

08 电磁干扰防护与电磁兼容设计	159
09 现代电力电子技术	161
10 电力电子与电机系统集成	163
11 电力系统规划与可靠性	164
12 电力能源互联网技术	166
0809 电子科学与技术一级学科研究生核心课程指南	168
01 电子科学与技术学科前沿	168
02 计算方法	170
03 量子信息技术基础	172
04 现代数字信号处理	175
05 现代半导体器件物理	179
06 电子功能材料与元器件	181
07 半导体光电子学	183
08 集成电路制造技术	186
09 高等固体物理	189
10 薄膜材料及技术	192
11 非线性电路与系统	194
12 集成电路设计与 EDA	197
13 天线理论与技术	199
14 计算电磁学	202
15 高等电磁理论	206
0810 信息与通信工程一级学科研究生核心课程指南	209
01 矩阵理论与方法	209
02 随机过程	211
03 应用泛函分析	213
04 数值分析	215
05 近世代数及其应用	217
06 图论及其应用	218
07 最优化理论与方法	220
08 现代信号处理	223
09 雷达信号处理	225
10 现代数字通信	228
11 信息论	230
12 编码理论	233
13 通信网理论	234
14 机器学习	237
15 数据科学	239
0811 控制科学与工程一级学科研究生核心课程指南	242
01 现代控制理论	242
02 最优控制与状态估计	244
03 系统建模与仿真技术	246

01 电子科学与技术学科前沿

一、课程概述

1. 课程概况

以本一级学科及其二级学科的架构为基础,结合本学科的基础理论和专门技术,介绍学科系统的知识体系、各二级学科和交叉学科最新的研究方向、研究方法和前沿技术。本课程旨在使研究生对学科形成整体认识,并建立系统的知识体系,不仅激发研究生的科研兴趣,而且帮助其形成学科大局观。

2. 在本学科研究生课程体系中的地位和作用

本课程是整个研究生课程体系的“绪论”,不仅对本学科本科阶段专业课程内容进行综述,而且对研究生阶段专业课程及其发展进行简介,帮助研究生形成系统的知识体系,并介绍专业理论和技术的应用方法,引出电子物理、材料、器件以及系统各层级的前沿技术,加深研究生对本学科专业课程的理解。

二、先修课程

大学物理,电磁场理论,固体物理学,半导体物理,电路。

三、课程目标

本课程让研究生对电子科学与技术领域的最新研究和技术发展动态有系统了解,具体对微电子学与固体电子学、物理电子学与光电子学、电磁场与微波技术、电路与系统等相关领域的前沿问题和技术进展有所了解,拓展研究生的知识面,掌握在本学科领域发现问题和分析问题的方法,为下一步科研选题甚至论文工作奠定基础。

四、适用对象

电子科学与技术一级学科的所有二级学科方向的博士研究生和硕士研究生。

五、授课方式

建议采用多媒体辅助的讲授法为主开展教学,可适当结合分组讨论等形式。

六、课程内容

本课程主要讲授电子科学与技术领域的最新研究和技术发展动态,具体包括微电子学与固体电子学、物理电子学与光电子学、电磁场与微波技术、电路与系统等相关领域的材料、器件与系统的最新研究和技术发展动态。

主要内容包括:微电子学与固体电子学学科前沿、物理电子学与光电子学学科前沿、电磁场与微波技术学科前沿、电路与系统学科前沿。

重点介绍学科的知识体系、各二级学科的前沿方向,包括:

第一章 绪论

1. 电子科学与技术的学科分类
2. 电子科学与技术的发展历史
3. 电子科学与技术的应用领域

第二章 微电子学与固体电子学学科前沿

1. 电子材料的技术前沿
2. 微电子器件的技术前沿
3. 固体电子器件的技术前沿
4. 电子系统的技术前沿

第三章 物理电子学与光电子学学科前沿

1. 物理电子器件与材料技术前沿
2. 光电子材料的技术前沿
3. 光电子器件的技术前沿
4. 光电子系统的技术前沿

第四章 电磁场与微波技术学科前沿

1. 电磁材料的技术前沿
2. 电磁器件的技术前沿
3. 微波系统的技术前沿

第五章 电路与系统学科前沿

1. 分立电路的技术前沿
2. 集成电路的技术前沿
3. 集成系统的技术前沿

七、考核要求

考核以调研报告为主,并计入平时表现成绩。

八、编写成员名单

徐卓(西安交通大学)、徐友龙(西安交通大学)、李永东(西安交通大学)

02 计算方法

一、课程概述

1. 课程概况

计算机对近代科学技术影响深远,以至于科学计算与理论分析、实验研究并列为三种科学研究的基本方法,成为人类探索未知和进行大型工程设计的重要手段。本课程主要介绍应用计算机求解或数值模拟各类数学问题的基本方法,帮助学生掌握最基本的数值算法,构造数值算法的主要思想方法和工具,以及应用数值算法时应注意的问题:算法的计算效率、收敛性、数值稳定性、误差估计和算法的适用范围等。

通过本课程的学习,了解数值计算问题的来源,理解问题求解的数学思想和理论根据,掌握相应计算方法、计算步骤及适应范围,学会分析计算中产生误差的原因,并学会分析解释计算结果的意义、利用计算结果对实际问题作合理的预测。

2. 在本学科研究生课程体系中的地位和作用

随着计算机的飞速发展,计算方法的创新和应用被推到包含电子物理、电子材料、电子器件和系统在内的学科前沿,用于物理过程模拟、材料参数分析、器件和系统设计等。因此,通过学习计算方法课程,掌握计算方法的基本理论、算法设计和误差分析方法,可为深入理解专业课程中的数值模拟知识、掌握和应用数值模拟软件和建模方法开展科学研究奠定良好的数学基础,对于将来从事科学研究和工程技术工作的研究生来说必不可少。

二、先修课程

高等数学,线性代数,数学物理方程,程序设计。

三、课程目标

通过本课程的学习,掌握数值逼近、数值积分、非线性方程和线性方程组求根、常微分方程组和常见偏微分方程组求解方法,具备理解学科常用数值模拟软件计算原理、应用其开展模拟研究和误差分析的能力,并且具备应用这些基础知识针对实际问题开展建模和算法创新的能力。

四、适用对象

本一级学科的所有二级学科方向,全体博士研究生和硕士研究生。

五、授课方式

建议采用多媒体辅助的讲授法为主开展教学,针对重点理论和数值算法结合案例式教学法或上机实践等形式。

六、课程内容

本课程的主要内容包括:误差的概念、非线性方程求根的方法、线性代数方程组的解法、插值与拟合的常用方法、数值积分方法以及常微分方程初值问题的数值方法。具体包括:

第一章 绪论

数值分析研究的对象和特点,数值计算的误差,误差定性分析与避免误差的危害。

第二章 插值法

拉格朗日插值,均差与牛顿插值公式,差分与等距节点插值公式,埃尔米特插值,样条插值。

第三章 曲线拟合的最小二乘法

函数逼近的基本概念,曲线拟合的最小二乘法。

第四章 数值积分与数值微分

牛顿-柯特斯公式,复化求积公式,龙贝格求积公式,高斯求积公式,数值微分。

第五章 解线性方程组的直接方法

预备知识,高斯消去法,高斯主元消去法,矩阵三角分解法,向量和矩阵范数,误差分析。

第六章 解线性方程组的迭代法

基本迭代法,迭代法的收敛。

第七章 非线性方程求解

方程求根与二分法,迭代法及其收敛性,迭代收敛的加速方法,牛顿法,弦截法与抛物线法,解非线性方程组的牛顿迭代法。

第八章 常微分方程数值解法

简单的数值方法和基本概念,龙格-库塔方法。

重点有:数值运算的误差估计;插值与抛物插值;牛顿插值公式;等距节点插值公式;分段线性插值;曲线拟合的最小二乘法;柯特斯系数、复化求积公式、数值微分;高斯主元消去法;直接三角分解;雅可比迭代法;高斯-塞德尔迭代法;牛顿法及其收敛性;龙格-库塔方法;基于泰勒展开的构造方法。

难点有:误差的定性分析与避免误差的危害;插值余项、误差估计、牛顿插值公式、样条插值;范数及其性质、曲线拟合的最小二乘法;龙贝格求积公式、高斯求积公式;高斯消去法;迭代法的收敛;龙格-库塔方法。

七、考核要求

考核以笔试为主,并计入平时作业成绩。

八、编写成员名单

徐卓(西安交通大学)、李永东(西安交通大学)

03 量子信息技术基础

一、课程概述

量子信息技术基础作为电子科学与技术研究生教育的公共核心课程,系统介绍目前有一定积淀的量子信息技术如量子通信、量子计算和量子感知的基本原理、技术基础和前沿,帮助学生了解量子信息技术的基础知识和最新的发展动向。

二、先修课程

量子力学,高等数学,大学物理,固体物理。

三、课程目标

通过本课程的学习,掌握量子通信、量子计算和量子感知的基本原理和典型应用,了解量子信息技术与经典信息技术的区别和联系、量子信息技术的优势以及量子信息技术最新的发展动向,培养学生分析问题和解决问题的能力,培养学生应用科学知识的能力。

四、适用对象

本学科博士研究生和硕士研究生。

五、授课方式

课堂教学+专题报告。

六、课程内容

第一章 绪论

本章主要介绍量子信息技术的发展历史、研究现状以及未来的研究趋势,重点介绍量子信息技术在第四次工业革命(工业 4.0)中的地位与作用。

第一节 量子信息技术历史

第二节 量子信息技术现状

第三节 量子信息技术未来

- 重点:量子信息技术在第四次工业革命(工业 4.0)中的地位与作用。
- 难点:量子信息技术的困难与解决思路。

第一部分 量子力学基础

- 重点:量子力学基本概念。
- 难点:量子测量与量子纠缠。

第二章 量子力学基本原理

本章讲述与量子信息密切相关的量子力学基本原理,主要包括量子力学中的叠加原理、测

量、不可克隆等原理以及量子力学三种不同表述的特点。

第一节 量子力学相关概念

1. 量子态的叠加性
2. 量子测不准
3. 量子不可区分
4. 量子的非局域性(EPR 佯谬、Bell 不等式)
5. 量子的不可克隆性
6. 量子态纠缠性
7. 量子态相干性

