

《半导体物理与器件》课程教学大纲

一、课程概况

课程名称	半导体物理与器件	课程号	105412028	
课程英文名称	Semiconductor physics and devices	学时/学分	72/4	
课程性质	必修	适用专业	新能源材料与器件	
课程负责人	李亚丽	教学团队	贺德衍, 栗军帅, 刘奇明	
选用教材及参考书目	教材: 《半导体物理学》(第8版) 主编 刘恩科 朱秉升 罗晋生, 电子工业出版社, 2023年5月 参考书目: 《半导体物理与器件》(第4版), [美] 唐纳德 尼曼, 电子工业出版社, 2018年6月			
课程简介: 本课程是新能源材料与器件专业本科生必修的专业核心课。该课程的主要内容可分为半导体物理与半导体器件两部分, 其中半导体物理部分主要包括半导体中的电子状态、半导体材料基础、载流子模型、载流子输运及非平衡载流子等。半导体器件部分主要包括半导体器件中相关的接触现象及相关器件原理, 并介绍半导体的一些特殊效应。本课程的任务是揭示和研究半导体的微观机构, 从微观的角度解释发生在半导体中的宏观物理现象。 通过该课程的学习使学生全面地了解和掌握半导体物理及器件方面的基本概念、知识理论及基本模型和分析方法, 为学生将来从事与新能源相关的半导体材料、半导体器件的理论研究和应用研究打好基础, 为进一步学习相关学科的其他课程提供理论依据。				
课程目标 (Course Objectives, CO)				
知识目标 (CO1)	掌握半导体物理的基本概念			
	掌握半导体中的基本微观机构			
	掌握半导体器件的基本原理			
能力目标 (CO2)	学会分析半导体材料性质			
	能够独立开展半导体材料及器件的性能分析			
	能够根据测试结果分析判断半导体器件性能			
素质、情感价值观目标 (CO3)	为后续专业课学习、科学研究、工程实践奠定坚实的理论基础			
教学方式 (Pedagogical Methods, PM)	<input checked="" type="checkbox"/> PM1 讲授法教学	54 学时 75%	<input checked="" type="checkbox"/> PM2 研讨式学习	2 学时 2.8%
	<input type="checkbox"/> PM3 案例教学	学时 %	<input checked="" type="checkbox"/> PM4 翻转课堂	2 学时 2.8%
	<input checked="" type="checkbox"/> PM5 混合式教学	12 学时 16.6%	<input checked="" type="checkbox"/> PM6 体验式学习	2 学时 2.8%

考核方式 (Evaluation Methods,EM)	考试课 必选	<input checked="" type="checkbox"/> EM1 课程作业	15%	<input checked="" type="checkbox"/> EM2 单元测试	10%	<input checked="" type="checkbox"/> EM3 课堂辩论	10%
		<input type="checkbox"/> EM4 期中考试	%	<input checked="" type="checkbox"/> EM5 期末考试	50%	<input checked="" type="checkbox"/> EM6 撰写论文/ 实验报告	15%
	考查课 必选	<input type="checkbox"/> EM1 课程作业	%	<input type="checkbox"/> EM2 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 type="checkbox"/> EM10 课堂互动	%	<input type="checkbox"/> EM11 实验	%	<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) 课程教学目标与任务

1.使学生能够准确地解释说明半导体的基本概念、理论、基本模型和分析方法，能够准确描述半导体中载流子的产生、复合及其运动规律。

2.能够准确描述 pn 结二极管，金属半导体接触肖特基二极管及 MOS 晶体管的器件结构、基本原理及实际应用领域，能够熟练写出并解释其电流 - 电压、电容-电压关系方程。

3.能够熟练概括半导体的各种特殊效应，并能运用理论知识对半导体材料的性能进行分析。

4.能够对半导体材料及器件的测试数据给出准确的解释说明，根据数据能够判断器件性能的优劣。

5.能够按时上课并积极参与课堂互动。

(二) 课程教学目标与毕业要求的关系

课程目标		支撑的毕业要求	支撑强度
知识目标 (CO1)	1,2	1	H
能力目标 (CO2)	3,4	2,4	H
素质、情感价值观目标 (CO3)	5	8	L

(三) 支撑课程目标的教学内容与方法

1.教学内容分为两部分，第一部分为半导体材料物理的基础知识，占总课程课时数 75%左右；第二部分为基本半导体器件的基础知识，占总课程课时数 25%左右。

2.教学方法采用线上线下结合的混合教学模式开展；采用传统板书与多媒体课件相结合的课堂教学方法。对重点、难点部分等，尽可能采用黑板书写，而对于一般性的文字叙述和图片资料，则采用多媒体教学。课后布置一定数量的习题，

