

# “半导体物理与器件” 创新实验和实践教学改革探讨

仇明侠 叶志祥 项炳锡 王萌 吴丹 王宁

**摘要** 专业创新实验和实践是高校教学过程中开阔学生视野、锻炼思维和提高动手能力的关键环节，也是提高学生兴趣，加深对深奥、晦涩理论知识理解和追赶国际科学前沿的重要途径。但是，由于学校经费来源、实验室条件和传统教学思维模式的限制，在半导体物理与器件的实验教学中普遍存在综合性和创新性实验占比不足、实验内容陈旧，远远落后于国际前沿研究课题、教学方法单一，不能激发学生的学习兴趣等问题。本文针对上述现象，结合多年半导体专业课程学习和教学的经验，借鉴德国、瑞士和美国等国际应用技术大学的先进教学模式，我们探索性地采取“校内实验+校外实践”和“课内实验+课外创新项目拓展”相结合的实验和实践教学新模式，将趣味实验和国际前沿研究课题（如有机光电材料）引入到半导体物理 pn 结新型有机发光二极管、量子点发光二极管和钙钛矿薄膜太阳能电池制备等创新实验和实践教学中。这些教学改革措施深受学生们的喜爱，激发了他们的学习和科研兴趣，极大的提高了学生们解决实际问题的能力和科研创新能力，已初见成效，本次教改积累的教学经验将为应用型高校半导体或光电子和微电子专业的半导体物理与器件实验课程的开展提供参考。

**关键词** 半导体物理与器件；有机光电材料；创新实验；教学改革

## 一、前言

半导体技术是信息产业发展的基础，它是随着集成电路，尤其是超大型规模集成电路而发展起来的一门新技术，广泛应用于人民生活 and 国防建设的各行各业，是目前全球发展最迅速的新兴技术之一。近年来，中国的信息技术产业发展取得了长足的进步，其中以深圳的产业发展最为迅速，信息技术产业已经成深圳最大的支柱产业，2020 年的产值占了该行业全国总产值的七分之一，产生了一批如：华为、腾讯、中兴、比亚迪等著名的高新技术企业<sup>[1]</sup>，深圳已成为亚洲最大的电子产品设计和制造中心。同时，中国制造 2025、粤港澳大湾区等政策也为深圳半导体产业的进一步发展提供了良好契机。信息产业的迅速发展，加剧了企业对人才的需求。2017 年，我国信息技术产业人才需求缺口高达 765 万<sup>[2]</sup>。因此，如何培养具有半导体相关理论知识、动手能力强且具有创新精神的，企业急需的专业人才是高校当前面临的最紧迫任务。

半导体物理与器件是光电子、微电子、通信、半导体材料和应用物理等相关专业的重要基础理论课程，它主要研究半导体的原子状态和电子状态以及各种器件内部电子的运输过程和运行机理。这门课是以量子力学和固体物理为基础，在理论课的学习过程中存在繁琐的数学及物理（如薛定谔方程）公式推导和抽象、深奥的概念（如能带）理解，使学生们感觉专业概念和公式晦涩难懂，从而丧失了学习兴趣，阻碍了对其进行学习自觉性、主动性和创造性能力的培养。为了加深学生对理论知识的理解和满足社会对半导体技术日新月异发展的专业人才需求，半导体物理与器件创新实验和实践改革势在必行<sup>[3-9]</sup>。