第二节 量子测量基础

1. 量子力学测量公设
2. 量子测量塌缩理论
3. 量子测量分类

第三章 两体量子理论

本章主要介绍量子双态体系,包括定态描述、么正演化、纯态与混态、可分离态与纠缠态、两种纯态的 Schmidt 分解、两体系统量子纠缠与纠缠度以及纠缠度的几种定义等。

第一节 双态体系的定态描述

第二节 双态体系的么正演化

第三节 两体系统量子态分类及纯态 Schmidt 分解

第四章 量子统计方法

本章主要介绍多体量子理论,包括量子状态的系综、密度算子、二次量子化以及拓扑序和量子序等。

第一节 量子状态的系综

第二节 密度算子

第三节 二次量子化

第四节 路径积分

第五节 拓扑序与量子序

第二部分 量子信息技术概论

- 重点:量子信息各子领域的技术基础。
- 难点:多学科交叉。

第五章 量子信息论

本章内容主要包括经典香农熵、量子冯·诺依曼熵、信息的传输和提取以及噪声对量子信息的影响。

第一节 经典香农熵与量子信息中的冯·诺依曼熵

第二节 量子无噪声编码

第三节 可获取的最大信息

第六章 量子计算与量子计算机

本章内容主要介绍量子计算的各种算法、量子计算的物理实现模型、量子计算的物理实现

以及在此基础上实现的量子计算机和量子模拟系统。

第一节 量子算法

第二节 量子计算模型

第三节 量子计算的物理实现

第四节 量子计算机

第五节 量子模拟

第七章 量子通信

本章主要内容包括量子隐形传态中的量子纠缠光源的制备、传输、存储以及信息的调制和解调过程,量子密钥分发中的单光子态的制备、传输、编码、测量,量子通信的过程。

第一节 量子隐形传态

1. 量子纠缠分发

2. 贝尔态测量(信息调制)

3. 幺正变换(信息解调)

第二节 量子密钥分发

1. 量子密钥分发

2. 量子态传输

3. 量子态测量

第三节 量子密集编码

第四节 量子保密通信

第八章 量子计量与量子感知

本章主要介绍利用量子特性进行的高精度测量如惯性导航、磁场测量、重力测量和原子钟,在量子感知中主要介绍量子目标识别和量子成像技术。

第一节 量子惯性导航

第二节 量子磁场测量

第三节 量子重力测量

第四节 量子时间基准

第五节 量子目标识别

第六节 量子成像技术

第三部分 量子信息技术实现(自选专题)

■ 重点:量子信息技术物理实现。

■ 难点:多技术交叉。

第九章 量子光学方法

本章主要介绍利用单光子态、纠缠光子对等光学手段实现量子通信、量子计算和量子成像的相关知识。

第十章 超导电性方法

本章主要介绍以超导作为媒介实现的量子计算和量子门的相关知识。

第十一章 自旋电子学方法

本章主要介绍基于自旋电子方法的量子信息技术相关知识。

第十二章 量子拓扑学方法

本章主要介绍拓扑方法用于量子信息技术的相关知识。

第十三章 关键技术、关键材料与核心器件

本章主要介绍量子信息技术实现所需的关键技术、材料和核心器件。

七、考核要求

撰写量子信息技术相关的调研报告或者课题研究报告占 70%,平时作业占 30%。

八、编写成员名单

徐卓(西安交通大学)、郑淮斌(西安交通大学)、刘建彬(西安交通大学)、周宇(西安交通大学)

04 现代数字信号处理

一、课程概述

1. 课程概况

本课程系统讨论经典与现代信号处理的理论及应用,讨论离散确定性信号和随机信号处理的理论方法、实现及应用,并针对经典功率谱估计、信号建模、自适应滤波器技术等几个问题进行初步介绍。

2. 在本学科研究生课程体系中的地位和作用

本课程强调理论与实践、原理与应用相结合,所涉及的信号处理内容具有较强的实用性。因此,在本学科研究生课程体系中可以为其他专业课程起到良好的分析工具作用,并具有举足轻重的理论与实践地位。

二、先修课程

线性代数,信号与系统等。

三、课程目标

通过本课程的学习,掌握经典与现代数字信号处理的基本理论和基本分析方法,为后续课程及从事相关学科中信息处理等方面有关的研究工作打下良好的基础。

四、适用对象

电子科学与技术一级学科的电路与系统、微电子学与固体电子学、物理电子学、电磁场与微波等学科方向的博士研究生和硕士研究生。

五、授课方式

以授课为主,并加强学生的练习环节,充分利用现代信息技术,在 MATLAB 或 LabVIEW 环境下进行仿真练习,体现传承与创新相结合。练习环节采用课内、外相结合的方式进行,成果以大作业的形式体现,具体学时可根据本人情况灵活安排,本课程训练对场地无特殊要求。

六、课程内容

本课程以数字信号处理基本内容为基础,针对数据分析与建模的需求,进行了一定的知识扩展与延伸,理论性与应用性较强,学习过程中应该注意理论与实践的结合,应与学生的研究课题相结合,了解现代数字信号处理发展的最新动态,从数字信号滤波的角度出发,重点掌握信号频域特征的提取、建模与分析等处理技术。

教学总体要求如下:

(1) 查阅现代数字信号处理理论与技术相关的文献与资料,并能从研究课题联系出发,就课题数据分析处理中的相关问题结合课程内容深入思考与认识。

(2) 结合图像处理、语音分析、特征提取等案例问题,学会数字滤波器设计,并在 MATLAB 或 LabVIEW 环境下进行仿真练习。

(3) 掌握经典的数字滤波器设计方法,以及现代滤波器设计方法,能够编程设计实现所需滤波器功能。

课程具体教学内容和基本要求如下:

(一) 绪论

教学重点、难点:

概略介绍经典与现代数字信号处理的相关背景知识:信号处理,数字信号处理,信号处理的方法及应用,简要介绍当前数字信号处理的新方法、新理论以及新动向。

教学内容和基本要求:

1. 了解现代数字信号处理的学科发展背景
2. 理解基本的信号处理概念、方法以及理论动向

(二) 连续时间的和离散时间的信号与系统

教学重点、难点:

离散信号的特点,LSI 系统的特性与分析方法,卷积和计算方法,离散信号频域分析法、相关函数的定义和性质,离散系统性质与零极点分析等。

教学内容和基本要求:

1. 掌握离散时间信号与系统的基本概念和分析方法
2. 掌握线性移不变(LSI)系统输入输出关系的差分方程及时域卷积分析方法
3. 掌握离散信号频域分析的基本概念
4. 掌握确定性信号相关函数的定义、性质及其应用
5. 掌握 Z 变换,掌握系统函数的概念、求解并能利用系统函数进行系统稳定性、零极点及频率响应分析

(三) 信号的傅里叶变换

教学重点、难点:

信号的抽样与重建,DTFT 和 DFT 变换概念及性质,频率分辨率,FFT 基本思想等。

教学内容和基本要求:

1. 熟悉连续时间信号的傅里叶变换、信号的抽样与重建
2. 掌握 DTFT、DFT 变换
3. 熟悉 DFT 中的频率分辨率以及参数选择
4. 熟悉希尔伯特变换
5. 熟悉 FFT 的基本思想和算法

(四) 离散时间系统的相位与结构、正交变换等

教学重点、难点:

频率分析中幅频和相频的意义,FIR 线性相位,常见相位系统概念和意义。

教学内容和基本要求:

1. 掌握离散时间系统的相频响应
2. 掌握 FIR 系统的线性相位特性和零点分布
3. 掌握全通系统、最大相位系统、最小相位系统
4. 熟悉 FIR 系统的结构

(五) 数字与模拟滤波器设计

教学重点、难点:

滤波器概念,IIR 和 FIR 数字低通滤波器设计,高通滤波器设计方法。

教学内容和基本要求:

1. 掌握滤波器的基本概念
2. 掌握 IIR 数字滤波器、FIR 数字滤波器中低通、高通滤波器的基本设计方法。

(六) 信号处理的若干典型算法

教学重点、难点:

信号的抽取与插值,窄带信号的概念与特点,系统辨识的基本概念以及同态滤波方法。

教学内容和基本要求:

1. 掌握信号的抽取与插值
2. 熟悉窄带信号的抽样、调制与解调
3. 熟悉逆系统、反卷积和系统辨识的基本概念
4. 掌握同态滤波,了解复倒谱

(七) 随机信号处理基础

教学重点、难点:

随机信号的概念和特点,各态遍历性,最小平方估计。

教学内容和基本要求:

1. 掌握随机信号及其特征描述
2. 掌握平稳随机信号描述
3. 掌握平稳随机信号的各态遍历性

4. 掌握信号处理中的最小平方估计

(八) 平稳随机信号

教学重点、难点:

自相关函数估计,直接或间接估计法,短时傅里叶的概念。

教学内容和基本要求:

1. 熟悉自相关函数的估计
2. 掌握经典谱估计的基本方法

(九) 参数模型谱估计

教学重点、难点:

平稳随机信号参数模型,AR 模型、MA 模型、ARMA 模型,最小方差功率谱估计。

教学内容和基本要求:

1. 掌握平稳随机信号的参数模型
2. 掌握 AR 模型的正则方程与参数计算
3. 熟悉 AR 模型系数的求解方法
4. 熟悉 MA 模型及功率谱估计

(十) 维纳滤波器

教学重点、难点:

维纳滤波的概念,FIR 与 IIR 维纳滤波的概念与应用。

教学内容和基本要求:

1. 掌握平稳随机信号的线性最小均方滤波
2. 熟悉 FIR 维纳滤波
3. 熟悉 IIR 维纳滤波

(十一) 自适应滤波器及应用

教学重点、难点:

自适应滤波概念,LMS 算法、RLS 算法及相关应用。

教学内容和基本要求:

1. 熟悉误差性能曲面及最陡下降法
2. 掌握 LMS 算法、RLS 算法

七、考核要求

采用考勤、大作业、期末考试综合评定的考核方法。其中,平时成绩(5%)+大作业(15%)+闭卷笔试(80%),平时成绩由考勤、平时课堂表现等综合构成。

八、编写成员名单

张萌(东南大学)

