

半导体物理教学与实践中的知识体验法

刘 川¹ 韩宋佳²

(¹ 中山大学电子与信息工程学院(微电子学院), 广东 广州 510006;

² 华南农业大学电子工程学院(人工智能学院), 广东 广州 510642)

摘 要 半导体物理课程概念抽象, 物理公式繁多, 知识体系庞杂, 物理概念和公式难于记忆和灵活应用, 导致学生学习难度大、积极性低。针对以上问题, 本文提出“化繁为简、化静为动、由点及面、由表及里”的创新教学理念, 并以“化知识为体验”为总教学理念, 即将课本知识转化为直观的感受和体验, 让学生在求知的历程中体会学习的方法和乐趣。该方法改变了传统枯燥单一的教学模式, 通过体验式教学, 提高学生学习的主动性和独立思考能力, 使学生能够更深入地理解并掌握半导体物理知识。为学生将来继续半导体物理学方向的研究与技术开发奠定坚实的基础。

关键词 半导体物理; 教学改革; 教学方法

TEACHING AND PRACTICE OF SEMICONDUCTOR PHYSICS: KNOWLEDGE EXPERIENCE METHOD

LIU Chuan¹ HAN Songjia²

(¹ School of Electronics and Information Technology (School of Microelectronics), Sun Yat-Sen University, Guangzhou, Guangdong 510006;

² College of Electronic Engineering (College of Artificial Intelligence), South China Agricultural University, Guangzhou, Guangdong 510620)

Abstract The concepts in semiconductor physics courses are highly abstract, with numerous complex formulas and a vast knowledge system. The difficulty in memorizing and applying physical concepts and formulas flexibly leads to significant challenges for students, resulting in low learning enthusiasm. To address these issues, this paper proposes an innovative teaching philosophy of “simplifying complexity, transforming static into dynamic, expanding from points to surfaces, and delving from superficial to deep levels.” The overarching teaching philosophy is to “transform knowledge into experience,” which means converting textbook knowledge into intuitive sensations and experiences. This allows students to appreciate the methods and joys of learning throughout their quest for knowledge. This approach changes the traditional monotonous and dull teaching model. Through experiential teaching, it enhances students’ initiative in learning and their ability to think independently, enabling them to gain a deeper understanding and mastery of semiconductor physics knowledge. It lays a solid foundation for students’ future research in semiconductor physics and technological development in this field.

Key words semiconductor physics; teaching reform; teaching methods

收稿日期: 2025-03-30

基金项目: 中山大学 2024 年度校级教学质量工程项目(76120-12220011); 华南农业大学教育教学研究和改革项目(JG22058)。

通信作者: 刘川, liuchuan5@mail.sysu.edu.cn。

引文格式: 刘川, 韩宋佳. 半导体物理教学与实践中的知识体验法[J]. 物理与工程, 2025, 35(4): 93-98.

Cite this article: LIU C, HAN S J. Teaching and practice of semiconductor physics: Knowledge experience method[J]. Physics and Engineering, 2025, 35(4): 93-98. (in Chinese)

“半导体物理”课程是电子科学与技术专业的核心基础课程之一。该课程为电子科学与技术专业的学生讲解半导体科学与技术所涉及的基本原理,课程内容理论性和系统性较强,培养学生的逻辑思维和抽象思维能力^[1]。通过半导体物理课程的学习,使学生掌握半导体物理的基本原理、基本概念及其物理意义;了解半导体能带的形成过程及描述方法,对载流子的产生、复合过程以及载流子的浓度计算有深刻的理解等;熟悉平衡半导体和非平衡半导体中载流子的统计分布规律、运动规律,使学生能从物理上充分理解半导体器件基本参数的物理成因,了解半导体器件的发展规律,为学生后续学习半导体器件物理打下坚实的基础^[2]。

1 “半导体物理”教学存在的问题

1.1 半导体物理概念抽象,学习难导致难以产生兴趣

半导体物理课程中出现的概念多以微观的统计表述出现,如能带结构、状态密度、有效质量等概念都比较抽象^[3]。以半导体电子的有效质量教学为例,本科生已学习过“大学物理”“量子力学”等数学和物理的基础课程,学生认知了固体物理中大量电子和复杂能带的结构。然而,学生虽然认知了牛顿力学中刚体球的单体假设,但当接触到有效质量的概念时,却会产生巨大的认知落差和矛盾,感到这些概念较为陌生甚至觉得不自然,这需要通过阐述能量与质量的关系逐步熟悉。因此,半导体物理课程中大量物理概念无法和大学物理中直观的和宏观的力学等物理现象所对应,学生对半导体课程中物理概念理解较难,容易使学生产生畏惧心理。

