

基于产教融合的半导体物理与器件教学模式改革研究

王 园^{1*}, 刘林生^{2#}, 蒋清红²

¹广西师范大学教务处, 广西 桂林

²广西师范大学电子工程学院, 广西 桂林

收稿日期: 2022年3月22日; 录用日期: 2022年4月21日; 发布日期: 2022年4月28日

摘 要

半导体物理与器件课程是电子类工科专业学生的一门重要的专业基础必修课, 该课理论性强、概念多, 学生普遍感觉学习吃力。针对传统教学过程中存在的问题, 特别是在当前国家大力推进新工科人才建设的背景下, 本文从产教融合的视角, 对课程的教学内容编排、教学方法和教学手段的使用进行了分析与探索。企业的行为受经济因素的制约, 互联网+应用于半导体物理与器件的产教融合育人实践, 可以减少合作人才培养的时间和经济成本, 促进资源的共享。

关键词

互联网+, 产教融合, 半导体物理与器件

Research on the Teaching Mode Reform of Semiconductor Physics and Devices Based on the Integration of Industry and Education

Yuan Wang^{1*}, Linsheng Liu^{2#}, Qinghong Jiang²

¹Teaching Affairs Office, Guangxi Normal University, Guilin Guangxi

²College of Electronic Engineering, Guangxi Normal University, Guilin Guangxi

Received: Mar. 22nd, 2022; accepted: Apr. 21st, 2022; published: Apr. 28th, 2022

*第一作者。

#通讯作者。

文章引用: 王园, 刘林生, 蒋清红. 基于产教融合的半导体物理与器件教学模式改革研究[J]. 教育进展, 2022, 12(4): 1278-1286. DOI: 10.12677/ae.2022.124200

Abstract

Semiconductor physics and devices is an important basic compulsory course for electronic engineering students. This course is very theoretical and has many concepts, which makes it difficult for students to learn. In view of the problems existing in the traditional teaching process, especially under the background of vigorously promoting the construction of emerging engineering talents, this paper makes an in-depth analysis and exploration on the arrangement of teaching contents, and the use of teaching methods and teaching means from the perspective of the integration of industry and education. The behavior of enterprises is restricted by economic factors. Internet+ applied to the practice of cultivating talents for the integration of industry and education in semiconductor physics and device courses can reduce the time and economic cost of cooperative training of talents and promote the sharing of resources.

Keywords

Internet+, Integration of Industry and Education, Semiconductor Physics and Devices

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

《半导体物理与器件》作为普通高等学校电子与信息类专业本科生重要的专业核心课程，对集成电路与微电子工业发展具有重要的理论及实用意义。近年来，我国政府为了应对人工智能、机器人、新一代信息技术产业等领域出现的新一轮产业技术变革，在高等教育领域提出了新工科人才培养计划。《半导体物理与器件》作为上述相关产业硬件的理论基础，受到了各类教育机构与政府的广泛重视。

由于《半导体物理与器件》课程自身具有理论性与抽象性强的特点，采用传统的教学方式，学生学习吃力，效果不佳。具体的原因主要有：1) 教学内容难：本门课程物理模型抽象、理论性强、公式多，不易理解。比如：有效质量、空穴、声子和能带等概念抽象，有些是为了研究问题方便提出来的概念，客观世界中并不存在，这样学生理解难度加大。2) 教学方法单一：以往普遍采用单一的讲授式的教学方法，学生缺乏主动思考，影响了对知识的掌握与理解；3) 实践缺乏：由于缺乏实习和实践锻炼，学生实际动手能力不强，会导致毕业后在企业中欠缺解决实际问题的能力。高校人才的培养与产业脱钩，企业与高校的专业课教学脱节，既影响了人才培养的质量，也制约了产业的升级与发展。

