

# 工科材料类专业固体物理教材改革构思与探索

石锋 沈建兴 张灵翠 徐越

齐鲁工业大学(山东省科学院)材料科学与工程学院

DOI:10.12238/mef.v4i10.4090

**[摘要]** 固体物理教学是工科材料类专业人才基础能力培养的重要保障,但由于包含很多晦涩难懂的专业概念和烦琐的理论公式推导,使得数理基础薄弱的学生学习起来十分吃力。目前的教材主要包括注重结论的基泰尔体系和注重过程的Ashcroft体系。我国绝大多数教材属于前者,适于学术研究参考之用,属于后者且真正适于教学的教材并不多见。我们提出了教材改革的构思,并进行了多年的实践探索,取得了良好的教学效果,提高了学生的科学素养及分析和解决问题的能力。

**[关键词]** 固体物理;教材体系;教材改革;教材构思;教学探索

中图分类号: O48

文献标识码: A

## The Conception and Practice of the Teaching Material Reform of Solid Physics for Engineering Materials Majors

SHI Feng, SHEN Jianxing, ZHANG Lingcui, XU Yue

School of Materials Science and Engineering, Qilu University of Technology (Shandong Academy of Sciences)

**[Abstract]** Solid-state physics teaching is an important guarantee for the training of the basic ability of engineering materials professionals, but because it contains many obscure professional concepts and cumbersome theoretical formula derivation. It is very difficult for students with weak mathematical foundations to learn. The current textbooks mainly include the Kittel system that focuses on conclusions and the Ashcroft system that focuses on process. Most of the textbooks in our country belong to the former and are suitable for academic research reference, while the latter are really suitable for teaching materials which are rare. We put forward the idea of teaching material reform, carried out many years of practical exploration, and achieved good teaching results, which improved the students' scientific literacy and the ability to analyze and solve problems.

**[Key words]** solid state physics; teaching material reform; teaching material conception; teaching exploration

固体是一个复杂的客体,每一立方米中包含有约 $10^{29}$ 个粒子。固体物理就是研究多体问题的,是微电子技术、光电子技术、能源技术、材料科学等当代许多重要技术的源泉和基础。通过本课程的学习,可使学生掌握固体物理学的基本知识,了解该领域的一些新进展,还能培养学生的科学素养,提高他们的创新思维 and 创新能力。随着学科发展和人才需求形式的变化,课程体系和人才培养模式也应不断完善和发展,以适应专业特点和新形势下的培养目标。

### 1 固体物理的特点

固体物理的实质是建立在周期性和单粒子近似下的简单理论。整个固体物

理学存在众多的概念、定义、公式、模型、假设、近似,各个结论各个知识点在历史上的发现或者得出是随机的,呈现碎片化,彼此之间既有一定的联系,也有很大的区别。所以,实践中,很多学生在学习固体物理的时候,感到非常苦恼,因为根本很难得知这些零碎的知识点之间的关联性,也不知道为什么要学习这些知识点,不知道如此深奥复杂的知识点对工作有哪些重要作用。

事实上,固体物理强调对研究方法、物理图象及模型建立的理解,要求掌握其基本概念、基本模型和方法并了解它们在各类技术中的应用。对于数理基础薄弱工科材料类专业学生而言,希望通

过本课程的学习,掌握从事材料科学与工程甚至凝聚态物理和材料物理研究工作的起码的基础,以及进一步学习固体理论和凝聚态物理学所需要的基本概念和知识。

### 2 固体物理教材的分类

固体物理教学是工科材料类专业人才基础能力培养的重要保障,对于工科材料类专业本科生的培养具有重大的意义。国内外十分重视固体物理教材的编撰;第一本全面论述固体物理的教材《近代固体理论》是由瑞士物理学家F.塞兹于1940年编撰的,是固体物理奠基性的专著,对这一学科发展影响深远的影响,为以后的固体物理学教材提供了样板。之

后,伴随着固体物理学的迅猛发展,他们从1955年开始,几乎每年都要出一本《固体物理学——研究与应用的进展》,以便收集各分支最新进展的综述,一直持续到今天。

当下存在两种具有代表性的固体物理教材。第一种是1953年加州大学伯克利分校查尔斯·基泰尔(Kittel)编著的《Introduction to Solid State Physics》,第二种是1976年康奈尔大学Neil W. Ashcroft等编著的《Solid State Physics》。这两本教材非常典型,主要内容都有涉及,但编排顺序却不同。

基泰尔体系的教材用数学的方式从概念、定律、公式出发,讲述固体的物理性质、规律等,说明这些定律的适用条件,注重结果和结论;按照晶体结构、晶格振动、金属的自由电子气和能带理论的顺序讲解,虽然内容完整,但碎片化严重,知识点跳跃,很难知道彼此的联系,不易抓住头绪,甚至到课程完全结束之后才能够意识到各部分内容之间的关系;这是关注结论不注重过程带来的弊端。