让学生加深理解，巩固所学的核心知识点。作业批改量达到100%。对作业中出现的错误明确指出存在的主要问题，共性问题则在答疑时集中讲解。其中穿插若干次习题讲解部分及单元小测试等，让学生全面系统地加深理解和巩固本课程的知识体系。

3.适当穿插科学探究式课堂讨论及翻转课堂;提供的讨论课题分为两类：一类为归纳总结性课题，另一类为开放性讨论课题。归纳总结性的课题，学生们将学过的知识进行总结、对比和归纳，开放性讨论课题考察学生的发散性思维及查阅文献获取知识的能力。相较于通常的教学方法，探究性提问和讨论，提升了学生综合应用知识、归纳演绎以及灵活应用知识的能力，同时加强了学生们团结协作的能力。针对个别重要知识点，采用翻转课堂的模式，让学生充分发挥自主能动性，变为课堂主体，以促进教学。

4.课后答疑

每学期安排若干次答疑，及时了解学生的学习情况和对关键知识的掌握程度。

（四）与先修及后续课程之间的逻辑关系和内容衔接

先修课程：量子力学、固体物理、热力学统计物理。

本课程的学习需要掌握量子力学、固体物理及热力学统计物理的基本物理概念、模型及理论。需要了解微观物质的基本运动规律、固体物质的物理性质、微观结构、构成物质的各种粒子的运动形态、相互关系以及统计物理的基本概念。这几门课程分别为本课程的学习提供最基本的理论支持。同时半导体物理及器件也是后续相关课程如：半导体材料、太

阳电池物理与器件等课程的基本理论基础。

（五）检验课程目标达成度的考核方法和评分标准

课程作业（15%）：课后作业能独立完成，给出清晰的解答过程及明确的结果视为合格，根据具体作业情况给出等级评分。

单元测试（10%）：通过课上实时教学工具推送课程测试内容，记录学生答题时间及答题正确与否，给出具体评分等级。

课堂辩论（10%）：课程中针对所学半导体物理知识点，经教师引导，让学生自主设计开放式讨论课题，随机分为不同小组之间进行讨论，针对不同观点进行讨论，根据观点是否新颖，分析总结逻辑性是否较强等给出评分等级。

期末考试（50%）：对各章学习重点及难点内容有针对性地出具笔试题目，通过卷面得分确定学生对相应知识点的掌握程度。

撰写论文/实验报告（15%）：针对课程内容提出综合性课题及拓展性题目让学生发挥主观能动性，通过文献调研小组讨论等形式，综合分析之后撰写论述报告，根据论述报告的完整性，逻辑性，科学性等给出评分等级。

三、课程内容与安排

第一章 半导体中的电子状态（共8学时）

学习目标：重点掌握硅、锗、砷化镓等晶体结构、半导体中的电子运动、有效质量、空穴的概念；掌握主要半导体材料的能带结构；了解半导体中的电子状态；回旋共振实验的目的、意义和原理。

教学重点：几种重要的半导体晶体结构及结合性质，基于单电子近似的半导体能带论，常见半导体材料的能带结构；有效质量、空穴的基本概念，回旋共振实验测量有效质量。

教学难点：基于单电子近似的能带论的定性描述和理解；锗、硅、砷化镓能带结构；有效质量、空穴的概念。

教学方法：课堂及线上讲授，结合线上线下答疑。

第一节 半导体的晶格结构和结合性质（1学时）

第二节 半导体中的电子状态和能带（2学时）

第三节 半导体中的电子的运动、有效质量（1.5学时）

第四节 本征半导体的导电机构、空穴（1.5学时）

第五节 回旋共振（1学时）

第六节 硅和锗的能带结构（0.5学时）

第七节 III-V族化合物半导体的能带结构（0.5学时）

第二章 半导体中的杂质和缺陷能级（共6学时）

学习目标：重点掌握浅能级、深能级杂质，杂质补偿作用与缺陷及半导体能带；掌握浅杂质能级（施主和受主）和深能级杂质的性质和作用；了解缺陷、位错能级的特点和作用。

教学重点：杂质在半导体中的电离以及在禁带中引入浅能级及深能级的机理。缺陷在半导体中的作用及对半导体性能的影响。

教学难点：杂质能级；杂质电离的过程。

教学方法：课堂及线上讲授，结合线上线下答疑。

第一节 硅、锗晶体中的杂质能级（4学时）

第二节 III-V族化合物中的杂质能级（1学时）

第三节 缺陷、位错能级（1学时）

第三章 半导体中载流子的统计分布（共12学时）

学习目标：重点掌握波矢空间的量子态分布、半导体导带底、价带顶附近的状态密度计算；费米分布函数和玻耳兹曼分布函数及其物理意义；本征半导体、杂质半导体载流子浓度的计算；掌握各种不同杂质浓度和温度下的费米能级位置和载流子浓度；了解简并半导体的基本性质。

