

《半导体物理与器件》课程教学大纲

一、课程基本信息

英文名称	Semiconductor Physics and Devices	课程代码	PHY2028
课程性质	专业必修课程	授课对象	物理学
学 分	4 学分	学 时	72 学时
主讲教师	李亮、董雯、邓楷模	修订日期	2021.9
指定教材	施敏, 李明达 (著) 王明湘, 赵鹤鸣 (译), 《半导体器件物理与工艺》, 苏州大学出版社, 2014 年		

二、课程目标

(一) 总体目标:

本课程的知识目标: 掌握半导体物理学的基础知识; 掌握典型半导体器件的工作原理和制备方法; 了解半导体科学的发展历史和未来发展趋势; 了解半导体物理与器件在现代科技中的重要意义。能力目标: 掌握半导体科学的研究方法和前沿进展, 提高解决交叉学科领域复杂问题的能力, 锤炼科学思维能力和科研创新能力。素质目标: 掌握辩证唯物主义基本原理, 建立科学的世界观和方法论; 富有科学精神, 勇于在物理学前沿及交叉领域探索、创新与攀登。

(二) 课程目标:

课程目标 1: 了解半导体科学的发展历史和未来发展趋势; 了解半导体物理与器件在现代科技中的具体应用; 了解半导体科学前沿进展和应用前景; 使学生认识到半导体理论在现代科学研究领域的重要性, 掌握辩证唯物主义基本原理, 建立科学的世界观和方法论。

课程目标 2: 掌握半导体物理基本原理, 学会运用能带理论分析半导体的光电特性; 掌握载流子在平衡和非平衡状态下的性质; 训练学生运用物理学基本原理分析复杂系统的能力, 培养和提高学生建立物理图像的能力和解决交叉学科领域问题的能力。

课程目标 3: 掌握典型半导体器件的工作原理和制备方法; 了解典型半导体器件的独特性和应用范围; 了解先进半导体制造关键工艺技术; 帮助学生建立科学观念和科学素养; 培养和提高学生对应用物理科学的兴趣, 锤炼科学思维能力和科研创新能力。

(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 能带和热平衡载流子浓度 第二章 载流子输运现象 第三章 p-n 结	毕业要求 3：了解物理学前沿和发展动态，新技术中的物理思想，熟悉物理学新发现、新理论、新技术对社会的影响。 毕业要求 8：具有自主学习和终身学习意识和社会适应能力。
课程目标 2	第四章 双极型晶体管及相关器件 第五章 MOS 电容器及 MOSFET 第六章 先进的 MOSFET 及相关器件 第七章 MESFET 及相关器件	毕业要求 2：掌握数学、物理相关的基础知识、基本物理实验方法和实验技能，具有运用物理学理论和方法解决问题、解释或理解物理规律。 毕业要求 8：具有自主学习和终身学习意识和社会适应能力。
课程目标 3	第七章 MESFET 及相关器件 第八章 发光二极管和激光器 第九章 光电探测器和太阳能电池	毕业要求 2：掌握数学、物理相关的基础知识、基本物理实验方法和实验技能，具有运用物理学理论和方法解决问题、解释或理解物理规律。 毕业要求 7：具有课题调研、设计、数据处理和学术交流能力。 毕业要求 8：具有自主学习和终身学习意识和社会适应能力。

三、教学内容

第一章 能带和热平衡载流子浓度

1. 教学目标

本章要求学生掌握半导体材料、基本晶体结构、共价键、能带、本征载流子浓度、施主与受主等基础知识。使学生认识到半导体理论在现代科学研究领域的重要性，掌握辩证唯物主义基本原理，建立科学的世界观和方法论。