与基泰尔体系注重结论有所区别,Ashcroft体系更加注重过程,按固体物理学发展过程来讲述,包括创立模型,深入演绎结论,找到不足然后进一步修正;用物理的方式建立简单而容易接受的模型,得到不完善的定律并找出问题所在,修正模型、再演绎更准确的定律。由研究金属电导始,至金属电导终,不断地修正模型,螺旋上升地前进,由浅入深地研究固体的物理性质、规律,强调周期性结构所起的作用。

从学生学习的角度,基泰尔体系学习难度大,比较适用于研究生教学,更加突出数学的重要性;而Ashcroft体系涉及到了各部分内容之间的关系,学习难度较基泰尔体系稍有降低,物理的要素比较多,更加适合于本科生;其实也有利于数理基础不强的研究生。在结构上,基泰尔体系可以归结为学术专著,可以用于科学研究的参考,作为教材有点牵强;而Ashcroft体系可以归结为纯正的教材,但仍旧有不少问题和不足。

### 3 固体物理教材的缺点和不足

由于固体物理在相关专业中的重要地位,得到了我国众多高校的重视,包括清华大学、北京大学等包括众多双一流高校在内的很多高校都积极编撰适合于本校学生使用的固体物理教材,至今不下于50多种。程开甲1957年出版了我国第一部《固体物理学》教科书,对中国固体物理的教学与科研起到了重要作用。黄昆1966年出版了他的《固体物理学》著作,属于基泰尔体系,直接给出各种结论及其推导,最为经典。现在经常使用的《固体物理》教材主要包括:1)费维栋主编《固体物理》,哈尔滨工业大学出版社2014年出版;2)胡安、章维益主编《固体物理学》,高等教育出版社2011年出版;3)陆栋、蒋平主编《固体物理学》,高等教育出版社2011年出版;4)孙会元主编《固体物理基础》,科学出版社2010年出版;5)王奉衿主编《固体物理教程》,山东大学出版社2008年出版;6)吴代鸣主编《固体物理基础》,高教出版社2007年出版;7)陈长乐主编《固体物理学》,科学出版社2007年出版;8)朱建国等主编《固体物理学》,科学出版社2005年出版;9)陆栋、蒋平、徐至中主编《固体物理学》,上海科学技术出版社2003年出版;10)阎守胜主编《固体物理基础》,北京大学出版社2000年出版;11)顾秉林、王喜昆主编《固体物理学》,清华大学出版社1989年出版;12)黄昆原著和韩汝琦改编《固体物理学》,高等教育出版社1988年出版;13)方俊鑫、陆栋主编《固体物理学》,上海科学技术出版社1981年出版。

这些教材也基本归属于上述两大类别,但绝大多数归属于基泰尔体系,只有北京大学阎守胜、清华大学顾秉林以及河北师范大学孙会元(上述的第4、10和11三个)可以归属为Ashcroft体系,主要围绕着金属电导率讲述固体物理学。这些教材在课程结构和内容设置方面存在理论性强、公式推导过多、内容繁杂甚至重复、学习重点不明晰等不足;课程包含了很多晦涩难懂的专业定义、复杂的三维空间想象与变换、大量的数学

公式和烦琐的理论推导,需要以高等数学、热力学与统计物理、电动力学尤其是量子力学等理论性很强的课程为先导基础,否则很难完成这些内容的学习。

现有教材的这些不足让数理基础薄弱的工科材料类专业学生头疼不已,学习起来很吃力。与纯粹的物理学专业相比,材料类专业对于固体物理知识的要求完全不用;因为该专业“学以致用”,需要将所学知识运用到实际工作和科研中解决实际问题。另外,固体物理的课时与在物理学专业相比少得多,只有34~56个学时,作者所在的齐鲁工业大学仅仅有48个学时。

上述这些不足对工科材料类学生的固体物理教材提出了更新的要求;要求教材编排有自己的特色,不能仅仅讲述高深的理论知识,需要从理论中来到实践中去,将一些应用性强的知识浅显易懂的放置到教材中去,且能够让学生容易了解各个知识点之间的关系。所以,如何将零散的知识点串联起来,使得学生弄懂彼此之间的关系,从拗口的概念和繁琐的公式推导中走出来,让学生在数理基础薄弱的情况下也能获得更多的知识,并在将来的学习、科研和工作中运用学到的固体物理知识,这对于工科材料类专业学生创新思维的提升具有十分重要的意义。

### 4 教材改革构思和探索

我们对固体物理教材进行改革的主要构思如下:为节省课时和降低难度,对固体物理教学内容进行了大幅度的删减,只选择与材料专业息息相关的内容讲授,比如金属的自由电子论、晶体结构和对称性、能带理论以及晶格振动和晶体的热学性质等四部分内容,使学生初步具备固体物理的知识,而晶体的结合、缺陷、输运现象以及相图等其他内容,让学生自学。

在过去几年的授课中,我们逐渐探索并编撰形成了自己的讲义和课堂授课用PPT。实践中,紧扣物理模型和物理思想,不拘泥于繁琐复杂的公式推导,以弄清楚物理图像为主要目的,围绕金属的自由电子论这个主线,把各个散落的

