

文章编号: 1007-2934(2020) 04-0090-05

研究型近代物理实验教学模式探索与实践 ——磁控溅射法氧化锌薄膜的制备及其特性研究

陈星辉, 周 昕, 李雪勇

(湖南工业大学 理学院, 湖南 株洲 412007)

摘 要: 为实现“新工科”人才培养目标, 近代物理实验课程教学在完成基本实验教学内容之后增设研究型实验教学内容, 以“研究性学习与创新性实验”教学形式开展。以磁控溅射法氧化锌薄膜的制备及其特性研究实验为例, 介绍了研究型实验教学的实践过程及以学生为主体“化整为零”的模块化教学和教师适当“问题引导”相结合的实践教学模式。教学实践表明: 研究型实验教学推动了学科交叉与专业融合, 提高了学生自主学习能力、科学研究能力、工程实践能力和综合能力, 以学生为主体“化整为零”的模块化教学和教师适当“问题引导”相结合的教学模式教学效果良好。

关 键 词: 近代物理实验; 研究型实验; 磁控溅射镀膜; 教学模式

中图分类号: G 642.0 文献标志码: A DOI: 10.14139/j.cnki.cn22-1228.2020.04.021

“新工科”建设倡导学科交叉、专业融合, 面向社会未来发展, 以培养具有科学、人文、工程等相关知识的、德才兼备、高素质复合型、综合性人才为培养目标^[1-3]。实践是工程的本质, 是创新的基础^[3], 实践教学是培养具有高素质复合型人才的重要环节。近代物理实验是继普通物理实验之后物理专业或相关专业开设的专业核心课程之一, 具有很强的技术性和综合性, 实验选题多可以在物理学发展史上起到过重大作用的经典实验为主^[4-5], 其中大部分曾获得诺贝尔物理学奖, 对培养学生的实践能力和创新精神有着重要的地位, 是培养高素质复合型人才的重要课程。通过全面系统的学习, 可以丰富和发展学生的物理思想, 提高学生科学地分析、研究、解决问题的能力, 为后续的学习和科学研究打下坚实的基础。

由于近代物理实验的原理比较复杂, 课堂上教师花费较长时间讲授, 学生按照固定的操作流程完成规定的实验内容, 课后撰写完整的实验报告, 教师根据学生预习情况、实际操作情况和实验报告评定成绩。虽然这种教学模式下学生可以比较扎实掌握相关物理理论、实验技术和实验方法, 但是压缩了学生个体的能动性、自主性和创造性的发挥, 忽视了对学生科研能力、创新能力和工程

实践能力的培养, 对比“新工科”培养目标, 传统近代物理实验教学模式存在诸多缺陷和不足。近年来, 我校近代物理实验室在实验教学内容和教学方法方面进行了改革, 在原有基本实验内容的基础上进行了拓展和延伸, 增设了研究型实验教学内容, 以“研究性学习与创新性实验”教学形式开展, 改革了教师主讲和主体模式, 取而代之的是以学生为主体“化整为零”的模块化教学和教师适当“问题引导”相结合的实践教学模式。通过研究型实验教学实践, 提高了学生自主学习能力、分析问题能力、科学研究能力和工程实践能力, 实现了多学科融合交叉, 拓宽了学生知识。

1 扎实做好基本近代物理实验, 夯实基础

近代物理实验是针对我校应用物理专业本科三年级学生开设的一门综合性实验课程, 教学内容涉及原子物理、激光与光学、真空技术、微波物理、磁共振技术等等, 依据现有的物理理论和现代技术开展教学。为了实现我校“培养厚基础、宽口径、强能力、高素质、具有创新精神和实践能力的应用型高级专门人才”的办学目标, 在教学中

收稿日期: 2020-07-14

基金项目: 湖南省教育厅普通高校教学改革研究项目(No.(2019) 579)

我们将每一个经典实验项目视作一个小课题,深挖其历史背景、理论基础、实验方法、实验技术、实验条件、影响因素以及在不同领域的应用等等。在原有实验要求的基础上增加了诸多相关内容,拓展学生视野和知识面,将验证性实验变为综合性或探究性实验,综合性实验升级为研究性实验,将教师的科研内容引入实验教学中。通过这些基本近代物理实验的教学,可以使学生在物理实验的基础知识、基本方法、基本技能和物理思维等方面受到系统的训练,为后面开展的研究型实验打好基础。