2. 教学重难点

能带、本征载流子浓度。

3. 教学内容

第一节 半导体材料

- 一、半导体材料的分类
- 二、元素半导体材料
- 三、化合物半导体材料

第二节 基本晶体结构

- 一、单包的概念
- 二、金刚石结构
- 三、晶面和密勒指数

第三节 共价键

- 一、共价键的基本概念
- 二、电子空穴对的概念和形成

第四节 能带

- 一、孤立原子的能级
- 二、能带的形成，并能用能带的观点解释导体、半导体和绝缘体
- 三、不同半导体的能量-动量的关系，

第五节 本征载流子浓度

- 一、本征半导体的概念
- 二、电子浓度、空穴浓度以及本征载流子浓度

第六节 施主与受主

- 一、施主和受主的概念
- 二、施主能级和受主能级与导带价带的关系
- 三、非简并半导体
- 四、简并半导体

4. 教学方法

教师讲授，师生讨论，指导学生自主学习等。

5. 教学评价

思考题：

- 1、如何理解金刚石结构属于面心立方晶体？
- 2、半导体的能带是如何形成的？

3、如何通过能带图判断半导体类型（施主或者受主）？

第二章 载流子输运现象

1. 教学目标

本章要求学生掌握载流子漂移和扩散、产生和复合、连续性方程、隧穿过程、空间电荷效应等知识。掌握半导体材料的研究方法和前沿进展，熟悉物理学新发现、新理论、新技术对社会的影响。

2. 教学重难点

载流子漂移和扩散、产生和复合、隧穿过程。

3. 教学内容

第一节 载流子漂移

- 一、迁移率
- 二、电阻率
- 三、霍尔效应

第二节 载流子扩散

- 一、载流子的扩散过程
- 二、爱因斯坦关系式

第三节 产生和复合过程

- 一、非平衡状态和载流子注入概念
- 二、直接复合
- 三、准费米能级
- 四、间接复合
- 五、表面复合

第四节 连续性方程

- 一、连续性方程
- 二、单边稳态注入
- 三、表面少数载流子的定义

第五节 热离化发射过程

- 一、热离化发射过程

第六节 隧穿过程

- 一、隧穿过程

第七节 空间电荷效应

一、空间电荷效应

第八节 强电场效应

一、强电场效应

4. 教学方法

教师讲授，师生讨论，指导学生自主学习等。

5. 教学评价

思考题：

- 1、如何理解迁移率和晶格散射、杂质散射之间的关系？
- 2、如何通过霍尔效应实验判断半导体载流子的浓度和类型？
- 3、如何理解扩散系数和迁移率之间的关系？
- 4、如何理解连续性方程？

第三章 p-n 结

1. 教学目标

本章要求学生掌握热平衡状态、耗尽区、耗尽电容、电流-电压特性、电荷存储与瞬态响应结击穿、异质结等知识。科学思维方法的训练，掌握数学和物理相关的基础知识，运用物理学理论和方法解释或理解物理规律。

2. 教学重难点

耗尽区、耗尽电容、电流-电压特性、异质结。

3. 教学内容

第一节 热平衡状态

一、能带图

二、平衡费米能级

三、空间电荷

第二节 耗尽区

一、突变结

二、线性缓变结

第三节 耗尽电容

一、电容-电压特性

二、测量杂质分布的 C-V 法

三、变容器

第四节 电流-电压特性

一、pn 结的理想特性

二、产生-复合和大注入效应

三、温度对 pn 结器件性能的影响

第五节 电荷存储与瞬态响应

一、少数载流子的存储

二、扩散电容

三、瞬态响应

第六节 结击穿

一、遂穿效应

二、雪崩倍增效应

第七节 异质结

一、异质结的概念

二、异质结的能带

4. 教学方法

教师讲授，师生讨论，指导学生自主学习等。

5. 教学评价

思考题：

- 1、如何理解 pn 结能带是如何形成的？
- 2、如何理解耗尽电容和扩散电容的区别？
- 3、如何理解 pn 结二极管的整流特性？
- 4、如何理解异质结能带的突变？

