

# 《薄膜技术与纳米材料》课程教学大纲

## 一、课程基本信息

英文名称	Thin film technology and nanomaterials	课程代码	PHYS2043
课程性质	专业选修课程	授课对象	物理学专业
学 分	3 学分	学 时	36 学时
主讲教师	倪卫海	修订日期	2021 年 9 月
指定教材	张耀军等,《纳米材料基础》,化学工业出版社,2015年,第二版.		

## 二、课程目标

### (一) 总体目标:

纳米材料学科是近年来刚刚兴起并受到普遍关注的一个新的科学领域,它涉及到凝聚态物理、化学、材料、电子等多种学科的知识,对凝聚态物理和材料学科产生了深远的影响。该课程是与材料科学相关的一门专业提高课程。课程的任务是通过课堂教学使学生了解、掌握纳米材料的基本概念、纳米材料的制备方法、纳米材料结构和性能的关系,以及纳米复合材料的研究进展。通过本课程的学习,培养学生在交叉学科和创新能力等方面的综合发展,使学生了解纳米材料研究的最新成果和发展趋势,开拓科技视野,提高科研素质和能力,为知识创新和技术创新奠定基础。

### (二) 课程目标:

**课程目标 1:** 通过介绍基本概念和学科发展简史,使学生了解纳米尺度、纳米材料和纳米科技的内涵,了解纳米材料的基本特点和纳米科学研究的内容,以及纳米材料学科与其它学科的关系,最后了解研究纳米材料对生产力的重要性。

**课程目标 2:** 以介绍宏观材料的物理描述为基础,对比学习纳米尺度上发生的变化,让学生建立起纳米尺度的物理概念和图像,从而让学生掌握量子尺寸效应、表面效应、小尺寸效应、宏观量子隧道效应、库仑堵塞与量子隧穿等基本物理概念。

**课程目标 3:** 以介绍宏观材料的电学、光学、力学、热学、磁学、化学性质为基础,对比学习纳米材料的性质,使学生掌握一些描述纳米材料性质的基本理论,了解纳米材料相对应宏观材料性质变化的产生根源。

**课程目标 4:** 通过系统地介绍纳米结构单元的两种制备方法,即自上而下和自下而上的方法比较两种方法的优劣性,并介绍将两种方法结合的新方法。使学生对制备纳米材料的策略和方法有基本的了解,掌握几种代表性方法的基本原理,并能够比较和评价各种方法的优缺点,能够对方法加以选择和区分。为学生未来成为该领域研究和技术人员奠定基础。

**课程目标5：**通过学习三种利用不同相互作用成像的显微表征方法，即光学显微、扫描探针显微和电子束显微技术。使学生掌握光学显微镜、原子力显微镜、扫描隧道显微镜、扫描和透射电子显微镜的原理，了解相关的设备情况，使得学生能够比较和评价各种表征方法的优缺点，能够对表征方法加以选择和区分其应用范围。为学生未来成为该领域研究和技术人员奠定基础。

### (三) 课程目标与毕业要求、课程内容的对应关系

表 1：课程目标与课程内容、毕业要求的对应关系表

课程目标	对应课程内容	对应毕业要求	
课程目标 1	第一章 绪论	具有终身学习和专业发展意识，了解纳米技术前沿以及国内外相关发展动态。	掌握纳米尺度和纳米材料的基本概念；了解自然界的纳米材料；了解人工纳米材料和纳米科技的研究对象及发展简史；了解纳米科技发展的前景。
课程目标 2	第二章 纳米效应		掌握导体，绝缘体，半导体能带结构的基本概念；掌握量子限域效应的久保理论，久保理论的讨论和结论；掌握表面效应的原理；了解宏观量子隧道效应的概念。
课程目标 3	第三章 纳米材料性质		了解单晶，多晶，非晶的概念，掌握 Hall-Petch 方程描述的物理规律，硬度极限；掌握熔点和粒径之间的关系；掌握磁性的产生机制，顺磁，铁磁，超顺磁，磁畴，磁盘存储的极限，磁滞回线描述的物理过程；掌握弹道输运，量子隧穿，库伦阻塞效应；掌握光的吸收和发射的物理过程，光催化的机理，光散射和丁达尔效应；了解催化剂在化学反应中的作用，纳米催化剂的效能。
课程目标 4	第四章 制备方法		了解自上而下和自下而上的概念和内容，两种方法的优劣性；掌握物理气相沉积的原理和设备；掌握化学气相沉积的原理和设备；掌握化学液相合成方法及其机理；掌握自组装机理；掌握物理粉碎法、光刻法和其他图形化技术。了解自上而

