群的对应关系及空间群的推导

#### (3) 倒易点阵,等效点系,密堆理论和晶体结构

### 3. 点缺陷

#### (1) 点缺陷类型及其基本热力学关系

#### (2) 点缺陷的表征及控制

#### (3) 点缺陷对材料性能的影响

### 4. 线缺陷(位错)

#### (1) 位错的类型及其特性

#### (2) 位错的表征

#### (3) 位错的交互作用

#### (4) 位错对材料性能的影响

### 5. 面缺陷

#### (1) 面缺陷的类型及特点

#### (2) 面缺陷的表征

#### (3) 面缺陷交互作用及界面特性

#### (4) 界面控制及对材料性能的影响

### 6. 表面

#### (1) 材料表面、二维结晶学的概念

#### (2) 表面处理、原子排列及性质

#### (3) 表面分析

#### (4) 表面工程

## 七、考核要求

作业/平时(20%)+ 随堂测试(20%)+ 期末考试(60%)。

## 八、编写成员名单

孙宝德(上海交通大学)、徐现刚(山东大学)、程新(济南大学)、邓涛(上海交通大学)、张鹏(上海交通大学)、王红洁(西安交通大学)、刘铎(山东大学)、杨萍(济南大学)、陈科(上海交通大学)、赵冰冰(上海交通大学)

## 03 固体物理

### 一、课程概述

固体物理学是研究固体结构、组成粒子的运动规律以及固体性质的学科,涉及固体的热学、声学、电学、磁学和光学性质等内容。固体物理主要以晶态固体为研究对象,是微电子、光电子、光子等功能材料与器件的物理基础。本课程主要包括固体的结构与结合、晶格振动及晶体热性质、自由电子理论、能带理论、半导体、固体的磁性等内容。固体物理学是从事材料及其相关研究必备的基础知识之一,是材料科学与工程一级学科硕士生的学位课。

### 二、先修课程

晶体学基础,材料科学基础。

### 三、课程目标

固体物理是材料科学与工程的重要基础课,主要目的是使学生在掌握固体物理基本知识的基础上,能够分析材料所表现出的基本物理性能的物理本质,为今后材料设计、性能分析等打下坚实的固体物理基础。能够利用固体物理理论分析和阐述导体、半导体、超导体、磁性等的物理原理,具有综合利用基本物理原理和知识的能力。

### 四、适用对象

材料科学与工程学科硕士研究生和博士研究生。

### 五、授课方式

建议学时 32 学时。采用课堂授课、课外作业和课堂讨论相结合的授课方式。

## 六、课程内容

### 第一章 绪论

重点介绍固体物理的基本内容与学习方法,简要介绍固体物理在材料科学与工程研究领域应用及取得的重要成果。

### 第二章 量子物理基础

量子力学基础,定态薛定谔方程,单粒子近似的基本思想,多粒子体系统计分布规律。

### 第三章 固体结合与结构

晶体结构简述、晶体化学键、晶体结合能、晶体衍射、倒格子与布里渊区。

### 第四章 晶格热振动及晶格热性质

一维晶格(简单晶格和复式晶格)振动规律及色散关系,三维晶格振动、声子及其统计分布规律,晶格比热,晶格热传导。

## 第五章 金属自由电子理论

经典自由电子理论及其困难,自由电子体系的量子理论,态密度与费米能级,金属的接触势差。

## 第六章 能带理论

布拉格衍射与能隙,布洛赫定理与能带的性质,能带结构与晶体的导电性,近自由电子近似和紧束缚近似。

## 第七章 半导体

半导体的能带结构特点,有效质量理论,施主和受主半导体,热平衡载流子,PN结及其应用。

## 第八章 固体的磁性

孤立原子的磁性,固体的顺磁性,铁磁性与直接交换作用,反铁磁性与间接交换作用,铁磁体的技术磁化。

## 七、考核要求

采用平时成绩与期末考试相结合的方式。

## 八、编写成员名单

费维栋(哈尔滨工业大学)、康卓(北京科技大学)、陈爱华(北京航空航天大学)

# 04 固体化学

## 一、课程概述

固体化学是专门研究固态物质的形成规律、微观结构和性能以及它们之间相互关系的一门学科。其从化学角度,探索固态材料的结构、性质、合成三者间关系。固态化学现已成为一个重要的跨学科领域,无缝衔接化学、物理学、材料科学与工程、电子科学与技术、生物学、药学、纳米科技等众多学科,是固态材料研发的重要基础和核心因素。固体化学与固体物理、材料科学与工程学、材料热力学与动力学、晶体学、陶瓷学、矿物学、冶金学、高分子学等学科相互交叉渗透,相互补充配合,形成了现代固体科学与技术,共同担负着解决新材料研究与制备过程中的科学技术问题。

## 二、先修课程

大学物理,微积分,量子力学基础,晶体学基础,材料科学基础,材料测试技术。

## 三、课程目标

让学生掌握固态化学基础及研究前沿,拓展固态化学领域的知识面,提升材料专业学生的化学理论应用功底,如应用量子理论解决固体电子能级和能带问题;结合化学键理论,根据晶体

学原理研究典型晶体结构。掌握点缺陷、线缺陷,了解面缺陷。掌握非晶态固体的基本特征、热力学与动力学理论、析晶与相分离基本理论。掌握不同类型非晶态固体的结构模型。掌握Fick's定律。掌握核化-生长相变、马氏体相变、有序-无序相变、不稳分解、共析分解和玻璃相变。掌握光谱项、光谱支项的能级表示方法。掌握配位场对能级分裂的影响规律。掌握位形坐标。掌握固体的光吸收、发光的基本原理。使学生紧跟新材料最新研究动态,为在新材料的设计、合成与应用方面提供扎实的理论指导。

## 四、适用对象

材料科学与工程学科硕士研究生和博士研究生。

## 五、授课方式

PPT与板书结合。

## 六、课程内容

### 1. 量子力学与原子、分子结构

- (1) 量子力学原理
- (2) 原子的能级与原子的光谱项
- (3) 固体中电子的能带理论
- (4) 共价键理论与分子结构
- (5) 分子的电性、磁性与分子光谱

### 2. 化学键与晶体结构

- (1) 金属键与金属晶体结构
- (2) 离子键和离子晶体结构
- (3) 共价键和共价晶体结构
- (4) 分子键与分子晶体结构
- (5) 固体研究中的量子化学方法

### 3. 晶体缺陷化学

- (1) 晶体中的点、线、面缺陷
- (2) 非整比化合物及其缺陷结构
- (3) 晶格缺陷的电子态
- (4) 晶体中的扩展缺陷
- (5) 缺陷化学在材料研究中的作用

