

工科材料类专业固体物理课程教改构思与实践

石锋 张灵翠 徐越 沈燕 赵金博

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.v5i5.5524

[摘要] 固体物理内容庞大、概念众多、公式推导繁琐、知识点之间碎片化,这让工科材料类专业这些没有量子力学、热力学与统计物理等先导知识的学生难以适从,接受起来难度很大。鉴于固体物理在工科材料类专业学生培养中的重要作用,对固体物理教学进行改革就十分必要。本文论述了本团队对教学内容、教学思路、教学模式和教授方法的改革构思和教学实践。事实证明,这些改革措施非常有效,吸引了学生的学习兴趣,提升了学生的创新能力。

[关键词] 固体物理;教学改革;教学实践;创新能力

中图分类号: G642

文献标识码: A

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

SHI Feng, ZHANG Lingcui, XU Yue, SHEN Yan, ZHAO Jinbo

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

[Abstract] Solid-state physics has a huge content, numerous concepts, complicated formula derivation, and fragmented knowledge points. This makes it difficult for students of engineering materials who do not have prior knowledge of quantum mechanics, thermodynamics and statistical physics to follow and accept. In view of the important role of solid state physics in the training of students majoring in engineering materials, it is necessary to reform the teaching of solid state physics. This article discusses our reform ideas and teaching practices for teaching content, teaching ideas, teaching models and teaching methods. Facts have proved that these reforms are very effective, attracting students' interest in learning and enhancing their innovative ability.

[Key words] solid state physics; teaching reform; teaching practice; innovation ability

引言

固体物理面对的是多体问题,基本任务是从微观上解释固体材料的宏观物理性质并阐明其规律性。固体物理教学是人才基础能力培养的重要保障,在微电子技术、光电子学技术、能源技术、材料学等相关专业领域,固体物理均是一门基础主干课程,历来受到特殊的重视。通过该课程的学习,不仅能掌握相关基本知识,了解该领域的一些新进展,还能培养学生的科学素质,提高学生独立分析和解决问题的能力。总之,固体物理教学对学生的培养具有重要的意义。

1 存在的问题和不足

目前国内外多数固体物理教材在内容设置方面存在理论性强、内容广泛等不足,包含了很多晦涩难懂的专业定义和复杂的三维空间想象,存在烦琐的理论公式推导,需要以高等数学、热力学与统计物理,尤其是量子力学等理论性很强的课程为先

导基础。大量的公式和推导不仅仅涉及到物理知识,也涉及到繁琐的数学运算,这对于工科学生的是个难点。

另外,现在很多的固体物理教材都是按照固体物理的发展顺序编排的,各知识点之间缺少联系,就好像散落的珍珠一样,缺少一条主线把它们串联起来。这对初次接触固体物理的学生来说,感到很困惑,摸不着头绪。有没有可能找到一条主线,把散落的知识点联系在一起呢?

本团队所在的高校是一所典型的工科院校,材料专业课程往往更偏重材料的工艺、性质和性能。与纯理科学生相比,工科材料类专业学生的数理基础普遍比较薄弱,学生的知识基础和知识结构以及认知特点难以满足内容深奥、晦涩难懂的固体物理课程学习的需要。因此,在教学过程中采纳以上理论性强的教材,“教”与“学”都存在着巨大的难度,特别是涉及到一些抽象的定义和复杂的数学推导过程,使部分学生感到吃力,

产生了畏难甚至厌学情绪。如果不能很好的学习并掌握相关知识,那么针对学生的人才培养水平可想而知,尤其是学生将来在工作中很难从理论深度探索材料的结构-性能关系,不利于具有优异性能的先进材料的研发。

2 教学改革构思

如何进行教学改革,使教学内容更加适合工科材料类专业学生的认知特点和知识结构,使学生在数理基础薄弱的情况下也能获得更多的固体物理相关知识,并在将来的学习、科研和工作中运用所学到的知识,提升他们的创新思维能力。在大力发展新工科的背景下,这对于新工科背景下学生创新能力和创新思维的培养具有十分重要的意义。