			下和自下而上相结合的制备方法。
课程目标 5	第五章 表征方法		了解显微的三要素；了解电子与物质相互作用机理；掌握光学成像的原理及不同的成像方式；掌握电子扫描显微镜发展过程和原理；了解电子光学系统发展过程、电子透射显微镜原理和电子衍射成像原理；了解像差的概念和产生原理；掌握扫描探针显微镜的发展过程和原理和工作模式；掌握激光扫描共聚焦显微技术；了解几种不同显微技术的优缺点。

### 三、教学内容

#### 第一章 绪论

##### 1.教学目标

掌握纳米尺度和纳米材料的基本概念；了解自然界的纳米材料；了解人工纳米材料和纳米科技的研究对象及发展简史；了解纳米科技发展的前景。

##### 2.教学重难点

纳米尺度和纳米材料，纳米材料按维度分类，纳米科技的发展前景。

##### 3.教学内容

##### 3.1 纳米世界概述

纳米的由来

##### 3.2 纳米材料的定义

纳米材料定义，空间尺度划分

##### 3.3 纳米材料的分类

按维度分类，自然界的纳米材料，人工纳米材料，纳米科技的起源

##### 3.4 纳米科学和技术

纳米科技的定义

##### 3.5 工业革命的驱动

费曼的设想，计算机微型化和信息存储

##### 3.6 目前技术的基础性缺陷

##### 3.7 分子电子学

3.8 未来的技术挑战

3.9 纳米材料的应用

4.教学方法

教师讲授，师生讨论等。

5.教学评价

课后思考题、作业习题。

## **第二章 纳米效应**

1.教学目标

掌握导体，绝缘体，半导体能带结构的基本概念；掌握量子限域效应的久保理论，久保理论的讨论和结论；掌握表面效应的原理；了解宏观量子隧道效应的概念。

2.教学重难点

能带结构；久保理论；表面效应、宏观量子隧道效应。

3.教学内容

3.1 小尺寸效应

颗粒尺寸与物理特征尺寸的比较

3.2 量子限域效应

导体，半导体，绝缘体能带结构，久保公式的推导，久保公式的讨论，温度的影响，应用

3.3 表面效应

表面原子数占比随粒径的变化

3.4 宏观量子隧道效应

弹道输运，量子隧穿，共振隧穿，非弹性隧穿

4.教学方法

教师讲授，师生讨论等。

5.教学评价

课后思考题、作业习题。

## **第三章 纳米材料性质**

1.教学目标

了解单晶，多晶，非晶的概念，掌握 Hall-Petch 方程描述的物理规律，硬度极限；掌握熔点和粒径之间的关系；掌握磁性的产生机制，顺磁，铁磁，超顺磁，磁畴，磁盘存储的极限，磁滞回线描述的物理过程；掌握弹道输运，量子隧穿，库伦阻塞效应；掌握光的

吸收和发射的物理过程，光催化的机理，光散射和丁达尔效应；了解催化剂在化学反应中的作用，纳米催化剂的效能。

## 2.教学重难点

硬度极限，超顺磁，磁滞回线，磁盘存储机制，弹道输运，库伦阻塞，发射和吸收，散射，丁达尔效应

## 3.教学内容

### 3.1 力学性质

应力和应变，单晶，多晶，非晶，晶界，Hall-Petch 方程，硬度极限

### 3.2 热学性质

熔点和粒径的关系，比热和粒径的关系

### 3.3 磁学性质

磁性，顺磁，铁磁，磁滞回线，磁畴，超顺磁，硬盘存储

### 3.4 电学性质

隧道二极管，隧道场效应管，库伦阻塞效应的推导，单电子晶体管

### 3.5 光学性质

材料的吸收和发光，粒径和光谱的关系，光催化过程，光散射，丁达尔效应

### 3.6 化学性质

催化剂，纳米催化

## 4.教学方法

教师讲授，师生讨论等。

## 5.教学评价

课后思考题、作业习题。

## **第四章 制备方法**

### 1.教学目标

了解自上而下和自下而上的概念和内容，两种方法的优劣性；掌握物理气相沉积的原理和设备；掌握化学气相沉积的原理和设备；掌握化学液相合成方法及其机理；掌握自组装机理；掌握物理粉碎法、光刻法和其他图形化技术。了解自上而下和自下而上相结合的制备方法。

