

《纳米发电机与压电电子学》教学大纲

一、课程概况

课程名称	纳米发电机与压电电子学	课程号	107412012	
课程英文名称	Nanogenerator and piezotronics	学时/学分	72/2	
课程性质	选修	适用专业	材料物理	
课程负责人	徐奇	教学团队	刘书海	
选用教材及参考书目	教材：王中林（著），《摩擦纳米发电机》《压电电子学与压电光电子学》 参考书目：施敏（著），伍国珏（著），《半导体器件物理》；王中林（著），《自驱动系统中的纳米发电机》			
课程简介： 纳米发电机与压电电子学是一门基于纳米前沿科技的新兴课程。纳米发电机可从人体、环境及自然水波中获取能量，可持续驱动微/纳米器件和电子元器件，构建各种自驱动系统。压电电子学有望在不远的将来将在第三代半导体、微纳机电系统、智能机器人等领域发挥重要作用。本课程旨在让学生了解纳米发电机和压电电子学的基本概念，掌握纳米发电机及压电电子学的器件结构、原理和基础理论，介绍纳米发电机和压电电子学的最新科研成果，进行纳米发电机和压电电子学方面科研实践，旨在强化学生“探究式”学习习惯及培养科学思维能力，在创新精神、科研能力、团队合作、科研道德等方面获得全面提高。				
课程目标（Course Objectives, CO）				
知识目标（CO1）	掌握纳米发电机和压电电子学的基本原理和基本知识以及基本规律			
能力目标（CO2）	培养学生发现问题，分析问题，解决问题的能力			
	设计实验方案、选择研究方法、运用实验技术并分析、提炼实验结果，初步建立实验室科学研究能力			
素质、情感价值观目标（CO3）	为后续《半导体物理》等课程、毕业设计、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	16 学时 22%	<input checked="" type="checkbox"/> PM2 研讨式学习	56 学时 78%
	<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 type="checkbox"/> PM6 体验式学习	学时 %

	<input type="checkbox"/> PM7 讨论教学	学时 %					
考核方式 (Evaluation Methods, EM)	考试课 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"/> EM2 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	100%		
	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) 通过本课程的教学，使学生系统地掌握纳米发电机和压电电子学的基本原理和基本知识以及基本规律。

(2) 培养学生发现问题，分析问题，解决问题的能力，设计实验方案、选择研究方法、运用实验技术并分析、提炼实验结果，初步建立实验室科学研究能力。

(3) 培养学生科研方面的能力，为以后的科研生涯打下基础。

(4) 为后续《半导体物理》等课程、毕业设计、工程实践奠定坚实的理论基础

(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	1	L
能力目标 (CO2)	2-3	2	L
素质、情感价值观目标 (CO3)	4	8	L

(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；研讨式学习，培养思维能力、创新意识和科研能力。

(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、固体物理学导论。后续课程包括 X 射线衍射、电子显微学、半导体物理与器件、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：论文 100%。