(1) 以“学以致用”为出发点,培养学生将理论知识和实践融会贯通,能将学到的理论知识运用到未来的工作中。具体来说就是,基于成果导向教育模式(OBE),坚持以学生为中心的教育理念,培养学生创新的思维、正确的判断、善于发现问题和善于思考问题的能力,全方位兼顾知识传承、能力和素质培养三个方面,满足“两性一度”的金课要求。

(2) 基于上述内容,根据工科材料类专业学生的知识基础、知识结构和认知特点,参照本校本专业的教学大纲和科研方向对固体物理课程进行重新设计和构建,对相关知识点重新进行调整和编排,优化教学内容,编撰出一套固体物理讲义,使学生易于掌握深奥的理论知识,易于形成完整的物理图像。

(3) 适当改革教学方法。充分利用现代信息技术,提高学生的兴趣和动力;充分重视实践教学,提高学生课内外的参与程度;结合科学史,培养家国情怀,通过课程思政将社会主义核心价值观融入课堂,引导学生培养不惧权威、勇于创新的优秀品质;实施精准的考核模式,提高学生学习的积极性、主动性;并在课堂内外充分增强师生之间和学生之间的交流和互动。

上述构思可以有效促进固体物理教学质量的提升,将知识传承与素质能力培养有机融合,培养学生的创新潜质与能力,提高学生解决复杂问题的综合能力和高级思维。比如,“金属的自由电子论”课程不仅要求学生能熟练掌握金属自由电子模型的内容,还应要求学会利用该模型对金属的电、热、光等物性进行分析,提高学生分析问题的能力,进而提高学生解决复杂问题的综合能力和高级思维。

3 教学改革的实践

在实践中,为了让工科学生更容易接受这门课程,更容易学会固体物理相关知识,提高他们的理论深度,近五年,本团队一直探索固体物理课程的工科化,减少理论深度,提高学生的接受度。为兼顾知识传承、学生能力和素质培养三个方面,从课程内容、教学模式、学习结果等方向挖掘创新性。

(1) 在课程内容上,本团队结合工科学生实践性强而理论

性弱的特点,调整了授课章节,筛选和编排出适合工科材料类专业学生的固体物理内容。对固体物理的讲述不再满足于纯粹的公式推导,而是突破烦琐的数学推导和验算,突出物理意义和物理思想,对繁杂的理论推导做了大量删简,详细阐述了相关概念和公式的物理意义,尤其是其定性解释,重点关注每个知识点的来龙去脉和物理意义,使学生更容易掌握固体物理学的基本概念、基本模型和方法,并了解它们在各类技术中的应用。另外,对授课用PPT做了内容上的优化处理,从知识点的概述到详细讲解到最后的总结和归纳,做到物理图像清晰、内容融会贯通,从总体上有利于学生对知识点的宏观把握。

针对学时不多的特点,本团队注重基础理论的系统性,突出对于各个概念之间优缺点的把握,实现教学知识点的串联和顺序安排。搜集了大量的素材,以固体电子论的发展为主线把散落的知识点穿插起来,以便学生容易掌握。首先讲解价电子的运动状态,引出了特鲁德——洛伦兹模型和索末菲模型;随后讲解离子实排布,引出了晶体结构和对称性;然后讲授内层电子的近自由电子近似和紧束缚近似,引出了布洛赫定理和能带理论;最后通过分析离子实的热振动,引出晶格动力学,从微观角度分析宏观问题。

在实践教学,重点强调一些在科研中经常用到的知识点。比如利用XRD分析材料的物相和结构,利用晶格动力学分析材料物理性质的本征机制等;结合最新的研究成果,如通过讲述“魔角”使得零带隙的石墨烯具有带隙,告诉学生如何通过调控禁带宽度调控物理性能,反映了前沿性和时代性,满足了“创新性”的要求。

另外,本团队还增加了一些高难度的理论知识。比如将普通的原子热运动(晶格振动)的内容,拔高到由1954年诺贝尔物理学奖得主玻恩开创的晶格动力学理论;不仅研究简单的原子热运动,更重要的是分析复杂的动力学理论。让学生通过课程论文的形式,熟悉该部分知识,有利于他们未来研究材料的结构-性能关系;这需要“跳一跳才够得着”,满足了“挑战度”的要求。