### 2.教学重难点

自上而下，自下而上的策略；物理气相沉积，化学气相沉积，自组装，光刻

### 3.教学内容

### 3.1 自下而上的方法

物理方法：物理气相沉积；化学方法：化学气相沉积，化学液相合成，自组装

#### 3.1.1 物理气相沉积

蒸发法，溅射法的原理和设备构造

#### 3.1.2 化学气相沉积

化学气相沉积的原理和设备构造

#### 3.1.3 液相合成法

沉淀法，水热法相图，溶胶凝胶法，微乳液法，表面活性剂分子，胶束与反胶束，微波法，超声法

#### 3.1.4 自组装技术

相互作用力，表面活性剂分子的作用

### 3.2 自上而下的方法

#### 3.2.1 物理粉碎法

机械球磨机

#### 3.2.2 光刻法

光刻工艺流程，光刻机原理和构造，分辨率，电子束光刻，离子束光刻，光刻胶

#### 3.2.3 其他图形化技术

纳米压印技术：热压印，紫外压印，微接触压印；纳米掩膜刻蚀技术，扫描探针纳米刻蚀技术

### 3.3 自上而下和自下而上相结合的技术

模板诱导自组装，刻蚀辅助 LB 膜自组装，刻蚀催化图形自组装，纳米掩膜刻蚀

## 4.教学方法

教师讲授，师生讨论等。

## 5.教学评价

课后思考题、作业习题。

## **第五章 表征技术**

### 1.教学目标

了解显微的三要素；了解电子与物质相互作用机理了解；掌握光学成像的原理及不同的成像方式；掌握电子扫描显微镜发展过程和原理；了解电子光学系统发展过程、电子透射显微镜原理和电子衍射成像原理；了解像差的概念和产生原理；掌握扫描探针显微镜的发展过程和原理和工作模式；掌握激光扫描共聚焦显微技术；了解几种不同显微技术的优缺点。

## 2.教学重难点

艾里斑和光学分辨率，共聚焦显微原理，扫描电子显微镜，透射电子显微镜，原子力显微镜，各种显微技术的性能指标比较

## 3.教学内容

### 3.1 利用光与样品相互作用成像

#### 3.1.1 光学显微镜

- A. 人眼，白光光谱，显微镜的定义，三要素
- B. 光学显微技术的发展，放大的原理
- C. 点光源成像和艾里斑，瑞利判据和分辨率，数值孔径
- D. 光学显微系统的组成：物镜，光源，聚光镜，目镜，光学探测器
- E. 光学显微功能的实现，无限矫正系统，克尔照明，暗场

#### 3.1.2 激光扫描共聚焦显微技术

- A. 共聚焦显微的定义
- B. 发展历史
- C. 系统组成：微孔，激光器，荧光探针，光束扫描机构，光电倍增管
- D. 功能特点：和一般宽场照明的比较，扫描速度和成像质量，横向和纵向分辨率，微孔大小，扫描采样过程，光学切片，滤波隔离，多道分析和光谱分辨，线扫技术

### 3.2 利用电子与样品相互作用成像

#### 3.2.1 扫描电子显微镜

- A. SEM 的诞生
- B. 电子束与固体的相互作用：二次电子，背散射电子，俄歇电子
- C. 结构与工作原理：电子枪，电子光学系统
- D. 衬度与成像：二次电子和背散射电子的衬度
- E. 特性与优点：分辨率，放大倍数，景深，和光学显微镜的比较
- F. 样品制备：导电层
- G. 应用举例：成像和成分分析

#### 3.2.2 透射电子显微镜

- A. 发展概述
- B. 成像原理：透射电子
- C. 结构：电子光学系统

- D. 样品制备：铜载网
- E. 影响分辨率的因素：球差，像散，色差
- F. 应用：加速电压，电子衍射

### 3.3 利用扫描探针与样品相互作用成像

#### 3.3.1 扫描隧道显微镜

- A. 发展历程
  - B. 工作原理和工作模式：隧道电流，恒高和恒流模式
  - C. 扫描隧道显微镜的组成：隔振系统，机械传感系统，电子控制系统，探针，计算机控制系统
  - D. 特点：分辨率，三维图像，液相，原子和分子操控
  - E. 应用：表面结构观测，反应研究，纳米加工
- A. 发展历程
  - B. 工作原理：悬臂梁形变检测
  - C. 工作模式：恒力和恒高模式
  - D. 操作模式：接触式，非接触式，轻敲模式
  - E. 装置：隔振系统，机械系统，针尖，电子系统，计算机系统
  - F. 特点：优点和缺点
  - G. 应用：形貌测定，物性测量，生物材料，纳米加工

