

《电子显微学实验》课程教学大纲

一、课程概况

课程名称	电子显微学实验		课程号	207412020	
课程英文名称	Electron Microscopy Experiments		学时/学分	144/4	
课程性质	必修		适用专业	材料物理、功能材料	
课程负责人	张军伟		教学团队	张军伟, 彭勇, 邓霞, 蒙萱, 关超帅, 胡阳	
选用教材及参考书目	教材:《电子显微分析实验指导》 魏大庆 参考书目:《透射电子显微学》 David B. Williams 著, 李建奇译				
课程简介:					
自 1931 年德国科学家 Max Knoll 和 Ernst Ruska 发明第一台透射电镜以来,电子显微镜已历经近百年发展。目前,全球每年生产近万台电子显微镜,其在物理、化工、生物、医药等领域发挥着不可替代的作用,被誉为“科研之眼”。在我国,电子显微学事业及电镜设备购买力正处于快速发展阶段,但专业人才仍显稀缺。为此,兰州大学材料与能源学院依托州大学电镜中心 9 台先进电镜设备和多种制样仪器,在全国范围内首次为本科生开设了《电子显微学实验》课程,旨在使本科生了解电子显微学的研究方法,掌握操作技巧,培养实验与数据分析能力,进而深化多学科人才的培养。					
课程目标 (Course Objectives, CO)					
知识目标 (CO1)	熟悉电子显微学的基本知识				
	了解电子显微学的研究方法				
能力目标 (CO2)	掌握电子显微镜的操作方法				
	培养实验与数据分析能力				
素质、情感价值观目标 (CO3)	提升团队协作和沟通能力				
	增强创新意识和探索精神				
教学方式 (Pedagogical Methods, PM)	<input checked="" type="checkbox"/> PM1 讲授法教学	43.2 学时 30%	<input type="checkbox"/> PM2 研讨式学习	学时	%
	<input type="checkbox"/> PM3 案例教学	学时 %	<input type="checkbox"/> PM4 翻转课堂	学时	%
	<input type="checkbox"/> PM5 混合式教学	学时 %	<input checked="" type="checkbox"/> PM6 体验式学习	100.8 学时	70 %
	<input type="checkbox"/> PM7 讨论教学	学时 %			
考核方式 (Evaluation Methods, EM)	考试课	<input type="checkbox"/> EM1 课程作业	%	<input type="checkbox"/> EM 2 单元测试	%
				<input type="checkbox"/> EM3 课堂辩论	%

	必选	<input type="checkbox"/> EM4 期中考试	%	<input checked="" type="checkbox"/> EM5 期末考试	30%	<input type="checkbox"/> EM6 撰写论文/ 实验报告	%
	考查课 必选	<input type="checkbox"/> EM1 课程作业	%	<input type="checkbox"/> EM 2 单元测试	%	<input type="checkbox"/> EM3 课堂辩论	%
		<input type="checkbox"/> EM4 期末考试	%	<input checked="" type="checkbox"/> EM5 撰写论文/ 实验报告	30%		
	自选	<input checked="" type="checkbox"/> EM10 课堂互动	10%	<input checked="" type="checkbox"/> EM11 实验	30%	<input type="checkbox"/> EM12 实训	%
		<input type="checkbox"/> EM13 实践	%	<input type="checkbox"/> EM14 期末考试	%		

二、教学大纲的定位说明

（一）课程教学目标

（1）深入熟知电子显微镜的实际操作细节，包括各种不同类型电子显微镜的工作原理、特点和应用范围。

（2）掌握电子显微样品的制备技术，熟知不同材料样品的处理方法和注意事项。

（3）熟知电子显微图像的采集、处理和分析方法，熟悉图像解析与数据提取的基本流程。

（4）具备独立操作和维护电子显微镜的能力，能够熟练进行样品加载、显微镜调试和图像获取等操作。

（5）能够运用电子显微学实验方法解决科学研究中的实际问题，提升解决实际问题的能力。

（6）提升实验设计和数据分析能力，能够设计合理的实验方案，并对实验数据进行有效地分析和解读。

（二）课程教学目标与培养目标的关系

教学目标（1）（2）（3）对应知识目标培养，教学目标（4）（5）（6）对应能力目标培养。支撑材料物理专业培养要求的 1.1、1.2、2.1、2.4、3.1、4.1、4.4、5.1 和 9.1；支撑功能材料专业培养要求的 1.1、1.2、2.1、2.4、3.1、4.1、4.4、5.1 和 9.1。

