

《双束电镜原理及应用》课程教学大纲

一、课程概况

课程名称	双束电镜原理及应用		课程号	1412070				
课程英文名称	Principle and application of dual beam electron microscope		学时/学分	36/2				
课程性质	选修		适用专业	材料物理、功能材料				
课程负责人	邓霞		教学团队	彭勇、张军伟、蒙萱、胡阳、关超帅				
选用教材及参考书目	教材：《聚焦离子束：应用与实践》邓昱、魏大庆、王英、陈振著 参考书目：《Focused Ion Beam Systems: Basics and Applications》Nan Yao							
<p>课程简介：双束电镜原理及应用是材料科学的专业选修课程。双束电镜主要由扫描电子束系统和离子束系统组成。课程着重阐述扫描电子束系统/离子束的结构、电子束/离子束与物质的相互作用和成像原理；离子束诱导沉积、溅射刻蚀过程及重要控制参数。从实际工作应用角度出发，详细介绍双束电镜在产研半导体器件、核功能材料、金属材料及电子束敏感材料中的应用，其包含微观结构成像、化学成分分析、刻蚀加工、材料沉积、电子束曝光、三维结构解析、电路检测和 TEM 样品制备等。最后结合双束电镜 TEM 样品制备实验操作，使学生形象地理解双束电镜的工作过程，具象化其应用。</p>								
课程目标 (Course Objectives, CO)								
知识目标 (CO1)		熟悉双束电镜的工作原理知识及应用领域						
		掌握双束电镜在半导体器件、核功能材料、金属材料和电子束敏感材料中的应用						
能力目标 (CO2)		利用双束电镜技术对半导体器件、金属材料和电子束敏感材料进行微观检测和分析						
		实践双束电镜的刻蚀、沉积及纳米加工应用						
素质、情感价值观目标 (CO3)								
教学方式 (Pedagogical Methods, PM)		<input checked="" type="checkbox"/> PM1 讲授法教学	32 学时 89 %	<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	4 学时 11 %			
考核方式 (Evaluation Methods, EM)		考试课 必选	<input checked="" type="checkbox"/> EM1 课程作业	20%	<input type="checkbox"/> EM 2 单元测试	%	<input type="checkbox"/> EM3 课堂辩论	%
			<input type="checkbox"/> EM4 期中考试	%	<input type="checkbox"/> EM5 期末考试	%	<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 type="checkbox"/> EM5 撰写论文/实验报告	%		
	自选	<input checked="" type="checkbox"/> EM10 课堂互动	20%	<input type="checkbox"/> EM11 实验	%	<input type="checkbox"/> EM12 实训	%
		<input checked="" type="checkbox"/> EM13 实践	10%	<input checked="" type="checkbox"/> EM14 期末考试	50%		

二、教学大纲的定位说明

（一）课程教学目标与任务

（1）能认识双束电镜的基本组成部件及结构，描述双束电镜成像、刻蚀、沉积和曝光的物理过程及原理。

（2）培养将双束电镜的功能运用于半导体器件检测、加工、修复和分析；功能材料（核材料、金属材料、电池材料和生物材料等）的微纳加工和微结构检测。

（3）实践利用双束电镜对低维材料进行微纳加工。

（4）培养运用双束功能解决材料微观研究及产业器件结构及问题检测的能力。

（二）课程教学目标与培养目标的关系

教学目标（1）对应知识目标培养，教学目标（2）对应材料或器件问题的双束电镜研究方案培养，教学目标（3）（4）对应实践应用能力的培养；支撑材料物理专业、材料化学专业、功能材料专业和新能源材料与器件专业培养要求的 1.1、1.2、1.3、2.2、5.1、5.3 和 9.1。

（三）支撑课程目标的教学内容与方法

教师讲授（结合多媒体演示等手段讲授重点、难点等核心内容；梳理课程思维逻辑；总结与强调关键知识点等）；案例教学（通过各种案例展现电子显微学在前沿科学中的应用）；讨论教学（教师发布讨论主题引导学生展开讨论）；课后发布作业以帮助学生巩固课堂知识，促进知识的应用与深入理解；提供线下答疑环节，解答学生在学习和实践中遇到的疑难问题；教师还将提供拓展阅读资料，以开拓学生的学术视野，培养他们的思维能力和创新意识；实验教学（带

领学生走进实验室，参与双束电镜涉及的刻蚀、沉积、纳米操纵及成像功能的 TEM 样品制备过程，将理论和实践相结合，加深对双束电镜的理解）。

（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

先修课程为普通物理、理论物理导论、材料科学基础和固体物理学导论。后续相关课程包括电子显微学实验、半导体物理与器件、半导体材料、金属材料学、陶瓷材料学、生物医用材料等。

（五）检验课程目标达成度的考核方法和评分标准

考核方式：期末闭卷考试 50%；课程作业 20%；实践 10%；课堂互动 20%。

三、课程内容与安排

第一章 绪论（4 学时）

学习目标：通过本章的教学，使学生了解双束电镜的发展历程，能够认识双束电镜的结构；能够阐述双束电镜的功能并将其与半导体、金属材料、核功能材料核电子束敏感材料的微观检测应用实例相联系；双束电镜课程的内容、学习任务及方法等。