1.2 物理公式繁多,难于记忆和灵活应用。

半导体物理课程中载流子浓度和连续性方程等的计算公式较多,公式推导过程繁琐且有不少公式形式相近又有区别,使学生对公式的记忆和灵活应用较难^[4]。此外,学生比较倾向于“听”的学习方式,而比较疏于动手计算、推导,因此即使课上听懂了物理公式,课后也忘记公式的重要内容。故需要在课堂中增加动手计算的环节,让学生化被动为主动,通过动手计算体验推导过程中的难点。

1.3 知识体系庞杂,整体图景模糊

半导体物理课程概念和公式不仅多,而且相互关系复杂,因此学生理解和记忆容易碎片化^[5]。

1.4 物理数学内容多,思政内容难融入

课程思政在高等教育中扮演着至关重要的角色,它通过课程教学过程来培养学生的思想政治素养和社会责任感,将思想政治教育与专业知识教学有机结合。这种教学模式不仅是对我国社会发展新形势和新挑战的响应,也是高等教育使命和培养目标演进的体现^[6]。半导体物理课堂上不仅需要传授半导体物理的基础理论和应用技术,更致力于融合辩证唯物主义的思想和分析方法,在教学中融入思想品德教育、工匠精神和爱国主义精神。通过半导体物理课程,激发学生的探索兴趣和创新思维,同时引导他们树立正确的世界观、人生观和价值观。然而由于半导体物理课程内容大多数为“硬核”的物理概念和数学公式,而且理论性较强,因此思政内容的切入需要整体设计和技巧把握。

长此以往,半导体物理课堂上学生习惯被动接受物理概念、公式的输入,缺乏主观能动性去积极思考物理概念与公式之间内在逻辑关系,系统性建立半导体理论知识体系框架。导致课堂教学效果不理想,学生容易产生畏难情绪,对半导体物理丧失学习动力和兴趣。影响半导体行业人才培养与建设。

2 半导体物理课程的课堂改革措施

针对上述问题,本文提出“化繁为简、化静为动、由点及面、由表及里”的创新教学理念,并以“化知识为体验”为总教学理念,即将课本知识转化为直观的感受和体验,让学生在求知的历程中体会学习的方法和乐趣。通过系列创新教学设计实现,如图1所示。

2.1 体验式知识学习

针对物理概念抽象问题,以“基本假设-思想实验-物理图像建立”的思路顺序讲述基本概念和物理规律,采用自行设计的“四步法”:先从简单现象出发,用“思想实验”环节,理解新问题和新概念;然后从问题出发,理清已学知识、建立方法桥梁,获得解答;用“公式质疑”环节,反刍解构公式内涵,加深理解;用“由静变动”环节,把课本里的静止图像变为动态图像,掌握运用知识;在回顾时,用“图像连接”环节,引导学生建立前后连接,并深入普遍性原理,揭示物理学或工程学的本质。为工科的学生培养起良好的物理思维,为其后续的专业课程和研究工作打下坚实基础。“四步法”

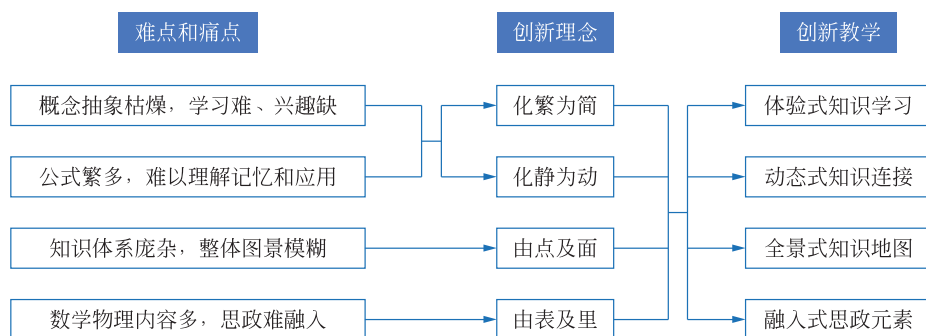


图1 课程难点痛点、对应解决的创新理念和创新教学设计

具体设置如下:

(1) 在学习新概念的过程中, 引入“思想实验”环节。即确定几个预设条件, 在一个新的场景下想象实验结果, 再与实际的物理现象作对比, 从而培养抽象思考能力、加深对半导体基本物理的理解。这个环节是整个概念形象化、生动化的过程, 对基本概念的体验至关重要。

(2) 在推导公式的过程中, 引入“公式质疑”环节。通过对学生提问: “课本里的经典公式(如有效质量公式、爱因斯坦关系式等)在什么情况下就会不成立?” 以帮助理清公式的物理基础假设和适用场景, 并由此拓展对基本定义的理解。

(3) 在理解图像的过程中, 引入“由静变动”环节。由于课本的公式和图示是静态的、无变化的, 我们自己开发了具有用户界面的图形展示网页, 将公式变成可动的图示, 将课本中的静态图变为可以操作的动态图, 帮助学生直观理解半导体参数的变化。

(4) 在回顾知识的过程中, 引入“图像连接”环节, 即将前序的章节和知识中有关联的观念、

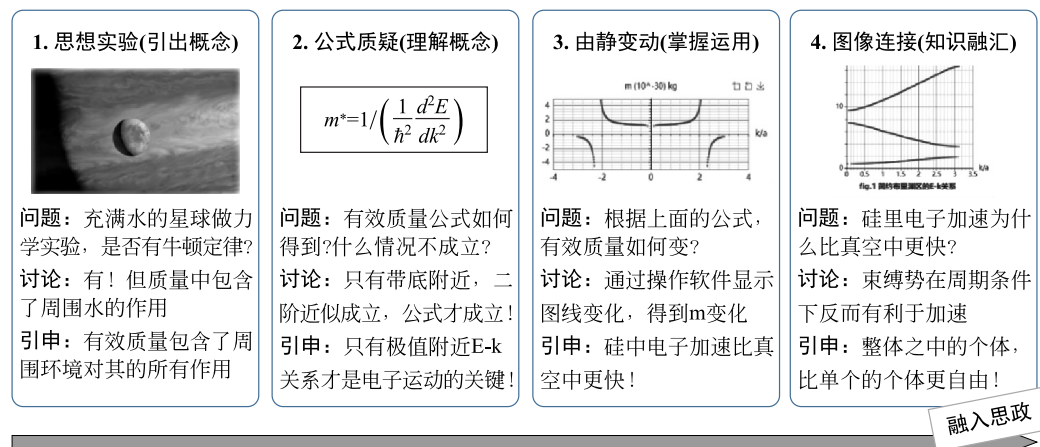
图像、数据进行比较和合并, 建立前因后果的连接, 或者在两个平面图像基础上描绘出三维图像, 提高学生对已有知识的灵活运用和建立连接的能力, 把知识点炼成知识链和知识网。

图2以有效质量的概念讨论和公式掌握为例, 说明上述“四步法”的进行。

其中, 部分环节借助自行开发的学习工具进行, 如图3所示。

2.2 融入式思政元素

“半导体物理”课程思政的目标是, 在确保学生掌握半导体物理核心知识的基础上, 进一步培养他们的学习和思考的方法, 提高科学探索的兴趣和对社会和民族的责任感。希望通过本课程的教学活动, 使学生深刻认识到半导体技术对国家发展的重要性, 鼓励他们为推动科技进步和产业升级贡献力量^[7]。通过课程学习, 学生将不仅成为专业知识扎实的半导体物理领域的专业人才, 更将成为具有高度社会责任感和爱国情怀的新时代青年。对此, 该课程思政的实施, 需紧密结合教学内容和学生实际, 采用多样化的教学方法和手