（三）支撑课程目标的教学内容与方法

教师讲授（讲授实验目的、仪器的基本结构与工作原理、操作流程和所需获取的实验数据以及数据分析等）；课堂讨论（结合授课内容和实验目的与学生进行讨论，熟知学生们对本次实验内容的了解情况，加深他们对实验内容的认识）；

上机操作演示（演示设备的基本操作流程；分析实验数据；将理论与实际相结合）；教师发布课后思考题引导学生回顾和反思课堂上的学习内容，并促进学生将所学知识应用于实际情境中；教师提供拓展资料，帮助学生了解电子显微学的前沿动态和实际应用情况。

（四）先修课程要求，与先修及后续相关课程之间的逻辑关系和内容衔接

先修课程为电子显微学和固体物理。后续课程包括 X 射线衍射、半导体材料、金属材料学、陶瓷材料学等。

（五）检验课程目标达成度的考核方法和评分标准

考核方式：实验操作 30%；实验报告 30%；考试 30%；课堂互动 10%。

三、课程内容与安排

第一个实验：透射电子显微镜（TEM）的基本结构及工作原理（11 学时）

学习目标：通过结合透射电子显微镜实物，详细解析其基本构成与工作机理，从而使学生对透射电子显微镜的整体结构有更深入地认识，对其工作原理有更清晰地理解。在此基础上，我们还将结合适当的透射样品，进行实际的成像操作，让学生亲身体会并深入理解成像操作的基本原理。

教学重点：透射电子显微镜的基本结构。（电子枪、聚光镜、样品室、物镜、中间镜、投影镜和荧光屏等部件构成）。

教学难点：透射电子显微镜的成像原理。

教学方法：讲授、多媒体演示、课堂提问与讨论、上机操作演示。

第一节：讲授透射电子显微镜的基本结构及工作原理。

(4 学时)

第二节：上机操作演示。(2 学时)

第三节：学生上机操作。(5 学时)

第二个实验：选区电子衍射(SAED)的操作与应用(11 学时)

学习目标：通过实际操作的演示和详尽的讲解，我们将深入剖析电子衍射的基本原理，帮助学生全面理解电子衍射的核心概念及其在透射电子显微镜中的衍射机制。在此基础上，我们还将运用适宜的透射样品，进行具体的衍射操作，使学生能够亲身参与并深刻领会电子衍射在分析样品晶体结构方面的原理和方法。

教学重点：电子衍射标定材料结构。

教学难点：选区电子衍射方法的成像原理和应用领域。

教学方法：讲授、多媒体演示、课堂提问与讨论、上机操作演示。

第一节：讲授电子衍射的基本原理和透射电子显微镜获取电子衍射的方法。(4 学时)

第二节：上机操作演示。(2 学时)

第三节：学生上机操作。(5 学时)

第三个实验：会聚束电子衍射(CBED)技术及其样品厚度测试(11 学时)

学习目标：该实验通过对会聚束电子衍射现象的观察和分析，进一步理解德布罗意假设及电子波长公式，即实物粒子在波动性方面所表现出的波长和频率等特性。此外，实验

还关注如何测定样品厚度。

教学重点：会聚束电子衍射图案的获取。

教学难点：应用会聚束电子衍射图案对样品厚度的测定原理和计算。

教学方法：讲授、多媒体演示、课堂提问与讨论、上机操作演示。

第一节：讲授会聚束电子衍射的基本原理，介绍如何通过透射电子显微镜获取会聚束电子衍射的方法，并探讨会聚束电子衍射在样品厚度测定中的应用。（4学时）

第二节：上机操作演示。（2学时）

第三节：学生上机操作。（5学时）

第四个实验：透射电子显微暗场技术（DF）的原理及其结构（11学时）

学习目标：通过实验操作，使学生能够将课堂上学到的透射电子显微学理论知识与实际操作相结合，从而深化对暗场成像原理、特点和优势的理解；培养学生熟练掌握透射电子显微镜的操作技能，包括显微镜的调整、暗场成像的设置等，使学生能够独立完成暗场成像实验；通过实验观察和分析不同样品的暗场成像效果，培养学生的观察能力、分析能力和解决问题的能力，使其能够准确识别和分析样品的位错和晶体取向等微观结构和特征。