三、课程内容与安排

第一章 纳米发电机部分

1.1 理论学习

1.1.1 静电场的基本理论与纳米发电机理论模型（2 学时）

（1）电荷间的作用力

（2）电场、电势与电压

（3）静电平衡

（4）电容与摩擦纳米发电机理论模型

基本要求：了解静电场的基本概念和理论，了解纳米发电机的原理和理论模型。

教学重点：电场强度、电势、电场线、高斯定理、位移电流。

教学难点：V-Q 关系在纳米发电机中的应用。

1.1.2 摩擦纳米发电机四种工作模式的典型器件分析（2 学时）

（1）接触分离模式器件

（2）水平滑动模式器件

（3）单电极模式器件

（4）独立层模式器件

（5）四种工作模式的对比与总结

基本要求：了解纳米发电机的工作原理和四种工作模式，能够分析不同器件在不同工作模式下的性能特点。

教学重点：不同模式下纳米发电机的工作过程及输出特

性。

教学难点：不同模式纳米发电机的工作原理。

1.1.3 接触起电机理（2 学时）

- （1）接触起电现象
- （2）表征手段
- （3）固-固界面起电模型
- （4）固-液与固-气界面起电模型

基本要求：了解接触起电的本质和分类，掌握接触起电机理和起电的条件。

教学重点：接触起电的表征手段的原理及技术实现手段。

教学难点：固-固、固-液界面起电机制。

1.1.4 微纳加工方法及其在摩擦纳米发电机中的应用（2 学时）

- （1）微纳加工的基本概念和分类
- （2）微纳加工的常见方法及其优缺点
- （3）微纳加工在摩擦纳米发电机中的应用

基本要求：了解微纳加工的基本概念和分类，掌握微纳加工的常见方法及其优缺点，了解微纳加工在摩擦纳米发电机中的应用。

教学重点：微纳加工的常见方法及其优缺点。

教学难点：光刻法的原理及流程。

1.2 实践训练

1.2.1 纳米发电机文献调研（4 学时）

- （1）文献调研的概念和定义
- （2）文献调研的意义和作用

(3) 文献检索的基本方法和工具

(4) 文献筛选的基本步骤和方法

(5) 文献阅读和分析的方法和技巧

基本要求：了解文献调研的定义及其重要性，掌握文献调研的基本方法和步骤，培养学生的文献检索和筛选能力。

教学重点：文献阅读和分析的方法和技巧。

教学难点：文献检索和筛选。

1.2.2 摩擦材料的合成与纳米发电机的制作（8学时）

(1) 摩擦材料的合成方法

(2) 纳米发电机的制作方法

(3) 实验：合成摩擦材料和制作纳米发电机

基本要求：了解摩擦材料的合成方法及其应用，了解纳米发电机的制作方法，掌握合成摩擦材料和制作纳米发电机的实验方法。

教学重点：纳米发电机的制作。

教学难点：摩擦层材料的可控制备。

1.2.3 纳米发电机性能表征（8学时）

(1) 讲解纳米发电机的性能指标及其意义

(2) 展示纳米发电机的实验装置，并介绍各项测试仪器及其原理

(3) 学生进行纳米发电机的实验操作，包括样品制备、测试仪器的调试与运行、数据采集及分析等。

(4) 对实验结果进行讨论分析，比较不同条件下纳米发电机的性能差异，并探讨对纳米发电机性能的优化方向。

基本要求：理解纳米发电机的性能表征方法，学会运用

仪器与技术对纳米发电机进行测试与分析。

教学重点：纳米发电机性能的系统性表征。

教学难点：纳米发电机输出的数据采集及实验数据处理。

1.2.4 探索性实验训练（8学时）

基于前述关于纳米发电机的理论介绍，学生们对文献进行调研，自主开展探索性实验训练，完成实验或模拟实验，撰写实验报告，对实验成果进行展示。

第二章 压电电子学部分

2.1 理论学习

2.1.1 压电效应的基本理论（2学时）

讲授正压电效应和负压电效应的概念和内容；采用枚举法，给出多种压电材料受应力时的晶格结构变化，促进本科学生理解压电效应的基本知识。

基本要求：理解压电效应的基本概念，熟悉不同类型压电材料中压电效应产生的原理。

教学重点：压电效应的概念。

教学难点：不同类型压电材料中压电效应产生的原理。

2.1.2 半导体及其界面的能带结构（2学时）

讲授半导体材料的能带结构；采用枚举法，给出半导体-半导体界面处形成 $p-n$ 结，以及半导体-金属界面处形成肖特基势垒的过程，并通过总结示例，讲授半导体界面的能带结构示意图方法。

基本要求：理解半导体能带的基本概念，熟练掌握半导体界面的能带结构示意图方法。

教学重点：半导体界面的能带结构示意图方法。

教学难点： 半导体界面的形成过程。

2.1.3 半导体界面的电输运特性（2 学时）

以半导体 - 半导体 $p-n$ 结和半导体-金属肖特基势垒为例，讲授半导体界面的电输运特性。

基本要求： 理解半导体界面的电输运过程。

教学重点： 肖特基势垒的二极管电输运特性。

教学难点： 正向偏置和反向偏置下的半导体界面能带结构。

2.1.4 压电电子学效应及其应用（2 学时）

讲授压电极化电荷调控半导体界面能带进而控制界面电输运特性的原理。

基本要求： 理解压电电子学效应的概念，熟练掌握压电极化电荷调控半导体界面能带和界面电输运的原理。

教学重点： 压电极化电荷控制半导体界面电输运的原理。

教学难点： 正、负压电极化电荷调控半导体界面能带的原理。

2.2 实践训练

2.2.1 压电电子学文献调研（4 学时）

采用枚举法，讲授压电电子学文献调研的关键词凝练方法；以 Endnote 文献管理软件为例，讲授文献管理工具的使用技巧。

基本要求： 了解文献调研的方法，熟练掌握文献管理的工具；以小组为单位，形成一份文献调研报告。

教学重点： 多种获取文献的途径；文献管理的工具。

教学难点： 文献调研的关键词凝练。

2.2.2 压电电子学基本仪器设备及其功能介绍（4学时）

结合前述理论知识的学习，实地讲授压电电子学研究中常用的仪器设备及其功能，这些设备包括：管式炉、磁控溅射镀膜机、热蒸发镀膜机、三维位移台、信号发生器、电流放大器等；以热蒸发镀膜机为例，学习在石英衬底上沉积金属膜层。

基本要求：了解多种基本仪器设备的工作原理和功能。

教学重点：多种基本仪器设备的功能。

教学难点：多种基本仪器设备的工作原理。

2.2.3 压电半导体材料的合成方法（4学时）

以 ZnO 和 AlN 为例，讲授压电半导体材料的常用合成方法，包括水热合成法和化学气相沉积法。

基本要求：熟练掌握 ZnO 的水热合成法，了解 ZnO 的化学气相沉积法。

教学重点：ZnO 的水热合成。

教学难点：ZnO 水热和化学气相沉积的原理。

2.2.4 压电电子学器件的制作方法（4学时）

以 ZnO 纳米线为压电半导体材料、Ag 浆为电极材料，讲授柔性衬底上压电电子学器件的制作方法和过程。

基本要求：熟练掌握基于 ZnO 纳米线的压电电子学器件。

教学重点：Ag/ZnO/Ag 压电电子学器件的制作。

教学难点：纳米线两端 Ag/ZnO 肖特基势垒的构建。

2.2.5 压电电子学器件的测试方法（4学时）

基于三维位移台、信号发生器、电流放大器等仪器，讲授压电电子学的基本表征方法，对压电电子学器件进行静态

和动态表征。

基本要求：熟练掌握压电电子学的静态和动态表征方法。

教学重点：压电电子学器件的力致 $I-V$ 特性。

教学难点：仪表的关键功能使用。

2.2.6 探索性实验训练（8 学时）

基于前述 ZnO 纳米线压电电子学器件的制作和表征，结合文献调研的内容，讲授压电电子学器件的设计思路，引导学生发散思维，自主开展探索性实验训练。

基本要求：了解压电电子学器件的设计思路。

教学重点：压电电子学器件的制作方法和表征方法。

教学难点：关键表征仪表的使用及其数据分析。

制定人：徐奇

审定人：刘书海

批准人：王连文

日期：2024.10.10