05 现代半导体器件物理

一、课程概述

1. 课程概况

本课程主要介绍半导体器件物理,是微电子学与固体电子学基础核心课程。本课程不仅包含了以硅器件为主的传统器件物理,同时包含了化合物半导体器件物理和半导体异质结器件物理,各学校可根据本身情况选择讲述部分或全部内容。

本课程以传统的硅锗等材料、化合物半导体材料、异质结基本物理特性与基本电学特性为基础,通过基础学习来熟悉传统半导体器件以及半导体异质结器件的基本结构与类型,了解硅锗等传统半导体材料、新型化合物材料、同质结和异质结特性以及相应半导体器件在集成电路中的应用及其当前的技术发展,为新型高速/高性能器件与集成电路的研究、设计奠定理论基础。

要求着重学习和掌握基本原理、基本研究方法、物理和数学模型,搞清楚重要的性能测试方法。由于课程内容涉及面广、基础性强、难度大,不同章节的内容之间相互衔接紧密,要求学生深入思考所学内容之间的关联性,通过归纳和总结深入理解相关原理和方法的适用范围,并学会利用所学方法或原理解决问题。本课程的另一个重要特点是,对于新型异质结方面很多问题还处在不断研究和发展的过程中,未完全形成定论,要鼓励学生深入思考,勇于质疑,通过讨论、查阅资料提出自己的见解。

2. 在本学科研究生课程体系中的地位和作用

半导体器件是现代半导体工业的基础和核心,是集成电路设计、制造的出发点。随着微电子工业发展进入后摩尔时代,产业的主要升级策源从简单的“缩小尺寸、提高产能”向面向应用的新器件、新工艺、新架构转变。在此过程中,传统器件和新型器件、传统工艺与新型工艺、传统架构与新型架构全面融合,要求所有的微电子学科研究生必须具备扎实的半导体器件理论功底,才能具备从事器件研发、电路设计、测试封装等方向科研工作的能力。因此,本课程在本学科研究生课程体系中处于基础核心地位。

二、先修课程

统计物理,量子力学,固体物理,半导体物理,半导体器件物理。

三、课程目标

通过本课程的学习,能够掌握半导体同质结、异质结的基本理论与特性,半导体器件的基本物理特性与电学特性;掌握典型半导体器件的工作原理;能够分析器件特性与器件工艺、器件结构之间的关系;能够用器件模型定性、定量地分析器件特性;能够了解器件发展趋势。

在掌握基本原理和方法的基础上培养学生科学的思维方式和解决实际问题的能力,通过质疑、讨论等方式激发学生从事科研工作的热情,使学生能够解决与本课程相关的复杂科学问题。

四、适用对象

电子科学与技术学科,特别是微电子与固体电子学、集成电路设计等方向的博士研究生和硕士研究生。

五、授课方式

以课堂授课为主,研讨课为辅,通过课堂讨论、布置思考题等方式鼓励学生在教师指导下查阅资料和自学。

六、课程内容

半导体同质及异质结的能带图,半导体同质及异质结中的非平衡载流子,半导体同质及异质结的光电特性,半导体超晶格和多量子阱,宽禁带化合物半导体材料及其异质结,基本半导体器件的工作原理、特性分析、影响因素、模型模拟等。

(一) 半导体物理基础

具体内容:半导体的能带结构,载流子的瞬态输运过程,二维电子气,半导体超晶格,半导体异质结。

- 重点:化合物半导体材料的基本属性和物理效应,异质结的基本物理特性和电学特性。
- 难点:异质结半导体的基本属性和物理效应。

(二) 基本半导体电子器件

具体内容:结型场效应晶体管与 MESFET,电荷耦合器件, MOSFET 及 PNP 管及新型半导体功率器件,半导体隧道器件等。

- 重点:各类型半导体电子器件的基本结构、工作原理、基本物理特性和电学特性。
- 难点:各类型半导体器件的基本工作原理。

(三) 基本半导体光电器件

具体内容:半导体发光器件及半导体激光器,半导体光探测器,半导体太阳能电池。

- 重点:用于半导体光电器件的半导体材料基本特性,各类型半导体光电器件的基本结构、工作原理、基本物理特性及光学和电学特性。
- 难点:各类型半导体光电器件的光电转换过程及基本工作原理。

(四) 异质结器件

具体内容:异质结场效应晶体管,异质结量子器件,异质结光电子器件以及相应的器件结构和物理原理。

- 重点:异质结场效应晶体管的物理特性,异质结的量子效应,光电转换效率,器件结构。
- 难点:调制掺杂效应,异质结的量子效应,光电转换效率与器件结构。

(五) 宽禁带化合物半导体材料及其异质结

具体内容:SiC 材料、器件及应用以及 GaN 材料、异质结与器件。

- 重点:宽禁带化合物半导体材料的物理特性及应用。
- 难点:宽禁带化合物半导体材料的物理特性。

七、考核要求

考核方式:本课程为考查课,考核方式为平时作业、课堂考查、期末考试。

考核标准:满分 100 分,平时作业占 30%,课堂考查占 20%,期末考试成绩占 50%。

八、编写成员名单

郝跃(西安电子科技大学)、张义门(西安电子科技大学)、张玉明(西安电子科技大学)、张春福(西安电子科技大学)、吕红亮(西安电子科技大学)

06 电子功能材料与元器件

一、课程概述

电子功能材料与元器件是电子科学与技术学科研究生核心课程,是电子科学与技术一级学科相关课程的基石。课程内容主要包括:先进电子功能材料与元器件的制备方法、微观结构、电畴与磁畴、电磁特性,涵盖容性、感性、阻性、滤波器等无源元器件,以及信息存储器、逻辑器件、传感器等有源元器件等所涉及的材料基础知识。该领域最新发展如 5G 通信、数字家电、物联网等无源与有源功能电子材料及片式/薄膜元器件都包含在此课程中,也涉及当前主要电子信息元器件的发展最新趋势及类型、工作原理、设计方法、集成技术及频段应用(射频+微波)等。本课程能巩固电介质物理、固体物理、半导体物理、微电子器件等先修课程所学知识,在整个课程体系,通过本课程的学习可以形成从电子材料到电子器件设计进而电子器件应用的完整知识链体系,为电子科学与技术学科奠定硬件基础,并夯实扎实的理论与实践基础。

二、先修课程

电介质物理,固体物理,半导体物理,磁性物理,微电子器件。

三、课程目标

本课程是电子科学与技术一级学科研究生核心课程,通过本课程的学习,能够了解电子功能材料在国民经济主战场和国防领域的重要地位、作用和电子功能材料的发展动向;掌握电子材料的制备方法、结构特征、电磁性能、电畴-磁畴与微观结构间的关系及其影响因素,元器件设计和应用开发等所需的薄膜与生瓷料带(LTCC)材料基础知识,该领域的 5G 通信、数字家电、物联网、太赫兹技术等最新发展的材料需求等。学习本课程后,将具有扎实的电子功能材料相关理论基础,具备从事电子功能材料设计、配方、合成、分析、应用和开发器件与系统的基本能力。并且通过本课程的学习,可以掌握电子元器件设计、制备工艺、测试封装的基础知识,积累工程应用方面的能力。在设计各类电子器件和电子系统集成应用时,能够有效地进行材料、元器件

的分析与选择,提高在电子材料-元器件-系统级应用方面的综合能力,为走向工作岗位打下坚实基础。

四、适用对象

电子科学与技术学科的硕士研究生和博士研究生。

五、授课方式

采用全方位的教学模式,发挥教师的主导作用,确定学生的主体地位,将讲授、讨论、作业有机结合起来,将板书、多媒体技术等现代化教学手段和途径结合起来,打破时空限制,利用先进的、丰富多彩的教学资源,开拓学生思路,培养创新精神。

教学形式有:

(1) 教师讲授方式。基本概念、基本分析方法、基本工作原理、设计思路等老师必须讲清楚、讲好。

(2) 讨论方式。设置一些材料专题,可以让同学们提前搜索文献,收集材料的研究动态和发展趋势,然后在课堂展开讨论,以拓宽思路,博采众长。

(3) 课堂测试。根据教学进度,采用突击的方式在课堂上进行小测验,检验前期的教学效果。以此督促学生课后开展复习,授课教师也能根据测试结果调整后期的教学活动。

(4) 课后作业。根据教学进度布置相应的作业,检验学生的学习效果,让学生加深对关键知识点的理解。

(5) 录像教学方式。由于本课程是前期国家精品课程的重要组成部分,有丰富的教学视频,督促学生上网观看。鼓励学生上网搜索国内外知名高校的网络教学资源,拓展学生的知识面,使同学们对本课程的教学内容有更深入的了解。

六、课程内容

1. 电子功能材料部分

(1) 重点讲授电子功能陶瓷(包括薄膜)的典型结构、电畴理论、显微结构、固溶结构等,电容器瓷的分类(I、II、III)及其特点,高介电容器陶瓷,铁电陶瓷,半导体陶瓷,低温共烧多层陶瓷,压电陶瓷相关机理。

(2) 重点讲授磁电子材料(包括薄膜)的自旋机制、磁畴理论、制备方法、磁化机制及磁性能,微观结构与磁性能,磁性多层膜,永磁电子材料,铁氧体磁性材料及高频旋磁材料,元器件设计和应用开发等所需的电子功能材料基础知识。

2. 电子元器件部分

(1) 电容器的分类、性能、老化、击穿理论,电容器的设计及其在电路中的应用;电阻器的分类、性能及其在电路中的应用;压电器件工作原理及设计方法;热释电红外探测器和铁电存储器件的基础知识。

(2) 磁性电子器件磁芯的等效参数、磁芯种类、磁芯损耗;电感器的结构、分类和指标,电感器损耗机理,电感的设计;功率变压器的概念和应用,功率变压器的等效电路,AP 法设计功率变压器;抗 EMI 器件的类型、网络隔离变压器等;LTCC/LTCF 滤波器工作原理、器件设计与应用;