## 二、半导体物理与器件教学现状和存在的问题

目前在半导体物理与器件的教学中仍以传统的理论知识为主，如能带理论、电子隧穿效应、平衡载流子和非平衡载流子以及载流子的输运等抽象概念遍布各个章节，同时，理论计算、公式推导如载流子浓度、掺杂、费米能级以及漂移和扩散运动方程等也占据了教学内容很大部分。半导体器件相关的教学内容主要以 pn 结、二极管和晶体管的基本概念、能带结构和器件工作原理的讲解为主。缺乏将这些单个元器件综合应用的实际教学案例。由于公式推导过程繁杂，概念抽象，学生在理论课堂学习中接受知识较为困难，日积月累导致其对课程内容理解不透彻，学习兴趣不高，产生抵触心理。在实验课的开设中，实验课内容陈旧，远远落后于产业的发展，实验步骤按部就班，固定不变，很少开设创新性和综合性的实验，以至于学生在实验中可以不用脑洞大开，只需按照实验教师的现场示范和实验指导书的详细步骤记录就可以完成实验。这样的实验课程不利于学生独立思考和创新能力的培养。课外很少有学生主动与老师探讨相关的课程知识，更拒绝参加创新项目及大学生竞赛。以上的这些因素对半导体物理与器件课程的教学非常不利。客观上，由于全球新冠疫情和中美贸易战的影响，近两年地方政府对学校的投资预算大幅缩减，而半导体相关的器件制造设备价格昂贵，因此，部分计划购买应用于教学实践的设备由于资金短缺而被搁置，而原有设备陈旧且数量不足，尚不能满足教学的需求。对于建校时间较长的高校，由于建筑面积的限制，实验室空间狭小，无法满足逐年递增的学生扩招的需求。因此，半导体物理与器件教学改革刻不容缓。

## 三、半导体物理实验与实践教学改革措施

本文将根据企业对于半导体专业人才的需求，结合近十年来半导体物理与器件教学中存在的诸多问题，在完善实验内容、改善教学模式和创新教学方法等方面进行教学改革。旨在通过教学改革，建立完善且具有特色的半导体物理与器件实验实践教学体系，

激发学生的学习兴趣和创新能力,提升学生运用半导体物理和器件的专业知识解决实验和实践中出现问题的能力,从而达到提高半导体物理与器件教学质量和对接企业需求的目的。

(一) 教学内容优化: 增设国际前沿研究课题有机光电材料相关实验和实践项目

1. 在传统半导体物理与器件实验实践教学内容的基础上,增加一些国际前沿科研最新进展的内容,拓展学生知识面;同时注重个性化和创新性实验内容的增设。比如:  
a) 在 pn 结器件实验课开设中,除了介绍目前已经大规模产业化的无机 LED 器件外,我们还将利用最新的有机发光材料制备的有机 LED (即 OLED) 和量子点 LED (即 QLED) 等前沿研究内容作为课堂讲解和实验演示的重点。之所以进行上述课堂内容的改革是根据实验室的设备配置而调整的。因为目前大规模商用的 LED 是由昂贵的金属有机化学气相沉积设备 (MOCVD) 和光刻机相结合制备而成,而深圳技术大学光电材料及器件实验室仅有光刻机和热蒸镀设备,尚不具备制备无机 LED 的条件。所以我们将实验内容调整为制作成本更加低廉,但器件结构类似,而且是国际研究热点的 OLED 和 QLED,这样可以使我们的教学内容与国际学术前沿课题接轨。b) 为了做比较,我们将同样具有 pn 结构,但器件工作机理与 LED 截然相反的有机钙钛矿太阳能电池 (SOLAR CELL) 也作为实验教学内容的一部分,方便学生通过动手构建两种器件,从而加深对两种器件结构和运行原理的深刻理解。举一反三,进而扩展到对其他光电器件如光电探测器和激光器等工作机理的理解。c) 在传统的半导体晶体结构模型搭建的实验课程中,除了介绍理论课中常见的金刚石结构球棍模型外,我们还会向学生普及石墨烯和富勒烯等碳元素同素异形体的晶体结构,并要求学生组建出这三种不同结构的碳元素的球棍模型。学生可以直观地比较三种结构的区别,并深刻理解这三种同素异形体尽管由同种元素组成,但是由于结构的差异,其各自的物理和化学特性也各不相同,所以其应用领域也有很大差异。在该实验中,学生能够深刻了解到材料结构对其性能影响的重要性。通过上述一系列课程内容的改革,学生们在实验过程中不仅巩固了理论课所学的知识,同时拓宽了课外热门科研课题内容,而且在实验中感受到如拼搭乐高一样的乐趣,课堂氛围活跃,实验课在如“最强大脑”电视节目拼接竞赛中一样愉快结束,学生反馈良好。图 1 中展示了部分实验课中学生实验照片。