(2) 创新教学模式,采取串联式讲解结合定性式讲解的教学新方法。2020年疫情期间,为了提高学生学习效率,本团队充分利用现代信息技术,采用线上自学、案例教学和线下面授相结合的教学方法。灵活运用多媒体(视频、动画和PPT),通过课前测验、课堂测试、分组讨论和即时提问,增强课堂教学监控。授课中引入适当的网络视频、多媒体动画等教学资源,如布拉维格子、反演对称、立方密堆、六角密堆及布里渊区、费米面、能带移动、晶格振动等知识点,这些网络资源极大地丰富了课堂教学内容。另外,录制视频也能便于学生课后回放学习。

为改革“一言堂”和“照本宣科”的教学模式,构建以学

生自主学习和师生互动为主要特征的教学模式,本团队引入了翻转课堂教学模式,在教学中保持充分互动,课堂随时要求全体学生在线做一些小测试,可以很快了解学生的学习状况和学习效果。互动式教学能够使学生在有限的时间内高度集中精力,提高了学习效果。线下学习中,为充分保持与学生进行协调沟通,采用课堂面授答疑的形式,在一问一答中使问题逐渐清晰,提高了学生的课堂参与程度。总之,由注重教师的“教”为主转变成学生的“学”为主,以“教”督“学”,以“学”促“教”,提高了学生学习的动力,增强了学习兴趣,最终提高了授课质量。这种举措也很好地满足了“创新性”的要求。

课后布置适当的作业或思考题,让学生自己查阅文献资料,巩固课堂所学的知识。比如,让学生了解创立量子力学的多位物理学家:普朗克、玻恩、玻尔、索末菲等;了解钱学森的导师卡门的事迹,深入理解周期性边界条件;了解布洛赫除了著名的布洛赫定理之外,还有哪些贡献等。通过作业的适度拔高,来延展所学知识的边界,调动学生的积极性。

(3) 针对考核与学习评价,我们把过程指标项拉大,增加了考核中的过程性指标,将日常表现纳入最后的总成绩,如日常考勤、课后作业、章节测试、学习互动等纳入最后的总成绩,最终使得固体物理课程实现了“在线学习+章节测试+作业+出勤+课堂表现+期末考试”相结合的综合考核方式,这是提高挑战度的重要一环。

实验教学是整个固体物理学习中的一个重要阶段。除了课堂授课之外,要重视课内外和校内外的实践教学课,去校内实验室和校外企业去实习,使课内外的融合变得更紧密。我们在实践中将授课知识点适当高于教学大纲,用以提升学生的科学素养。比如,学生要学会一些基本设备的使用,学会动手制备各种材料,了解电子陶瓷、玻璃等的生产工艺流程等。利用各种表征手段如XRD/SEM/TEM等,测试表征材料的微观结构和形貌。这能够深入认识材料的晶体结构,了解布拉格公式和劳厄衍射花样等。还能够学会调控材料禁带宽度的方法,如掺杂改性和取代改性。

作为教师,结合科学技术史向学生介绍固体物理各个知识点所涉及到的国内外伟大科学家,介绍他们不怕困难、勇于攀登科学险峰的感人事迹,引入家国情怀,将立德树人的价值观融入课堂中。本团队专门讲述玻恩和卡门对中国的巨大贡献,如玻恩为我国培养了两位国家最高科学技术奖获得者:中国固体物理学和半导体物理学奠基人之一的黄昆院士,“两弹一星”功勋奖章获得者程开甲院士;卡门为我国培养了一位教育家和两位“两弹一星”功勋奖章获得者:著名教育家钱伟长院士,“中国导弹之父”钱学森院士,为发展中国核弹与导弹事业做出贡献的郭永怀院士等。还会介绍一些科学家在青年时代就具有不惧权威、勇于创新的优秀品质,他们不断探索,做出了巨

大的贡献,成就了科学史佳话。如年轻的布洛赫挑战当时的物理学大师索末菲(布洛赫定理奠定了能带理论的基础);青年博士曹原勇闯禁地,对石墨烯“魔角”开展研究,成功发表在《Nature》杂志,为国人争光。将思政元素引入固体物理课堂,鼓励大家学习这些著名科学家,为国家科技进步做贡献。