### 4.教学方法

教师讲授，师生讨论等。

### 5.教学评价

课后思考题、作业习题。

## 四、学时分配

表 2：各章节的具体内容和学时分配表

章节	章节内容	学时分配
第一章	绪论	4 学时
第二章	纳米效应	5 学时



第三章	纳米材料性质	5 学时
第四章	制备方法	10 学时
第五章	表征方法	12 学时

## 五、教学进度

表 3：教学进度表

周次	章节名称	内容提要	授课时数	作业及要求	备注
1-2	第一章	绪论	4	复习题 1.1, 1.2, 1.3, 1.5 掌握纳米, 纳米科技的概念	
3-4	第二章	纳米效应	4	复习题 2.1, 2.2, 2.4, 2.7, 2.10 掌握纳米尺度所引起的效应中的根本原因和物理图像	
5-6	第三章	纳米材料性质	4	习题 3.3, 3.5, 3.6, 3.8 掌握纳米尺度带来的影响和宏观材料性质的对比	
7-12	第四章	制备方法	10	习题 4.1, 4.2, 4.5, 4.6, 4.7, 4.10, 4.11, 4.14, 4.15, 4.16, 4.17, 4.20 掌握各种制备方法的原理和设备, 优缺点	
13-18	第五章	表征方法	10	习题 5.1, 5.2, 5.3, 5.4, 5.5, 5.7 掌握各种表征方法的原理和设备, 优缺点	

## 六、教材及参考书目

1. 丁秉钧, 《纳米材料》, 机械出版社, 2004 年

2. 李永军, 刘春艳, 《有序纳米结构薄膜材料》, 化学工业出版社, 2006 年
3. 王中林, 《纳米材料表征》, 化学工业出版社, 2005 年
4. 张立德, 解思深, 《纳米材料和纳米结构》, 化学工业出版社, 2005 年
5. 倪星元, 《纳米材料制备技术》, 化学工业出版社, 2005 年
6. 曹贸盛, 《纳米材料导论》, 哈尔滨工业大学出版社, 2007 年

## 七、教学方法

课堂教学将围绕纳米尺度的基本概念重点讲授, 理论基础结合实际应用; 采用板书和电子讲义的方式, 兼取传统与现代化教学手段的优势; 采用讲授、提问、讨论等教学方法和模式, 提升学生的课堂参与度和积极性; 教学中始终突出以学生为本的教育理念, 重视课程的规划和建设, 按照课程体系制定规范的教学大纲和教学进度表因材施教, 使学生掌握纳米科技的发展脉络, 培养他们的科学思维方法, 使学生变被动学习为主动学习, 真正达到从会学到好学, 最终达到学以致用; 通过启发式教学培养学生较强的主动思考习惯, 注重对学生创新思维和解决问题能力的培养, 培养研究型学习的思维和能力; 及时与学生进行有效沟通, 布置课后作业, 必要时进行习题讲解。为学生未来成为纳米科技领域研究和技术人员奠定基础。

## 八、考核方式及评定方法

### (一) 课程考核与课程目标的对应关系

表 4: 课程考核与课程目标的对应关系表

课程目标	考核要点	考核方式
课程目标 1	相关教学内容	过程化考试+平时学习表现
课程目标 2	相关教学内容	过程化考试+平时学习表现
课程目标 3	相关教学内容	过程化考试+平时学习表现
课程目标 4	相关教学内容	过程化考试+平时学习表现
课程目标 5	相关教学内容	过程化考试+平时学习表现

## (二) 评定方法

### 1. 评定方法

总分=平时成绩（作业、讨论等）20% +期中 30%+闭卷考试 50%。

加分鼓励：提问和回答问题优秀者,每计一次总分加 1 分。

### 2. 课程目标的考核占比与达成度分析

表 5：课程目标的考核占比与达成度分析表

考核占比 课程目标	平时	期中	期末	总评达成度
课程目标 1	10%	10%	10%	(例：课程目标 1 达成度 $=\{0.2 \times \text{平时目标 1 成绩} + 0.2 \times \text{期中目标 1 成绩} + 0.6 \times \text{期末目标 1 成绩}\} / \text{目标 1 总分}$ 。 按课程考核实际情况描述)
课程目标 2	15%	15%	15%	
课程目标 3	15%	15%	15%	
课程目标 4	30%	30%	30%	
课程目标 5	30%	30%	30%	