### 4. 非晶态固体

- (1) 非晶态固体的结构模型
- (2) 非晶态固体的形成热力学
- (3) 非晶态固体的形成动力学
- (4) 准晶体的结构特征
- (5) 非晶体、准晶材料最新研究进展



## 5. 固体中的质点扩散与表面化学

- (1) 质点迁移的微观机制与扩散系数
- (2) 扩散的热力学理论
- (3) 离子、金属、共价晶体中的扩散
- (4) 固体表面吸附、催化及电子表面态
- (5) 固体表面态研究方法

## 6. 固态相变与固相反应

- (1) 相变的类型及结构特征
- (2) 固态相变热力学和动力学
- (3) 结晶与晶体生长
- (4) 固相反应的驱动力与原理
- (5) 固相反应的最新研究方法

## 7. 固体材料合成

- (1) 固体材料的典型合成方法
- (2) 软化学与绿色合成方法
- (3) 非晶态固体的合成
- (4) 薄膜材料的合成
- (5) 纳米粉体的合成

## 8. 固体电、光、磁功能化合物

- (1) 金属、绝缘体、半导体的能带结构
- (2) 固体磁学基本理论和磁性材料
- (3) 固体的发光现象和发光体
- (4) 固体的光吸收与激光
- (5) 光、电、磁功能化合物的最新研究进展

## 9. 新材料的设计与发展

- (1) 材料结构与性能关系
- (2) 新材料的设计原理
- (3) 材料组织-微细结构设计
- (4) 固态化学的最新研究进展

## 七、考核要求

采用平时成绩与期末考试相结合的方式。

## 八、编写成员名单

程新(济南大学)、杨萍(济南大学)、李嘉(济南大学)

## 05 材料热力学与动力学

### 一、课程概述

材料热力学与动力学是热力学与动力学理论在材料研究、制备、使用过程中的应用,是材料科学与工程的重要基础内容。本课程针对材料科学基础的研究内容在层次上进行拓宽与加深,旨在利用热力学与动力学的基本原理,揭示和理解材料科学的核心问题以及微观组织的形成及其演变规律和本质,进一步探讨热力学与动力学在诸如缺陷、合金相、电化学和相平衡等问题中的应用。本课程把热力学与动力学的基本原理贯穿于材料科学与工程研究,完善和充实研究生的知识结构,培养研究生运用基本原理解决具体问题的能力,是材料科学与工程一级学科研究生的重要专业学位课。

### 二、先修课程

物理化学,材料科学基础。

### 三、课程目标

通过本课程的学习,掌握热力学与动力学的基本原理和研究方法,加深对热力学与动力学理论的理解,并力求将材料热力学与动力学的原理和方法应用于材料科学与工程问题的分析及材料设计与研发。

### 四、适用对象

材料科学与工程学科的硕士研究生和博士研究生。

### 五、授课方式

建议授课 48 学时。PPT 与板书相结合的课堂教学为主,辅之以课后的自由讨论、自选文献阅读。

### 六、课程内容

#### 1. 材料热力学与动力学概览

系统掌握热力学与动力学的一般原理,了解材料热力学与动力学发展概况、研究对象、任务及其在材料研究中的作用。

#### 2. 单组元材料热力学

掌握固态相变体积效应的热力学分析方法,晶格振动热容理论,通过热容计算热力学参数,纯固态金属的 Richard 规则和 Trouton 规则,单元材料的相平衡热力学:温度、压力及尺寸效应。

#### 3. 二组元材料热力学

掌握溶体模型、溶体性质、化学势与活度,利用吉布斯自由能-组成图研究溶解度曲线与固-

固平衡,相稳定化参数。

#### 4. 相变热/动力学

掌握绘制材料相图的热力学方法,形核及晶粒长大热/动力学,第二相粒子粗化,第二相析出、析出相的表面张力效应,二级相变、二级相变对相平衡的影响,固/固反应动力学。

#### 5. 缺陷热力学

掌握晶体中平衡空位浓度、位错能量及界面能的热力学计算方法,利用缺陷浓度或能量的变化讨论其对材料电、磁、力学等各种性能的影响规律。

#### 6. 扩散热/动力学

布朗运动与扩散,掌握扩散的分类、求解、扩散定律及其应用,扩散机制、扩散系数、扩散方向、扩散速度、溶质分布等与热力学量之间的关系,液相及相际传质,克根达尔效应与达肯方程,上坡扩散现象。

#### 7. 电化学热/动力学

掌握相间电势、电极电势和电化学势概念,双电层理论及其对电化学反应影响,电化学反应中热力学函数的计算。掌握电极反应的基本动力学规律,掌握 Butler-Volmer 方程和 Tafel's 公式及其应用。

#### 8. 统计热力学

掌握配分函数概念及其与热力学函数的关系,掌握粒子体系的 3 种统计分布。

### 七、考核要求

采用平时成绩与期末考试相结合的方式。

### 八、编写成员名单

朱永福(吉林大学)、钱国栋(浙江大学)、李昱鹏(大连理工大学)

## 06 计算材料学

### 一、课程概述

本课程是材料科学与工程一级学科硕士研究生学位课程,是从事计算材料学、纳米材料等方向研究的重要专业基础课程。随着材料研究的深入,应用第一性原理计算及多尺度模拟的方法研究材料的结构与性能已经成为材料科学研究中的一个重要手段,并发挥越来越大的作用。本课程从量子力学基本概念出发,介绍现代常用的材料模拟方法,针对材料研究中所关注的基本性质及科学问题,借助电子结构计算结合多尺度模拟的方法,理解材料结构与物性的基本关系。通过本课程学习,可以让研究生掌握第一性原理的基本概念和多尺度模拟的基本方法,加强其从电子结构的视角理解材料的结构与物性,并为从事计算材料学或相关材料研究的研究生

奠定材料计算的基础。

### 二、先修课程

量子力学,固体物理,材料科学基础,高等数学,线性代数,计算机编程基础。

### 三、课程目标

掌握第一性原理的基本概念和多尺度模拟的基本研究方法,能够在研究工作中针对不同的具体问题选择相应的模拟方法、构建合理的结构模型,并对相应的性质进行模拟分析,深入理解材料的结构与物性。

### 四、适用对象

材料科学与工程学科硕士研究生和博士研究生。

### 五、授课方式

建议学时 32 学时。采用理论和实践相结合的方式。理论课主要讲授基本原理和基本方法,利用幻灯片演示,适当辅以板书的公式推导。实践课采用上机的形式,研究生通过选择并使用合适的模拟程序、建立结构模型、优化模拟过程,获得具有一定物理意义的结果。

