

《固体物理》课程教学大纲

课程英文名称: Solid State Physics

课程代码: E0300440

学 时 数 : 64

学 分 数: 4

学时分配: 理论 64

课程类型: 学科基础课程

适用学科专业: 微电子

先修课程: 大学物理 量子力学 热力学与统计物理

执 笔 者: 李竞春

编写日期: 2015 年 11 月

审 核 人: 于奇

一、课程简介

固体物理以大学物理、热力学统计物理、量子力学为基础,是物理学中的重要分支。课程强调对固体物理学的科学方法、物理图像的理解,其基本任务是阐述晶体内原子、电子等微观粒子运动的物理图像及其有关模型,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。固体物理是新材料和新器件技术的基础理论,学习和掌握固体物理是电子科学与技术专业非常重要的学科基础课和必修课。

固体物理的基本内容包括:晶体结构、晶体结合、晶体中的缺陷、晶格振动与晶体的热学性质、金属自由电子理论、固体的能带理论。

Solid State Physics is an important branch of physics, based on College Physics, Statistical Physics and Quantum Mechanics. The course emphasizes the understanding of the scientific method and the physical image of solid physics. The basic task is to explain the physical images of the atoms, electrons and other particles. Solid State Physics is the basic theory of new materials and new device technology, learning and mastering solid physics is an important subject of Electronic Science and technology.

The basic contents of Solid State Physics include: crystal structure, crystal structure, crystal defects, lattice vibration and thermal properties of crystals, metal free electron theory, solid energy band theory.

二、课程目标

课程目标:通过固体物理课程的学习,为后续课程打下有关固体理论方面的基础,并掌握有关固体材料、固态器件等方面的技术开发和科学研究所需要的基础理论知识,为进一步学习专业课,为毕业后从事科研和高新技术工作打下坚实的基础。同时使学生树立辩证唯物主义世界观,掌握科学研究方法,从而增强学生的科学素质、培养学生的科学思维能力和创新意识。

Curriculum objectives: through the solid State Physics course of study, for the follow-up courses to lay the

foundation for the theory of solids, and to grasp the basic theory of knowledge, such as the basic theory of solid materials, solid state devices and other aspects of technology development and scientific research. At the same time, the students establish the world outlook of dialectical materialism, master scientific research methods, so as to enhance the scientific quality of students, cultivate students' scientific thinking ability and innovation consciousness.

本课程对学生达到如下毕业要求有贡献

毕业要求	毕业要求指标点
要求 1: 工程知识：能够将数学、物理学和电子学等相关基础理论，用于解决电子系统中使用电子材料与元器件和电路的复杂工程问题	指标点 1-2: 掌握量子力学、电磁场与波、固体物理的基础知识，能将其用于分析工程问题中的电子材料和电子元件、器件问题；
	指标点 1-4: 掌握专业知识，能对电子材料与元器件和电路的复杂工程问题进行抽象和表达，对所建立的模型完成准确的推导、计算。
要求 2: 能够将专业的基础理论和相关知识，用于电子材料与器件和电路的特性分析、识别，并给出有效结论。	指标点 2-4: 能运用有关材料、器件、电路的知识，分析影响因素，能正确表达一个工程问题的解决方案。