教学重点：透射电子显微暗场技术的原理、应用和操作方法。

教学难点：透射电子显微暗场技术的原理。

教学方法：讲授、多媒体演示、课堂提问与讨论、上机

操作演示。

第一节：讲授透射电子显微暗场技术的原理与结构特征、暗场技术与电子衍射之间的相互关系以及成像过程中的物理机制，介绍透射电子显微暗场技术的操作技能。（4学时）

第二节：上机操作演示。（2学时）

第三节：学生上机操作。（5学时）

第五个实验：高分辨透射电子显微镜术（HRTEM）的操作以及标定（11学时）

学习目标： 深入理解高分辨显微像的原理与结构特征，深入学习电子束与样品的相互作用，以及成像过程中的物理机制。在此基础上，进一步学习并掌握高分辨透射电子显微镜的操作技能，包括电镜调试、成像条件优化等。同时，我们还要学习透射电子显微镜在材料科学中的应用，探索其在材料表征（晶体结构、晶体取向、晶体缺陷等）、性能分析（应力分析、极化分析等）等方面的潜力。

教学重点： 高分辨成像的原理、应用和操作方法、高分辨像的数据分析软件和方法。

教学难点： 相位衬度原理。

教学方法： 讲授、多媒体演示、课堂提问与讨论、上机操作演示。

第一节：讲授高分辨显微像的原理与结构特征、电子束与样品的相互作用以及成像过程中的物理机制，介绍高分辨透射电子显微镜的操作技能。（4学时）

第二节：上机操作演示。（2学时）

第三节：学生上机操作。（5学时）

第六个实验：X 射线能谱仪（EDX）的基本原理和结构（11 学时）

学习目标：通过此实验，使学生深入熟知 X 射线能谱仪（EDX）的工作原理和结构特点。包括熟知电子束如何作用于试样，激发产生特征 X 射线，以及能谱仪如何收集这些射线并转化为能量分布图谱的过程。通过实验操作，让学生掌握 X 射线能谱仪的分析方法，包括点分析、面分析和线分析试样化学成分及比例，熟知这些分析方法在材料科学、化学、地质学等领域的应用。

教学重点：多种元素分析技术的原理、应用和操作方法。

教学难点：EDS 的操作方法和数据分析。

教学方法：讲授、多媒体演示、课堂提问与讨论、上机操作演示。

第一节：讲授 X 射线能谱仪（EDX）的工作原理和结构特点。（4 学时）

第二节：上机操作演示。（2 学时）

第三节：学生上机操作。（5 学时）

第七个实验：电子能量损失谱仪（EELS）的基本原理和结构（11 学时）

学习目标：通过此实验，使学生熟知 EELS 的工作原理和结构特点，深入理解电子束在试样中的作用过程，包括如何激发产生特征能量损失以及 EELS 谱仪如何收集这些损失信号并转化为能量损失谱图。同时，通过实验操作，让学生掌握 EELS 的分析方法，如点分析、面分析和线分析试样化学成分、成分比例、化学价态和样品厚度等，并了解这些分

析方法在材料科学、化学、地质学等领域的应用。

教学重点：多种元素分析技术的原理、应用和操作方法。

教学难点：EELS 的操作方法和数据分析。

教学方法：讲授、多媒体演示、课堂提问与讨论、上机操作演示。

第一节：讲授 EELS 的工作原理和结构特点。（4 学时）

第二节：上机操作演示。（2 学时）

第三节：学生上机操作。（5 学时）

第八个实验：扫描透射电子显微术（STEM）的基本原理及操作

学习目标：通过扫描透射电子显微术实验，学生需深入掌握其基本原理与关键技术，并了解显微镜的构造与工作原理。实验的核心在于培养学生的观察、分析与解决问题的能力。学生需独立操作显微镜，观察样品微观结构，深化对材料科学的认知。实际操作让学生更直观地理解抽象理论，提升学习兴趣与效果，为日后的科研与实践奠定坚实基础。

教学重点：扫描透射电子显微术的原理、应用、操作方法和数据处理方法。

教学难点：扫描透射电子显微术的成像原理和应用领域。

教学方法：讲授、多媒体演示、课堂提问与讨论、上机操作演示。

第一节：讲授 STEM 的工作原理和结构特点。（4 学时）

第二节：上机操作演示。（2 学时）

第三节：学生上机操作。（5 学时）

第九个实验：电子束曝光技术（EBL）的原理及其结构

(11 学时)