知识点串联起来。首先研究金属自由电子论,以价电子为研究对象,分析自由电子近似的优缺点,针对缺点进行模型的改进;随后讲述经改进的近自由电子近似,分析原子核的外层电子;继续分析电子层内部信息,通过紧束缚近似研究内层电子,并通过两个极限情形引出了能带论;穿插讲授晶体结构和对称性,研究离子实本身的排布;最后讲授晶格振动以便研究离子实本身的振动。这样的课程安排,使学生易于明白各部分之间的关联性,了解教学内容的来龙去脉,从宏观上把握固体物理的整体架构。

黄昆先生所说:“对于科学著作,特别是具有教材性质的书籍,一项起码的要求是问题的讲解必须明确具体,基本概念和理论的阐述必须准确”。我们在固体物理的教学中,严格按照黄昆先生的理念执行,精准的讲授基本概念和理论。此外,对与材料结构表征密切相关的X射线衍射、中子衍射、拉曼散射等近代测量方法,以及与理论计算有关的密度泛函理论和第一原理计算等与材料研究有关的新的理论研究方法给予了较多的关注。

另外,除了介绍固体物理学的基本概念、方法和原理之外,我们还在授课讲义中穿插讲授大量的科学史知识,作为科普内容传授给学生,增强了学生学习的趣味性,对某一理论的历史背景和发展进程的论述,有助于学生更好地理解该理论。比如通过对量子力学和电导相关理论发展史的讲授,使得学生对于固体电子论的整体发展过程有了清晰的了解,尤其是了解了作为固体物理学中最重要的基础理论——能带论的出现解决了索末菲模型在处理金属问题中的困

难和不足,为后续固体物理学的发展奠定了基础、准备了条件。通过了解量子理论的整个历史背景和发展过程,学生们加深了学习兴趣,更好地理解能带理论。

### 5 结语

总之,固体物理经过了至今80余年的发展,各类教材层出不穷,但基本可以归纳为基态尔体系和Ashcroft体系,前者注重结果,后者注重过程。这两种教材体系对我国的教材产生了巨大的影响,尤其是前者,绝大多数教材都是根据基态尔体系编撰的。但在使用中,这个体系更加倾向于学术著作,对于学生的学习来说则比较吃力,而后者在讲授各个知识点之间的联系中,提高了学生的学习兴趣,使其更容易掌握固体物理各部分内容。同时,通过对上述这些理论和实践知识的学习,提高了学生的科学素养以及分析问题和解决问题的能力,比如掌握了通过元素掺杂和调控微结构以改变禁带宽度并优化材料物性的方法,可以在未来的工作和科研中运用到这些知识,以教促学、以教促研,学习效果显著提高。

### 基金项目:

齐鲁工业大学(山东省科学院)2020年教学改革研究项目(课程专项改革)立项一般项目《工科材料类专业<固体物理>课程体系的设计、构建与优化》(编号kczx202039);齐鲁工业大学(山东省科学院)2020年校级教研项目立项重点项目《基于工科材料类专业学生创新能力提升的<固体物理>课程教学内容更新研究》(编号2020zd01);齐鲁工业大学(山东省科学院)2019年校级教研项目《探索材料大类“2+1+1”培养模式及相应课程

体系改革,打造材料类新型工科》(编号:2019yb02);2021年度第一批教育部产学合作协同育人项目《新工科背景下<固体物理>的工程化教学改革构思与探索》(编号202101029019)。

### [参考文献]

- [1]王玉玲,徐权,郝淑娟.材料学科专业的固体物理模块化教学改革探索[J].大庆师范学院学报,2016,36(6):135-137.
- [2]刘其军.固体物理学教材在中国的发展历程[J].大学物理,2015,34(2):51-55.
- [3]胡美华,毕宁,宿太超.材料学科的固体物理课程教学与探讨[J].教育教学论坛,2018,43(10):158-159.
- [4]周凯,刘斌,姚义俊.固体物理课程少学时教学探讨[J].科技创新导报,2013(19):135-136+138.
- [5]马建立,付志粉.《固体物理》教学中学生科学素养的培养[J].科技视界,2015(35):118.
- [6]周本胡,曾爱华,刘桂香.浅析固体物理学课程教学中研究性教学的实施[J].教育教学论坛,2019,29(7):212-213.
- [7]周本胡.微课、计算机模拟、科研三者结合对传统固体物理教学的促进作用[J].教育教学论坛,2020(52):313-314.
- [8]王云锋.基于固体物理课程的研究性教学模式探讨[J].教育现代化,2017,3(11):55-57.
- [9]王志,江兆潭.研究型固体物理课程教学探索与实践[J].大学物理,2017,3(14):244-246.

### 作者简介:

石锋(1975--),男,汉族,山东泰安人,教授,博士,博士生导师,主要从事固体物理教学和电子材料与元器件以及氢能相关材料研究工作。