电子薄膜集成元器件技术,巨磁电阻存储器机理、工艺与应用。

七、考核要求

考核方式由平时考核和期末考核构成,平时考核方式包括平时作业和课堂回答问题,期末考核方式为考试。

课程的最终考核成绩由平时成绩和期末考试成绩组合而成。平时作业成绩:主要考核平时的学习态度,以及对课堂知识点的学习、理解和掌握程度。期末考试成绩:主要考核对电子功能材料与元器件的基本概念、原理、方法及其应用等知识的掌握程度。考试形式为闭卷笔试。

八、编写成员名单

张怀武(电子科技大学)、徐卓(西安交通大学)

07 半导体光电子学

一、课程概述

半导体光电子学是研究半导体光子和光电子器件的学科。通过本课程的学习,可以使学生获得各种半导体光电子器件的物理概念、工作原理及制作技术等重要理论,为从事半导体光电子器件研究和光纤通信系统研究打下一个比较扎实的基础。

二、先修课程

电磁场,量子与统计,半导体物理。

三、课程目标

通过本课程的学习,可以使学生获得各种半导体光电子器件的物理概念、工作原理及制作技术等重要理论,为从事半导体光电子器件研究和光纤通信系统研究打下一个比较扎实的基础。

四、适用对象

电子科学与技术学科博士研究生和硕士研究生。

五、授课方式

采取由浅入深的教学方式,从半导体材料的基本性质,到半导体光电子器件的工作原理,再到器件的制作技术,层层深入,使学生的能力不断提高,对半导体光电子器件形成较为全面的整体认识。

六、课程内容

半导体光电子学是研究半导体光子和光电子器件的学科,涉及各种半导体光电子器件的物理概念、工作原理及制作技术。

本课程主要包括半导体材料的基本性质,半导体激光器基本理论(光波导模式分析、激射机理与条件、增益理论),光信号的调制,半导体光探测器、太阳能光热与光伏器件、半导体光调制器和光子集成器件,以及半导体光电子器件制作技术等内容,介绍半导体光电子器件中涉及的基本物理概念和制作方法,分析器件的基本工作原理,可以为将来从事半导体光电子器件研究和光纤通信系统研究打下一个比较扎实的基础。

课程教学大纲如下:

第一章 绪论

- 1.1 半导体材料基本性质
 - 1.1.1 光学特性
 - 1.1.2 结构特性
 - 1.1.3 异质结与应变材料
 - 1.1.4 常见材料体系简介
- 1.2 半导体材料的应用
 - 1.2.1 应用背景
 - 1.2.2 光纤通信系统中光子、光电子器件
 - 1.2.3 信息存储与显示中的光电子器件
 - 1.2.4 功率型发光二极管与半导体照明
- 1.3 半导体光电子器件介绍
 - 1.3.1 有源器件
 - 1.3.2 无源器件
 - 1.3.3 光子集成

第二章 半导体光电子器件中的双异质结构与横模

- 2.1 半导体光电子器件的基本结构
- 2.2 半导体光电子器件中的模式
 - 2.2.1 横模及其物理意义
 - 2.2.2 TE、TM 模及其物理意义
- 2.3 器件的远场与相差

第三章 载流子注入与速率方程

- 3.1 载流子的物理概念及其注入过程
- 3.2 载流子的辐射与非辐射过程
- 3.3 能带收缩与能带填充效应
- 3.4 LED 的速率方程及光电效率

第四章 半导体激光器

- 4.1 半导体激光器的速率方程

- 4.2 FP 激光器阈值条件与纵模特性
- 4.3 半导体激光器的 L-I 曲线、阈值与效率
- 4.4 半导体光电子器件的温度特性
- 4.5 半导体激光器的增益特性

第五章 动态单模与高速调制

- 5.1 发光二极管直接调制
- 5.2 半导体激光器直接调制
 - 5.2.1 半导体激光器的瞬态特性
 - 5.2.2 半导体激光器的动态分析
 - 5.2.3 半导体激光器的模式稳定性问题
- 5.3 DFB 激光器和 DBR 激光器
 - 5.3.1 什么是 DFB 激光器和 DBR 激光器
 - 5.3.2 耦合波方程
 - 5.3.3 $1/4$ 相移的折射率耦合 DFB-LD
 - 5.3.4 增益耦合 DFB-LD
 - 5.3.5 DBR-LD
 - 5.3.6 工作特性
- 5.4 半导体激光器的强度噪声和线宽
 - 5.4.1 Schawlow-Townes 线宽
 - 5.4.2 频率噪声
 - 5.4.3 Langevin 噪声源
 - 5.4.4 RIN 和谱密度函数
- 5.5 半导体激光器的啁啾

第六章 半导体光探测器

- 6.1 基本结构与原理
 - 6.1.1 探测器的响应度和带宽
 - 6.1.2 探测器的噪声
- 6.2 PIN 型光探测器
- 6.3 APD 型光探测器
- 6.4 极弱光信号探测
- 6.5 微波光子探测器

第七章 太阳能光热与光伏

- 7.1 太阳能光热吸收薄膜
- 7.2 太阳能真空吸热管
- 7.3 太阳能电池基本原理
- 7.4 太阳能电池的分类与特色

第八章 光子集成

- 8.1 光子集成的意义与瓶颈问题

8.2 半导体光调制器

8.2.1 电吸收调制器—基本原理与工作特性

8.2.2 M-Z型半导体调制器—基本原理与工作特性

8.3 半导体集成光源器件

第九章 半导体光电子器件制作技术

9.1 半导体光电子器件的主要制作技术

9.2 外延生长技术

9.3 光刻与刻蚀

9.4 溅射淀积和 PECVD

9.5 剪薄、抛光与解理

9.6 芯片测试

9.7 封装

七、考核要求

采用闭卷考试形式,考查对半导体光电子器件的物理概念、工作原理及制作技术等方面知识的掌握情况。

八、编写成员名单

罗毅(清华大学)、孙长征(清华大学)

08 集成电路制造技术

一、课程概述

1. 课程概况

通过本课程的学习,使学生了解现代超大规模集成电路制造工艺的发展动态和前沿技术,熟悉集成电路制造的工艺原理和工艺流程,掌握集成电路制造技术的主要工艺方法和关键技术,培养学生工艺设计及分析、解决工艺问题的能力。

2. 在本学科研究生课程体系中的地位和作用

本课程在研究生课程体系中占有重要地位和作用,是微电子学与固体电子学方向专业核心课程。本课程所涉及的知识是实现当今各种半导体器件和集成电路的基础,可加深学生对集成电路制造工艺技术和原理的理解,提升学生的集成电路制造工程素养,增强学生分析和解决工艺相关复杂工程问题的能力,为半导体器件和集成电路的设计与制造奠定必要的理论和实践基础。

二、先修课程

半导体物理与器件。

三、课程目标

本课程是微电子学与固体电子学专业的核心课程。通过本课程的教学,使学生能了解当前集成电路工艺的发展动态和前沿技术,深刻理解集成电路制造的工艺原理与方法,熟练掌握现代集成电路制造的先进工艺特征与先进工艺流程,领会工艺技术与集成电路设计的关系,具备较强集成电路工艺的设计能力,能够综合运用集成电路工艺原理分析和解决工艺相关复杂工程问题,为将来从事集成电路设计和制造等技术工作奠定坚实的基础。

四、适用对象

微电子学与固体电子学、集成电路系统设计、集成电路工程等专业的硕士研究生和博士研究生。

五、授课方式

多媒体方式授课,课堂讲授方式与讨论方式相结合,插入行业最新动态和科研成果的讲座与讨论,并配以课程设计以提升教学效果。课程原则上不向学生提供文字型课件,强调学生听课笔记与总结归纳的能力。

六、课程内容

第一章 集成电路制造工艺技术简介

知识点:集成电路制造技术的发展历史、摩尔定律与后摩尔定律、关键技术与前沿技术、集成电路设计与制造的关系、集成电路制造流程的关键工艺与设备。

教学重点:典型 CMOS 集成电路制造工艺流程,各单步工艺的特点。

教学难点:集成电路各单步工艺之间的联系,集成电路工艺与其他相关专业课程的联系。

第二章 掺杂技术

知识点:扩散工艺的原理、特点、局限性及设备,离子注入工艺的原理、特点、设备、应用、热退火及最新技术。

教学重点:扩散系数与杂质浓度的关系,两步扩散,注入离子浓度分布,注入损伤与热退火,沟道效应及其抑制方法,轻掺杂漏极(LDD)技术,超浅结技术,离子注入在 CMOS 集成电路中的应用。

教学难点:运用扩散工艺、离子注入工艺的理论对实际问题进行定性分析和定量计算。

第三章 薄膜制备技术

知识点:热氧化、物理气相淀积、化学气相淀积、外延等工艺的原理、特点、设备及影响因素。

教学重点:热氧化生长动力学,化学气相淀积原理和方法,影响外延生长速率的因素,外延层杂质分布。

教学难点:运用热氧化生长动力学原理、化学气相淀积原理对实际问题进行定性分析和定

量计算,气相外延原理应用。

第四章 微细图形加工技术

知识点:光刻工艺流程及步骤,正性和负性光致抗蚀剂、分辨率及其影响因素,曝光方式与光刻设备,曝光光源,非光学光刻技术,分辨率增强技术,刻蚀速率与选择比,常用湿法刻蚀技术和干法刻蚀技术的特点与应用。

教学重点:光刻工艺流程、分辨率及其影响因素,移相掩模技术,极紫外、角度限制投影电子束、离子束投影、X 射线等先进光刻技术,等离子体刻蚀、溅射刻蚀、反应离子刻蚀等干法刻蚀技术。

教学难点:分辨率及提高分辨的途径,分辨率增强技术,非光学曝光,光刻与刻蚀技术的区别与联系。

第五章 金属化与多层互连

知识点:铝及铝合金,金属硅化物技术,铜互连工艺,平坦化技术,多层金属互连技术,接触孔与通孔技术。

教学重点:铝加热合金,自对准硅化物技术,接触窗薄膜工艺,电迁移现象及其改进方法,铜互连,High K 和 Low K 介质,化学机械平坦化技术的应用。

教学难点:铜互连大马士革镶嵌工艺。

第六章 工艺集成

知识点:集成电路隔离技术的演变与发展,集成电路中的有源和无源器件,CMOS 集成电路工艺集成,双极集成电路工艺集成,BiCMOS 集成电路工艺集成,鳍式 MOSFET (FinFET) 工艺技术。