三、课程内容安排和要求

（一）教学内容、要求及教学方法

1、绪论（1 学时）

（1）教学内容

介绍固体物理研究的对象、固体物理发展历史、固体物理应用领域，固体的分类及特点。

（2）基本要求

掌握：固体的分类、晶体宏观和微观特点；

理解：固体物理研究的对象和应用领域；

了解：固体物理发展历史，非晶体和准晶体及特点。

（3）重点和难点

重点：固体的分类及特点

难点：晶体、多晶体的微观特性

（4）对毕业要求指标点的贡献

对指标点 1-2 的具体贡献：熟悉固体物理在元器件以及相关领域的应用情况。

(5) 教学方法

本章以讲授为主。对于本章基本概念和原理等，这些内容由教师精讲。适当引入学生感兴趣的前沿的热点问题。

采用将板书、书籍和多媒体等现代化教学手段结合起来的教學手段。

2、第一章 晶体的结构（12 学时）

(1) 教学内容

晶体特征、空间点阵、晶格的周期性、原胞、晶胞、基矢、晶面与晶向、实际晶体结构；倒格子点阵、倒格子原胞、布里渊区。

晶系分类方法及七大晶系的基本特征、晶体宏观对称性中包含的基本对称操作元素、X 射线衍射方程，Bragg 定理；点群和空间群概念，原子散射因子、几何结构因子。

(2) 基本要求

掌握：晶体的宏观特征、空间点阵、原胞、晶胞、基矢；晶面与晶向、实际晶体结构；倒格子点阵、倒格子原胞、布里渊区；

理解：晶系分类方法及七大晶系的基本特征、晶体宏观对称性中包含的基本对称操作元素、X 射线衍射、Bragg 定理；

了解：点群和空间群概念，原子散射因子、几何结构因子。

(3) 重点和难点

重点：晶体结构，倒易点阵，晶向、晶面指数，布里渊区。

难点：晶体对称操作，点群和空间群。

(4) 对毕业要求指标点的贡献

对指标点 1-2 的具体贡献：将数学和物理学的基本概念用于晶体结构特征描述和分析。能使用量子力学、固体物理等的方法对晶体结构进行分析研究，并能完成相关的计算，有助于在工程问题中正确认识元器件中电子材料结构以及正确选择和使用元器件。

(5) 教学方法

本章以讲授为主，并结合讨论和作业。对于基本概念和原理、基本分析方法、设计思路等，这些内容由教师精讲。对学生感兴趣的问题和一些习题采用讨论方式。作业分为课堂练习和课后作业。

在教学方法上，适当引入相关前沿的热点问题，比如在讲金刚石结构时，适当引入碳纳米管、石墨烯这一当前的研究热点，调动学生探索碳的各种同素异形体及其相关的应用。鼓励同学对感兴趣的问题，通过文献调研、相互讨论的形式，向更深、更广层次学习。

采用启发式教学和案例教学。知识点在讲解时，教师设计以一串环环相扣的问题为线索，当这一串问题被解决后，知识点就成功被学生掌握。选择符合知识点应用要求的、贴近生活和技术发展的、学生感兴趣的案例，师生共同分析讨论，从而提高学生分析问题能力和知识应用能力。

教学手段上，把板书、书籍和多媒体等现代化教学手段结合起来，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。由于晶体结构比较抽象，在多媒体教学中制作晶体结构图片、动画等形式，帮助同学理解和掌握。

3、第二章 晶体的结合（4 学时）

（1）教学内容

主要内容：晶体的结合类型；结合力的一般性质；离子晶体的结合能；晶体五类结合的定义和特点。

（2）基本要求

掌握：晶体的结合类型；结合力的一般性质；离子晶体的结合能；晶体结合类型及特点。

了解：原子与离子半径。

（3）重点和难点

重点：结合力的一般性质、离子晶体的结合能、晶体五类结合的定义和特点。

难点：离子晶体的结合能。

（4）对毕业要求指标点的贡献

对指标点 1-2 的具体贡献：将数学和物理学的基本概念运用于晶体结合的描述。能使用量子力学、固体物理等的方法，对工程问题中的电子材料结合进行分析，并能完成结合能等相关的计算。

（5）教学方法

本章以讲授为主，并结合作业。对于基本概念和原理、基本分析方法、思路等，这些内容由教师精讲。作业为课后作业。

采用板书、书籍和多媒体等现代化教学手段结合起来的的教学手段，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。

4、晶格振动与晶体的热学性质（14 学时）

（1）教学内容

主要内容：一维原子链的振动运动方程、周期性边界条件、色散关系、格波、模式密度；晶格振动的量子化、声子，长波近似；固体比热，爱因斯坦模型和德拜模型；确定振动谱的实验方法，

（2）基本要求

掌握：一维单/双原子晶格振动、格波、色散关系，模式密度；声子、固体比热，爱因斯坦模型和德拜模型。

理解：三维晶格振动、确定振动谱的实验方法。

了解：局域振动、晶格热传导、声子间的碰撞等概念。

(3) 重点和难点

重点：一维晶体振动模式的色散关系，晶格振动的量子化、声子的概念；格波模式密度、爱因斯坦模型和德拜模型；

难点：晶格振动的量子化、声子的概念、格波模式密度。

(4) 对毕业要求指标点的贡献

对指标点 1-2 的具体贡献：能使用数学、物理的方法对晶格振动和晶体比热进行描述、分析研究，并能完成准确推导和计算。在工程问题中，通过对电子材料热振动和热容研究，预知电子材料在特定环境下物理参数的变化。