从校企合作、产学研合作到产教融合，体现了党和政府对高等教育人才培养思路的不断进步及对教育内涵建设的不断提升。2009年10月，中国产学研合作教育峰会通过了《中国产学研合作教育发展宣言》，《宣言》中明确提出了产学研合作培养创新人才的模式。接着，《教育部关于2013年深化教育领域综合改革的意见》中明确提出产教融合的概念。“产教融合”体现的是“产业界”与“教育”的融合，“产”指产业界，包括了企业，“教”包含了教育和教学等更丰富的内涵，“融合”说明双方合二为一，彼此交融，关系比合作更密切。“产教融合”反映了新时代产业转型升级与高等教育发展的水乳交融，彼此互相促进的关系。《半导体物理与器件》课程跟产业联系紧密，产教融合的思想应用于教学，将有效地提高该课程的教学质量，有助于学生提高对知识的理解，提升实践与创新能力。但产教融合的理念

在国内高校半导体物理与器件教学中采用较少,处于起步阶段,有待于进行深入地研究与教学实践。

“互联网+”通俗地说就是,“互联网+各传统行业”,是采用互联网平台让传统行业与互联网深度融合,发挥互联网在资源配置中集成和优化的作用,提升社会的生产力与创新力。教育同其它传统行业一样受到了互联网的巨大影响,世界各国高校纷纷开展了“互联网+教育”的探索,教学质量得到了明显的提升。虽然国内很多高校教师利用“互联网+”的思维对很多课程的教学进行了卓有成效地探索与实践,但针对半导体物理与器件课程还少有研究,有待于开展相关教学实践与教学研究工作。

针对上述传统《半导体物理与器件》教学中存在的问题,本文基于互联网+的时代背景,探讨通过与课程相关企业深度合作,对半导体物理与器件课程的教学内容根据产业需求和最新科技发展进行调整,对教学方法和教学手段进行优化,在产教融合培养人才方面,进行了一些探索。

2. 国内外研究现状分析

1) 国外教学改革现状

产教融合是当今世界高等教育人才培养的普遍共识,由于政治与经济体制不同,在不同国家其具体形式和历史发展轨迹有所不同。作为世界最发达的国家,美国的产教融合源于1906年辛辛那提大学(University of Cincinnati)的合作教育实践[1]。该模式是采用“工学交替”的方式,分理论和实践学期,学生分别在校学习和企业实习,学生可以在实践中运用所学的理论知识,提高实践和创新能力,作为产教融合的经典模式在世界多个国家得到推广。除美国外,加拿大在产教融合方面也做得很有特色,具体形式主要为合作教育。1973年,加拿大成立合作教育协会(CAFCE),在国际上首次制定了合作教育的认证标准与流程,在保证教育质量方面发挥了重要的作用。2016~2017年度,滑铁卢大学近2万名学生参与了合作教育项目[2]。除了上述产教融合的教学模式外,国际上还有德国的“学徒制”、日本的产学官一体化、澳大利亚的TAFE和新加坡的“教学工厂”等模式[3][4]。

随着互联网时代的到来,将互联网与教育融合在一起,互联网+教育应运而生。美国在互联网+教育领域起步很早,处于世界领先地位[5]。早在1996年,美国的教育信息发展计划就提出所有美国学校要连通互联网的规划。接着2001年,麻省理工学院开展了“开放式课程网页计划”,将该校的视频课程在网上发布出来,全世界的用户可免费学习。在2012年,《美国创新战略》中进一步地提出实施“网络学习改造计划”,国家层面上大力支持开展互联网+教育[6]。除了美国外,英国在互联网+教育领域起步也很早,1989年起就在全英实施了“计算机用于教学创新”的项目。接着在1999年,时任英国首相布莱尔政府拨款4.5亿英镑用于网上学习计划[7]。此外,法国、加拿大和澳大利亚等国也从国家层面上拨出大量经费支持了互联网+教育项目。

包括美国和欧洲在内的发达国家,很早就将“互联网+”和“产教融合”的思维与理念应用到人才培养的过程中,已取得了良好的教学效果。一些世界著名大学,比如美国普渡大学在网上发布了《半导体物理与器件》课程的教学视频,方便了世界各国相关专业的学生学习。

不过这些教学网站或平台,普遍存在与学习者互动性较少及学生课程学习完成度低的缺点[8]。针对这些问题,国外很多专家也在研究相关对策,如采用线上与线下混合式的模式,在教学中引入约束管理机制等[9][10][11]。