教学重点:PN 结隔离与介质隔离,LOCOS(硅局部氧化)技术,沟槽隔离,绝缘体上硅隔离技术,铝栅 P-Well CMOS 制造工艺,双阱 CMOS 制造工艺,双阱 BiCMOS 制造工艺。

教学难点:CMOS 集成电路工艺与双极集成电路工艺的区别,CMOS 集成电路和 BiCMOS 集成电路的工艺设计。

七、考核要求

考核方式:课程大作业占总成绩 40%,期末考试占总成绩 60%。

期末考试:闭卷考试。

八、编写成员名单

郝跃(西安电子科技大学)、毛维(西安电子科技大学)、戴显英(西安电子科技大学)、张春福(西安电子科技大学)

09 高等固体物理

一、课程概述

1. 课程概况

高等固体物理主要是针对电子科学与技术专业的研究生开设的通识类核心基础专业课程,包括晶体物理学和固体微观理论。高等固体物理是与现代电子、半导体以及新材料等工业与科学技术密切相关的一门专业基础课程。通过本课程的学习,使得电子科学与技术专业的硕士研究生基本掌握本课程的核心基础知识,如晶体对称性、点群、张量的基本概念,晶体的热力学理论,晶体的电学光学磁学特性,晶体中的群论基础知识等,同时掌握固体的结构特点、晶格振动等原子过程、能带理论,以及电子与光子、声子等相互作用规律和各种输运现象等,为其他细分专业课程的学习打下基础。各学校可结合本校实际情况选择讲述对应部分或全部内容。

2. 在本学科研究生课程体系中的地位和作用

高等固体物理是电子科学与技术专业的研究生核心基础课程,是本专业硕士研究生必修的核心课程之一,是继续学习其他细分专业课程的基础。

二、先修课程

大学物理,固体物理学,量子力学基础,热力学统计物理。

三、课程目标

修完本门课程后,在晶体物理学方面掌握晶体物理性质的基础知识和方法论,了解晶体结构各向异性与物理性质各向异性的对应关系,及其对晶体力、热、光、电、磁等性能的影响;在固体微观理论方面掌握电子材料与器件的固体的微观理论知识,了解相应材料的应用背景以及最新的发展动态和研究进展,从而具有基本的分析问题和解决问题所需的知识。

四、适用对象

电子科学与技术专业学科方向,特别是微电子学与固体电子学、物理电子学、电子信息材料与元器件等方向的博士研究生和硕士研究生。

五、授课方式

主要采用常规板书与多媒体 PPT 文档演示相结合的讲授方式,并适当增加一些与本专业课程相关的当下科学技术新方向的课堂讨论,结合研究生课后自学。首先各章通过开题,讲述该章重点难点;通过作业、讨论、讲评,进一步掌握课程内容。

六、课程内容

本课程的主要内容有:在晶体物理学方面包括晶体物理学基础、晶体的弹性、晶体的压电性

质、晶体的热力学理论、晶体的热释电与铁电性质、晶体的光学性质、晶体的磁性与输运性质、晶体中的群论,在固体微观理论方面包括固体中的原子过程、能带理论、固体中的电输运、介观物理与低维电子系统等。具体有:

(一) 晶体物理学部分

第一章 晶体物理学基础

1. 晶体的对称性与对称要素
2. 晶体点群与极射赤面投影
3. 张量的概念与张量变换法则
4. 诺依曼原理
5. 介电常数张量
6. 下标变换法
7. 晶体磁性 with 轴张量

第二章 晶体的弹性

1. 应力张量
2. 应变张量
3. 胡克定理
4. 声波在晶体中的传播
5. 弹性常数的空间各向异性

第三章 晶体的压电性质

1. 压电效应及其各向异性
2. 压电方程与机电耦合系数
3. 声波在压电晶体中的传播
4. 压电晶体的切型与振动模式

第四章 晶体的热力学理论

1. 晶体宏观物理性质的热力学基础
2. 线性系统及其状态方程
3. 边界条件与物性参数之间的关系

第五章 晶体的热释电与铁电性质

1. 晶体的热释电与铁电性质
2. 铁电晶体中的压电与电致伸缩效应

第六章 晶体的光学性质

1. 各向同性介质中光的波动方程
2. 晶体光学与双折射现象
3. 外界作用与非线性
4. 旋光性
5. 偏光显微镜及其应用
6. 宝石与晶体

第七章 晶体的磁性与输运性质

1. 磁性
2. 热导和电导

第八章 晶体中的群论

1. 晶体点群的张量表示
2. 晶体物理性质张量独立分量计算

(二) 固体微观理论部分

第一章 固体中的原子过程

1. 晶体概论
2. 原子堆积与晶体结构
3. 晶格振动与声子
4. 晶体中的缺陷

第二章 能带理论

1. 布洛赫定律与布里渊区
2. 金属的能带结构
3. 半导体和氧化物的能带结构
4. 能带的计算:平面波法、紧束缚方法、正交化平面波方法、赝势法
5. 能带理论的应用
6. 单电子理论

第三章 固体中的电输运

1. 电导理论
2. 半导体中的电输运
3. 界面电子输运
4. 空间电荷限制电流
5. 隧穿电流和 Frenkel 电流

第四章 介观物理与低维电子系统

1. 介观物理中的电输运
2. 低维固体中的电子状态
3. 低维固体中的电输运

在晶体物理学方面重点和难点有:晶体的对称性与对称要素;晶体点群与极射赤面投影;介电常数张量;应力张量;应变张量;胡克定理;声波在晶体中的传播;压电效应及其各向异性;压电方程与机电耦合系数;晶体宏观物理性质的热力学基础;晶体的热释电与铁电性质;铁电晶体中的压电与电致伸缩效应;各向同性介质中光的波动方程;晶体光学与双折射现象;晶体的磁性、热导和电导;晶体点群的张量表示;晶体物理性质张量独立分量计算。

在固体微观理论方面重点和难点有:原子堆积与晶体结构,晶格振动与声子,晶体中的缺陷;布洛赫定律与布里渊区,金属的能带结构,半导体和氧化物的能带结构,能带的计算:平面波法、紧束缚方法、正交化平面波方法、赝势法,能带理论的应用,单电子理论;电导理论;半导体中的电输运;界面电子输运;空间电荷限制电流;隧穿电流和 Frenkel 电流;介观物理中的电输运;

低维固体中的电子状态;低维固体中的电输运。

七、考核要求

考核方式:期末考试+平时作业。

考核的标准与目的:基本掌握高等固体物理的基础知识,为下一步开展科学研究提供基本的知识储备。

八、编写成员名单

徐卓(西安交通大学)、魏晓勇(西安交通大学)、周迪(西安交通大学)、朱俊(电子科技大学)、林媛(电子科技大学)、黄文(电子科技大学)、李爱东(电子科技大学)

10 薄膜材料及技术

一、课程概述

1. 课程概况

薄膜技术是现代微电子、光电子、新能源产业的基石,薄膜材料是先进材料发展的重要方向之一。本课程旨在为电子科学与技术、材料科学与工程及光学工程等领域的研究生讲授薄膜物理方面的理论知识、先进薄膜制备技术和典型电子薄膜材料的研究背景及发展现状。

课程内容包括真空科学技术,物理气相沉积、化学气相沉积、外延生长,薄膜形核与生长、薄膜结构、附着力及内应力。本课程还将讲授几种重要的电子薄膜材料,包括导电和电阻薄膜,介电、铁电和热释电薄膜以及超导薄膜材料的性能要求和制备方法。这些薄膜材料将作为重要的载体使学生更好地理解和掌握薄膜工艺—结构—性能—服役特性之间的关系。

2. 在本学科研究生课程体系中的地位和作用

薄膜材料和薄膜技术是支撑微电子集成、光电子集成、MEMS 集成发展的关键基石,了解与掌握薄膜物理、薄膜技术和典型薄膜材料,不仅有助于从事相关方向的科学研究、应用研发等工作,而且可以为从源头上创新打下基础。

二、先修课程

固体物理,半导体物理或材料物理,固体电子学基础。

三、课程目标

本课程旨在为电子科学与技术、材料科学与工程及光学工程等领域的研究生讲授薄膜物理方面的理论知识、薄膜的主流制备技术和常见电子薄膜材料的研究背景及发展现状。本课程将各种薄膜制备技术涉及的物理、化学与工程背景进行梳理,结合最新研究与技术研讨,有助于上