## (三) 评分标准

课程 目标	评分标准				
	90-100	80-89	70-79	60-69	<60
	优	良	中	合格	不合格
	A	B	C	D	F
课程 目标 1	完全掌握纳米尺度和纳米材料的基本概念，完全了解自然界的纳米材料、人工纳米材料和纳米科技的研究对象及发展简史、纳米科技发展的前景。	掌握纳米尺度和纳米材料的基本概念，了解自然界的纳米材料、人工纳米材料和纳米科技的研究对象及发展简史、纳米科技发展的前景。	较为熟悉纳米尺度和纳米材料的基本概念，较为了解自然界的纳米材料、人工纳米材料和纳米科技的研究对象及发展简史、纳米科技发展的前景。	基本熟悉纳米尺度和纳米材料的基本概念，基本了解自然界的纳米材料、人工纳米材料和纳米科技的研究对象及发展简史、纳米科技发展的前	不熟悉纳米尺度和纳米材料的基本概念，不了解自然界的纳米材料、人工纳米材料和纳米科技的研究对象及发展简史、纳米科技发展的前景。

课程 目标	评分标准				
	90-100	80-89	70-79	60-69	<60
	优	良	中	合格	不合格
	A	B	C	D	F
				景。	
课程 目标 2	完全掌握导体，绝缘体，半导体能带结构的基本概念、量子限域效应的久保理论，久保理论的讨论和结论、表面效应的原理、宏观量子隧道效应的概念。	掌握导体，绝缘体，半导体能带结构的基本概念、量子限域效应的久保理论，久保理论的讨论和结论、表面效应的原理、宏观量子隧道效应的概念。	较为熟悉导体，绝缘体，半导体能带结构的基本概念、量子限域效应的久保理论，久保理论的讨论和结论、表面效应的原理、宏观量子隧道效应的概念。	基本熟悉导体，绝缘体，半导体能带结构的基本概念、量子限域效应的久保理论，久保理论的讨论和结论、表面效应的原理、宏观量子隧道效应的概念。	不熟悉导体，绝缘体，半导体能带结构的基本概念、量子限域效应的久保理论，久保理论的讨论和结论、表面效应的原理、宏观量子隧道效应的概念。
课程 目标 3	完全了解单晶，多晶，非晶的概念，完全掌握 Hall-Petch 方程描述的物理规律，硬度极限；熔点和粒径之间的关系；磁性的产生机制，顺磁，铁磁，超顺磁，磁畴，磁盘存储的极限，磁滞回线描述的物理过程；弹道运输，量子隧穿，库伦阻塞效应；光的吸收和发射的物理过程，光催化的机理，光散射和丁达尔效应；催化剂在化学反应中的作用，纳米催化剂的效能。	了解单晶，多晶，非晶的概念，掌握 Hall-Petch 方程描述的物理规律，硬度极限；熔点和粒径之间的关系；磁性的产生机制，顺磁，铁磁，超顺磁，磁畴，磁盘存储的极限，磁滞回线描述的物理过程；弹道运输，量子隧穿，库伦阻塞效应；光的吸收和发射的物理过程，光催化的机理，光散射和丁达尔效应；催化剂在化学反应中的作用，纳米催化剂的效能。	较为了解单晶，多晶，非晶的概念，较为熟悉 Hall-Petch 方程描述的物理规律，硬度极限；熔点和粒径之间的关系；磁性的产生机制，顺磁，铁磁，超顺磁，磁畴，磁盘存储的极限，磁滞回线描述的物理过程；弹道运输，量子隧穿，库伦阻塞效应；光的吸收和发射的物理过程，光催化的机理，光散射和丁达尔效应；催化剂在化学反应中的作用，纳米催化剂的效能。	了解单晶，多晶，非晶的概念，熟悉 Hall-Petch 方程描述的物理规律，硬度极限；掌握熔点和粒径之间的关系；掌握磁性的产生机制，顺磁，铁磁，超顺磁，磁畴，磁盘存储的极限，磁滞回线描述的物理过程；掌握弹道运输，量子隧穿，库伦阻塞效应；掌握光的吸收和发射的物理过程，光催化的机理，光散射和丁达尔效应；了解催化剂在化学反应中的作用，纳米催化剂	不了解单晶，多晶，非晶的概念，不熟悉 Hall-Petch 方程描述的物理规律，硬度极限；掌握熔点和粒径之间的关系；掌握磁性的产生机制，顺磁，铁磁，超顺磁，磁畴，磁盘存储的极限，磁滞回线描述的物理过程；掌握弹道运输，量子隧穿，库伦阻塞效应；掌握光的吸收和发射的物理过程，光催化的机理，光散射和丁达尔效应；了解催化剂在化学反应中的作用，纳米催化剂