### 六、课程内容

1. 第一性原理计算的基础理论
  - (1) 量子力学基本概念
  - (2) 基于波函数的 Hartree Fock 和 Post Hartree Fock 计算方法
  - (3) 基于电子密度的密度泛函理论
  - (4) 求解电子结构的常用方法
  - (5) 电子结构及其与材料性质的关系
  - (6) 基于第一性原理的高通量计算
2. 分子动力学模拟的基本原理
  - (1) 分子动力学简介
  - (2) 原子间势
  - (3) 牛顿运动方程的解法
  - (4) 第一性原理分子动力学
  - (5) 结合密度泛函理论和机器学习构建势函数
3. 普适化计算流程及相应算法
  - (1) 计算中的基组选择
  - (2) 赝势选择
  - (3) 不同等级的交换相关泛函及适用条件
  - (4) 特殊体系的应对方案
4. 典型材料计算的应用实践

- (1) 边界条件的设定
- (2) 模型构建、结构优化、单点能量计算
- (3) 电子结构计算
- (4) 实验谱图的模拟、过渡态搜索等结果分析
- (5) 第一性原理计算软件的基本知识及重要参数的选择

#### 5. 介观及宏观模拟简介

- (1) 相場方法
- (2) 有限元方法
- (3) 位错动力学
- (4) 应用实例

### 七、考核要求

采用课后作业(上机实践)、平时成绩和期末考试成绩相结合的方式。

### 八、编写成员名单

杨上峰(中国科学技术大学)、武晓君(中国科学技术大学)、杜奎(中国科学院金属研究所)、陈星秋(中国科学院金属研究所)、马丽颖(天津大学)、黄远(天津大学)

## 07 材料力学性能

### 一、课程概述

作为材料学科研究生的专业核心课,本课程主要讲授材料的力学性能与典型的材料力学性能测试方法,主要讨论金属、陶瓷和高分子材料的弹性、塑性、疲劳、断裂等力学行为的工程应用背景和基础原理,使学生掌握材料力学的基本概念、基本原理和测试材料力学性能的基本方法,探讨改善材料力学性能的途径,提高学生分析材料力学性能问题的思维能力和进行材料力学相关实验的动手能力,并能结合实际工程应用背景,初步分析和解决材料研究中的实际问题。

### 二、先修课程

材料科学基础,工程力学。

### 三、课程目标

通过本课程的学习,使学生对材料力学性能的基本概念和基本分析方法有明确的认识。加强学生的抽象认知水平和提高认识 and 解决实际问题的能力。增强学生对材料宏观力学行为与

微观材料组织的关系的理解和对材料力学行为本质和机理的认知。为后续的深入学习以及关于材料的选用、设计、改造、创新提供必要的力学基础。培养学生科学的世界观和价值观以及务实的择业观。

### 四、适用对象

材料科学与工程学科的硕士研究生和博士研究生。

### 五、授课方式

建议授课课时为 48 学时。以课堂讲授为主,并结合实验课、学生自主分享课、习题讨论课、师生互动答疑课等。

### 六、课程内容

#### 1. 绪论

- (1) 结合工程实际应用背景,了解材料力学性能课程的主要任务;
- (2) 理解强度、刚度、弹性、塑性等基本概念;
- (3) 通过拉伸实验,认识材料应力、应变的关系。

#### 2. 金属材料的弹性和塑性力学行为

- (1) 理解不同材料弹性形变的原子本质;
- (2) 理解并掌握广义胡克定律和三个弹性常数以及弹性模量、刚度、弹性比功、滞弹性的基本含义;
- (3) 理解金属材料的塑性变形机制与特点,理解位错理论并区分滑移与孪生、单晶与多晶的塑性形变;
- (4) 理解屈服现象的本质,探讨提高材料强度的途径;
- (5) 解释应变时效、加工硬化、颈缩现象,并理解其工程意义。

#### 3. 金属材料的断裂和疲劳

- (1) 了解材料断裂的分类和特征;
- (2) 理解延性断裂、解理断裂、沿晶断裂的特征和微观机制;
- (3) 理解应力状态对断裂的影响和原因;
- (4) 理解循环载荷对材料微观组织的影响;
- (5) 理解疲劳裂纹的扩展及影响疲劳寿命的因素。

#### 4. 材料在特殊条件下的力学行为

- (1) 金属的高温力学性能,理解蠕变的概念和机理,探讨提升材料高温力学性能的方法;
- (2) 理解应力腐蚀过程中裂纹的特点和形成机制;
- (3) 了解氢损伤和氢脆,理解其机理及对材料性能的影响;
- (4) 了解液态金属催化、金属的中子辐照损失等概念。

#### 5. 陶瓷材料的弹性力学行为

- (1) 陶瓷材料的特征、分类和应用背景;
- (2) 陶瓷材料微观组织结构对应力应变关系的影响;

- (3) 影响陶瓷材料弹性常数的因素;
- (4) 陶瓷基复合材料性能改进的本构关系。

#### 6. 陶瓷材料的脆性断裂

- (1) 材料断裂对工程实际应用的影响;
- (2) 陶瓷材料的理论强度分析,影响陶瓷材料实际强度的因素;
- (3) 理解应力集中现象,裂纹尖端应力场分布,裂纹的形成和扩展,应力场强度因子,Griffith

断裂理论,R 曲线等概念和原理;

- (4) 陶瓷材料断口形貌分析;
- (5) 材料微观组织结构对断裂的影响。

#### 7. 陶瓷材料的强韧化

- (1) 理解影响陶瓷材料强度的因素;
- (2) 理解常见的陶瓷材料强韧化方法及原理。

#### 8. 高分子材料的力学行为

- (1) 高分子材料的分类及应用背景;
- (2) 高分子材料力学性能特点;
- (3) 高分子材料力学性能影响因素;
- (4) 高分子材料的拉伸行为;
- (5) 高分子材料的强度。

#### 9. 材料的其他静载试验

- (1) 参与并掌握扭转试验,包括应力-应变曲线的分析,相关物理参数的含义;
- (2) 参与并掌握三点和四点弯曲试验,并做相关力学性能分析;
- (3) 参与并掌握压缩试验,并对其应力-应变曲线进行分析;
- (4) 理解硬度的概念,参与并掌握不同的硬度测试方法,能够区分其中的异同和适用材料。

### 七、考核要求

采用平时成绩和期末考试相结合的方式。

### 八、编写成员名单

沈洋(清华大学)、刘铎(山东大学)、单智伟(西安交通大学)