2 研究型近代物理实验教学

为实现“新工科”人才培养目标,为了在近代物理实验教学中进一步培养学生的科研能力、工程实践能力和创新能力,近年来,我们在完成了基本近代物理实验教学之后增设了以“研究性学习与创新性实验”为教学核心的研究型实验项目,依托学校现有教学资源,结合教师的研究方向开发研究型实验项目内容。“磁控溅射法氧化锌薄膜的制备及其特性研究”实验便是我校近代物理实验中研究型实验项目之一,该项目由原来的综合性实验升级而来,结合实验室教师的研究方向进行开发。该实验涉及不同功能薄膜材料的制备、形貌和结构表征、物理性能测试分析等等,包含诸多材料物理实验内容,研究内容丰富。下面以“磁控溅射法氧化锌薄膜的制备及其特性研究”实验为例介绍研究型实验教学的实践过程。

2.1 开设专题讲座,了解研究性学习的基本方法

研究型实验的教学目的是使学生了解科学实验的全过程,逐步掌握科学实验的思维和方法,培养发现问题、分析问题、研究问题、解决问题的能力,通过研究的过程,培养学生创造性学习,实现知识迁移,养成一种自觉思考、主动获取知识的习惯。为了让学生对研究型实验有比较全面的认知和了解,我们开设了研究型实验专题讲座,教师系统介绍研究型实验的相关理论知识、研究背景、研究意义、研究内容、研究方法、实验技术、实际应用和该领域的最新研究成果等等,引导学生进入研究型实验学习殿堂,了解研究型实验的基本学习方法和科学研究的过程。如薄膜实验专题,教师全面介绍真空与镀膜的相关基础知识,薄膜研究的意义,薄膜制备的方法,薄膜结构测试和形貌表

征方法,薄膜物理性能测试方法与技术,薄膜在不同领域的应用及最新研究成果等等,让学生了解镀膜的意义、薄膜制备方法和检测技术,掌握薄膜系列实验研究性学习的基本方法。

2.2 “化整为零”的模块化教学,分解教学难点

研究型实验项目大多来自教师的科研,其教学内容往往超出学生的学识水平,虽然听过专题讲座,对研究型实验内容有一定的了解,但并不细致和具体,学生要在短时间内学懂弄通并进行研究绝非易事,因此,学习初期我们采用“化整为零”的模块化教学,分解教学难点,将系统的复杂的教学整体分解成多个零碎的、相关联的知识小模块,方便学生消理解,学懂弄通,打消学生畏难退缩情绪,教师督促并分模块检查学习效果。

镀膜实验是普通高校近代物理实验中常见项目之一,我们实验室配备高真空多靶磁控溅射镀膜机,用于开发纳米级单层及多层功能薄膜,可以完成金属膜、陶瓷膜及半导体膜的制备。该设备结构复杂,涉及物理、电子、机械、材料等多学科门类和多个专业方面的知识,对于初学者来说要在短期内全部弄懂实验的原理,熟悉实验设备和实验操作流程,了解我们要学习研究的实验内容着实不易。实践教学,我们将前期基础内容分解为磁控溅射镀膜的实验原理、实验设备及操作步骤,薄膜材料的制备、形貌和结构表征,薄膜材料的物理性能测试与分析三个模块,每个模块中再细化出教学重点和难点,引导学生合理分配学习时间。

经过前期基本实验的严格训练,学生已经具备比较扎实的实验素养,教学中坚持以学生自主学习为主,教师讲授、操作示范为辅的原则,教师的主要任务是负责大型仪器设备的使用操作培训,其他事项要求学生自主解决,通过查阅书籍和网络资源掌握相关理论知识,了解溅射的原理及薄膜生长的特点,熟悉所需多种大型设备的工作原理、操作规范和用途,掌握薄膜材料的制备、表征和性能测试分析方法等等,着重培养学生自主学习能力,为后面的研究工作做好准备。

2.3 明确研究性学习目标

研究性学习目标的确立是研究型实验教学最基本、最重要的一环,通常根据教师的科研方向或教师熟悉的领域确定目标。磁控溅射镀膜实验有着广泛的实验样品,可以制备出各种薄膜,在溅射薄膜的生长过程中,溅射条件的改变(如基片温