述学科领域研究生掌握各种薄膜制备技术的原理及适用范围,并接触到薄膜科学与技术研究前沿,为开展进一步科研创新工作奠定理论及技术基础。

四、适用对象

电子信息材料与元器件方向的博士研究生和硕士研究生。

五、授课方式

以课堂讲授为主,讲授内容以课件为主线,辅以各种高质量综述报告、学术文献阅读,课后思考题与讨论题。

依据教学进度,安排 1~2 次学生小型报告会。

六、课程内容

第一章 绪论

了解:薄膜科学与技术发展的历史及对高技术产业的支撑作用;薄膜的尺度效应;现代薄膜技术及材料的应用实例。

掌握:薄膜的定义;薄膜材料的特性;薄膜材料的分类及常用电子薄膜材料;薄膜材料与技术研究的问题及相互关系。

重点与难点:本章重点是使学生明白薄膜材料及技术的意义与重要性;建立薄膜物理、薄膜材料及薄膜技术发展的历史观,激发学习兴趣。

第二章 真空技术

了解:真空技术的发展;复合抽气系统和复合真空计。

掌握:真空基础知识;真空的获得;真空的测量。

第三章 薄膜制备技术

了解:薄膜制备技术的发展历史;薄膜制备技术—电真空物理技术发展中的互相促进关系。

掌握:薄膜制备的基本思想及基本方法;真空蒸发镀膜技术;溅射镀膜技术;离子镀膜技术;化学气相沉积镀膜技术。

重点与难点:重点是掌握主流制膜方法的原理、技术要点、特性及应用范围;难点在于根据应用需求选择薄膜制备方法。

第四章 薄膜材料的生长与结构

了解:薄膜形成的常规物理过程;薄膜生长的计算模拟技术。

掌握:薄膜的吸附凝结过程;稳定核概念及成核理论;岛状核心的长大机制;薄膜的生长模式及界面失配对生长模式的影响;薄膜的结构;外延薄膜。

重点与难点:重点是理解薄膜形成的物理过程,稳定核成核理论及薄膜的结构与缺陷;难点是综合运用薄膜形成的物理机制解释与预测薄膜的结构。

第五章 薄膜的力学性质

了解:薄膜力学性质与薄膜性能及器件质量的关系;薄膜附着性能与器件寿命的关系;薄膜应力对薄膜物化性质的重要影响。

掌握:薄膜的附着性能;薄膜的应力。

重点与难点:重点是理解薄膜附着的机制、应力的产生机制及测试表征方法;难点是综合分析薄膜的力学性质及对薄膜性能、器件寿命的影响。

第六章 金属薄膜的电导

了解:薄膜电导性质与体材料电导性质的区别与联系;薄膜电导机制的物理推导。

掌握:岛状薄膜的电导特性;外因对岛状薄膜电导的影响;网状薄膜的电导特性;连续薄膜的电导特性。

重点与难点:重点是通过金属薄膜电导的推导及认识,学习薄膜物理性质的研究方法,掌握岛状薄膜及连续薄膜的电导特性;难点在于各电导理论的推导及应用。

第七章 导电与电阻薄膜材料

了解:薄膜材料研究方法;薄膜制备技术—典型材料发展中的互相促进关系。

掌握:导电薄膜材料;电阻薄膜材料。

重点与难点:重点是掌握典型薄膜材料的性能、典型制备技术及典型应用;难点在于各类薄膜材料性能与制备方法之间的关系。

第八章 介电、铁电和热释电薄膜材料

了解:电介质概念,铁电和热释电薄膜的物理特性;薄膜制备技术—材料结构—薄膜性能相互影响的辩证关系。

掌握:介质薄膜材料;铁电薄膜材料;热释电薄膜材料;超导薄膜材料。

了解:超导现象及效应;超导材料研究进展;实用化超导薄膜的性能要求。

掌握:高温超导薄膜的制备方法;高温超导薄膜的制备的难点及需要解决的关键问题;典型高温超导薄膜材料及制备(YBCO)。

七、考核要求

平时成绩(课堂出勤+作业+小型报告)40%+期末考试(开/闭卷)60%。

八、编写成员名单

白飞明(电子科技大学)、冯哲圣(电子科技大学)、金立川(电子科技大学)

11 非线性电路与系统

一、课程概述

1. 课程概况

本课程是电磁场与微波技术专业硕士生必修的专业基础课程和博士研究生的专业选修课,其目的在于通过微波固态电路非线性理论的学习,建立起微波毫米波器件、电路和系统的非线性概念,理解器件的非线性等效电路模型建立与参数提取,掌握四种非线性经典分析方法和了

解最新非线性理论进展,掌握几种重要的固态电路非线性分析设计过程和方法,特别是功率放大器线性化技术和高效率技术,熟悉非线性微波毫米波前端系统的分析计算和综合设计原理,了解在通信、雷达和电子对抗等电子系统中的具体应用。本课程共 40 学时,讲授 40 学时,每周 4 学时。

2. 在本学科研究生课程体系中的地位和作用

本课程为电子、通信等学科的专业课程,定位为本科电子类课程在研究生阶段的巩固和提高。在本科课程基础上,深入学习非线性电路和系统概念的深层含义和原理的工程应用,课程将更加注重理论提高和工程实用性。

二、先修课程

微波技术基础,微波固态电路,电路与系统。

三、课程目标

在本科“微波固态电路”线性或准线性的基础上,明确建立固态器件、电路和系统的非线性思想,培养学生用非线性理论的基本原理和方法,深入学习固态电路与系统,掌握半导体器件的建模、固态电路和系统的非线性理论分析和优化设计方法,了解其在通信、雷达和电子对抗等电子系统中的具体应用,培养学生分析和解决非线性电路与系统问题的能力。帮助博士研究生选择和发现具有学术价值的非线性电路与系统研究领域,帮助硕士研究生建立非线性电路与系统的全局观和实践观。

四、适用对象

电磁场与微波技术、无线电物理、微电子、电路与系统等方向博士研究生和硕士研究生。

五、授课方式

课堂授课教学,小组讨论,课后习题作业。

六、课程内容

本课程由以下四部分组成。

第一部分 基本概念与器件建模

了解:非线性的基本概念,以及频率的产生;半导体材料和微波器件的基本结构。

掌握:微波电路的非线性现象;微波固态器件物理结构与工作机理;微波二极管和三极管器件的非线性等效电路模型建立和参数提取。

重点与难点:微波三极管非线性等效电路模型参数的拟合提取和环境条件对模型参数的影响。

作业:仅有一个非线性元件和 1 欧姆电阻构成的非线性电路产生新频率分量的分析与计算。

第二部分 非线性电路的理论分析方法

了解:四种重要的非线性经典理论分析方法的特点;微波非线性电路响应的分类和依据;非

线性电路的冲击响应函数求解;电流源分析方法。

掌握:谐波方程的建立和四种求解方法,尤其是牛顿求解方法;变换矩阵的推导建立方法;幂级数和 Volterra 级数分析方法及其求解方法;非线性电路的最新理论研究成果和发展趋势。

重点与难点:谐波方程的建立过程中非线性电容和非线性电导的矩阵推导;变换矩阵元素与电路参数的联系;1 dB 压缩点与交调遮断点功率的关系;Volterra 级数分析方法中冲击响应函数的具体求解。

实践环节:查阅近期参考文献,对多频、大信号激励的强非线性电路进修分析研究,得出最新研究的分析方法。查阅近期参考文献,对目前非线性电路尚未解决的问题进行归类,展望有可能的解决措施。

作业:撰写研究报告“非线性电路最新研究进展”。

第三部分 微波毫米波电路的非线性分析与设计

了解:二极管混频器的工作原理及设计方法;小信号放大器的工作原理及设计方法;功率放大器的工作原理及设计方法;FET 上/下变频器的原理及设计方法;FET 倍频器的工作原理及设计方法;FET 振荡器的工作原理及设计方法。

掌握:二极管混频器的大/小信号分析方法;小信号放大器的准线性优化设计方法;功率放大器的谐波平衡分析方法;功率放大器的线性化理论与技术;功率放大器的高效率理论与技术;FET 倍频器的谐波平衡分析方法;FET 振荡器的非线性分析方法。

重点与难点:对于不同电路非线性分析中非线性转移函数的计算;上下变频器的变换矩阵元素与电路参数的联系;电路中各种非线性现象的产生机理及优化方法;功率放大器的几种线性化技术;功率放大器的高效率技术。

实践环节:结合具体实例,运用 ADS 软件对各种电路进行设计;通过具体计算,了解非线性特性对不同电路参数的影响。

作业:撰写两篇研究报告“微波功放线性化技术现状”和“高效率微波功放现状”。

第四部分 高频前端系统的非线性分析与综合设计

了解:了解元器件、电路部件和系统的区别和基本概念;了解雷达、通信和电子对抗的基本概念、构成、工作原理和分类。

掌握:平衡电路对谐波和交调分量的抑制分析和具体计算;各种直接连接电路的谐波分量分析,得出外部电流和环路电流包含的奇偶谐波分量;线性和非线性电路部件直接级联的系统参数分析和计算;已知系统总体指标要求,对各电路进行指标分配,即系统综合。

重点与难点:多个二端网络直接级联的非线性分析计算与综合设计。

实践环节:在课堂上展示常见的雷达、通信和电子对抗等体系架构设计方案,包括 PD 和 FMCW 雷达、VAST 卫星通信地面站、堵塞干扰和欺骗干扰的实际解决方案,帮助研究生积累电子系统知识和提高系统分析与综合设计能力。

作业:3 dB 90 度电桥平衡电路仅具有一定的三阶交调分量抑制能力;反向并联和反向串联电路的外部总电流和环路电流的交调分量分析;多个二端网络直接级联的系统非线性特性计算。

七、考核要求

堂上开卷考试,平时考勤与作业分占 30%,卷面成绩占 70%。

八、编写成员名单

徐锐敏(电子科技大学)

12 集成电路设计与 EDA

一、课程概述

鉴于集成电路工艺和电路系统学科的迅猛发展与广泛应用,电子信息专业学位的研究生急需掌握集成电路设计现代理论与技术。目前集成电路设计领域教材过于偏向理论分析,缺乏关于技术和应用系统讨论。本课程立足于当前广泛应用的电路工业和设计技术,结合工程实例使专业学位研究生尽快掌握和跟踪集成电路的最新应用,培养专业技术能力。集成电路设计与 EDA 是专业学位研究生课程体系中的核心课程,是无线电、电子、电工、自动化、机械工程领域专业学位研究生的必修课程。

二、先修课程

模拟电子线路,数字电路,微机原理,射频电路基础,微波电子线路。

三、课程目标

通过对本课程的学习,了解现代超大规模集成电路的生产与测试工艺流程,理解并初步掌握集成电路设计的每一个具体步骤及相关的设计方法和所使用的 EDA 设计工具。了解并初步掌握数字、模拟及射频集成电路的系统构成、典型的电路结构与设计验证方法。初步具备进行系统级集成电路设计与测试的能力。

四、适用对象

硕士研究生。

五、授课方式

主要采用课堂教学、技术讲座并结合实际系统设计实验的方式进行。

六、课程内容

(一) 专用集成电路概念与设计方法

学习专用集成电路的概念、分类、设计与实现的方法。

重点了解集成电路的分类、重要指标、实现工艺与方法、正确设计方法与流程以及 EDA 辅助设计工具的构成与使用。

难点在于全定制集成电路/半定制集成电路/可编程逻辑器件的概念、适用范围与设计方法。

(二) 集成电路工艺基础及版图设计

学习 CMOS 集成电路的生产工艺流程、物理版图的设计方法、设计规则与测试验证方法。

重点是集成电路的版图与电学设计规则及其与各设计指标之间的关系。

难点在于集成电路版图的概念及版图设计规则。

(三) 集成电路器件基础与 EDA 仿真模型

学习并掌握集成电路中 MOS 管的工作原理、电流-电压关系方程、电学参数及器件模型参数,了解集成电路中电阻、电容、电感的设计及其参数计算方法。

重点在于 MOS 管电流-电压方程以及关键设计参数——沟道宽长比 W/L 对管子性能的影响。

难点主要是 MOS 管 SPICE 模型参数以及 MOS 管性能的仿真测试。

(四) 模拟集成电路设计基础

学习典型模拟集成电路的结构特点及其分析与设计方法。

重点在于学习并掌握基本 MOS 电流源和 MOS 运算放大器电路结构、分析与设计,深入了解模拟-数字转换器 DAC 与数字-模拟转换器 ADC 的工作原理、典型电路结构及其设计方法。