## 08 材料物理性能

### 一、课程概述

材料的光、电、磁、热学性质是材料科学体系中极为重要的一部分,是功能材料设计、制备、

应用等方面的基础。本课程拟从量子力学的角度阐述材料的光、电、磁、热学性能的本质,从原理上理解功能材料的性能问题、结构-性能关系问题。

### 二、先修课程

材料科学基础,固体物理,量子力学。

### 三、课程目标

本课程面向材料科学与工程专业的硕士生、直博生以及博士生授课,通过本课程的学习,一方面使得研究生掌握材料的光、电、磁性质的意义、原理、评价方法、控制方法以及与材料结构之间关系等方面的知识,另一方面也引导学生掌握材料光、电、磁性质研究的科学方法。本课程的重点在于让学生从量子力学的角度理解材料的光、电、磁性能的本质,同时了解国际上对这一领域的研究前沿。

### 四、适用对象

材料科学与工程学科的硕士研究生和博士研究生。

### 五、授课方式

建议授课课时为 48 学时。以课堂讲授为主,并结合实验课、学生自主分享课、习题讨论课、师生互动答疑课等。

### 六、课程内容

#### 1. 绪论(3 学时)

- (1) 材料的热光电磁性能概述
- (2) 材料基本研究方法
- (3) 几种典型的功能材料

#### 2. 介电性能及功能电介质(9 学时)

- (1) 电介质物理基础
- (2) 氧化物介质及其电性能调控机制
- (3) 高介电聚合物基复合材料
- (4) 微波介质陶瓷
- (5) 可逆介电非线性与可调机制

#### 3. 铁电性能及其铁电材料(9 学时)

- (1) 铁电物理基础
- (2) 铁电材料的临界尺寸效应
- (3) 铁电材料的疲劳机制
- (4) 压电材料及器件
- (5) 多铁性及多铁性材料

#### 4. 离子电导及其调控机制(6 学时)



- (1) 固态缺陷化学
- (2) 固态离子导体
- (3) 燃料电池
5. 磁性材料及其磁性调控机制(9 学时)
  - (1) 室温稀磁半导体及其铁磁机制
  - (2) 多铁性材料及其耦合效应
  - (3) 磁性金属功能材料
6. 高性能热电材料及其电热输运机制(6 学时)
  - (1) 材料热物理基础
  - (2) 热电材料电输运机制
  - (3) 热电材料热输运机制
  - (4) 热电材料中的纳米复合效应
7. 材料的光物理效应及光学性能(6 学时)
  - (1) 发光学基本原理
  - (2) 典型发光材料及其物理效应
  - (3) 光电耦合与能量转化

## 七、考核要求

采用平时成绩和期末考试相结合的方式。

## 八、编写成员名单

沈洋(清华大学)、刘铎(山东大学)、单智伟(西安交通大学)、蒋正武(同济大学)

# 09 材料分析方法原理

## 一、课程概述

本课程主要讲授材料研究中经常使用的分析手段的原理。从材料学角度,无论是无机、金属、有机、复合材料,还是晶体、非晶、粉体、纳米晶,抑或是材料设计、计算、合成、性能开发、工艺优化与控制,都与材料的化学键、成分及不同层次的形貌结构密切相关,都可通过从相应层次提取信息,并加以检测、分析、关联、处理、调控来实现,这是近代材料研究方法和实验手段的共性。

通过本课程的学习,学生一方面可以深入了解各种材料分析方法依赖的物理或化学原理;另外一个方面可以结合具体的案例讨论,熟练掌握材料科学与工程研究中的实验分析方法,为下一步进行具体的研究工作做好知识储备。

## 二、先修课程

大学物理,大学化学,材料科学基础,固体物理。

## 三、课程目标

通过本课程的学习,全面、系统地掌握各种材料分析与表征技术的基本原理、特点和适用范围,学会相应的分析测试仪器的结构、工作原理和操作方法,能够分析材料结构与性能之间的关系。修完本课程以后,学生能够针对具体问题独立设计相应的实验测试方案,获得可靠合理的实验分析结果。以利于其开展所从事的研究方向的具体科研工作,达到培养研究生的研究能力和研究素质的目的。

## 四、适用对象

材料科学与工程学科博士研究生和硕士研究生。

## 五、授课方式

建议学时 64 学时。采用课堂讲授为主,与多媒体教学和课堂讨论相结合的授课方式。建议引入经典案例或最前沿案例开展课堂分析讨论,针对材料研究中的若干实际问题,进行讨论分析、设计研究思路,确定可操作的实验研究方案。亦可结合学校特色在课程中调整侧重,以利于学生尽快具备所需研究能力。

## 六、课程内容

### 1. 绪论

介绍材料分析测试的基本方法论以及针对各类分析需求设计分析测试实验的普遍规律。

### 2. 材料形貌分析

(1) 成像的物理基础:光学成像原理,电子成像原理,扫描探针类成像原理(力、热、光、电、磁等)。

(2) 成像技术:光学显微镜、扫描电子显微镜、透射电子显微镜、扫描探针显微镜等。

### 3. 材料结构分析

(1) 衍射的物理基础:物理光学,倒易空间,运动学衍射(晶体几何学与倒易点阵、波与晶格的相互作用、布拉格方程、劳厄方程、埃瓦尔德图解),动力学衍射(衍射的强度),散射作用。

(2) 衍射技术:X 射线衍射、电子衍射、同步辐射、中子散射等。

### 4. 材料成分及价态分析

(1) 成分分析的物理原理:原子物理(原子结构、能级跃迁、能带理论基础)、溅射作用、吸收与衰减作用。

(2) 材料成分分析技术:X 射线光电电子能谱、紫外光电电子能谱、俄歇电子能谱、电子能量损失谱、核磁共振、光谱技术(红外吸收光谱、拉曼光谱、紫外光谱、原子吸收光谱、荧光光谱)等。

### 5. 材料物化反应分析

- (1) 物理、化学基础:相变、表面吸附/脱附、氧化/还原/分解等。
- (2) 材料物化反应分析技术:差热分析、热重分析、程序升温吸/脱附分析等。

### 6. 其他

色谱(气相色谱、液相色谱)、质谱(二次离子质谱、飞行时间质谱)、无损检测、电学、电化学等方法。

## 七、考核要求

考核方式:笔试(开卷或闭卷)、案例分析(现场答辩或分析报告)。

考核标准:笔试考核学生对各种测试方法原理的理解与记忆,测试方法之间的区别与联系,以及基本概念知识点掌握程度。

案例分析考核学生对测试方法的理解程度,分析解决实际问题、处理信息、设计实验、分析数据等方面的能力。

## 八、编写成员名单

单智伟(西安交通大学)、潘毅(西安交通大学)、杜奎(中国科学院金属研究所)、钱国栋(浙江大学)、杨建平(东华大学)、刘铎(山东大学)