度、气体流量、溅射时间、溅射功率、掺杂以及溅射成膜后的处理等)都会对薄膜的形貌、结构和物理性质产生影响,通过设置不同的溅射条件,可得到性质迥异的薄膜材料。我们参考实验室教师的研究领域,选择氧化锌薄膜作为研究对象,ZnO是直接带隙宽禁带氧化物半导体,具有良好的催化性、压电性、光电性、气敏性和化学稳定性,是一种新型的光电材料,具有广阔的发展前景,主要探究溅射条件(溅射功率、基片温度、溅射气压、时间、氧氩比、掺杂、成膜后的处理等)对氧化锌薄膜的形貌、结构、光电磁学性能等方面的影响,寻找具备某一功能的实验室制备的最佳方案。

2.4 模块化、多层次的实验设置

研究型实验项目的研究范围广泛,常常包含多层次、多用途、多领域的研究,实验内容和实验成果的解释涉及的知识面广而深,学生学起来困难。为了帮助学生快速进入研究性学习阶段,我们提前补充讲授相关理论知识,为学生提供基础的理论储备,依据学习内容的关联性和实验难易程度,进行了由简单到复杂,由基础到综合,再到设计和创新的模块化、多层次、循序渐进的实验安排。如“磁控溅射法氧化锌薄膜的制备及其特性研究”实验,其研究范围广泛,其中包含诸多材料物理实验内容,为了帮助学生学习和理解将要开展的实验研究,我们将《材料科学》和《材料物理性能》两门课程的相关章节提前讲授完成,按照薄膜材料的特点,将整个研究内容分为四个模块,具体内容如下:

(1) 氧化锌薄膜的制备及特性研究

- 1) 溅射工艺对薄膜厚度及光学性能的影响;
- 2) 溅射功率对氧化锌薄膜微结构及光学性能的影响;
- 3) 基片温度对氧化锌薄膜微结构及光电性能的影响;
- 4) 气压和氧氩比对氧化锌薄膜微结构及光电性能的影响;
- 5) 退火温度对氧化锌薄膜微结构及光电性能的影响;
- 6) 设计一种紫外屏蔽效果最佳的氧化锌薄膜的实验室制备方案。

(2) 掺铝(Al_2O_3)氧化锌薄膜的制备及其光电特性研究

- 1) 不同掺铝(Al_2O_3)比例对氧化锌薄膜微结构及光电性能的影响;

2) 溅射功率对掺铝(2%)氧化锌薄膜微结构及光电性能的影响;

3) 基片温度对掺铝氧化锌薄膜微结构及光电性能的影响;

4) 气压和氧氩比对掺铝氧化锌薄膜微结构及光电性能的影响;

5) 退火温度对掺铝氧化锌薄膜微结构及光电性能的影响;

6) 设计一种导电效果最佳的透明氧化锌薄膜的实验室制备方案

(3) 磁性薄膜材料的制备及性能测试;

(4) 氧化锌薄膜材料的应用研究

由于实验设备和实验时间有限,要学习要研究的内容很多,我们将学生分成几个研究小组,每组3~4人,可以自由选择上述子项目内容,每组至少完成上述(1)和(2)模块中子项目各一个,多选不限,各小组之间子项目内容不重复。待每组项目研究完成后大家一起分享实验研究内容、实验研究成果和心得体会,让所有参与研究性学习的学生对整个研究项目有更加深入、全面的认知和了解,互相取长补短。虽然各小组实验内容不同,研究方向各异,但都可以受到很好的研究型实验训练,享受研究性学习的快乐与痛苦。

2.5 以学生为主体的“问题引导”指导性教学

研究型物理实验主要以科研实践训练为主,注重实践过程和能力的培养。在实践教学中,我们采取以学生自主学习、自主研究为主,教师适当“问题引导”^[6]为辅的指导性教学,要求学生亲自参与研究内容选择、项目调研、实验方案设计、实验仪器操作维护、薄膜样品制备、性能测试、实验成果总结、实验报告撰写和答辩等每一个环节;指导教师根据研究进度、研究内容及实际情况适时提出系列相关“小问题”,将复杂的大任务拆解成多个简单的小任务^[6],引导学生有针对性的自主学习、思考、讨论和研究,寻找解决方案。针对上述研究型实验项目,指导教师提出了许多相关的小问题,如

- (1) 氧化锌的结构有何特点?有哪些特性?
- (2) 氧化锌薄膜主要应用在哪些方面?还存在哪些不足?
- (3) 关于氧化锌薄膜国内外研究现状如何?
- (4) 氧化锌薄膜常用的制备方法有哪些?磁控溅射法有哪些优点?
- (5) 室温下,在溅射过程中基片温度逐渐升

高,为什么?