教学重点：双束电镜的结构与功能，双束电镜在产研材料领域的应用；双束电镜课程的内容、学习任务及方法等。

教学难点：利用双束电镜的功能对材料或器件进行检测。

教学方法：讲授、多媒体演示、课堂提问与讨论、课后阅读材料。

第一节 双束电镜的发展历程，双束电镜的结构简介及功

能（2学时）

第二节 双束电镜在半导体、金属材料、核功能材料和电子束敏感材料中的成像、刻蚀和沉积等微观检测及加工应用实例（2学时）

第二章 双束电镜的结构及工作原理（8学时）

学习目标：通过本章的教学，使学生能够掌握聚焦离子束-扫描电子显微镜（FIB-SEM）的基本构造和工作原理，了解 FIB-SEM 系统的主要组成部分，如离子束源、电子束源、扫描系统、检测系统以及它们之间的相互作用；深入理解离子束和电子束是如何通过特定的角度和路径在样品上实现加工和成像；并通过理论学习和实验操作，能够独立思考和解决在 FIB-SEM 使用过程中遇到的问题，具备进行科学研究的基本素养和能力。

教学重点：离子束和电子束的产生、聚焦、扫描以及与样品表面相互作用的机制；离子源、电子源、扫描系统、检测系统等关键部件的工作原理。

教学难点：产生离子束、电子束的物理原理；离子束、电子束与样品相互作用的物理过程；显微镜部件的工作原理。

教学方法：讲授、多媒体演示、课堂提问与讨论、课后阅读材料及完成作业

第一节 FIB-SEM 的基本构造及工作原理（2学时）

第二节 电子束与样品的相互作用（2学时）

第三节 离子束与样品的相互作用（2学时）

第四节 FIB-SEM 的基本操作及制样流程（2学时）

第三章 双束电镜在核功能材料中的应用（6学时）

学习目标：通过本章的教学，使学生能够识别最常见的几种核反应堆，以及核反应堆中几种常见的结构材料（包括奥氏体不锈钢、锆合金等等）；阐述载能离子与材料的相互作用，认识核反应堆中材料辐照效应的基本概念，确立中子辐照与核结构材料机械性能退化之间的对应关系；能够运用核材料辐照效应的分析方法，结合聚焦离子束的基本功能，掌握聚焦离子束在核能材料研究中的应用案例。

教学重点：核反应堆各种堆型介绍；运动粒子在固体内的慢化；入射离子在固体内的射程；初级离位原子；级联碰撞；离位峰；辐照损伤的计算；损伤速率和损伤剂量；辐照硬化、催化和断裂；辐照生长、蠕变和疲劳；辐照损伤的微观结构表征。

教学难点：运动粒子在固体内的慢化；辐照损伤的计算；辐照损伤的微观结构表征。

教学方法：讲授、多媒体演示、课堂提问与讨论、课后阅读材料

第一节 核反应堆常见堆型介绍（1学时）

第二节 核反应堆常用金属结构材料介绍（1学时）

第三节 核材料辐照效应介绍（2学时）

第四节 核材料 TEM 样品的聚焦离子束制备（1学时）

第五节 核材料的 TEM 微观结构表征（1学时）

第四章 双束电镜在半导体中的应用（4学时）

学习目标：能利用扫描电镜的成像原理，对半导体器件进行电路检测；结合双束电镜的刻蚀、沉积和纳米操作功能，阐述双束电镜在电路检修、加工及截面结构判断等方面的应

用；能针对电路短路、短路等基本问题，设计双束电镜检测方案。

教学重点：利用扫描电镜成像衬度原理，对半导体器件或集成电路进行功能检测；描述双束电镜对器件进行截面检测的参数设置。

教学难点：利用扫描衬度对电路进行检测原理，器件截面检测。

教学方法：讲授、多媒体演示、课堂提问与讨论、课后阅读材料。

第一节 双束电镜成像衬度原理在电路检测中的应用（2学时）

第二节 双束电镜在器件截面检测中的应用（2学时）

第五章 双束电镜在金属材料中的应用（4学时）

学习目标：通过本章的教学，使学生能够判断 FIB-SEM 在材料微观结构观察、元素分析及加工制备等方面的技术特点，学会利用 FIB-SEM 进行金属材料微观组织分析、界面结构观察及三维重构等实验方法，能够结合金属材料学的基本知识，分析 FIB-SEM 实验结果，提出材料性能优化建议。

教学重点：FIB-SEM 在金属材料微观结构观察中的应用实例；FIB-SEM 在材料元素分析及加工制备中的技术应用；FIB-SEM 实验操作技能及数据分析方法。

教学难点：FIB-SEM 高级功能如三维重构、纳米加工等的理解与应用；FIB-SEM 实验数据的深度分析与解读。

教学方法：讲授、多媒体演示、课堂提问与讨论、课后阅读材料

第一节 应用实例介绍（2学时）

第二节 实验操作技能与数据分析方法（2学时）

第六章 双束电镜在电子束敏感材料中的应用（6学时）

学习目标：通过本章的教学，使学生理解电子束敏感样品双束分析的化学处理和冷冻处理原理及流程；能够描述双束电镜功能在生物材料、电池材料、地质材料、化妆品等电子束敏感材料的微观结构、成分分析和三维结构解析等中的应用；能根据实际材料性能设计双束电镜及其他仪器联用分析方案。

教学重点：电子束敏感样品双束分析的前处理；电子束敏感样品双束分析条件；双束电镜与光镜、冷冻透射电镜技术的联用。

教学难点：电子束敏感样品双束分析条件

教学方法：讲授、多媒体演示、课堂提问与讨论、课后阅读材料。

第一节 电子束敏感样品的化学及冷冻处理（2学时）

第二节 生物材料的双束分析及其他联用分析（2学时）

第三节 电池、地质和化妆品等材料的双束分析及其他联用分析（2学时）

第七章 双束电镜上机操作加工 TEM 样品（4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： 实物介绍、课堂提问与讨论、上机操作演示。

第一节 介绍双束电镜的基本结构及工作原理（1 学时）

第二节 上机操作双束电镜 TEM 制样（3 学时）

制定人：邓霞

审定人：张军伟

批准人：贺德行

日期：2024.10.10