

材料物理教学大纲

课程代码: 63120130

课程名称: 材料物理 (Material Physics)

学分: 3.0

周学时: 6

面向对象: 材料及工科类专业学生

预修课程要求: 材料科学基础 I, 大学物理, 微积分, 线性代数

一、课程介绍 (100-150 字)

(一) 中文简介

材料物理课程主要讲述材料物理的基本概念, 基础理论和基本方法, 主要内容包括量子物理基础, 固体的电导和热导, 能带理论和半导体。该课程将会教授学生如何理解和掌握固体物理中基本的微观规律和特性以及它们如何决定固体材料的各种宏观性质。材料物理课程是研究固体材料及器件的各种 (如光/电/磁/热) 性能的理论基础, 是理工科学生, 特别是材料, 光电, 信息等专业学生必修的一门基础课程。本课程包括三部分: 第一部分为量子物理基础; 第二部分为固体中的电导与热导; 第三部分为现代固体理论。

(二) 英文简介

The Introduction of Solid State Physics is a course to learn the basic concepts, fundamental theories and basic methods of solid state matters, including quantum physics, electronic and thermal conductivity, energy band theory and semiconductor. This course will allow students to learn and understand the basic rules and features of solid state physics and how these features determine the properties of materials. This course consists of the basic theories to study the properties of solid state matters and is suitable for those who study natural science and engineering, especially, for those who major in materials science, photo-electronics and information technology. The course can be divided into three parts: The first part is the basis of quantum physics; The second part is electronic and thermal conductivity of solid; The third part is the modern theory of solid.

二、教学目标

(一) 学习目标

本课程是材料科学的基础理论课, 是材料专业及其相近专业非常重要的基础课、必修课。学生通过材料物理课程的学习, 对晶体内原子、电子等微观粒子运动的物理本质及其有关模型有基本了解, 掌握晶体内微观粒子的运动规律及其与晶体宏观性能的物理联系, 深刻理解晶体宏观性能的微观物理本质, 为进一步学习有关专业课程奠定必要的理论基础。在教学过程中, 培养学生从微观层次分析各种固体现象的思维能力, 提高学生运用物理学综合知识分析问题、解决问题的能力及创新能力, 为进一步学习、科研奠定理论基础。

(二) 可测量结果

1. 对量子力学的发展和各阶段的关键的理论有初步的了解。特别是对于量子的思想有一

定的认识。

2. 对材料的物理性能有初步的了解，例如材料的热导、电导。并且能将材料的微观结构和物理性能结合起来认识。

3. 具有一定的信息搜集和检索能力，能够自主的针对课程的相关知识进行拓展阅读。

4. 具有团队合作展示能力，能够针对老师提出的相关主题作相应的专题展示。

注：以上结果可以通过课堂讨论、课程展示以及课堂作业等环节测量。

三、课程要求

（一）授课方式与要求

授课方式：

1. 教师讲授。讲授课程每一章的核心内容、总结、按顺序提示今后内容、答疑、公布讨论主题等。

2. 课堂或课后习题作业。课堂测试或布置课后作业，加强和巩固所学的重要知识点。

3. 复习总结课。在最后一次课针对课程的重点内容进行重点讲解，并给同学答疑。

4. 期末闭卷考试。

课程要求：熟悉基本物理定律，理解各种物理现象，培养逻辑思维能力，为以后的专业课程学习打下坚实理论基础。

考试评分与建议

本门课程的评分分为2个部分，每个部分分数分配如下：平时成绩（出勤+作业）：40%；期末考试：60%。

四、教学安排

第一次：量子力学的诞生

主要内容：

本次课主要简述量子力学的发展历史。着重讲述经典力学的困境以及量子力学是如何诞生的。从介绍经典力学无法解释的黑体辐射及光电效应开始，重点阐述普朗克的量子假说和爱因斯坦的光量子理论。

阅读材料：

萨法卡萨普著，汪宏等译 《电子材料与器件原理》（上册） 西安交通大学出版社，2015
石川宪二著，李梅译 《漫画量子力学》，科学出版社，2010

第二次：物质波及定态薛定谔方程

主要内容：

从德布罗意物质波出发，讲述如何理解电子的波粒二象性，如何验证电子的波动性。进一步，以电子的波粒二象性为基础，推出薛定谔方程，阐述微观尺度下电子遵循的运动规律。在此基础上讨论自由电子和无限深势阱束缚电子的波函数和能量。

阅读材料:

萨法卡萨普著，汪宏等译，《电子材料与器件原理》（上册） 西安交通大学出版社，2015

David J Griffiths 著，贾瑜等译《量子力学概论》，机械工业出版社，2009

石川宪二著，李梅译 《漫画量子力学》，科学出版社，2010

第三次：测不准原理及隧道效应

主要内容:

从实验中无法同时精确的测量电子的位移和动量开始，引入海森堡测不准原理。在此基础上，讲解电子的概率波概念。介绍电子的隧道效应及以此为基础发展的扫描隧道显微镜的原理。

阅读材料:

萨法卡萨普著，汪宏等译，《电子材料与器件原理》（上册） 西安交通大学出版社，2015

David J Griffiths 著，贾瑜等译《量子力学概论》，机械工业出版社，2009

石川宪二著，李梅译 《漫画量子力学》，科学出版社，2010

第四次：原子光谱与原子结构

主要内容:

本次课主要从原子光谱出发，引出波尔提出的原子结构。更进一步地，通过求解薛定谔方程来得到类氢原子的电子波函数。同时，对电子自旋和本征角动量 S 以及总的角动量 J 有相应的介绍。

阅读材料:

萨法卡萨普著，汪宏等译，《电子材料与器件原理》（上册） 西安交通大学出版社，2015

第五次：泡利不相容原理和洪特规则

主要内容:

本次课程主要介绍泡利不相容原理和洪特规则，在此基础上综合考虑电子的轨道和自旋，从本质上阐述电子在原子核外的排布规律及元素周期表的特性。

阅读材料:

萨法卡萨普著，汪宏等译，《电子材料与器件原理》（上册） 西安交通大学出版社，2015

第六次：经典电子理论 I

主要内容:

本部分介绍金属的 Drude 理论，包括模型的基本假设，碰撞与弛豫时间、导带电子、漂移速率、迁移率、平均速率、理想纯金属电导、固溶体中的电导、散射机制、平均弛豫时间、杂质散射。

阅读材料:

萨法卡萨普著, 汪宏等译,《电子材料与器件原理》(上册) 西安交通大学出版社, 2015

第七次: 经典电子理论 II

主要内容:

本部分内容包括介绍马希森定则, 通过范例介绍电导的温度依赖关系、诺德海姆定则、电阻率混合法则、多孔物质的电导率等。此外介绍霍尔系数、霍尔迁移率、霍尔电荷浓度、金属热导率、磁阻现象、交流电导、非金属和薄膜电导率等。

阅读材料:

萨法卡萨普著, 汪宏等译,《电子材料与器件原理》(上册) 西安交通大学出版社, 2015

第八次: 电导的 Sommerfeld 理论

主要内容:

重点介绍金属量子理论、费米-狄拉克分布、自由电子气、重费米子、金属比热容、魏德曼-弗朗兹定律等重要知识和概念, 以及自由电子模型在解释电性能时的失效。

阅读材料:

萨法卡萨普著, 汪宏等译,《电子材料与器件原理》(上册) 西安交通大学出版社, 2015

基泰尔著, 项金钟, 吴兴惠译《固体物理导论》(原著第八版), 化学工业出版社, 2006

第九次: 声子与晶格振动

主要内容:

固体中的原子通过键相互耦合, 这些耦合的振动导致波。本部分介绍格波与声子的基本概念、弹性波的量子化、声子色散关系、群速度、声子动量、非弹性散射等重要概念。

阅读材料:

萨法卡萨普著, 汪宏等译,《电子材料与器件原理》(上册) 西安交通大学出版社, 2015

基泰尔著, 项金钟, 吴兴惠译《固体物理导论》(原著第八版), 化学工业出版社, 2006

第十次: 热性质与小结

主要内容:

主要介绍声子比热容、声子态密度、德拜模型、德拜的 T^3 率、爱因斯坦模型、非金属中的热传导、非谐晶体相互作用、倒逆过程等重要概念。通过实例说明典型固体材料中的电导和热导, 运用介绍的基本理论知识和模型, 理解电子传输以及自由电子模型在其中的运用, 同时理解声子输运特点及其对电性能的影响, 进一步理解物理模型在热电输运中的实际应用, 加深对基本概念和知识的理解与掌握。

阅读材料:

萨法卡萨普著,汪宏等译,《电子材料与器件原理》(上册) 西安交通大学出版社,2015
基泰尔著,项金钟,吴兴惠译《固体物理导论》(原著第八版),化学工业出版社,2006

第十一次 分子轨道成键理论和能带的形成

主要内容:

以氢分子的形成为例,讲解轨道成键理论。引出成键分子轨道和反成键分子轨道的概念,并比较这两种情况下的能量。进一步地,以 He 原子和 HF 分子为对象,讲解轨道成键理论。

以三个氢原子靠近为例,讲解能级分裂的情况。进一步地,以 N 个 Li 原子结合成固体为例,阐述能带的形成。

阅读材料:

萨法卡萨普著,汪宏等译,《电子材料与器件原理》(上册) 西安交通大学出版社,2015

第十二次 晶体中的电子衍射与能带理论的初步知识

主要内容:

以电子波在一维晶体中传播为切入口,阐述电子衍射的发生条件,进而引入驻波的概念。在此基础上,从半定量的角度出发,给出一维晶体中电子能量与波矢 k ($E-k$) 的函数关系。基于 $E-k$ 关系图,阐述能带、禁带等基本概念。进一步地,阐述能带与布里渊区的关系以及费米面的概念。

阅读材料:

萨法卡萨普著,汪宏等译,《电子材料与器件原理》(上册) 西安交通大学出版社,2015

第十三次 基于近自由电子近似的能带理论

主要内容:

从固体中电子所处的环境以及运动的特点,引出等效实势和共有化电子的概念,从而建立晶体中电子的波动方程。从考察波动方程解的特点,引出布洛赫定理。在此基础上,以一维周期场中电子运动的近自由电子近似,定量地描述能带的形成,阐明能带与布里渊区的关系。

阅读材料:

萨法卡萨普著,汪宏等译,《电子材料与器件原理》(上册) 西安交通大学出版社,2015

第十四次 能带中电子的性质

主要内容:

以金属中的电子为例,阐述功函数的概念;从能带的角度,阐明电导的本质。在此基础上,引入电子有效质量的概念。引入能带中状态密度的概念,并推导二维和三维情况下态

密度的计算公式。从费米-狄拉克统计出发，阐明费米能的意义；在此基础上，讲解塞贝克效应和热电偶的原理。

阅读材料：

萨法卡萨普著，汪宏等译，《电子材料与器件原理》（上册） 西安交通大学出版社，2015

第十五次 半导体中的电子与空穴

主要内容：

从能带理论出发，阐明固体分为绝缘体、导体和半导体的原因。从半导体电导的角度，引入空穴的概念。从载流子产生的角度，引入掺杂的概念，由此阐述本征半导体、n型和p形半导体的导电机制以及载流子浓度的质量作用定律。阐述半导体中载流子的浓度与迁移率随温度和掺杂浓度变化的关系，进而建立起半导体的电导率（电阻率）与温度和掺杂浓度之间的关系。

阅读材料：

萨法卡萨普著，汪宏等译，《电子材料与器件原理》（上册） 西安交通大学出版社，2015

附：时间表

周次	授课主题	备注	主讲人
1	量子力学的诞生（讲授）	3 课时	王勇
2	物质波及定态薛定谔方程（讲授）	3 课时	王勇
3	测不准原理及隧道效应（讲授）	3 课时	王勇
4	原子光谱与原子结构（讲授）	3 课时	王勇
5	泡利不相容原理和洪特规则（讲授）	3 课时	王勇
6	经典电导理论 I（讲授）	3 课时	朱铁军
7	经典电导理论 II（讲授）	3 课时	朱铁军
8	电导的 Sommerfeld 理论（讲授）	3 课时	朱铁军
9	声子与晶格振动（讲授）	3 课时	朱铁军
10	热性质与小结（讲授）	3 课时	朱铁军
11	分子轨道成键理论和能带的形成（讲授）	3 课时	马向阳
12	晶体中的电子衍射与能带理论（讲授）	3 课时	马向阳
13	基于近自由电子近似的能带理论（讲授）	3 课时	马向阳

13	能带中电子的性质（讲授）	3 课时	马向阳
14	半导体中的电子与空穴（讲授）	3 课时	马向阳
16	总结复习（讲授）	3 课时	王/朱/马

五、参考教材及相关资料

- 1、 萨法·卡萨普著，汪宏等译，《电子材料与器件原理》，西安交通大学出版社
- 2、 DAVID J. GRIFFITHS 著，贾瑜等译，《量子力学概论》，机械工业出版社
- 3、 基泰尔著，项金钟，吴兴惠译《固体物理导论》（原著第八版），化学工业出版社
- 4、 N.W. Ashcroft and N.D. Mermin, Solid State Physics, 世界图书出版公司

六、课程教学网站：

将通过校内网络提供必要的课件和文字材料链接