融入思政

图2 体验式知识学习: “四步法”设计

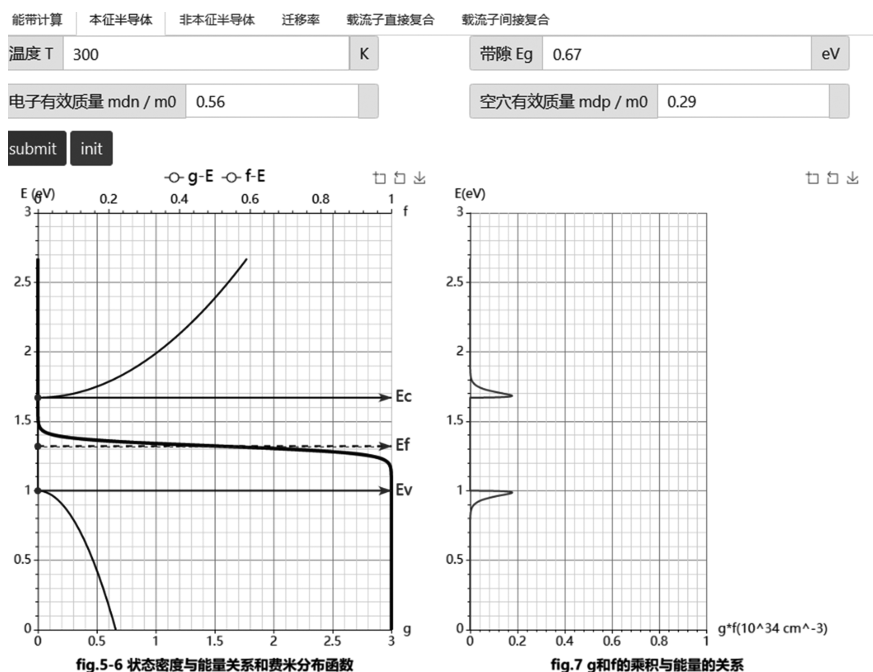


图3 自行开发的半导体学习交互界面(态密度、电子浓度的计算)

段,确保思政教育与专业知识教学的深度融合。通过思想实验和课堂讨论等多种教学活动,引导学生在感悟、在实践中体验,最终达到知识传授与思想引领的双重目标。最终通过“半导体物理”课程的深入学习,期待学生能够在专业成长的同时,形成积极探索、勇于承担的人生观和价值观。以下是课程中所采用策略。

(1) 内容设计:在课程设计时,将思政教育内容与专业知识点自然结合。例如,在介绍半导体科学的发展历程时,引入中国科学家黄昆、薛其坤等著名科学家在基础固体理论和前沿半导体材料研究的贡献,激发学生的自豪感和责任感。

(2) 案例教学:利用具体的半导体物理应用案例,如中国在新型半导体如拓扑绝缘体、外尔半金属上的新突破,来展示专业知识的实际应用,同时讨论这些技术对社会和国家发展的影响。

(3) 讨论反思:在课堂上设置讨论环节,鼓励学生就半导体科技的主题或案例发表看法,提问有哪些科技问题尚未解决,引导他们思考技术背后的社会和国家战略问题,并让其思考这些技术难题如果解决了,国家和社会有什么变化,让学生感受到学习的实际意义。