对指标点 1-4 的具体贡献：能对电子材料与元器件工程中相关晶格振动和热容问题进行抽象和表达，完成所建模型中相关晶格振动和热容的内容，并进行准确的推导、计算。

对指标点 2-4 的具体贡献：能运用材料、器件的知识，分析相关固体热学性质对工程问题影响因素，正确提出工程问题中相关部分的解决方案。

(5) 教学方法

本章以教授为主，并结合讨论和作业。对于本章基本概念和原理、基本分析方法、解决问题思路等，这些内容由教师精讲。对学生感兴趣的问题和一些习题采用讨论方式。作业分为课堂练习和课后作业。

适当引入相关前沿的热点问题，鼓励同学对感兴趣的问题，通过文献调研、相互讨论的形式，向更深、更广层次学习。

采用启发式教学。知识点在讲解时，教师设计以一串环环相扣的问题为线索，当这一串问题被解决后，知识点就成功被学生掌握。

采用案例教学。选择符合知识点应用要求的、贴近生活和技术发展的、学生感兴趣的案例，师生共同分析讨论，从而提高学生分析问题能力和知识应用能力。教师精心设计案例，以提出问题的方式，引导学生对知识点进行思考、探究。

教学手段上，把板书、书籍和多媒体等现代化教学手段结合起来，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。由于晶体振动比较抽象，在多媒体教学中制作图片、原子振动动画和格波传播等，帮助同学理解和掌握。

5、缺陷（4 学时）

(1) 教学内容

主要内容：缺陷类型和特征，热缺陷的统计、热缺陷的运动、产生和复合

(2) 基本要求

掌握：点缺陷、线缺陷的特征；位错的性质

理解：热缺陷的统计、产生及其运动

了解：面缺陷和体缺陷。

(3) 重点和难点

重点：肖脱基缺陷和夫仑克缺陷，位错

难点：热缺陷的统计，位错运动

(4) 对毕业要求指标点的贡献

对指标点 1-2 的具体贡献：将数学和物理学的基本概念运用于晶体缺陷的描述，并对缺陷性质进行分析，能完成缺陷统计数目的计算。在工程问题中，通过研究电子材料缺陷，分析由于缺陷引起元器件可靠性等问题。

(5) 教学方法

本章以讲授为主，并结合讨论和作业。对于基本概念和原理、基本分析方法、设计思路等，这些内容由教师精讲。对学生感兴趣的问题和一些习题采用讨论方式。作业为课后作业。

采用启发式教学和案例教学。教师精心设计案例，以提出问题的方式，引导学生对知识点进行思考、探究。这一章结合本专业的特点，介绍一些工程中电子材料中位错的检测和位错密度的统计方法。

教学手段上，把板书、书籍和多媒体等现代化教学手段结合起来。

6、晶体中电子能带论（15 学时）

(1) 教学内容

主要内容：布洛赫定理；近自由电子模型、近自由电子能带结构图；紧束缚近似模型、紧束缚近似下晶体中电子能量 $E(K)$ ；晶体中电子的能态密度；晶体中电子运动的速度和加速度、有效质量，空穴概念；金属、半导体和绝缘体能带

(2) 基本要求

掌握：周期性势场、布洛赫定理；近自由电子模型、近自由电子能量与波函数、能带结构、禁带；

紧束缚近似下晶体中电子能量 $E(K)$ 、能带宽度；自由电子能态密度；晶体中电子运动的速度和加速度、有效质量、空穴；金属、半导体和绝缘体能带特点；

理解：三维情况下的近自由电子近似；近自由电子和紧束缚近似下电子的能态密度；

了解：实际晶体的能带结构。

(3) 重点和难点

重点：布洛赫定理；近自由电子模型、近自由电子能带结构；紧束缚近似下晶体中电子能量

$E(K)$ 、能带宽度；晶体中电子运动的速度和加速度、有效质量；金属、半导体和绝缘体能带特点；

难点：近自由电子、紧束缚近似理论计算方法。

(4) 对毕业要求指标点的贡献

对指标点 1-2 的具体贡献：将数学和物理学的基本概念运用于晶体能带结构和电子运动状态的描述；能使用量子力学、统计物理和固体物理的方法对晶体能带特点进行分析，并能准确推导和计算电子能量。在工程问题中，能够分析元器件中不同电子材料的能带配置，电子在元器件中的运动规律。