2) 国内教学改革现状

20世纪五六十年代,国内部分高校就开展了校企合作的实践活动。八十年代后期,上海工程技术大学引入了滑铁卢大学的合作教育理念。又经历多年的实践探索,最终在《教育部关于2013年深化教育领域综合改革的意见》的政府文件中明确提出了产教融合的教育理念。

随着高校毕业生逐年增多,学生的就业难现象日益明显。然而,很多企业又普遍存在招人难,特别

是招可用之人难的问题。导致这种供需两头难现象的根本原因包括：高校培养的学生实践与动手能力弱、创新能力不足、缺乏企业需要的工作经验等。

机制是为了实现预期的结果而制定的制度组织设计与运行规划。顾绘对产教深度融合的共享机制、动力机制、学习机制、评价机制、互动机制与实施方案等方面进行了系统地分析[12]。谢笑珍从宏观、中观和微观层面对产教融合机制进行了深入地探讨，文中强调在机制设计时要重点考虑各方的权益和资源使用效益的最大化问题[13]。由上述论述可看出，产教融合的顺利实施需要综合考虑企业、高校和学生等的权利、责任和义务。

2014年4月，腾讯公司马化腾首次提出“互联网+”的概念，“+”代表各传统行业[14]。2015年12月，习主席在第2届世界互联网大会上指出，我国将大力推进“互联网+”行动计划。互联网+计划将利于提高教育的公共服务水平与教学质量。2018年4月，教育部公布了《教育信息化2.0行动计划》，提出将采用“互联网+”的新模式培养人才，全面提升教育的水平。2019年2月，党中央和国务院公布了《中国教育现代化2035》，提出了建立“互联网+教育”平台，发展基于互联网的人才培养新模式。广西壮族自治区也出台了一系列相关政策文件，如广西“互联网+教育”行动计划(2018~2022年)。国家与地方政府相关政策的颁布，对“互联网+教育”的实施起到了巨大地推动作用。

3. 互联网+时代产教融合的课程教学改革难点

产教融合是解决上述难题的有效策略，可是相关企业的参与积极性不高，往往是高校“剃头挑子一头热”[15]。这主要是企业受经济因素制约，特别是半导体行业人才培养投入大，耗时长，此外企业担心辛苦培养出的人才留不住，对企业来说是很大的损失。如何能同时保证学生、企业和学校三方彼此的利益诉求，是产教融合策略能否长期深入地实施的关键问题[1][3]。欧美发达国家通过制定一系列相关的政策和法律法规，对产教融合参与的各方进行了制约，并给予参与的企业在税收等经济方面以奖励。这种方案不仅照顾了各方利益诉求，也施加了对等的约束，值得我们学习[1][3]。

2019年4月，国家发改委和教育部颁布了《建设产教融合型企业实施办法(试行)》，对积极参与产教融合人才培养实践，进入产教融合型企业认证目录的企业，给予“金融+财政+土地+信用”的组合式奖励。这项政策给了企业深度参与产教融合人才培养实践的动力与支持，将对创新人才培养及高校教育教学模式产生重要地影响。

目前，国内《半导体物理与器件》课程的教学工作还是以传统的课堂讲授为主。电子科技大学、西安交通大学和复旦大学等少数国内知名高校进行了有益地教学改革探索，发布了一些相关网络视频课程。这些网络精品课程对于国内相关专业的广大学生是个福音，取得了不错的效果。然而，跟国外网络平台上的课程相似，普遍存在互动性和学生课程完成度不足的缺点。

国内《半导体物理与器件》课程教学普遍存在着与半导体产业脱钩的问题，产教融合方面做得还不够，亟待与半导体相关企业在人才培养方面加强合作，以提升学生的实践和创新能力。

4. 半导体物理与器件课程知识结构分析

任课老师要根据半导体物理与器件课程的知识结构，知识点之间的逻辑关系，梳理重点和难点问题，采用合适的教学方法，指导这门课程的教学。图1所示为半导体物理与器件课程的知识结构图，通过图可以在逻辑上比较清晰地反映本门课程中的各章节间的关系。其中，固体晶体结构和量子力学初步考虑学生在固体物理和量子力学基本概念方面缺乏相关基础知识而设。接着，固体量子理论是利用前面量子力学的基本概念和晶体结构的知识讨论半导体物理的基本概念，在本章节涉及了半导体物理中非常重要的能带、有效质量、空穴和费米能级等概念。在此基础上本课程讨论了平衡半导体、载流子输运和非平