(6) 薄膜厚度、透过率、电阻率与哪些因素有关?

(7) 纯氧化锌薄膜电阻率高,而掺铝氧化锌薄膜电阻率低,为什么?

(8) 氧化锌薄膜可以作为紫外屏蔽材料的机理是什么?

等等,引导学生在正确的轨道上学习和研究。当学生遇到困难或实验出现状况时,教师参与学生小组讨论,给予启发式指导,而不做具体解释更不给出结论,要求学生通过学习讨论及文献调研自己寻找解决办法,锻炼学生分析问题和解决问题的能力。

在实验教学中,一个项目8周内完成,每个小组的学生根据选择的实验题目和实验室提供的实验材料进一步细化研究内容,明确分工任务,然后自己查阅相关文献资料,了解项目研究的意义,分析国内外研究现状,掌握实验原理和研究内容,选择实验方法,确定实验步骤,熟悉实验仪器的使用,分析可能遇到的困难并商议解决办法,预期实验结果等等,只要学生看懂了,理解了,想做实验了,就可以预约到实验室完成相关的实验内容;制定学习研究任务时间表,每个小组定期召开研讨会,交流学习进度和体会,解决学习和实验中遇到的各种问题;实验过程中,当仪器设备出现异常时,要求学生自查原因,教师协助解决;对于获得的实验结果要求小组成员自主分析其正确性和内在的物理机理,并撰写实验论文格式的研究性实验报告。经过大家共同努力,最终完成实验研究的预期目标,通过研究型实验的训练,学生可以体验科学研究的全过程,独立科研能力得到基本锻炼,动手能力、综合实验能力和创新能力得以提升。

2.6 实验过程中强化工程实践训练

研究型近代物理实验要用到的仪器设备很多,尤其是大型的科研设备,价格昂贵,使用者必须经过严格的操作培训才能独立工作。因此,我们充分利用仪器设备的操作使用、维护保养和维修培训的机会训练学生的动手能力和工程实践能力,要求学生自主学习机械泵、分子泵、电阻规、电离规、脉冲电源、射频电源、温控装置、循环水等部件的工作原理和使用规范,学习靶材与基片的安装方法,了解靶材制作方法与溅射特点,掌握基片使用前的清洗流程等等。让学生直接参与仪器设备的操作使用、维护保养、耗材更换、简单维修的

各个环节,如水管、气管的更换,真空泵油、分子泵油的更换,靶材和基片的安装,腔室的定期清洁,真空腔室漏气原因的查找,无法启辉问题的解决等等,利用这些琐事、问题、故障训练学生的动手能力和工程实践能力,将学科交叉、专业融合理念贯穿整个教学之中,学生亲自动手实践的感悟远远大于“看老师做”来得真实。

3 合理的考核机制

合理的考核机制是保证教学质量的关键。为实现“新工科”人才培养目标,要求我院物理专业学生积极参与以“研究性学习与创新性实验”为教学核心的研究型近代物理实验项目的学习。对于参加实验研究的学生,其研究成果按照等级加分的原则计入近代物理实验总成绩中,以调动学生学习的积极性、主动性和创造性。

依据研究性学习的特点,以研究小组为单位,采取全过程跟踪,对学习研究的各个环节分阶段进行考核,综合评价,包括前期基础知识的学习、实验操作训练、项目调研、研究过程、小组成员间的合作交流、实验结果、数据分析处理、实验结论总结、实验报告、实验研究内容答辩等等,小组成员内部根据对项目研究的贡献互评等级。实验结束后要求每个研究小组撰写实验研究论文格式的实验报告,对于好的实验报告,推荐发表。最后一周举办由相关指导教师和所有参与研究型实验学习的同学参加的研究成果汇报交流会,要求每个研究小组就负责的研究项目在基本原理、研究内容、研究方法、实验方案和所取得的研究成果进行汇报和展示,并回答在场教师和其他同学的提问,指导教师当场给出项目研究成绩等级。通过汇报和答辩,师生互相交流研究内容的相关问题,肯定成绩,指出不足,明确今后的研究方向。