难点是 CMOS 运算放大器电路结构、分析与设计。

(五) 射频集成电路设计基础

学习无线通信中典型收发器的体系结构;学习采用 CMOS 工艺实现射频集成电路的特殊问题及分析设计方法。

重点在于 CMOS 射频收发器的重要功能单元(包括:低噪声放大器、混频器、频率合成器、功率放大器、锁相环和振荡器)的工作原理、电路结构及设计方法。

难点是各单元模块在设计时的技术指标分析与设计。

(六) 数字集成电路系统设计

学习数字信号处理及数字通信系统的基本电路单元,掌握基于有限状态机 FSM 的复杂数字系统设计。在此基础上,深入了解复杂指令集 CISC 与精简指令集 RISC 处理器的体系结构(包括指令集)特点与电路设计。

主要内容包括定点与浮点数加/减法和乘法器、桶形移位器和算术逻辑单元 ALU 的电路结构与设计;双端口与先进先出 FIFO 存储器、码速调整与 HDLC 协议处理电路的组成与设计以及基于有限状态机 FSM 的时序控制电路与复杂数字系统综合设计与测试方法。

重点在于基于有限状态机 FSM 的时序控制电路与复杂数字系统综合设计。

难点是 CISC 和 RISC 处理器体系结构特点与电路设计。

(七) 硬件描述语言 HDL

学习 Verilog HDL 或 VHDL 硬件描述语言基本结构及基本数字功能电路的描述与仿真测试方法。

主要学习内容包括基于硬件描述语言的电路设计与实现方法与流程、不同层次电路描述方

式的适用范围、基本功能电路单元的描述方法与风格,可综合的 RTL 级与结构及电路与系统设计描述方法以及测试向量的设计与系统仿真测试。

重点在于基于硬件描述语言电路设计流程、RTL 与结构级电路单元与系统电路的设计描述方法与系统测试向量的设计。

难点在于可综合的 RTL 级与结构电路与系统的设计描述方法与测试向量的设计。

(八) 片上系统 SoC 设计方法学

学习片上系统集成电路的特点以及设计实现方法。

主要内容包括 SoC 集成电路的特点、基于设计空间搜索技术的硬-软件协同设计方法、基于电路知识产权 IP 核的设计复用技术以及可重构设计技术。

重点在于 SoC 的硬-软件协同设计方法与基于 IP 核的设计复用技术。

难点是 SoC 中的硬/软件综合设计方法。

(九) 集成电路的可测试性设计技术

学习集成电路的测试方法与可测性设计技术。

主要内容包括集成电路的典型故障模型、可驱动性与可观测性的概念、内建自测试 BIST 电路的设计及测试向量的生成。

重点是集成电路的故障模型以及内建自测试电路的原理与设计。

难点是 BIST 测试矢量的生成与故障分析。

七、考核要求

最终成绩由考试成绩和综合设计报告成绩等组合而成。各部分所占比例如下:

考试成绩占 60%。主要考核专用集成电路设计基础知识的掌握程度。书面考试形式。题型为选择题、填空题、问答题和设计题等。

综合设计报告成绩占 40%。主要考核学生复杂集成电路系统分析、设计与解决实际工程问题的能力,以及语言及文字表达能力。学生可自拟题目或根据任课教师提出的工程设计题目进行,并在一定形式下进行报告、答辩,最后评定综合设计报告成绩。

八、编写成员名单

王敏(西安电子科技大学)、张犁(西安电子科技大学)、邓军(西安电子科技大学)

13 天线理论与技术

一、课程概述

1. 课程概况

天线理论与技术是电磁场与微波技术学科方向的核心课程。天线是无线电通信、广播、导

航、雷达、测控、微波遥感、射电天文、电子对抗、电磁波能量传送等各种民用和军用无线电系统必不可少的设备之一。天线虽然种类繁多,大小不一,千姿百态,其本质都基于相同的辐射和接收机理,都是以电磁场理论为基础进行分析与设计的。本课程将阐述主要类型天线的基本理论与基本分析方法。

2. 在本学科研究生课程体系中的地位和作用

本课程是电磁场与微波技术方向硕士研究生的必修课程,同时也可作为通信与信息系统等学科的选修课。本课程使学生由浅入深系统地掌握天线的基本理论和基本分析方法,理解典型天线的特性与设计原理,了解天线领域理论、技术与工程的发展前沿,并从中培育创新精神和科学作风,提高分析问题和解决问题的能力。

二、先修课程

电磁场与电磁波,高等电磁场理论。

三、课程目标

掌握天线基本概念、基本理论与基本技术,熟悉天线的工程设计方法,了解天线的近代进展和前沿发展方向。

四、适用对象

电磁场与微波技术、电路与系统、无线电物理方向的博士研究生和硕士研究生。

五、授课方式

采取以课堂讲授为主、研讨为辅的教学方式,综合运用板书、计算机投影演示、视频等多种形式相结合的教学方法,充分利用现代信息技术,体现传承与创新相结合。

六、课程内容

本课程是关于天线的基础理论课,其主要内容包括天线的地位与作用,基本定理与基本辐射元,天线电参数,Friis 传输方程,对称振子天线、行波天线、超宽带天线、非频变天线、口径面天线、缝隙天线的基本概念与分析方法,以及阵列天线的分析与综合方法。其中重要知识点有天线电参数、收发互易定理、Friis 传输方程、阵列天线的分析与综合方法。下面列出本课程建议的章节教学内容和学时分配,其中“*”表示重点,“△”表示难点。

绪论

第一章 基本定理与基本辐射元

1.1 电磁场基本方程

1.2 电流元与短振子

1.3 对偶原理,磁流元与小电流环

1.4 镜像原理与等效原理,惠更斯元

* 1.5 巴比涅原理,理想缝隙天线

* 1.6 相似原理与互易定理,天线方向图的测试

第二章 对称振子和天线电参数

- 2.1 对称振子
- 2.2 天线的方向系数和增益
- 2.3 天线的输入阻抗与带宽
- 2.4 天线的极化
- 2.5 天线有效面积与传输方程
- * 2.6 天线的噪声温度

第三章 天线阵的分析与综合

- 3.1 二元振子阵
- 3.2 耦合振子的互阻抗
- 3.3 N 元等幅线阵
- 3.4 N 元非等幅线阵
- 3.5 N 元线阵和线源的综合
- * 3.6 稀疏线阵
- * 3.7 圆环阵

第四章 振子天线

- 4.1 对称振子天线与平衡器
- 4.2 同相水平天线
- 4.3 八木宇田天线
- 4.4 单极天线
- 4.5 同相直立天线阵
- * 4.6 无线通信手机天线

第五章 行波线天线与超宽带天线

- 5.1 行波长导线天线
- * 5.2 菱形天线
- 5.3 螺旋天线
- 5.4 超宽带天线
- * 5.5 三种超宽带天线阵
- * 5.6 分形天线

第六章 缝隙天线和微带天线

- 6.1 平面缝隙天线
- 6.2 波导缝隙天线阵
- 6.3 微带贴片天线
- 6.4 微带天线元技术与阵列
- △ 6.5 介质谐振器天线

第七章 口径天线基础与喇叭天线

- * 7.1 口径天线的外场计算
- 7.2 口径天线结构特点与远区场

7.3 矩形同相口径

7.4 圆形同相口径

7.5 非同相口径

7.6 角锥喇叭天线

*7.7 高效率圆锥喇叭馈源

第八章 反射面天线及透镜天线

8.1 引言

8.2 抛物面天线的远场特性

8.3 抛物面天线的增益与设计

*8.4 卡塞格伦天线

8.5 其他形式反射面天线

8.6 透镜天线

△8.7 反射阵天线

第九章 特殊功能天线

9.1 单脉冲天线

9.2 合成孔径雷达天线

*9.3 相控阵天线

9.4 极化捷变天线

9.5 智能天线

9.6 可重构天线

△9.7 超材料天线

七、考核要求

考核方式:闭卷考试,平时考勤与作业分占 30%,卷面成绩占 70%。作业中含有天线设计类任务。

八、编写成员名单

樊振宏(南京理工大学)、陈如山(南京理工大学)

14 计算电磁学

一、课程概述

1. 课程概况

随着计算机科学与技术的飞速发展和电磁学各种数值方法的出现,计算电磁学日益受到关注并逐渐被应用到实际电子工程中。计算电磁学方法作为现代数值方法之一,以其独特的优势

而在电磁学中占有重要的地位。

2. 在本学科研究生课程体系中的地位和作用

本课程是使电磁场与微波技术、无线电物理等专业学生能较全面掌握电磁数值方法领域的基本原理、求解思路、各种快速算法,并能举一反三,解决实际工程中的典型应用问题。

二、先修课程

高等数学,工程数学,数值分析,高等电磁理论。

三、课程目标

学会电磁场与微波技术中电波的传输、辐射与散射,电磁兼容等实际问题的电磁建模与数值分析方法,熟悉时域有限差分方法、矩量法、有限元方法等主要数值方法的基本原理和相互关系,并用以分析实际电磁问题。

四、适用对象

电磁场与微波技术、无线电物理等方向的硕士研究生和博士研究生。

五、授课方式

课堂教学为主,课程设计为辅。

六、课程内容

1. 计算电磁学中方法简介

有限差分法及时域有限差分方法,有限元方法及谱元法,传输线矩阵方法,谱域方法和直线法,模匹配方法,矩量法和 Nyström 方法,无网格方法,不连续 Galerkin 方法。