衡过剩载流子，为后续半导体器件的学习打下了物理基础。最后，本课程讨论了各种常见半导体器件的工作机理，如 pn 结、金半接触和异质结、MOS 基础、双极晶体管和光器件。

任课教师还可以将图中各章节的重要知识点层层逐步细分，如图 2 为固体晶体结构一章中固体类型、晶面晶向、三种晶格类型、缺陷和杂质及半导体生长等重点知识点之间的逻辑关系及示意图。通过各章节的知识点逻辑关系图，既方便老师教学，选择合适的教学方法，又方便学生对知识点的理解。

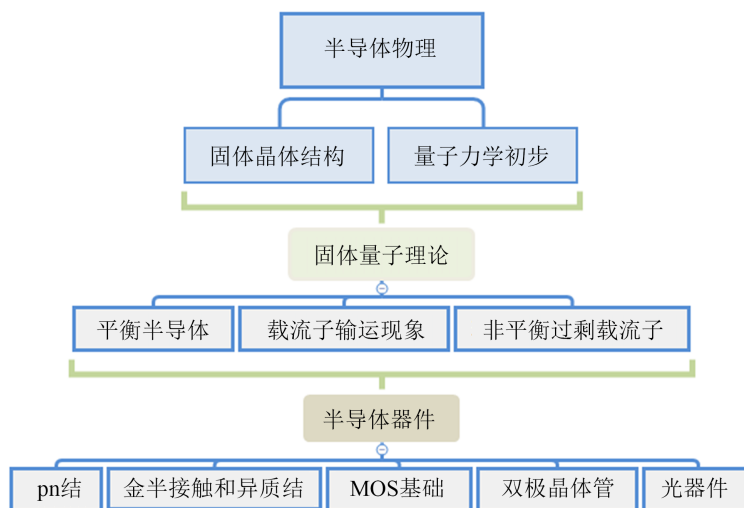


Figure 1. The knowledge structure diagram of the course “Semiconductor Physics and Devices”

图 1. 《半导体物理与器件》课程知识结构图

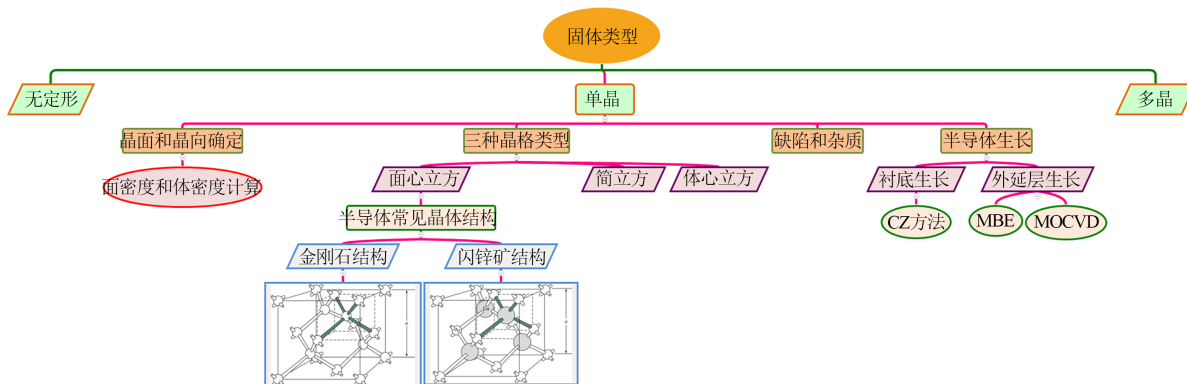


Figure 2. Knowledge structure diagram for the chapter on solid crystal structure in the course “Semiconductor Physics and Devices”

图 2. 《半导体物理与器件》课程固体晶体结构一章的知识结构图

5. 半导体物理与器件课程教学方法的选择

半导体物理与器件很多知识抽象，不易理解，除了采用知识结构图的方式帮助学生理解知识点的逻辑关系外，对具体的知识点还需要采取合适的且易于理解的教学方法。根据每个知识点的特点，尽量采用易于理解的动画和图片演示的方法，如果有条件的话，带领学生去生产现场观摩及与工程师讨论学习。例如，在讲解施主掺杂的过程中，可以通过图 3 所示的动画演示方便学生清晰地理解施主掺杂的物理过程。