图 1 学生校内实验课照片: (a) 量子点 LED 制备照片 (b) 拼搭晶体结构实验照片

2. 引入有机发光器件制备的网络搞笑和趣味实验,拓展学生创新思维。为了增加

学生们的课堂乐趣和拓展专业知识,将网络搞笑和趣味相关实验视频插入到教师实验内容和实验方法的介绍中,从而使学生增长见识,拓展思维。例如在半导体发光二极管(简称LED)的实验课程中,我们将网络中外大学用电烙铁、打孔器和电风扇等简单日常用品来制备有机量子点LED的视频播放给大家,不但增加了课堂的活跃气氛,而且让同学们认识到创新无处不在,只要实验小组具有有机发光材料,即使实验室不具备高精尖的设备配置,依然可以用日常用品做出国际最新的前沿研究。

3. 介绍产业最新需求,将相关校企合作项目和竞赛内容有机融合到相应的实验和实践教学中。根据学校和学院合作企业的需求,将部分技术攻关课题立项为校企合作项目,共同解决产业“卡脖子”问题,同时也将全国大学生竞赛项目列入课外实践教学内容中,例如:在目前与合作企业比亚迪共同开展的有机薄膜太阳能电池大面积制备的课题研究中,邀请了5~10名感兴趣的同学加入该课题。同学们利用课余时间积极开展有机薄膜太阳能电池大面积制备的项目研究,并取得了不错的成绩。根据课程设计,我们学院每年开展十余项类似的校企合作项目供同学们开展开外创新实践研究。在新学期开学初期,教授们会将课题组将要开展的课题名单发给学生,同学们可以根据自身兴趣,选择加入不同的课题组。在不同的学期同学们还可以更换课题,大大缩短了学生和企业之间的距离,让学生从自身经历中感受企业需求,同时又开阔了眼界。

## (二) 教学模式的创新

由于半导体物理的概念和原理非常抽象,涉及到很多看不见摸不着的微观现象,仅靠想象很难深刻理解课程内容。传统的实验教学中,以在校课堂实验为主,学生们在学校专业实验室内完成教学。我们借鉴德国、瑞士和美国等国际应用技术大学先进教学模式,采取“校内实验+校外实践”有机融合的教学改革模式。正常教学时间,我们以课堂实验为主,校外实践为辅。课程内容以国际前沿课题为主,产业相关产品介绍为辅。寒暑假期间以校外短期(半个月)企业实践为主,实践内容以生产线产品为主,研发为辅,让学生充分认识半导体理论知识在产业中的应用。对于正常校内实验和实践教学的开展,我们以“课内实验+课外创新项目拓展”相结合的模式进行。课内实验内容为传统实验项目+科技前沿课题。课外拓展创新项目是以校企合作、教师基金项目 and 大学生竞赛项目为主题,学生以兴趣小组的形式加入到课题组开展课下项目研究,例如开展国际前沿课题:钙钛矿有机量子点LED、有机太阳能电池的研究、光通信和高分辨光谱仪的研究。总之,我们以一种“校内实验+校外实践”和“课内实验+课外创新项目拓展”相结合的方式,全方位、多种形式的开展半导体物理与器件创新实验和实践教学。图2中给出了寒暑假期间学生在企业短期实习的照片。



图2 学生短期企业实习照片 (a) 聚飞光电公司寒假实习照片 (b) 恒之源股份有限公司企业实习照片

### (三) 教学方法的改进

传统的实验教学中,以实验指导书和教师课堂演示为主,同学们仅需照猫画虎,模仿老师的操作流程,即可顺利完成实验。在改革后的教学中,我们采取在理论课课堂中将下次实验课课程名称展示给同学们,让大家先利用网络资源查找相关资料,然后再在实验课中通过提问检测大家对实验内容的预习情况,再将实验指导书和实验用品发给大家,然后以 ppt 或动画的形式展示本次实验的原理和实验的内容,本过程大约 10 分钟,同时将相关趣味实验或国际前沿课题内容或大学生竞赛和校企项目以视频或 ppt 的形式展示给同学们,最后让大家动手开展实验,如有任何问题,师生共同讨论后,老师再以现场演示和播放动画等形式展示给大家,并进行原理性解释,让大家带着问题做实验,这样有助于学生更深层理解实验内容和原理。