# 10 材料表面与界面

## 一、课程概述

本课程的主要内容包括:液体的表面、固体的表面、液体与固体间的界面、固体与固体之间的界面研究中的基础知识;代表性的材料表面改性原理和工艺特点;纳米材料、金属基复合材料和树脂基复合材料的界面特征与性质。本课程是材料科学与工程一级学科硕士研究生学位课程,是从事二维材料、复合材料、纳米材料和材料表面工程等方向研究的重要专业基础课程。

## 二、先修课程

物理化学,材料科学基础。

## 三、课程目标

掌握液体表面、固体表面、液体与固体之间界面、固体与固体之间界面的能量和结构特征与规律性等基础知识;具备正确分析和解决二维材料、复合材料、纳米材料和材料表面改性中表面与界面问题的能力。

## 四、适用对象

材料科学与工程学科硕士研究生和博士研究生。

## 五、授课方式

建议学时 32 学时。采用课堂授课、课外作业和课堂讨论相结合的授课方式。

## 六、课程内容

### 1. 绪论

重点介绍学习材料表面与界面的重要性和学习方法及其在材料科学与工程研究领域的作用。

### 2. 表面与界面的基础知识

#### (1) 液体的表面

液体的结构,液体的表面能,弯曲液面的附加压力,液体表面张力的测量。

#### (2) 固体的表面

固体的表面能,固体不同晶面的表面能,固体晶体的平衡形状,固体表面的 TLK 模型,固体表面的吸附。

#### (3) 固体和液体之间的界面

液体在固体表面的润湿,液体在固体表面的铺展,接触角的滞后现象,润湿过程的三种类型。

#### (4) 固体与固体之间的界面

晶界的结构,晶界能,相界晶体位向关系,相界的能力分析,半导体异质结。

### 3. 材料表面改性原理与方法

#### (1) 材料改性基本原理

相变改性,组织细化改性,变形改性,合金化改性、复合改性。

#### (2) 金属表面相变改性

表面感应加热淬火,激光表面相变硬化。

#### (3) 金属表面合金化改性

金属表面渗碳,表面阳极氧化与微弧氧化,激光表面合金化与熔覆,表面热渗镀与热喷涂。

### 4. 纳米材料的表面与界面

#### (1) 纳米材料的合成

纳米材料合成的基本原理,纳米材料的制备方法。

#### (2) 纳米材料的结构表征

纳米材料中的晶粒和空隙,纳米材料的晶界,纳米材料结构稳定性。

### 5. 金属基复合材料的界面

#### (1) 金属基复合材料界面的分类

金属基复合材料界面的分类与界面结合机制。

#### (2) 金属基复合材料界面反应热力学与动力学

金属基复合材料界面反应的热力学相容性和动力学相容性。

### (3) 金属基复合材料的残余应力

金属基复合材料界面热残余应力的产生原因分析,界面热错配应力的计算,界面热残余应力的影响因素,界面残余应力的分析与测量。

### (4) 金属基复合材料界面性能测试

金属基复合材料界面强度的测试方法,增强相临界长径比的计算。

### (5) 界面结合状态对金属基复合材料性能的影响

界面反应对金属基复合材料性能的影响,增强体表面涂覆对金属基复合材料性能的影响。

### (6) 金属基复合材料界面微观结构

铝基复合材料界面的微观结构,镁基复合材料界面的微观结构,其他复合材料界面的微观结构。

## 6. 树脂基复合材料界面

### (1) 树脂基复合材料界面作用理论

树脂基复合材料界面作用理论,界面的稳定条件与破坏机制。

### (2) 树脂基复合材料界面反应热力学与动力学

树脂基复合材料界面热力学量的表征,黏合功与内聚功,界面张力,新的表征与计算方法,滞后现象动力学,润湿动力学。

### (3) 树脂基复合材料界面微观力学

树脂基复合材料界面上载荷传递的力学模式,界面应力的预估计方法。

### (4) 树脂基复合材料界面的残余应力

树脂基复合材料界面的残余应力来源,残余应力的控制方法,残余应力对复合材料界面黏结强应的影响。

### (5) 树脂基复合材料界面的断裂韧性

与树脂基复合材料界面相关的断裂韧性理论,控制界面的增韧方法。

### (6) 几种典型树脂基复合材料的界面研究

玻璃纤维、碳纤维、有机纤维增强复合材料界面,混杂纤维增强复合材料界面,改善界面相互作用途径,界面设计与优化方法。

### (7) 树脂基复合材料界面的表征方法

树脂基复合材料界面形态与结构,界面张力与残余应力,界面性能的表征方法。

## 七、考核要求

采用平时成绩与期末考试相结合的方式。

## 八、编写成员名单

耿林(哈尔滨工业大学)、张东兴(哈尔滨工业大学)

## 11 功能材料

### 一、课程概述

本课程从材料的功能体系出发,集中讲述功能材料的共性物理基础理论及其最新研究理论进展;全面系统地介绍具有电、磁、光、热、声等物理功能及转换功能的常用功能材料(电性材料、磁性材料、光学材料、功能转换材料)和在能源、智能、航天航空、生物医学等领域发展迅速的特种功能材料(能源材料、智能材料、梯度功能材料、生物医学材料、功能薄膜材料)的组成、结构、性能、制备和应用;强调功能材料与元(器)件的紧密结合,突出体现材料-元(器)件的一体化。

### 二、先修课程

材料科学基础,材料物理性能,固体物理,固体化学。

### 三、课程目标

通过本课程的学习,能够掌握各类功能材料的基本物理性能及相应的物理机制,了解功能材料的制备、改性、加工成型及应用,了解当前功能材料研究领域的热点方向、相应发展程度及其尚存的科学问题,进行多领域的交叉学习,发现不同学科之间的交叉点,激发学生创新思维的火花和科学研究热情,拓展学术视野,为今后的科学研究打下良好的基础。

### 四、适用对象

材料科学与工程一级学科硕士研究生和博士研究生。

### 五、授课方式

建议学时 64 学时。采用教师讲授、学生课后文献调研、学生 PPT 展示、课堂讨论等几类方式。

### 六、课程内容

#### 1. 绪论

功能材料前沿及其重要性,功能材料分类,功能材料特性设计及其潜在应用。

#### 2. 功能材料基础物理理论

材料电学性能及其电导理论,材料磁学性能及其调控机制,材料热学性能及其传输机制,材料光学性能及其物理效应,材料声学性能及其物理机制,材料的耦合性质及其微观起源。

#### 3. 电子材料

导电材料和电阻材料,超导材料(元素材料、合金材料、化合物材料、超导陶瓷、二维超导材料),半导体微电子材料(硅微电子材料、硅基高效发光材料、宽带隙半导体材料、纳米低维半导