学习目标：通过实验，使学生深入理解电子束曝光技术的基本原理和工作机制。通过实验操作，学生可以直观地观察到电子束与样品的相互作用过程，从而加深对相关理论知识的理解和掌握；学生需要学习如何正确操作电子束曝光设备，包括设备的调试、样品的制备和曝光参数的设定等；通过反复实验和实践，学生可以逐渐掌握这些技能，为将来的科研工作打下坚实的基础；在电子束曝光实验过程中，学生需要仔细观察实验结果，分析影响曝光效果的各种因素，并寻找优化曝光效果的途径。

教学重点：电子束曝光技术的基本原理、应用和操作方法。

教学难点：设备的调试、样品的制备和曝光参数的设定。

教学方法：讲授、多媒体演示、课堂提问与讨论、上机操作演示。

第一节：讲授电子束曝光技术（EBL）的原理与结构特征、电子束与曝光胶之间的相互关系以及电子束曝光过程中的物理机制，介绍电子束曝光技术的操作技能。（4 学时）

第二节：上机操作演示。（2 学时）

第三节：学生上机操作。（5 学时）

第十个实验：扫描电子显微镜（SEM）的工作原理及其结构（11 学时）

学习目标：使学生知道扫描电子显微镜的工作原理、成像机制以及各部分组件的功能，为后续的科研实验和数据分析打下基础；让学生学习如何正确操作扫描电子显微镜，包

括样品的制备、仪器的调试、参数的设定以及图像的观察和分析等。通过实践操作，学生必须熟知这些技能，提高自己的实验能力。

教学重点：扫描电子显微镜的基本原理、应用和操作方法。

教学难点：设备的调试、样品的制备和图片获取参数的设定。

教学方法：讲授、多媒体演示、课堂提问与讨论、上机操作演示。

第一节：讲授扫描电子显微镜（SEM）的工作原理与结构特征、二次电子和背散射电子产生机制以及扫描电子显微图片的获取方法。（4学时）

第二节：上机操作演示。（2学时）

第三节：学生上机操作。（5学时）

第十一个实验：聚焦离子束电镜（FIB）的工作原理及其结构（11学时）

学习目标：使学生深入理解聚焦离子束电镜（FIB）的基本原理、结构以及工作机制；在FIB实验中，学生学习如何正确操作FIB设备，包括样品的制备、设备的调试、离子束参数的设定以及加工过程的监控等；学生需要仔细观察离子束对样品的加工过程，分析加工结果，并根据实验数据调整加工参数以获得更佳的效果。

教学重点：聚焦离子束电镜的基本工作原理、应用和操作方法。

教学难点：设备的调试和应用FIB制备TEM样品。

教学方法：讲授、多媒体演示、课堂提问与讨论、上机操作演示。

第一节：讲授聚焦离子束电镜（FIB）的工作原理与结构特征、离子束与物质之间的相互作用，介绍聚焦离子束电镜的操作技能和如何制备 TEM 样品。（4 学时）

第二节：上机操作演示。（2 学时）

第三节：学生上机操作。（5 学时）

第十二个实验：球差校正透射电子显微镜（Cs-TEM）的工作原理及其结构（11 学时）

学习目标：使学生深入理解和掌握球差校正透射电子显微镜的工作原理、构造和性能特点；学生学习如何正确操作球差校正透射电子显微镜，包括显微镜的调试、球差校正参数的设定以及图像的观察和分析等。在球差校正透射电子显微镜实验过程中，学生需要仔细观察样品的微观结构和成像效果，分析球差校正对成像质量的影响，并根据实验结果进行科学的解释和推理。

教学重点：球差校正透射电子显微镜的基本工作原理、应用和操作方法。

教学难点：球差校正器的原理和基本操作方法和数据处理。

教学方法：讲授、多媒体演示、课堂提问与讨论、上机操作演示。

第一节：讲授球差校正透射电子显微镜的工作原理与结构特征、球差校正对成像质量的影响因素，介绍显微镜的调试、球差校正参数的设定以及图像的观察和分析。（4 学时）

第二节：上机操作演示。（2学时）

第三节：学生上机操作。（5学时）

制定人：张军伟

审定人：张军伟

批准人：贺德衍

日期：2024.10.10