### (四) 半导体物理与器件创新实验和实践教学改革中的成效

通过课程内容优化、教学模式多样化和教学方法的革新,尤其是将国内外网络趣味实验引入到课堂内容中,半导体物理与器件实验和实践教学已大大提高了学生的学习兴趣,课堂气氛十分活跃,学生动手能力和创新能力都大幅度提高,学习能效显著提升。通过校企联合共同参与到技术攻关项目和短期校外实践活动中,使学生在学习期间接触产业项目,显著提升了其适应社会需求的专业创新能力,已取得一系列的成果。2018 年,在全国大学生半导体光源系统创新竞赛中,我校学生在“量子点发光二极管的制备”和“基于蓝光 LED 与量子点的显示技术”赛项获得两个二等奖。2020 年课题组的柴教授又在同类竞赛“基于 COB-LED 的可见光通信”中获得二等奖。2020 年 8 月,在第十二届中国深圳创新创业大赛中,我院学生获得“激光抛光系统解决方案”和“慧眼识物—远距离实时传输智能快照马赛克微型高光谱仪”两个项目的三等奖。此外,在 2019 年和 2020 年,我院教师在深圳技术大学组织的全校青年教师讲课比赛中连续两年学院获奖人数占全校获奖总数的四分之一。因此,2021 年 9 月,深圳技术大学新材料与新能源学院被评为“深圳市教育先进单位”。图 3 显示了部分获奖证书。



图3 获奖证书 (a) (b) 为部分竞赛图片 (c) 先进教育单位奖牌

#### 四、结束语

为了适应集成电路行业的快速发展及半导体产业对人才的需求,针对半导体物理与器件课程目前实验教学环节中呈现出的诸多问题,本文在半导体物理与器件实验和实践教学从教学内容的优化、教学模式的创新与教学手段的改进等方面进行了全方位的改革和探索。利用校企合作,采取“校内实验+校外实践”和“课内实验+课外创新项目拓展”相结合的方式,将校企合作技术攻关项目、大学生竞赛内容、网络趣味实验以及传统的教学内容有机融合,教学改革已初见成效。但是,我们仍需继续探索,总结经验,进一步提高教学质量,为培养具有“人文情怀,工匠精神”的应用型工程师和设计师做出不懈努力。

**基金项目** 1. 2019 深圳技术大学教学改革项目(项目编号:20201056010018); 2. 深圳市技术攻关项目(项目编号:JSGG20201102162200002); 3. 深圳技术大学校企合作项目(项目编号:20211064010033)。

**作者简介** 仇明侠,女,1978年8月出生,深圳技术大学新材料与新能源学院副教授,博士,主要研究方向半导体光电材料与器件生物传感器等。

E-mail:[qiumingxia@sztu.edu.cn](mailto:qiumingxia@sztu.edu.cn), <https://orcid.org/0000-0002-7738-2217>

王宁为本文通讯作者, <https://orcid.org/0000-0002-1391-9441>。通讯地址:广东省深圳市坪山区兰田路3002号深圳技术大学新材料与新能源学院(518118)。

#### 作者对本文的贡献

仇明侠,主要负责半导体物理与器件理论课的授课,并辅助开展在校课堂实验。叶志祥,主要负责半导体物理与器件开展在校课堂实验(主要负责半导体材料和电学器件相关实验)。项炳锡,主要负责半导体物理与器件开展在校课堂实验(主要负责光学器件相关实验)。王萌,主要负责半导体物理与器件开展校外企业实习(主要负责材料和激光器相关企业实习)。吴丹,主要负责半导体物理与器件开展校外企业实习(主要负责发光二极管相关企业实习)。王宁,主要负责半导体物理与器件开展校外企业实习(主要负责芯片制造相关企业实习)。

#### 参考文献

[1]综合.信息技术产业已成深圳最大支柱产业产值占全国约七分之一[N].南方都市报,

2020.08.10, NA07: B07.

[2] 黄海峰. ICT 产业面临 765 万人才紧缺难题《中国 ICT 人才生态白皮书》支招[J]. 通信世界, 2018, 22: 31-31.

[3] 部建培, 王卿璞. 半导体物理实验教学改革研究[J]. 教育现代化, 2019, 6(66): 47-49.

[4] 盛英卓, 兰伟, 张振兴, 等. 基于创新型人才培养的半导体物理实验教学改革[J]. 实验室科学, 2020, 23(2): 111-114.