体材料等),电子陶瓷材料(绝缘装置瓷、电容器瓷、铁电陶瓷、半导体陶瓷、离子陶瓷等),磁性材料(永磁材料、软磁材料、旋磁材料、压磁材料等),压电晶体与薄膜材料,激光材料。

#### 4. 传感器材料

无机半导体传感器材料,有机半导体传感器材料,陶瓷传感器材料,金属传感器材料。

#### 5. 智能材料

智能材料概述及其仿生特性,形状记忆合金,压电铁电材料,电磁流变液,超磁致伸缩材料,智能自修复水泥基材料,智能结构。

#### 6. 信息材料

信息探测材料(电磁敏感材料、压电材料、光电转换材料、光电显示材料、光学功能材料、发光材料等),信息传输材料(通信电缆材料、光信息传输材料、微波通信材料、GSM 蜂窝移动通信材料等),信息储存材料(磁储存合金、光电存储材料、铁电介质储存材料、半导体动态存储材料等)。

#### 7. 能源材料

电化学能量转换与储存材料(燃料电池、锂离子电池、锂硫电池、钠硫电池、液流电池、超级电容器等),储能材料(相变储能材料、能源光催化材料、储电材料、储氢材料等),太阳能材料与器件(太阳能电池材料、光热转换材料、能源光催化材料等),热电功能材料。

#### 8. 航空航天材料

金属和合金材料,有机非金属材料,无机非金属材料,复合材料。

#### 9. 生物医用材料

生物医用材料概述及其基本特征,生物医用材料的新原理(生物材料-细胞相互作用、生物材料-微环境交互作用、材料生物学原理等),生物医用材料的制备新原理和新技术(超分子化学、微流控技术、静电纺丝、3D 打印等),代表性功能化生物医用材料(组织工程与组织再生材料、药物载体材料、止血材料、分子印迹材料、生物活性陶瓷等)。

#### 10. 生态环境材料

环境问题导向材料(生物可降解材料、CO<sub>2</sub> 气体固化材料、SO<sub>x</sub>、NO<sub>x</sub> 催化转化材料等),无机废弃物再资源化材料,生物亲和性环境污染修复材料,材料的环境安全性评价。

### 七、考核要求

采用前沿文献调研报告、课后作业、PPT 展示等多种考核方式。

### 八、编写成员名单

蒋正武(同济大学)、廖耀祖(东华大学)、黄健(上海大学)

## 12 粉末冶金及粉体材料制备技术

### 一、课程概述

粉末冶金处于材料、冶金、化学、机械等学科的交叉领域,体现了当代材料科学技术发展的趋势,即材料设计、合成、加工成形的统一。本课程的内容包括粉末冶金及粉体材料的相关理论和制备技术,是金属材料、无机非金属材料、复合材料专业硕士研究生和博士研究生的必修课程之一。课程结合粉末冶金的国内外最新发展现状和粉体材料创新研究的典型实例,以粉体材料制备过程中的科学问题为牵引,针对粉末制备、粉体成型、烧结致密化和新材料性能研究中存在的共性基础理论问题和新技术发展进行讲述,通过课堂教学、学术报告和学术讨论等多种形式展开教学。通过本课程的学习,培养学生运用相关知识,提出问题、分析问题与解决问题的科学素养与创新能力。

### 二、先修课程

材料热力学与动力学,材料科学基础。

### 三、课程目标

通过本课程的学习,使学生掌握粉末冶金及粉体材料中的科学基础理论和研究方法,利用相近学科,如热力学、动力学、固体物理和力学的理论知识,解决粉末冶金及粉体材料制备技术中的科学问题,如液滴快速凝固、粉末与外界物理场之间的相互作用,烧结过程动力学等,通过深入了解粉末冶金及粉体材料理论及技术的最新发展,为从事科学研究和技术开发奠定坚实的基础。

### 四、适用对象

材料科学与工程学科硕士研究生和博士研究生。

### 五、授课方式

建议学时 32 学时。采用课堂授课、课外作业和课堂讨论相结合的授课方式。

### 六、课程内容

#### 1. 粉末冶金及粉体材料概述

现代粉末冶金及粉体材料的特征与发展、粉末冶金及粉体材料的主要应用。

#### 2. 粉末制备过程理论与技术

粉末非平衡凝固理论,雾化制粉、机械合金化、溶胶-凝胶、纳米粉末及特种粉末制备技术及原理。

#### 3. 粉末成形理论与技术



粉末成形过程与机理,粉末成形新理论、新技术(挤压成形、注射成形、增塑成形、3D 打印成形等)。

#### 4. 粉末烧结理论与技术

粉末烧结的过程与机理(固相烧结、液相烧结、活化烧结),粉末烧结新技术(放电等离子烧结技术、热等静压、增材制造等),粉末与物理场作用相关理论等。

#### 5. 粉体材料的结构与应用

粉体材料(金属、无机非金属、难熔金属材料、超硬材料与硬质合金等)的结构与界面的表征方法、强化机理,以及粉体材料的应用。

#### 6. 粉末冶金及粉体材料制备新技术典型案例

通过分析典型案例,启发和培养学生提出问题、分析问题与解决问题的科学素养与创新能力。

### 七、考核要求

采用平时成绩与期末考试相结合的方式。

### 八、编写成员名单

宋旻(中南大学)、刘咏(中南大学)、熊翔(中南大学)、方华婵(中南大学)

## 13 材料合成与制备

### 一、课程概述

本课程以应用和发展前景为导向,以合成与制备原理为理论基础,以新材料的合成与制备新技术为主题,介绍现代材料制备技术的原理、方法与技术。课程总结和概括了传统材料和新型材料的合成和制备方法。在了解材料先进制备技术的研究范畴和材料先进制备技术的发展方向的基础上,重点针对单晶材料、薄膜材料、非晶态材料的制备方法,功能陶瓷、结构陶瓷材料的合成原理与制备和方法进行系统、全面的介绍和深入浅出的讲解。同时介绍了材料加工的新技术,使学生能够了解材料制备全过程的主要工艺环节的技术进展和发展趋势。

### 二、先修课程

物理化学,材料科学基础,材料测试技术与分析方法。

### 三、课程目标

通过本课程的学习,了解材料制备技术的国际前沿发展现状和趋势,掌握材料合成与制备

过程中涉及的基本概念和基本规律;掌握材料合成与制备的基本原理、工艺方法和技术流程;并可科学地选择相关技术在科学研究中进行应用和深度研究,建立科学先进的材料制备技术的思维方式和灵活应用的能力。掌握综合运用理论和技术手段进行材料制备技术创新设计的方法。能够针对具体要求制定材料的合成与制备工艺,并能够完成新材料合成与制备某技术的专题研究任务,为今后的科学研究打下坚实的基础。