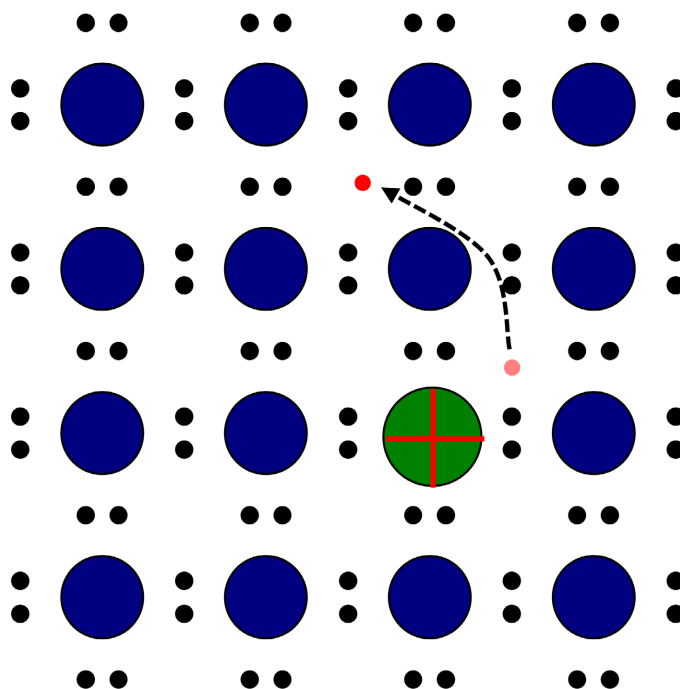


Figure 3. Animation of donor doping in the course “Semiconductor Physics and Devices”

图 3. 《半导体物理与器件》课程施主掺杂的动画图

6. 互联网+时代产教融合的半导体物理与器件课程教学改革策略

基于产教融合的教育理念，通过与本课程知识紧密相关的企业合作，协商调整课程教学内容，兼顾实用性、系统性，并体现产业最新进展；与企业顾问一起优化教学方法和教学手段；增加实践内容，增强学生的创新与动手能力。通过与企业的深度合作，达到产教融合提升学生培养水平的目的。为了实现与相关企业长期稳定地进行产教融合人才培养，本项目拟采用互惠、协作和共享的融合机制，通过利益互惠，为双方合作提供动力，高校培养人才有系统性、理论性和完整性好等优点，企业培养员工有实用性强的特点，双方互补，高校可以协助企业对员工进行深层次的培养，增强企业的科技竞争力，企业给高校学生提供实践平台，提高学生的动手能力；通过互动协作，让产教融合不是停留在口头上或协议里，与企业开展经常性地互动、沟通与研讨，发现和解决企业中存在的技术难题，合作开展科研项目申请，不仅可深化与企业的联系，通过这些锻炼，还可增强学生们的创新能力；通过共享实现共赢，学校具有人才和文献数据库资源丰富的优势，企业具有设备优势，双方共享优势资源，可促进彼此发展，实现共赢。另外，通过产教融合也可为企业提供高科技人才储备。本项目将依托互联网+平台开展合作，互联网+教育平台的建立，不仅可消除企业、学生和教师的学习与交流的时空限制，而且可大大降低合作的成本。

基于产教融合的上述优点，为了提高《半导体物理与器件》的教学质量和学生的创新及实践能力，教学中可主动联系半导体相关企业参与，根据企业的实际需求和学生实际情况灵活调整教学内容，教学方法和教学手段。此外，利用网络交流的便利性，采用互联网+的教学思维，建立企业和高校的互惠互利的互联网+教学合作平台，增强与企业的产学合作，通过平台辅助教学。优质的教学离不开监督与评价，教师要在教学过程中起监督与引导的作用。要达到良好的教学效果，要建立适合本门课程的评价制度，对提高学生半导体专业知识的掌握、实践和创新能力是必要的。建立互联网+产教融合《半导体物理与器件》课程教学改革实施策略流程图如图 4 所示，具体的内容包括下面几个方面。