第四章 双极型晶体管及相关器件

1. 教学目标

本章要求学生掌握晶体管的工作原理、双极型晶体管的静态特性、双极型晶体管的频率响应与开关特性、异质结双极型晶体管等知识。加强科学的方法论和科学思维方法的训练。

2. 教学重难点

晶体管的工作原理、双极型晶体管的静态特性、双极型晶体管的频率响应与开关特性。

3. 教学内容

第一节 晶体管的工作原理

- 一、双极型晶体管的结构以及分类
- 二、双极型晶体管的放大工作模式
- 三、双极型晶体管的电流增益

第二节 双极型晶体管的静态特性

- 一、理想的双极型晶体管各区域的载流子分布
- 二、放大模式下理想晶体管的电流
- 三、双极型晶体管的四种工作模式
- 四、共基与共射组态下的电流-电压特性

第三节 双极型晶体管的频率响应与开关特性

- 一、双极型晶体管的频率响应
- 二、双极型晶体管的开关瞬态过程

第四节 异质结双极型晶体管

- 一、异质结双极型晶体管的电流增益
- 二、基本异质结双极型晶体管结构

4. 教学方法

教师讲授，师生讨论，指导学生自主学习等。

5. 教学评价

思考题：

- 1、双极型晶体管在放大模式下是如何实现电流增益的？
- 2、为何要求双极型晶体管的基区宽度小于载流子的扩散长度？
- 3、如何改善双极型晶体管的开关特性？

第五章 MOS 电容器及 MOSFET

1. 教学目标

本章要求学生掌握理想的MOS电容器、 $\text{SiO}_2\text{-Si}$ MOS电容器、MOS电容器中的载流子输运、MOSFET基本原理等知识。增强物理方法的训练，物理认知能力、抽象思维能力等的培养。

2. 教学重难点

理想的MOS电容器、MOSFET基本原理。

3. 教学内容

第一节 理想的MOS电容器

- 一、MOS电容器的基本结构
- 二、MOS电容器的能带
- 三、MOS电容器的积累、耗尽、反型
- 四、MOS电容器的曲线

第二节 $\text{SiO}_2\text{-Si}$ MOS电容器

- 一、功函数差
- 二、界面陷阱和氧化层电荷

第三节 MOS电容器中的载流子输运

- 一、绝缘层基本的传导过程

第四节 MOSFET基本原理

- 一、MOSFET基本特性和工作原理
- 二、MOSFET的分类
- 三、阈值电压的控制

4. 教学方法

教师讲授，师生讨论，指导学生自主学习等。

5. 教学评价

思考题：

- 1、MOS电容器发生反型时，能带的特点是什么？
- 2、MOS电容器的总电容由哪些电容决定？
- 3、如何理解MOSFET的夹断点的产生？

第六章 先进的MOSFET及相关器件

1. 教学目标

本章要求学生掌握 MOSFET 按比例缩小、CMOS 与 BiMOS。培养和提高学生的抽象思维能力和解决前沿交叉学科领域量子问题的能力。

2. 教学重难点

MOSFET 按比例缩小、CMOS。

3. 教学内容

第一节 MOSFET 按比例缩小

- 一、短沟道效应
- 二、按比例缩小规范
- 三、控制短沟道效应的 MOSFET 结构

第二节 CMOS 与 BiMOS

- 一、CMOS 反相器的结构
- 二、CMOS 反相器的工作原理

4. 教学方法

教师讲授，师生讨论，指导学生自主学习等。

5. 教学评价

思考题：

- 1、短沟道效应有哪些？是如何产生的？
- 2、CMOS 的主要作用是什么？

第七章 MESFET 及相关器件

1. 教学目标

本章要求学生掌握金属-半导体接触、金半场效应晶体管、调制掺杂场效应晶体管等知识，锤炼科学思维能力和科研创新能力。

2. 教学重难点

金属-半导体接触、金半场效应晶体管。

3. 教学内容

第一节 金属-半导体接触

- 一、金属-半导体接触的基本特性
- 二、肖特基势垒
- 三、欧姆接触

第二节 金属场效应晶体管 (MESFET)

- 一、MESFET 的基本结构
- 二、MESFET 的工作原理
- 三、MESFET 的电流-电压特性
- 四、MESFET 的高频性能

第三节 调制掺杂场效应晶体管 (MODFET)