### 四、适用对象

材料科学与工程一级学科硕士研究生和博士研究生。

### 五、授课方式

课程建议学时为 48 学时。采用课堂讲授、问题讨论、案例分析相结合的教学方式,体现传承与创新相结合。

### 六、课程内容

#### 1. 概述

材料合成与加工的基本概念,材料物理化学性质与材料合成与加工,材料先进制备技术的研究范畴,材料先进制备技术的发展方向。

#### 2. 单晶材料的制备

固相-固相平衡的晶体生长和液相-固相平衡的晶体生长的基本理论,用应变退火法生长特殊晶体,利用烧结生长晶体,定向凝固法和区域熔化技术等方法。

#### 3. 薄膜的制备

物理气相沉积——真空蒸镀、溅射成膜和化学气相沉积法(CVD)。

#### 4. 非晶态材料的制备

非晶态材料的基本概念和基本性质,非晶态材料的形成理论,非晶态材料的制备原理和方法。

#### 5. 功能陶瓷的合成与制备

高温超导陶瓷、敏感陶瓷、压电陶瓷和磁性陶瓷的制备。

#### 6. 结构陶瓷的制备

超微粉料的制备方法,微波烧结技术,原位合成工艺及成型制备技术新工艺。

#### 7. 自蔓延高温合成技术

自蔓延高温合成技术的基本概念,SHS 热力学与动力学,SHS 技术及其应用。

#### 8. 材料加工新技术

材料后处理加工新技术,激光加工陶瓷技术,放电加工技术,金刚石加工新技术。

### 七、考核要求

本课程的考核方式采用考试或与课程论文相结合方式。

## 八、编写成员名单

王为民(武汉理工大学)、文进(武汉理工大学)、曾惠丹(华东理工大学)

## 14 材料加工力学基础

### 一、课程概述

本课程目的是为材料及其制品的加工力学和流变学原理、加工工艺方法选择与优化、加工设备设计与制造、自动化与智能制造等提供必要的理论依据。大多数金属材料零件与制品都是通过塑性加工方法如锻造、冲压、轧制、挤压、拉拔等成形的,其主要特征是金属坯料在力的作用下产生永久变形(即塑性变形)从而形成所需要的形状。因此,本课程着重介绍塑性力学原理,探讨金属塑性变形的基本原理、描述及其分析方法、微观结构演化及其对产品力学性能的影响等。通过本课程的学习,掌握塑性大变形力学的基本描述方法、三大控制方程及其在塑性成形中的特殊性,能够掌握典型大变形问题的求解,熟悉弹塑性有限元方法及其应用,了解材料变形的微观机制与组织演变。

### 二、先修课程

材料科学基础,机械原理,材料成形原理。

### 三、课程目标

掌握塑性大变形力学的基本描述方法、三大控制方程及其在塑性成形中的特殊性;掌握大变形问题的求解方法;掌握有限元方法及其应用;了解材料变形的微观机制与组织演变。

### 四、适用对象

材料科学与工程学科硕士研究生和博士研究生。

### 五、授课方式

建议学时 32 学时。采用课堂授课、课堂测验和课程实践相结合的授课方式。

### 六、课程内容

#### 1. 材料加工力学的基础知识

- (1) 材料的应力和应变
- (2) 张量理论
- (3) 材料应力应变关系模型

#### 2. 材料力学的基本理论与方法

- (1) 材料屈服理论
- (2) 硬化理论  
各向同性硬化模型、随动硬化模型、转动硬化模型和扭曲硬化模型。
- (3) 材料本构理论
- (4) 塑性变形流动的全量理论和增量理论

#### 3. 材料塑性变形的理论与方法

- (1) 塑性变形的检测和表征  
针对各种加工方法和工件形状的表征方式和检测手段,常见的变形量的表达形式。
- (2) 材料成形极限理论  
现代塑性本构关系理论。

#### 4. 金属塑性加工过程的工程计算

- (1) 主应力法  
简单分析接触面上正应力分布并计算平均变形抗力。
- (2) 上限法  
基于虚功原理和变分极值原理来寻求复杂塑性成形问题的近似解,所求极限总大于真实载荷而对设备和模具比较安全的一种能量解法。

#### (3) 滑移线法

针对理想刚塑性材料平面应变而建立的数学上较严谨、理论上较完整、计算精度较高的方法。

#### (4) 非线性有限元法

有限元的基本概念、计算流程、软件化应用。

#### 5. 金属塑性变形的微观模拟

##### (1) 塑性变形的微观机制和微观组织的演变

以晶粒或相的尺寸、形态、取向以及再结晶、织构等显微组织变化来探索材料塑性变形的微观机制以及特征组织变化规律。

##### (2) 晶体塑性力学理论方法

根据位错滑移和孪晶的晶体材料塑性变形机理,建立单晶体和多晶体材料的本构模型,利用有限元方法进行材料各向异性、织构演化方面的研究。

## 七、考核要求

采用平时成绩与期末考试相结合的方式。

## 八、编写成员名单

张士宏(中国科学院金属研究所)、杜奎(中国科学院金属研究所)、李扬(中国科学院金属研究所)、程明(中国科学院金属研究所)

## 15 聚合物成型加工原理

### 一、课程概述

本课程目的是为高分子材料及其制品加工的流变学原理、加工工艺方法选择、优化与创新性设计、加工设备设计与制造、自动化与智能制造等提供必要的理论依据。

本课程着重介绍黏弹性,探讨剪切、拉伸、压缩等外力作用、温度、时间、分子结构特征等因素对黏弹性材料流变性质、聚集态微结构的影响;阐明原材料的化学组成、分子结构与流变、熔融、结晶、取向、制品性能与成型加工之间的关系;聚合物的流动与形变原理以及聚合物流变性能对成型加工的影响;聚合物主要成型加工操作单元中的挤出理论、注射成型机理、压延机理以及新型成型加工方法如 3D 打印等;多相多组分体系在成型加工过程中的微结构演变规律,在此基础上,探讨如何设计和充分利用成型加工过程中温度分布、压力分布、剪切速率分布,实现高分子材料的高次结构控制和多种功能集成。

### 二、先修课程

高分子化学,高分子物理,材料分析方法原理。

### 三、课程目标

通过本课程的学习,使材料科学与工程各专业的研究生掌握高分子材料成型加工的基本原理与方法,了解领域前沿研究与研究热点,了解材料加工领域的发展趋势,培养研究生的创新研究思路、加工技术方案设计及高次结构与加工关联的综合分析能力。