4 教学总结

经过几年研究型实验的教学与实践,积累了比较丰富的教学经验,有效提高了实验教学质量,拓宽了学生知识面,锻炼了学生的自主学习能力、分析和解决问题能力、综合实验能力、科学研究能力和创新能力,培养了学生的团队合作精神和实事求是的科学态度,推动了学科交叉与专业融合,为学生的毕业论文的撰写奠定了基础,以学生为

主体“化整为零”的模块化教学和教师适当“问题引导”相结合的教学模式教学效果良好。

- (1) 夯实基础是做好研究型实验的关键;
- (2) 坚持以学生自主学习、自主研究为主的原则;
- (3) 禁锢学生思想 鼓励探究和创新;
- (4) 提倡分工合作 交流互补;
- (5) 合理公正的考核机制是调动学生学习积极性和主动性的重要手段;
- (6) 研究型实验教学是实现多种能力培养目标的重要平台。

参考文献:

- [1] 林健.引领高等教育改革的新工科建设[J].中国高等教育,2017(Z2): 40-43.
- [2] 林健.面向未来的中国新工科建设[J].清华大学教育研究,2017,38(2): 26-35.
- [3] 林健.多学科交叉融合的新生工科专业建设[J].高等工程教育研究,2018(1): 32-45.
- [4] 陈靖,陈宗强,钱钧,等.利用研究型实验培养学生能力的探索和实践——以“晶体光折变效应与光存储”实验为例[J].物理实验,2017,37(4): 39-43.
- [5] 姚列明,霍中生,李业凤.课题型物理实验的教学实践——功率器件的散热研究[J].实验技术与管理,2011,28(3): 7-10.
- [6] 欧慧灵,孔祥翔,关键慧.学生自主研学和创新能力的培养——研究性课题式物理实验教学实践[J].大学物理实验,2009,22(3): 98-100.
- [7] 高惠平,田建军,蒋俊华,等.大学研究型物理实验教学的实施与探讨——以 PECVD 技术制备硅基薄膜为例[J].物理通报,2015(7): 79-82.
- [8] 陈森,吴平,赵雪丹,等.大学物理实验研究性教学模式探索与实践[J].中国现代教育装备,2012(23): 72-73+76.
- [9] 蒋芸,王亚芳,董爱国,等.问题引导型物理实验自主学习模式的探究[J].实验室研究与探索,2017,36(8): 237-239+283.
- [10] 高文莉,周进,苏为宁.学生主导型物理实验与学生综合能力培养的实践探究[J].物理实验,2016,36(10): 23-26.
- [11] 袁明,李宏建,李雪勇,等.氧氟比对钴掺杂氧化锌薄膜光电性能的影响[J].发光学报,2010,31(4): 498-502.
- [12] 杨帆,周昕,何明灿,等.Al 掺杂对 ZnO 薄膜结构和光学性能的影响[J].湖南工业大学学报,2014,28(3): 88-93.
- [13] 陈星辉,吴智丹,黄润.常用照明光源光谱分析及其紫外防护方法[J].湖南工业大学学报,2020,34(2): 92-96.

The Exploration and Practice of Research-Based Modern Physics Experiment Teaching Model

——Preparation and Characteristics of ZnO Thin Films by Magnetron Sputtering

CHEN Xinghui ZHOU Xin LI Xueyong

(School of Science ,Hunan University of Technology Zhuzhou 412007 ,China)

Abstract: The modern physics experiment course has added research experiment teaching content in the form of “research and innovative experiment” after completing the initial experiment to achieve the goal of ‘new engineering’ talent training. Taking the preparation and characteristics of ZnO thin films by magnetron sputtering as an example ,it introduces the practice process of research-based experimental teaching and the practice teaching mode combining student-centered modular teaching of ‘breaking up the whole into parts’ and the appropriate ‘problem guidance’ by the teacher. The teaching practice shows that: research-based experimental teaching promotes interdisciplinary and professional integration ,and improves those abilities of independent learning ,scientific research ,engineering practice and comprehensive of student. Therefore ,the combination of student-centered modular teaching of ‘breaking up the whole into parts’ and the appropriate ‘problem guidance’ by the teacher shows good results.

Key words: modern physics experiment; research experiment; magnetron sputtering film deposition; teaching model