- 一、MODFET 的基本原理
- 二、MODFET 的电流-电压特性

4. 教学方法

教师讲授，师生讨论，指导学生自主学习等。

5. 教学评价

思考题：

- 1、肖特基势垒二极管和 pn 结二极管的异同是什么？
- 2、如何获得金属半导体的欧姆接触？
- 3、如何理解 MESFET 的夹断点的形成？

第八章 发光二极管和激光器

1. 教学目标

本章要求学生掌握辐射跃迁和光吸收、发光二极管、发光二极管种类、半导体激光器等知识。培养和提高学生的抽象思维能力和解决前沿交叉学科领域量子问题的能力。

2. 教学重难点

发光二极管、半导体激光器。

3. 教学内容

第一节 辐射跃迁和光吸收

- 一、辐射跃迁
- 二、光吸收

第二节 发光二极管

- 一、LED 发光特性
- 二、量子效率

第三节 发光二极管种类

- 一、可见发光二极管
- 二、发光二极管的分类

第四节 半导体激光器

- 一、能发出激光的半导体材料
- 二、半导体激光器工作原理
- 三、基本的激光器结构

4. 教学方法

教师讲授，师生讨论，指导学生自主学习等。

5. 教学评价

思考题：

- 1、光子与电子之间的相互作用分为哪几种？
- 2、何为分布反转？
- 3、激光器的基本工作原理是什么？

第九章 光电探测器和太阳能电池

1. 教学目标

本章要求学生掌握光电探测器、太阳能电池等知识。培养和提高学生对典型半导体器件分析的基本技能，锤炼科学思维能力和科研创新能力。

2. 教学重难点

光电探测器、太阳能电池。

3. 教学内容

第一节 光电探测器

- 一、光敏电阻
- 二、光电二极管
- 三、p-i-n 光电二极管
- 四、金属-半导体光电二极管

第二节 太阳能电池

- 一、太阳辐射
- 二、p-n 结太阳能电池
- 三、转换效率

4. 教学方法

教师讲授，师生讨论，指导学生自主学习等。

5. 教学评价

思考题：

- 1、p-i-n 光电二极管中的 i 层有何作用？
- 2、光敏电阻的增益与哪些因素有关？
- 3、如何理解 pn 结太阳能电池的工作原理？
- 4、还知道哪些种类的太阳能电池，请举例说明？

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	能带和热平衡载流子浓度	8 学时
第二章	载流子输运现象	10 学时
第三章	p-n 结	10 学时
第四章	双极型晶体管及相关器件	8 学时
第五章	MOS 电容器及 MOSFET	8 学时
第六章	先进的 MOSFET 及相关器件	4 学时
第七章	MESFET 及相关器件	8 学时
第八章	发光二极管和激光器	6 学时
第九章	光电探测器和太阳能电池	6 学时

五、教学进度

表 3：教学进度表

周次	日期	章节名称	内容提要	授课时数	作业及要求	备注
1	-	第一章	能带和热平衡载流子浓度	4	思考题与习题	
2	-	第一章	能带和热平衡载流子浓度	4	思考题与习题	
3	-	第二章	载流子输运现象	4	思考题与习题	
4	-	第二章	载流子输运现象程	4	思考题与习题	
5	-	第二章 第三章	载流子输运现象 p-n 结	4	思考题与习题	
6	-	第三章	p-n 结	4	思考题与习题	
7	-	第三章	p-n 结	4	思考题与习题	
8	-	第四章	双极型晶体管及相关器件	4	思考题与习题	
9	-	第四章	双极型晶体管及相关器件	4	思考题与习题	
10	-	第五章	MOS 电容器及 MOSFET	4	思考题与习题	
11	-	第五章	MOS 电容器及 MOSFET	4	思考题与习题	
12	-	第六章	先进的 MOSFET 及相关器件	4	思考题与习题	
13	-	第七章	MESFET 及相关器件	4	思考题与习题	
14	-	第七章	MESFET 及相关器件	4	思考题与习题	
15	-	第八章	发光二极管和激光器	4	思考题与习题	
16	-	第八章 第九章	发光二极管和激光器 光电探测器和太阳能电池	4	思考题与习题	
17	-	第九章	光电探测器和太阳能电池	4	思考题与习题	

六、教材及参考书目

1. 《半导体光学性质》，沈学础，科学出版社
2. 《半导体器件物理》，余秉才，姚杰，中山大学出版社
3. 《现代半导体物理》，夏建白，北京大学出版社
4. 《半导体物理学》，刘恩科，朱秉升等，国防工业出版社
5. 《半导体物理学》，李名复，科学出版社
6. 《半导体物理与器件》，忻贤坤，上海科学技术文献出版社
7. 《半导体器件物理基础》(第二版)，曾树荣，北京大学出版社
8. 《微电子学概论》，张兴，北京大学出版社
9. 《固体物理》，黄昆，高等教育出版社

七、教学方法

1. 充分发挥应用物理课程的独特作用，将固体物理与半导体等课程结合，夯实数理基础。注重科技前沿内容增添，关注交叉前沿的先进系统与器件，与时俱进充实授课内容，锤炼科学思维能力和科研创新能力。

2. 板书和PPT结合，兼取传统与现代化教学手段的优势；综合采用讲授、讨论等教学方法和模式，培养学生解决复杂问题的能力。

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	阶段化考试+平时学习表现
课程目标 2	相关教学内容	阶段化考试+平时学习表现
课程目标 3	相关教学内容	阶段化考试+平时学习表现