(4) 教师角色示范:教师在课堂上不仅是知识的传递者,也是价值观的引导者。通过自己对

半导体基础问题的深入思考和研究中的问题探索,展示对科学的热爱、对研究的兴趣、对国家的忠诚和对社会的责任感。

(5) 跨学科教学:鼓励跨学科的学习和思考,让学生了解半导体物理与其他学科如经济学、社会学、哲学的联系,拓宽他们的视野。

(6) 持续改进:根据学生的反馈不断改进课程内容和教学方法,确保课程既能传授专业知识,又能培养学生的思想道德素养。

本课程中重要的概念与思政元素的关联示例,如图4所示。

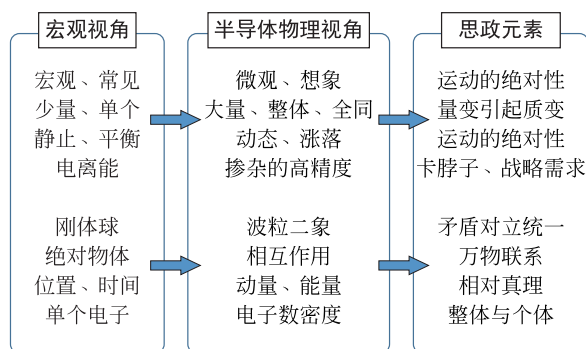


图4 融入式思政元素示例

通过以上策略,可以有效地在“半导体物理”课程中平衡专业知识的传授与思政教育的融入,

培养出既有扎实专业技能又有高尚道德情操的学生。此外,通过讨论半导体电学特性在信息技术中的关键应用,强调创新技术对社会发展的推动作用。通过案例研究,让学生理解技术创新如何改变社会。并结合国家战略需求,讨论半导体技术在国家安全和经济发展中的作用,培养学生的社会责任感。通过项目和社会服务,让学生体验如何将技术应用于社会服务。通过这些思政元素的安排,旨在培养学生的综合素质,包括科学素养、创新能力、团队精神和责任感,为学生成为未来社会的栋梁之才打下坚实的基础。通过丰富的教学内容和生动的教学方式,使学生在掌握半导体物理知识的同时,也能够领悟到科学探索的精神、团队协作的优势、社会责任的担当等更为深远的意义。

2.3 全景式知识地图

对知识体系进行整理,按照模块划分形成课程地图。在课程开始时进行全景式概述,将书本的不同章节分为“载流子有多少”“载流子有多快”“载流子的数目如何变化”三个部分,再把书籍章节与地图对应。在每个模块开启时,开启课程地图,先回顾已有的内容(如图5中的亮色块),用提

示回忆的方法激活学生对已学内容的复习(如晶体能带的能量-动量关系);然后大致预告本模块的内容,要解决什么问题(如状态密度代表着电子的状态和能量的关系);最后预告这个模块与后续的承接关系(如可以通过状态密度与统计分布共同得到平衡态的载流子浓度)。以此帮助学生在推动学习的过程中,建立全景式知识地图。

2.4 动态式知识连接

在课程过半后,用上述知识模块地图引导学生建立不同模块间的连接,阐述任意两个模块之间的联系(如图5中的“晶体能带”和“迁移率”)并写出关键的物理公式。由此加深对知识点间连接的构建。从而引导学生将课本内的图、公式、原理的连接成整体,并作进行前后内容的联系。举例如图6所示。

在上述动态的知识连接的基础上,激发学生思考并对上述知识模块的某个部分,进行个性化注释或者绘制小知识地图。在讲述关键原理的过程中,将其需求背景、发现历程、技术影响进行故事性讲述,并介绍最前沿的发展和面临的挑战,激发学生的学习兴趣和研究热情。充分体现“由点及面”的思想。