教学重点：状态密度，有效状态密度及热平衡状态下载流子浓度，费米能级的位置，载流子浓度随温度的变化规律。

教学难点：状态密度、费米能级、有效状态密度的概念，热平衡状态下载流子浓度的计算，载流子浓度随温度的变化规律。

教学方法：课堂及线上讲授，结合线上线下答疑。

第一节 状态密度（4学时）

第二节 费米能级和载流子的统计分布（4学时）

第三节 本征半导体的载流子浓度（1.5学时）

第四节 杂质半导体的载流子浓度（1.5学时）

第五节 简并半导体（1学时）

第四章 半导体的导电性（共14学时）

学习目标：重点掌握载流子统计分布、电导率、迁移率概念和相互关系及其随温度和杂质浓度的变化规律；掌握半导体中主要散射机构的机理、散射几率与杂质浓度及温度的关系；掌握半导体霍尔效应，了解强电场效应、多能谷散射、耿氏效应及半导体磁阻效应。

教学重点：电导率、迁移率与杂质浓度和温度的关系，

强电场效应，耿氏振荡效应及霍尔效应。

教学难点：载流子的散射机构；电导率与迁移率的关系
迁移率与温度的关系，强电场效应，霍尔效应。

教学方法：课堂及线上讲授，结合线上线下答疑。

第一节 载流子的漂移运动和迁移率（2学时）

第二节 载流子的散射（3学时）

第三节 迁移率及其杂质浓度及温度的关系（3学时）

第四节 电阻率及其杂质浓度和温度的关系（2学时）

第五节 强电场下的效应、热载流子（1学时）

第六节 多能谷散射、耿氏效应（1学时）

第七节 半导体霍尔效应及磁阻效应（2学时）

第五章 非平衡载流子（共14学时）

学习目标：重点掌握半导体中非平衡载流子的寿命，及非平衡载流子的产生、复合、漂移和扩散等运动规律；掌握准费米能级的概念，以及半导体中常见的几种复合模式，掌握电流密度方程和电流连续性方程；了解陷阱产生的原因及其应用。

教学重点：非平衡载流子的产生及其运动规律。

教学难点：复合理论，连续性方程，爱因斯坦关系。

教学方法：课堂及线上讲授，结合线上线下答疑。

第一节 非平衡载流子的注入与复合（0.5学时）

第二节 非平衡载流子的寿命（1学时）

第三节 准费米能级（0.5学时）

第四节 复合理论（4学时）

第五节 陷阱效应（2学时）

第六节 非平衡载流子的扩散运动（2 学时）

第七节 载流子的漂移扩散 爱因斯坦关系（2 学时）

第八节 连续性方程（2 学时）

第六章 p-n 结及 p-n 结二极管（共 8 学时）

学习目标：重点掌握 pn 结物理特性、能带图及接触电势差的计算、载流子分布、电流电压特性、结电容；一般掌握 pn 结的击穿机制及隧道效应。

教学重点：pn 结的形成及内部载流子的运动；pn 结的电流 - 电压特性、pn 结电容。

教学难点：肖克莱方程的建立；结电容的计算。

教学方法：课堂及线上讲授，结合线上线下答疑。

第一节 p-n 结及其能带（1 学时）

第二节 p-n 结电压电流特性（3 学时）

第三节 p-n 结电容（2 学时）

第四节 p-n 结击穿（1 学时）

第五节 p-n 结隧道效应（1 学时）

第七章 金属和半导体接触（共 5 学时）

学习目标：重点掌握金属 - 半导体接触的整流理论和欧姆接触；掌握金属 - 半导体接触的能带弯曲过程分析及简图画法，以及实现良好欧姆接触和整流接触的原理和方法。**教学重点：**金属半导体接触中表面态对接触势垒的影响；金属半导体接触的整流理论。

教学难点：金属半导体接触时载流子的运动及能带弯曲过程分析。

教学方法：课堂及线上讲授，结合线上线下答疑。

第一节 金属半导体接触及其能级图（1 学时）

第二节 金属半导体接触整流理论（2 学时）

第三节 少数载流子的注入和欧姆接触（2 学时）

第八章 MOS 结构及 MOS 场效应晶体管（共 5 学时）

学习目标：重点掌握半导体 - 绝缘体 - 金属结构及其相关器件的基本结构及工作原理，掌握并理解表面电场效应及电容 - 电压特性。

教学重点：表面电场效应，MOS 结构的电容 - 电压特性。

教学难点：空间电荷区内能带结构。

教学方法：课堂及线上讲授，结合线上线下答疑。

第一节 表面电场效应与 MOS 结构（1 学时）

第二节 MOS 结构的电容 - 电压特性（2 学时）

第三节 Si-SiO₂ 系统（1 学时）

第四节 表面电导及表面迁移率（1 学时）

制定人：李亚丽

审定人：王连文

批准人：贺德衍

日期：2024.10.10