### 四、适用对象

材料科学与工程学科硕士研究生和博士研究生。

### 五、授课方式

建议学时 48 学时。采用课堂讲解、课堂讨论、课堂测试、课程实践相结合的授课方式。

### 六、课程内容

- (1) 高分子材料在大材料中的地位,高分子材料科学发展历史回顾及发展趋势,成型与加工的内涵与外延;
- (2) 聚合物及其复合材料的流变理论及分析方法;
- (3) 聚合物加工过程中的传热与传质原理与方法;
- (4) 聚合物及其复合材料体系熔体分散混合的理论基础,纳米粒子分散原理与技术;
- (5) 挤出机的螺杆设计与工作特性,挤出制品的口模成型与设计原理;
- (6) 反应挤出与形态控制;

(7) 熔体注射与充模过程分析,工艺过程与形态控制;

(8) 聚合物压延流动与模型分析;

(9) 聚合物纤维成型与薄膜吹塑过程;

(10) 聚合物的新型成型加工方法与技术。

### 七、考核要求

采用平时成绩与开卷考试相结合的方式。

### 八、编写成员名单

瞿金平(华南理工大学)、杨鸣波(四川大学)、何光建(华南理工大学)、杨伟(四川大学)

## 16 空间材料科学与技术

### 一、课程概述

外层空间的以“微重力、无容器、超高真空”为主要特征的超常物理化学环境是世界各国竞相开发的一种高科技资源。载人航天技术的迅猛发展为我国开展空间应用科学研究开辟了广阔前景。空间材料科学与技术这一课程的设置将为我国空间科学与技术的发展培养专业型的科学研究与技术开发人才。

本课程主要讲授空间环境的“微重力、无容器、超高真空、强辐射”等物理化学特征,空间环境中的流体力学规律,各类材料在这种特殊环境中呈现的物理化学性质及相变过程规律,空间材料制备过程原理与工艺,空间环境地面模拟技术,以及空间环境中材料使用性能特点。

### 二、先修课程

固体物理,材料科学基础,声学原理与技术。

### 三、课程目标

通过本课程的学习,了解空间环境的物理化学特征,理解空间环境中的流体力学的基本规律,了解各类材料在空间超常条件下呈现的特殊物理化学性质和相变规律,掌握空间材料制备过程的原理与方法,全面、系统地掌握各种空间环境地面模拟技术,了解空间环境中材料使用性能特点。

修完本课程以后,建立空间科学与技术特别是空间材料科学技术的系统知识体系。掌握国际空间科学与技术的发展历史及我国载人航天技术的发展战略。能够利用空间环境地面模拟技术开展材料科学实验。能够针对空间实验,设计并优化相应的实验方案,分析实验结果。



## 四、适用对象

材料科学与工程学科、物理学学科博士研究生和硕士研究生。

## 五、授课方式

建议学时 60 学时。授课方式包括课堂讲授、现场演示实验和课堂讨论三种。课堂讲授部分约占总学时 60%。现场演示实验依托西北工业大学空间材料科学与技术省部级重点实验室开展各种空间环境地面模拟技术的原理和具体实验过程,约占总学时 30%。此外,通过引入空间材料科学的最新研究成果开展课堂分析讨论,利于学生深入理解空间环境下材料所呈现的特殊性质和规律,约占总学时 10%。

## 六、课程内容

### 1. 绪论

介绍空间材料科学与技术的学科范畴,研究课题以及本课程的主要内容。

### 2. 空间环境的物理特征

- (1) 微重力效应。
- (2) 无容器状态。
- (3) 超高真空环境。
- (4) 空间环境的其他物理特征。

### 3. 空间环境中相变热力学与动力学

- (1) 流体静力学及毛细现象:流体静压力基本概念,毛细现象,表面能与表面张力,马兰格尼对流现象。
- (2) 流体力学基本规律:能量守恒、动量传输规律、质量守恒定律等,贝尔纳对流,热毛细对流,无量纲参数与流体动力学。
- (3) 相变热力学和动力学:相变分类,相变驱动力,调幅分解。
- (4) 晶体生长过程:纯扩散控制生长,浮区晶体生长,溶液晶体生长,气相沉积过程。

### 4. 空间材料科学研究方法

- (1) 空间实验技术概述:空间站实验,返回式卫星,探空火箭,抛物线飞机,落管/落体技术,悬浮技术等。
- (2) 高频电磁悬浮原理及过程控制:高频电磁悬浮的物理原理,电磁悬浮线圈电磁场分布规律,电磁悬浮液态金属的热物理性质测定方法,落滴式量热计测定液态金属比热原理及方法,电磁悬浮条件下深过冷熔体快速凝固规律。
- (3) 超声悬浮原理与液滴动力学:超声悬浮的物理原理,声辐射力及声场分布,超声悬浮条件下水滴的深过冷行为,超声悬浮液滴旋转、振荡等动力学问题,超声悬浮共晶合金表面波现象及快速凝固规律。
- (4) 静电悬浮技术原理与应用:静电悬浮的物理原理,材料带电方式及电荷分布规律,静电悬浮动态过程控制方法,静电悬浮熔体热物理性质测定原理及方法,静电悬浮条件下晶体生长过程实时观测研究,非金属材料的静电悬浮动态过程。

(5) 气动悬浮实验技术:气动悬浮的物理原理,气体喷嘴及气流控制,气动悬浮条件下氧化物材料合成与凝固过程。

(6) 其他地面模拟研究方法:落塔/落管自由落体技术,壳核组织现象及其形成规律,自由落体条件下偏晶合金相分离研究,熔融玻璃净化技术,玻璃净化剂的成分设计及合成方法。

### 5. 空间环境中的材料制备工艺

- (1) 金属材料的空间凝固。
- (2) 无机玻璃与光学晶体的空间制备。
- (3) 半导体晶体在空间环境中生长。
- (4) 生物医学材料的空间制备过程。

### 6. 超重力条件下的材料科学

超重力实验技术,超重力对传输过程的影响,超重力条件下液固相变特点,超重力条件下的材料制备工艺。

## 七、考核要求

考核方式:笔试(闭卷)、课程汇报(口头汇报和书面报告)。

考核标准:笔试考核学生对空间材料科学研究基本原理和主要方法的理解与掌握情况。

课程汇报评分标准包括:学术内容(40%)、逻辑关系(30%)和论文格式(30%)三方面。

## 八、编写成员名单

魏炳波(西北工业大学)、胡亮(西北工业大学)、翟薇(西北工业大学)