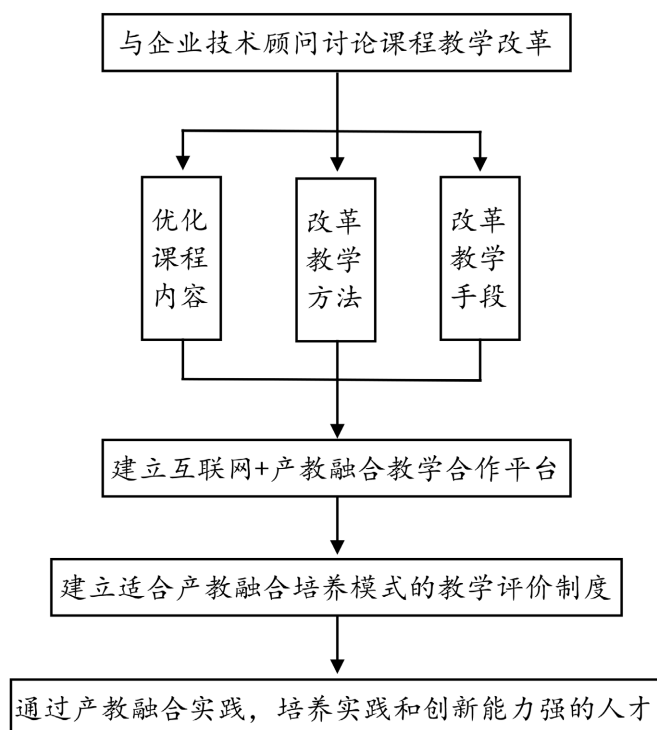


Figure 4. The flow chart of the implementation strategy of the teaching reform of “Semiconductor Physics and Devices” course based on the integration of Internet+ industry and education

图 4. 建立互联网+产教融合《半导体物理与器件》课程教学改革实施策略流程图

1) 教学环节的改革。与企业技术顾问一起调研，并讨论，优化教学内容，摒弃过时内容，增加产业最新进展，对难点内容增加基础知识铺垫；根据学生实际情况，改进教学方法，达到增进学生理解的目的；运用现代化的教学手段，对难点内容制作微课，邀请企业的一线工程师现场讲解，增加实践活动帮助理解，运用多种手段提高教学质量。通过改革，既可帮助学生理解知识，又能与产业接轨，培养学生的实践能力和创新能力。

2) 建立互联网+产教融合教学合作平台。利用企业生产录播系统、学校教学在线系统和 QQ 及微信群搭建互联网+教学合作平台，实现学校和企业的实时互动与资源的共享。通过平台，可实况学习真实的企业生产过程，方便企业导师指导学生学习，企业的员工也可以参加学校基础理论方面的培训。互联网+平台增进了企业与学校的合作，降低了学习交流成本，不受时空的限制。产教合作教学平台建立过程见图 5 所示。

3) 建立一套适合产教融合理念的半导体物理与器件课程教学评价制度。高效的学习必须要有一套教学监督与评价体系，教师要做好教学督导员，以保证课程改革成效。与合作企业一起，根据半导体物理与器件课程的特点，探索并建立一套适合本门课程学生创新能力评价的制度，包括创新能力和实践能力测评办法，提高学生的创新与实践能力。

利用互联网+的思维和产教融合的理念，与企业密切合作，结合学生的实际情况，对教学过程的诸环节进行改革，达到提升教学效果的目的，帮助学生加深知识的理解，使学生的实践能力和创新能力得到提升，成为社会主义合格的建设者和接班人。