[5] 刘城芳. 融合多种教学方法于半导体物理教改中的初步探索[J]. 广东化工, 2016, 43(22): 184-185.

[6] 张伟, 陈昊, 王桂强, 张丽娜, 马晋文.《固体物理》课程教学思考 [J]. 教育现代化, 2018, 5(33): 172-173.

[7] 高功步, 高昊, 李昌奎. 产教融合促进高校人才培养与企业发展合作共赢 ——以教育部产学合作协同育人项目优秀案例“跨境电子商务与案例”为例[J]. 社会科学理论与实践, 2021.3(3):1-7, [http://doi.org/10.6914/TPSS.202108\\_3\(3\).0004](http://doi.org/10.6914/TPSS.202108_3(3).0004).

[8] 仇明侠, 张旺, 陈业旺, 陈燕平, 胡陆峰, 王宁. 应用型高校专业实践课程教学改革探索——以深圳技术大学光源与照明专业为例[J]. 广东化工, 2020, 1(47): 147-148.

[9] 胡雷芳, 肖静. 应用型本科跨境电子商务实践教学课程学生满意度研究——以杭州师范大学钱江学院跨境电子商务专业群为例[J]. 社会科学理论与实践, 2019.1(2):31-40. [http://doi.org/10.6914/tpss.201912\\_1\(2\).0005](http://doi.org/10.6914/tpss.201912_1(2).0005).

本文引用格式 仇明侠, 叶志祥, 项炳锡, 王萌, 吴丹, 王宁. “半导体物理与器件”创新实验和实践教学改革探讨[J]. 社会科学理论与实践, 2021.3(4):52-59, <https://doi.org/10.6914/tpss.030405>

**Cite This Article** QIU Mingxia, YE Zhixiang, XIANG Bingxi, WANG Meng, WU Dan, WANG Ning. Research on Innovation Experiment and Practice Teaching Reform of "Semiconductor Physics and Devices"[J]. Theory and Practice of Social Science, 2021.3(4):52-59, <https://doi.org/10.6914/tpss.030405>

**Article History** Received 27 September 2021 Accepted 29 September 2021 Published 31 October 2021

## Research on Innovation Experiment and Practice Teaching Reform of "Semiconductor Physics and Devices"

QIU Mingxia<sup>#</sup>, YE Zhixiang, XIANG Bingxi, WANG Meng, WU Dan, \*WANG Ning

School of New Material and New Energy, Shenzhen Technology University, Shenzhen 518118, China <sup>#</sup>[qiumingxia@sztu.edu.cn](mailto:qiumingxia@sztu.edu.cn), <https://orcid.org/0000-0002-7738-2217>

\*Corresponding Author

**Abstract** Professional innovation experiment and practice is the key link to broaden students' vision, exercise their thinking, and improve their practical skills in the process of university

teaching. It is an important way to increase students' interest in learning, deepen the understanding of esoteric and obscure theoretical knowledge, and catch up with the frontiers of international science. However, due to the limitations of school funding resources, laboratory conditions, and traditional teaching mode, there are many problems during the experimental teaching of "Semiconductor Physics and Devices", such as the insufficient proportion of comprehensive and innovative experiments, outdated experimental contents, and single limited teaching methods that cannot stimulate students' learning interests of students. In response to the abovementioned situation, combined with many years of experience in learning and teaching semiconductor courses and drawing lessons from the advanced teaching modes of international applied technology universities, we creatively adopt the new experimental and practical teaching mode of "in school experiment + out of school practice" and "in-class experiment + extracurricular innovation project expansion". Network interesting experiments and international cutting-edge research topics (such as organic optoelectronic materials) are introduced into our innovative experiments and practical teaching, such as preparing new organic light-emitting pn junction diodes and quantum dot light-emitting diodes, and perovskite thin-film solar cells. Students deeply love these teaching reform measures, stimulate their interest in learning and scientific research, and significantly improve their ability to solve practical problems or scientific research innovation ability, which have achieved preliminary results. The accumulated teaching experience will provide a reference for developing semiconductor physics and devices experimental courses for semiconductor or optoelectronics and microelectronics majors in application-oriented universities.

**Keywords** Semiconductor Physics and Devices; Organic Photoelectric Materials; Innovative Experiments; Teaching Reform