(二) 评定方法

1. 评定方法

按权重计算总评成绩。

阶段化考试占 80%，平时成绩（作业、讨论等）占 20%。

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	阶段化考试	总评达成度
课程目标 1	20%	20%	课程目标 1 达成度={0.2 x 平时目标 1 成绩+0.8 x 阶段化考试目标 1 成绩}/目标 1 总分。
课程目标 2	40%	40%	课程目标 2 达成度={0.2 x 平时目标 2 成绩+0.8 x 阶段化考试目标 2 成绩}/目标 2 总分。
课程目标 3	40%	40%	课程目标 3 达成度={0.2 x 平时目标 3 成绩+0.8 x 阶段化考试目标 3 成绩}/目标 3 总分。 总评达成度=0.2 x 课程目标 1 的达成度+0.4 x 课程目标 2 的达成度+0.4 x 课程目标 3 的达成度

(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	完全了解半导体科学的发展历史和未来发展趋势；完全了解半导体物理与器件在现代科技中的具体应用；完全了解半导体科学前沿进展和应用前景；完全认识到半导体理论在现代科学研究领域的重要性，完全建立科学的世界观和方法论。	了解半导体科学的发展历史和未来发展趋势；了解半导体物理与器件在现代科技中的具体应用；了解半导体科学前沿进展和应用前景；认识到半导体理论在现代科学研究领域的重要性，建立科学的世界观和方法论。	较好了解半导体科学的发展历史和未来发展趋势；较好了解半导体物理与器件在现代科技中的具体应用；较好了解半导体科学前沿进展和应用前景；较好认识到半导体理论在现代科学研究领域的重要性，建立科学的世界观和方法论。	基本了解半导体科学的发展历史和未来发展趋势；基本了解半导体物理与器件在现代科技中的具体应用；基本了解半导体科学前沿进展和应用前景；基本认识到半导体理论在现代科学研究领域的重要性，建立科学的世界观和方法论。	不了解半导体科学的发展历史和未来发展趋势；不了解半导体物理与器件在现代科技中的具体应用；不了解半导体科学前沿进展和应用前景；无法认识到半导体理论在现代科学研究领域的重要性，不能建立科学的世界观和方法论。

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 2	完全掌握半导体物理基本原理，很好运用能带理论分析半导体的光电特性；完全掌握载流子在平衡和非平衡状态下的性质；很好运用物理学基本原理分析复杂系统的能力，完全掌握建立物理图像的能力和解决交叉学科领域问题的能力。	掌握半导体物理基本原理，运用能带理论分析半导体的光电特性；完全掌握载流子在平衡和非平衡状态下的性质；运用物理学基本原理分析复杂系统的能力，掌握建立物理图像的能力和解决交叉学科领域问题的能力。	较好掌握半导体物理基本原理，较好运用能带理论分析半导体的光电特性；较好掌握载流子在平衡和非平衡状态下的性质；较好运用物理学基本原理分析复杂系统的能力，较好掌握建立物理图像的能力和解决交叉学科领域问题的能力。	基本掌握半导体物理基本原理，基本能运用能带理论分析半导体的光电特性；基本掌握载流子在平衡和非平衡状态下的性质；基本能运用物理学基本原理分析复杂系统的能力，基本掌握建立物理图像的能力和解决交叉学科领域问题的能力。	未能掌握半导体物理基本原理，不能运用能带理论分析半导体的光电特性；未能掌握载流子在平衡和非平衡状态下的性质；未能运用物理学基本原理分析复杂系统的能力，未能掌握建立物理图像的能力和解决交叉学科领域问题的能力。
课程 目标 3	完全掌握典型半导体器件的工作原理和制备方法；完全了解典型半导体器件的独特性和应用范围；完全了解先进半导体制造关键工艺技术。	掌握典型半导体器件的工作原理和制备方法；了解典型半导体器件的独特性和应用范围；了解先进半导体制造关键工艺技术。	较好掌握典型半导体器件的工作原理和制备方法；较好了解典型半导体器件的独特性和应用范围；较好了解先进半导体制造关键工艺技术。	基本掌握典型半导体器件的工作原理和制备方法；基本了解典型半导体器件的独特性和应用范围；基本了解先进半导体制造关键工艺技术。	未能掌握典型半导体器件的工作原理和制备方法；未能了解典型半导体器件的独特性和应用范围；未能了解先进半导体制造关键工艺技术。