2. 时域有限差分方法

有限差分公式,一维偏微分方程的有限差分分析,稳定性条件及数值色散,二维偏微分方程的有限差分分析,频域有限差分方法,麦克斯韦方程和 Yee 氏算法,边界条件及吸收边界条件,激励源的设置及近场远场计算,无条件稳定的有限差分算法。

3. 有限元方法

电磁场边值问题中的里兹方法与加权余量方法,有限元方法的基本步骤,一维有限元分析,二维有限元分析,三维有限元分析,矢量有限元分析,高阶有限元分析,吸收边界条件与理想匹配层,大型稀疏线性方程组的迭代求解,有限元分析中的预条件理论与方法,有限元分析中网络参数提取技术。

4. 矩量法及其快速方法

表面积分方程,内谐振问题,体积分方程,格林函数,二维问题的快速多极子方法,三维问题的快速多极子方法,多层快速多极子方法,快速多极子方法中的误差分析,快速多极子算法中预条件理论与方法,低秩分解压缩类方法。

5. 分层媒质电磁问题的全波分析

多层媒质的格林函数及混合位积分方程,快速频扫,快速傅里叶变换共轭梯度方法

(CG-FFT), 自适应积分方法, 多层快速多极子算法, 平面电路的网络参数提取技术。

6. 计算电磁学中的前沿分析技术

渐近波形估计方法及模型降阶方法, 体积分方程方法, 低频崩溃问题及解决方案, 区域分解算法及并行算法, 抛物线方程方法, 相位基函数及多分辨基函数, 特征基函数方法。

下面列出本门课程建议的章节教学内容, 其中“*”表示重点, “△”表示难点。

第一章 计算电磁学中方法简介

- 1.1 有限差分法及时域有限差分方法
- 1.2 有限元方法及谱元法
- 1.3 传输线矩阵方法
- 1.4 谱域方法和直线法
- 1.5 模匹配方法
- 1.6 矩量法和 Nyström 方法
- 1.7 无网格方法
- 1.8 不连续 Galerkin 方法

第二章 时域有限差分方法

- 2.1 有限差分公式
- 2.2 一维偏微分方程的有限差分分析
- 2.3 稳定性条件及数值色散
- 2.4 二维偏微分方程的有限差分分析
- 2.5 频域有限差分方法
- *2.6 麦克斯韦方程和 Yee 氏算法
- *2.7 边界条件及吸收边界条件
- 2.8 激励源的设置及近场远场计算
- 2.9 无条件稳定的有限差分算法

第三章 有限元方法

- *3.1 电磁场边值问题中的里兹方法与加权余量方法
- 3.2 有限元方法的基本步骤
- 3.3 一维有限元分析
- 3.4 二维有限元分析
- 3.5 三维有限元分析
- 3.6 矢量有限元分析
- △3.7 高阶有限元分析
- 3.8 吸收边界条件与理想匹配层
- 3.9 大型稀疏线性方程组的迭代求解
- △3.10 有限元分析中的预条件理论与方法
- 3.11 有限元分析中网络参数提取技术

第四章 矩量法及其快速方法

- *4.1 表面积分方程

- 4.2 内谐振问题
- 4.3 体积分方程
- * 4.4 格林函数
- 4.5 二维问题的快速多极子方法
- 4.6 三维问题的快速多极子方法
- 4.7 多层快速多极子方法
- △ 4.8 快速多极子方法中的误差分析
- △ 4.9 快速多极子算法中预条件理论与方法
- △ 4.10 低秩分解压缩类方法

第五章 分层媒质电磁问题的全波分析

- 5.1 引言
- 5.2 多层媒质的格林函数及混合位积分方程
- 5.3 矩量法解及快速频扫计算
- △ 5.4 快速傅里叶变换共轭梯度方法
- △ 5.5 自适应积分方法
- 5.6 平面电路的网络参数提取技术
- 5.7 分层媒质电磁结构的散射问题
- 5.8 总结

第六章 计算电磁学中的前沿分析技术

- 6.1 引言
- △ 6.2 渐近波形估计方法及模型降阶方法
- 6.3 体积分方程研究的新进展
- 6.4 低频崩溃问题及解决方案
- 6.5 区域分解算法及并行算法
- △ 6.6 抛物线方程方法
- △ 6.7 相位基函数及多分辨基函数
- 6.8 特征基函数方法
- 6.9 总结

七、考核要求

闭卷笔试、课程设计。

八、编写成员名单

陈如山(南京理工大学)、丁大志(南京理工大学)、陶诗飞(南京理工大学)

15 高等电磁理论

一、课程概述

1. 课程概况

本课程是电磁场与微波技术专业硕士生必修的专业基础课程,其目的在于使学生系统地掌握工程电磁场的基本理论和基本分析方法。通过本课程的学习,要求学生掌握电磁场基本方程、基本定理与原理,了解电磁场问题的基本求解方法,熟悉平面电磁波一般理论,掌握基于平面波函数、柱面波函数以及球面波函数分析有关导波问题、电磁辐射与散射问题的一般方法,培养一定的解决工程电磁问题的能力,为后续课程学习以及课题研究打下基础。本课程共 48 学时,讲授 48 学时,每周 3 学时。

2. 在本学科研究生课程体系中的地位和作用

本课程为电子、通信等学科的专业课程,定位为本科电磁微波类课程在研究生阶段的巩固和提高,在本科课程基础上深入学习电磁场与微波技术概念的深层含义和原理的工程应用,课程将更加注重理论的实用性。

二、先修课程

电磁场与电磁波,微波技术。

三、课程目标

在电磁场与电磁波课程的基础上,深入学习宏观动态电磁场的基本原理和定理,培养学生用场、波的观点对电磁散射、辐射及工程中的电磁现象和电磁过程进行定性分析和判断的能力,了解动态电磁场定量分析方法,培养学生分析和解决微波和天线技术问题的能力,为进一步学习电磁场计算方法和应用电磁仿真软件打下基础。

四、适用对象

电磁场与微波技术、无线电物理、电路与系统等方向的博士研究生和硕士研究生。

五、授课方式

课堂授课教学,小组讨论,课后习题作业。

六、课程内容

1. 电磁理论基本方程

复习矢量分析,掌握梯度、散度、旋度的概念与运算,掌握 Green 定理、Helmholtz 定理;了解电磁理论的研究对象和特点;理解基于全电流的麦克斯韦方程和基于自由电荷和自由电流的麦克斯韦方程;掌握磁荷与磁流的概念与性质;理解本构关系,熟悉材料的分类;理解边界条件和

辐射条件;熟悉电磁能量和能流的概念;掌握时谐电磁场的概念。

2. 电磁基本原理和定理

掌握电磁场中的唯一性定理,镜像原理,互易定理,面等效原理和体等效原理、对偶原理,感应原理和巴比涅原理。

3. 直角坐标系、圆柱坐标系以及球坐标系中的场与波

掌握波导和谐振腔问题的基本分析方法,了解波导激励问题及分析思路,了解分层媒质问题的概念及分析方法。了解柱坐标系波动方程的分离变量方法和柱面波函数,了解圆波导和同轴波导以及谐振腔的分析方法及电磁场分布特点。了解圆柱结构电磁散射的分析方法。了解天线在圆柱结构附近的电磁辐射分析方法。了解球坐标系波动方程的分离变量方法和球面波函数,了解球谐振腔的分析方法及电磁场分布特点。了解球结构电磁散射的分析方法。

4. 格林函数

掌握标量和并矢格林函数及其解法,掌握点源模型及格林函数的概念,掌握自由空间矢量位函数波动方程的解法;了解并矢格林函数的概念,了解给定边界条件下,任意场源分布下场的叠加。

5. 标量、矢量亥姆霍兹方程积分解

掌握波动方程,掌握辅助位函数及其方程,掌握自由空间场与源的关系;掌握电基本振子的辐射场,掌握远场近似的处理方式;了解线分布、面分布源产生的电磁场的计算方法。掌握平面波的概念及平面波垂直入射、斜入射到平面介质分界面反射波与透射波的性质;掌握全反射和全透射现象及其性质;掌握复杂媒质平面波的特性与分析方法。

下面列出本课程建议的章节教学内容,其中“*”表示重点,“△”表示难点。

第一章 电磁理论基本方程

- * 1.1 麦克斯韦方程
- * 1.2 物质的电磁特性
- * 1.3 边界条件和辐射条件
- * 1.4 波动方程
- * 1.5 辅助位函数及其方程
- 1.6 赫兹矢量
- * 1.7 电磁能量和能流
- 1.8 Green 定理

第二章 基本原理和定理

- * 2.1 亥姆霍兹定理
- * 2.2 唯一性定理
- * 2.3 镜像原理
- * 2.4 等效原理
- * 2.5 感应原理
- * 2.6 巴比涅原理
- * 2.7 互易定理
- 2.8 线性系统的算子方程

第三章 基本波函数

- * 3.1 标量波函数
- * 3.2 平面波、柱面波和球面波用标量基本波函数展开
- 3.3 理想导电圆柱对平面波的散射
- 3.4 理想导电圆柱对柱面波的散射
- 3.5 理想导电劈对柱面波的散射
- 3.6 理想导电圆筒上的孔隙辐射
- 3.7 理想导电圆筒对平面波的散射
- 3.8 理想导电圆球对球面波的散射
- 3.9 分层媒质上的点偶极子
- △ 3.10 矢量波函数

第四章 格林函数

- * 4.1 标量格林函数
- 4.2 用镜像法求标量格林函数
- 4.3 标量格林函数的本征函数展开法
- 4.4 标量格林函数的傅里叶变换解法
- 4.5 并矢及并矢函数
- * 4.6 自由空间的并矢格林函数
- 4.7 有界空间的并矢格林函数
- 4.8 用镜像法建立半空间的并矢格林函数
- △ 4.9 并矢格林函数的本征函数展开

第五章 波动方程的积分解

- * 5.1 非齐次标量亥姆霍兹方程的积分解
- 5.2 非齐次矢量亥姆霍兹方程的积分解
- * 5.3 辐射场与辐射矢量
- 5.4 口径衍射场
- * 5.5 电场和磁场积分方程

七、考核要求

闭卷考试,平时考勤与作业分占 30%,卷面成绩占 70%。

八、编写成员名单

陈如山(南京理工大学)、樊振宏(南京理工大学)、何姿(南京理工大学)