对指标点 1-4 的具体贡献：掌握专业基础知识，能对电子材料与元器件复杂工程问题中相关固体材料电学性能进行表达，建立与电子能带结构和运动相关的模型，完成准确的推导、计算。

对指标点 2-4 的具体贡献：能运用固体电子能带理论的知识，从电子能带结构方面分析固体材料与元器件的影响因素，正确表达工程问题中相关部分的解决方案。

(5) 教学方法

本章以教授为主，并结合讨论和作业。对于本章基本概念和原理、基本分析方法、解决问题思路等，这些内容由教师精讲。对学生感兴趣的问题和一些习题采用讨论方式。作业分为课堂练习和课后作业。

采用启发式教学。知识点在讲解时，教师设计以一串环环相扣的问题为线索，当这一串问题被解决后，知识点就成功被学生掌握。

采用案例教学。选择符合知识点应用要求的、贴近生活和技术发展的、学生感兴趣的案例，师生共同分析讨论，从而提高学生分析问题能力和知识应用能力。教师精心设计案例，以提出问题的方式，引导学生对知识点进行思考、探究。本章设计了前沿热点应变硅的案例，鼓励同学通过文献调研并应用所学晶体结构、能带理论知识，通过老师介绍、相互讨论的形式，得出双轴应变硅由于价带的曲率变化，导致有效质量减小、迁移率提高，与文献报道结果一致。

教学手段上，把板书、书籍和多媒体等现代化教学手段结合起来，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。

7、金属自由电子论（5 学时）

(1) 教学内容

主要内容：电子气的能量状态，电子气的费密能量；金属中电子气的热容量；金属电导和热导；功函数与接触电势差；

(2) 基本要求

掌握：电子气的能量状态，电子气的费密能量；金属中电子气的热容量；功函数与接触电势差；

理解：金属电导和热导；

了解：热电子发射

(3) 重点和难点

重点：电子气的能量状态，电子气费的密能量；金属中电子气的热容量；功函数与接触电势差；

难点：常温下电子气的费密能量、热容量计算。

(4) 对毕业要求指标点的贡献

对指标点 1-2 的具体贡献：将数学和物理学的基本概念运用于金属中自由电子的描述；能使用数学、统计物理和量子力学的方法对金属材料中自由电子进行分析和计算。在工程问题中，能够分析元器件中用于电极和导线的金属材料中电子的运动情况，以及金属与其它材料接触等相关问题。

(5) 教学方法

本章以讲授为主，并结合作业完成。对于本章基本概念和原理、基本分析方法、解决问题思路等，这些内容由教师精讲。作业为课后作业。

采用启发式教学，选择符合知识点应用要求的、贴近生活和技术发展的、学生感兴趣的案例，师生共同分析讨论，从而提高学生分析问题能力和知识应用能力。

教学手段上，把板书、书籍和多媒体等现代化教学手段结合起来，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。

本课程教学环节安排：总学时 64 学时，其中课堂讲授 55 学时，课堂练习及讨论 3 学时，习题课 4 学时，期中考试 2 学时。

(二) 自学内容和要求

原子散射因子、几何结构因子，原子和离子半径，晶格振动的非简谐效应，金属热导等内容要求学生自学。

(三) 实践性教学环节和要求

无

四、考核方式

本课程的考核方式为平时考核+闭卷考试。

成绩构成及比例：平时考核 20%+中期考核 10%+期末考核 70%。

平时考核包含课堂小测验、课后作业、小论文的质量评定，占 20%；中期考核根据 2 个课时的随堂闭卷考试成绩评定，占 10%；期末考核根据闭卷考试成绩评定，占 70%。

课堂小测验、课后作业：主要考核学生平时的学习态度以及主要知识点的理解和掌握程度。

小论文：主要考核学生分析和解决问题的能力；基于科学原理、使用现代工具、工程基础和专业知识用于解决实际工程问题的综合能力；语言及文字表达能力和科技报告的撰写能力。

中期和期末考核：主要考核学生对固体物理的基本概念、原理、方法及其应用的掌握程度。考核形式为闭卷笔试，题型有填空题、选择题、分析计算题等。

六、教材及参考资料

（一）教材

《固体物理教程》，王矜奉，山东大学出版社，2013.6

（二）参考资料

- 1、《固体物理学》，黄昆编著，北京大学出版社，2009.9
- 2、《固体物理基础》，曹全喜等，西安电子科技大学出版社，2008.9