课程 目标	评分标准				
	90-100	80-89	70-79	60-69	<60
	优	良	中	合格	不合格
	A	B	C	D	F
				的效能。	的效能。
课程 目标 4	完全了解自上而下和自下而上的概念和内容，两种方法的优劣性；完全掌握物理气相沉积的原理和设备；化学气相沉积的原理和设备；化学液相合成方法及其机理；自组装机理；物理粉碎法、光刻法和其他图形化技术。自上而下和自下而上相结合的制备方法。	了解自上而下和自下而上的概念和内容，两种方法的优劣性；掌握物理气相沉积的原理和设备；掌握化学气相沉积的原理和设备；掌握化学液相合成方法及其机理；掌握自组装机理；掌握物理粉碎法、光刻法和其他图形化技术。了解自上而下和自下而上相结合的制备方法。	较为熟悉自上而下和自下而上的概念和内容，两种方法的优劣性；物理气相沉积的原理和设备；化学气相沉积的原理和设备；化学液相合成方法及其机理；自组装机理；物理粉碎法、光刻法和其他图形化技术。自上而下和自下而上相结合的制备方法。	基本熟悉自上而下和自下而上的概念和内容，两种方法的优劣性；物理气相沉积的原理和设备；化学气相沉积的原理和设备；化学液相合成方法及其机理；自组装机理；物理粉碎法、光刻法和其他图形化技术。自上而下和自下而上相结合的制备方法。	不了解自上而下和自下而上的概念和内容，两种方法的优劣性；物理气相沉积的原理和设备；化学气相沉积的原理和设备；化学液相合成方法及其机理；自组装机理；物理粉碎法、光刻法和其他图形化技术。自上而下和自下而上相结合的制备方法。
课程 目标 5	完全了解显微的三要素；电子与物质相互作用机理；光学成像的原理及不同的成像方式；电子扫描显微镜发展过程和原理；电子光学系统发展过程、电子透射显微镜原理和电子衍射成像原理；像差的概念和产生原理；扫描探针显微镜的发展过程和原理和工作模式；激光扫描共聚焦显微技	了解显微的三要素；电子与物质相互作用机理了解；光学成像的原理及不同的成像方式；电子扫描显微镜发展过程和原理；电子光学系统发展过程、电子透射显微镜原理和电子衍射成像原理；像差的概念和产生原理；扫描探针显微镜的发展过程和原理和工作模式；激光扫描共聚焦显微技	较为熟悉显微的三要素；电子与物质相互作用机理了解；光学成像的原理及不同的成像方式；电子扫描显微镜发展过程和原理；电子光学系统发展过程、电子透射显微镜原理和电子衍射成像原理；像差的概念和产生原理；扫描探针显微镜的发展过程和原理	基本熟悉显微的三要素；电子与物质相互作用机理了解；光学成像的原理及不同的成像方式；电子扫描显微镜发展过程和原理；电子光学系统发展过程、电子透射显微镜原理和电子衍射成像原理；像差的概念和产生原理；扫描探针显微镜的发展过程和原理	不熟悉显微的三要素；电子与物质相互作用机理了解；光学成像的原理及不同的成像方式；电子扫描显微镜发展过程和原理；电子光学系统发展过程、电子透射显微镜原理和电子衍射成像原理；像差的概念和产生原理；扫描探针显微镜的发展过程和原理

课程 目标	评分标准				
	90-100	80-89	70-79	60-69	<60
	优	良	中	合格	不合格
	A	B	C	D	F
	术；几种不同显微技术的优缺点。	术；几种不同显微技术的优缺点。	和工作模式；激光扫描共聚焦显微技术；几种不同显微技术的优缺点。	和工作模式；激光扫描共聚焦显微技术；几种不同显微技术的优缺点。	和工作模式；激光扫描共聚焦显微技术；几种不同显微技术的优缺点。