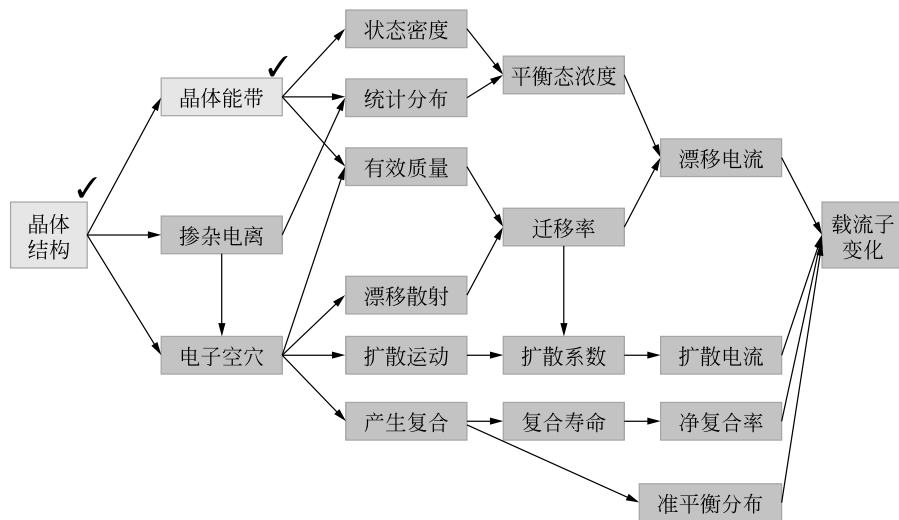


图5 全景式知识地图:把课程总结成模块,在每个小模块开启时复习和预习

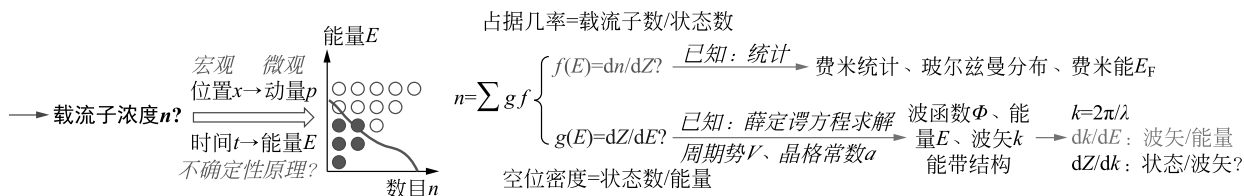


图6 动态式知识连接:以载流子浓度为例,将前后知识有机连接起来

2.5 游走式讲授讨论

与常规的站在讲台边或者幕布下的讲述方式不同,采用在全课室内前后游走的方式,随时留意学生的眼神和表情,看时机提问、与学生互动。这能注意到教室中不同位置的学生,尤其是后排或者中间座位一些容易注意力不集中的学生,让他们感受到老师的注意。这不但吸引同学们的注意力,而且及时从反馈中获得学生的理解、掌握情况。

3 结语

基于上述创新教学理念的半导体物理课堂教学有效地激发了学生对半导体和信息显示等内容的兴趣,多位本科生听完课后积极参与科研活动,为培养科研人才打好了基础。同时,学生也普遍反映对基本概念掌握得非常清楚,在后续的半导体器件物理中应用得心应手,但在需要实时回顾时,希望有可互动的学习回顾工具。因此未来将进一步完善自行设计的软件,用于建立“半导体物理”的线上学习工具和互动平台,提高学习效果。此外,还将进一步与前沿的研究结合,增加基础学习和前沿研究结合的案例,并整理成线上线下结合的新型教材形式。

参 考 文 献

- [1] 郑雁公,简家文. 半导体物理与器件课程的课堂教学模式改革探索[J]. 高教学刊, 2021(22): 103-108.
ZHENG Y G, JIAN J W. Exploration of the reform of classroom teaching models for semiconductor physics and devices courses[J]. Journal of Higher Education, 2021(22): 103-108. (in Chinese)
- [2] 杨建红,刘贵鹏,李海蓉,等. 半导体物理课程的基本理论创新与教学实践[J]. 物理与工程, 2018, 28(6): 107-112, 118.
YANG J H, LIU G P, LI H R, et al. Theoretical renovation and teaching practice of semiconductor physics[J]. Physics and Engineering, 2018, 28(6): 107-112, 118. (in Chinese)
- [3] 赵江. 科研为导向反哺教学的教育模式用于半导体物理课程的教学改革[J]. 物理与工程, 2024, 34(1): 67-72.
ZHAO J. The educational model of scientific research-oriented teaching applied in the teaching reform of semiconductor physics course[J]. Physics and Engineering, 2024, 34(1): 67-72. (in Chinese)
- [4] 汪瑛,王少熙,周德云. 大类培养模式下“半导体物理与器件”的教学改革[J]. 电气电子教学学报, 2021, 43(3): 6-8.
WANG Y, WANG S X, ZHOU D Y. The teaching reform of semiconductor physics and devices under the large scale training mode[J]. Journal of EEE, 2021, 43(3): 6-8. (in Chinese)
- [5] 钟英辉,弓巧侠,李梦珂,等. 浅谈“半导体器件物理”教学改革[J]. 电气电子教学学报, 2021, 43(2): 27-29.
ZHONG Y H, GONG Q X, LI M K, et al. Talking on teaching reform about physics of semiconductor devices course[J]. Journal of EEE, 2021, 43(2): 27-29. (in Chinese)
- [6] 王少熙,王钰成,李伟. “半导体物理器件”课程思政建设方法[J]. 教育教学论坛, 2021, 42: 105-108.
WANG S X, WANG Y C, LI W. The method of ideological and political construction in the course of “semiconductor physical devices” [J]. Education and Teaching Forum, 2021, 42: 105-108. (in Chinese)
- [7] 戴新义,吴复忠,陈海军,等. 基于理论-实践-科研(电化学)-思政四位一体的《半导体物理学》教学改革探讨[J]. 广东化工, 2022, 49(15): 240-241.
DAI X Y, WU F Z, CHEN H J, et al. Discussion on the teaching reform of semiconductor physics based on the integration of theory-practice-scientific research (Electrochemical)-curriculum ideology and politics[J]. Guangdong Chemical Industry, 2022, 49(15): 240-241. (in Chinese)