4 教学改革成效

本团队通过教学内容的更新,使各个知识点更加适合工科材料类专业学生的认知特点和知识结构。通过利用网络视频、多媒体动画等教学资源,极大地丰富了课堂教学内容,改善了教学效果,更加生动的展示了相关内容。有利于学生充分理解固体电子论是固体物理各知识点的主线,容易掌握固体物理的各种概念,并据此掌握固体物理发展的历程,从而把散乱的知识点串接起来;使得理论性很深的固体物理更加容易被没有量子力学、电动力学、热力学和统计力学等基础的工科学生所接受,便于他们获得更多的固体物理知识,体现了创新性要求。

通过教学模式改革,将线上教学和线下面授相结合,讲授知识点与当面答疑解惑相结合,更好地提高学生对知识点的认识程度,最终实现了提高课堂授课效果的目的。通过引入教学大纲之外的部分教学内容,并改革考核方式,提高了课程的挑战度。

通过实验教学,使学生巩固了固体物理中所学的关于XRD、SEM和材料的晶体结构等知识点,并初步学会从微观角度解释材料的宏观性能问题。这些改革举措极大地提高了学生的认知水平和动手能力,加深了对专业的理解和认识,让学生在固体物理课堂所学到的知识,如缺陷、晶体结构、XRD分析等,充分在实践中得到加深和提高。学生利用所学的固体物理知识,并在实践中运用这些知识,积极参加全国大学生创新创业训练计划项目、全国大学生金相技能大赛、山东省大学生金相技能大赛以及山东省创新创业大赛等,获得多项全国性和省市奖励。通过教学改革的探索和实践,我们培养了学生发现问题、解决问题的能力,满足了高阶型的要求。

自2014年以来,我们给500多名本科生和研究生讲述固体物理课程,逐渐让学生对本课程从畏若如虎到逐渐喜欢,学习态度和学习热情发生了根本性的改变,学生的出勤率和作业率都达到95%以上。我们主讲的“固体物理”2020年被山东省评选为研究生优质课程。

5 结语

固体物理课程的教学内容确实深奥,不利于数理基础薄弱的学生掌握,一直被视为工科生的“老大难”,教师和学生都苦不堪言。本团队从课程内容、教学形式以及考核与学习评价等方面进行了教学创新和改革探索。

通过简化教学内容,突出知识点的物理意义,塑造了更清

晰的物理图像, 让学生掌握了知识点的来龙去脉和彼此之间的联系, 让学生学习变得相对容易。通过教学改革, 调整了教学思路, 优化了教学模式, 实现了学生知识能力和科学素质的有机融合, 以教促学、以教促研, 培养了学生解决复杂问题的综合能力和高级思维。我们充分考虑学习环境、学习资源、学习方式的变化, 整体的教学设计和思路更先进, 充分满足了教育部提出的“两性一度”的“金课”要求。

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); 2021年度第二批教育部产学合作协同育人项目“新工科背景下《固体物理》课程教学内容的工程化改革”(编号: 202102152025)。

[参考文献]

[1]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, 2015(43): 158-159.

[2]解玉鹏. 翻转课堂教学模式在固体物理教学中的应用研

究[J]. 吉林化工学院学报, 2016, 33(10): 44-47.

[3]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.

[4]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): 212-213.

[5]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.

作者简介:

石锋(1975-), 男, 汉族, 山东泰安市人, 教授, 博士, 博导, 研究方向: 电子材料与元器件、宽禁带半导体材料、氢能相关材料。

张灵翠(1981-), 女, 汉族, 山东泰安市人, 讲师, 博士, 研究方向: 电介质薄膜。

徐越(1988-), 男, 汉族, 山东聊城市人, 副教授, 博士, 研究方向: 电介质薄膜与微波介质陶瓷。

沈燕(1981-), 女, 汉族, 山东临清市人, 讲师, 博士, 研究方向: 半导体纳米薄膜材料及器件。

赵金博(1975-), 汉族, 山东潍坊人, 博士, 海归博士后, 研究方向: 稀土离子掺杂发光材料、半导体气敏材料、低温催化材料。