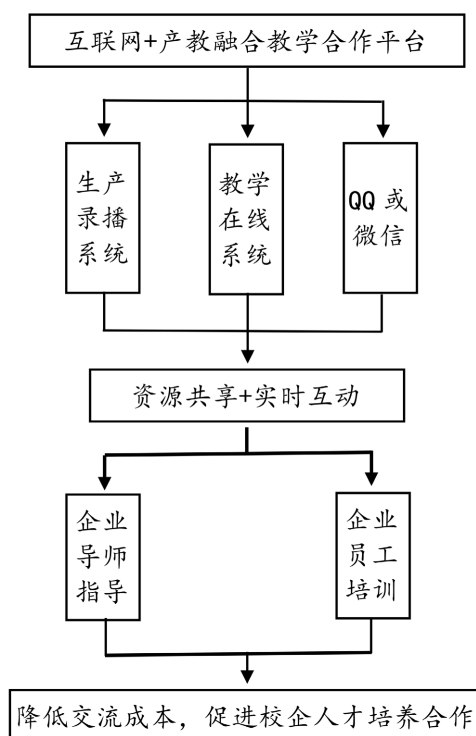


Figure 5. Establishment of an internet+ industry-education integrated teaching cooperation platform

图 5. 建立互联网+产教融合教学合作平台

7. 总结

针对传统半导体物理与器件教学中存在的教学效果不佳的问题, 本文从产教融合的视角对影响教学效果的诸多环节进行了分析与教学改革探索。产教融合协同育人, 有助于促进半导体物理与器件的人才培养, 特别是增强学生的实践和创新能力。半导体物理与器件相关高新技术企业, 设备投入高, 人才培养周期长, 代价高, 导致国内本门课程在校企合作人才培养方面难以深入开展。本文提出将最新国家颁布的激励政策与互联网+技术结合的方式, 促进企业深度参与人才培养实践, 减少合作的成本, 建立产教融合人才培养合作平台, 实现资源的共享与实时互动, 提高学生实践和创新的能力。

基金项目

2020 年度广西高等教育本科教学改革工程项目: “互联网+”时代基于产教融合的半导体物理与器件课程教学研究与实践(2020JGA133)。

2020 年广西研究生教育创新计划项目“基于产学研合作的新工科研究生创新人才培养模式研究与实践”(JGY2020024)。

参考文献

- [1] 李玉珠. 产教融合制度及影响因素分析[J]. 职教论坛, 2017(13): 24-28.
- [2] 向美来, 易伟松. 产教融合背景下新工科建设途径——北美合作教育启示录[J]. 中国高校科技, 2019(Z1): 80-84.
- [3] 陈保荣. 职业教育产教融合的国际比较研究[J]. 职教论坛, 2018(5): 40-46.
- [4] 何慧. 澳大利亚 TAFE 和德国双元制职教模式的对比研究[J]. 现代制造技术与装备, 2019(9): 80-82.

- [5] 蒋家琼, 丁祝闽. 美国网络高等教育课程认证的标准、程序及启示[J]. 大学教育科学, 2015(3): 58-62.
- [6] 张铁军, 闫晓宇, 付琪. 美国高等教育网络教学管窥[J]. 陕西广播电视大学学报, 2016, 18(2): 22-24.
- [7] 徐文闻, 马治国. 国外网络高等教育的发展及其模式[J]. 辽宁师范大学学报, 2006, 29(1): 69-72.
- [8] 熊华军, 褚旭. 等级改变: 2013-2014 年美国网络高等教育发展的显著特征[J]. 现代教育技术, 2015, 25(6): 18-24.
- [9] 王小雪, 刘菁, 唐恒涛, 等. 再度审视美国远程教育发展现状——AECT 远程教育分会核心团队访谈反思[J]. 现代远程教育研究, 2017(2): 13-18, 27.
- [10] 叶宝生, 曹温庆. 从网络课程、网络教学和网络项目的三个标准看美国网络教育[J]. 电化教育研究, 2010(9): 88-93.
- [11] 张静燕. 美国网络远程教育现实与批判——兼谈对中国外语远程教育的启发[J]. 外语电化教学, 2011(4): 45-48.
- [12] 顾绘. 产教深度融合: 学理依凭、机制内涵与实施寻径[J]. 中国职业技术教育, 2017(33): 8-11, 26.
- [13] 谢笑珍. “产教融合”机理及其机制设计路径研究[J]. 高等工程教育研究, 2019(5): 81-87.
- [14] 张岩. “互联网+教育”理念及模式探析[J]. 中国高教研究, 2016(2): 70-73.
- [15] 支德银. 推进“产教融合、校企合作”不能再是剃头挑子一头热[J]. 河南教育(职成教版), 2016(1): 6.