



# 基于科学前沿的光电子材料与器件课程教学设计\*

——以“半导体发光二极管”为例

徐峰

(扬州大学物理科学与技术学院 江苏扬州 225009)

(收稿日期:2022-08-08)

**摘要:**发光二极管(LED)是光电子材料与器件课程的重要教学内容,近年来,与LED相关的新技术层出不穷,尤其微缩矩阵化LED器件(MicroLED)凭借其高分辨率、高功率密度以及控制灵活等优势,正加速拓展在全色显示领域的应用.基于MicroLED前沿显示技术以及微电子专业学生核心科研素养培养的角度,对半导体发光二极管课程内容进行了教学设计创新,围绕“课程理论+仿真实践”开展了教学模式改革探讨.

**关键词:**MicroLED 科技前沿 教学设计 模式改革

## 1 引言

近年来,发光二极管(LED)产业市场趋向饱和,LED产业朝向新技术和高端应用逐步转型,利用微缩矩阵技术制备的LED器件(MicroLED)逐渐成为显示器行业关注的热点.相比于传统的液晶显示以及有机发光二极管技术,MicroLED显示技术利用微米级像素光源,形成定址控制的高对比度、纳秒级响应的显示系统.伴随着超高清智能5G+8K微显示时代的来临,MicroLED凭借其高分辨率、高稳定性、广色域等优势,将成为业界翘首以待的终极显示技术,并成为光电产业新的增长点<sup>[1,2]</sup>.

光电子材料与器件是微电子专业的核心课程<sup>[3]</sup>,其中发光二极管部分是该课程的重点之一,涵盖了半导体材料以及器件结构等知识点,展示了光电子器件独特的光电学特性.随着光电子技术的升级迭代,该部分内容已无法有效衔接光电产业的发展现状,极大限制了微电子专业学生的科学思维和视野.

针对上述问题,结合作者一线教学经验和科研实践,本文基于MicroLED技术的前沿发展,旨在培养微电子专业学生核心素养,提出了对光电子材料

与器件课程进行优化设计,尤其是围绕“课程理论+仿真实践”路径开展了教学模式改革.

## 2 教学目标

### 2.1 教材分析

科学出版社《光电子材料与器件》教材是基于PN结二极管理论系统论述了LED器件结构、发光原理、特性参数以及驱动技术<sup>[3]</sup>,相关知识点围绕发光器件原理及应用展开,提供了专业基础的理论体系.但与之相应的是,教材沿用了传统半导体课程的内容框架和案例选择,缺乏对最新科技发展的引入,对半导体时代新的发展格局和新理论、新知识、新业态的补充亟待深入,因此难以拓宽微电子专业学生对光电器件领域的深层次理解和认知.

### 2.2 学情分析

从课程设置及知识基础上看,微电子专业学生已系统学习半导体物理学、半导体器件物理等课程,对LED知识理论与应用有了初步认识.从认知结构上看,学生熟悉应用广泛的发光二极管,但缺乏与新型光电子器件的接触,科创实践及设计能力有待提升.所以,本课程设计涵盖的MicroLED全新微显示器件,不仅可以加强学生对基础理论知识的理解,更

\* 江苏省光电信息功能材料重点实验室开放课题资助项目 202108;扬州市市校合作资金项目.

作者简介:徐峰(1981-),男,博士研究生,高级工程师,研究方向为半导体材料与器件.

能够激发学习专业知识的兴趣,提高其未来投身国家半导体发展的热情.

### 2.3 教学目标

#### (1) 优化教学模式

传统光电子材料与器件课程采用教材为主多媒体为辅的教学模式,注重理论知识,但教学方式单一陈旧,同时也忽略了实验实训和科创实践.因此,需要创新优化基于“课程理论+仿真实践”的教学模式,通过采用探究式、讨论式以及软件模拟结合实践式教学,将课程理论和仿真设计相结合,引导学生养成学以致用的科创观念,在理论上搭配仿真设计培训,提升学生对发光二极管物理特性的理解.

#### (2) 拓宽科学思维

提升学生认知光电子器件物理本质的科学能力,结合软件仿真设计学习,包括仿真模型、步骤、优化措施等,对发光二极管进行器件模拟,并在此基础上提升对新型发光器件的科学探究,能基于理论提出器件设计和验证、汇总并分析仿真结果、使用科学证据和推力预判行业发展趋势.

#### (3) 增强责任担当

深入培养微电子专业学生的科学理论素养,通过对 MicroLED 器件的接触和学习,了解光电子器件领域的发展,引导学生树立责任意识和职业精神,明确自身的学习责任.同时,将课程改革作为深化创新创业教育的重要抓手,并推动与专业教育深度融合、与课程思政紧密结合,促进学生全面发展为创新创业型人才.

## 3 教学过程

设计以 MicroLED 器件的发展及迭代升级为主线,系统地将半导体器件科学前沿进展、模拟仿真工具以及科创实验相结合,整体融入到教学过程中,围绕“课程理论+仿真实践”模式对教学过程进行整体优化.

### 3.1 引入:发光二极管前沿技术介绍

全面介绍以 MicroLED 新型器件为代表的发光二极管演变发展历程,结合 PPT 课件展示 MicroLED 主流应用领域(图 1),使学生了解现阶段还存在诸多有待突破的技术瓶颈,如芯片工艺、巨量转移、晶粒检测修复等.重点介绍巨量转移技术,激发学生对新技术的探索兴趣,引导学生进行深入的

科学思考,如何解决“卡脖子”技术难题.

开阔学生科研视野,以高端“离子注入技术”为例,讲解 MicroLED 器件的制备工艺,即利用高能等离子束源对半导体材料目标区域进行轰击形成注入区域,注入深度的增大会提升离子束能量损耗,最终离子停留在材料中使光电特性发生改性效应.离子注入技术简单可靠、注入源选择广、深度分布均匀,相比于传统方法具备更好的工艺兼容性,有利于 MicroLED 像素的缩小及成品率的提升.因此,离子注入技术在制备 MicroLED 器件上具有无可比拟的优势.



图 1 MicroLED 显示器件主流应用领域

(图片来源: [https://www.slideshare.net/Yole\\_Developpement/microled-displays-2017-report-by-yole-developpement](https://www.slideshare.net/Yole_Developpement/microled-displays-2017-report-by-yole-developpement))

### 3.2 探索:模拟仿真设计软件讲解

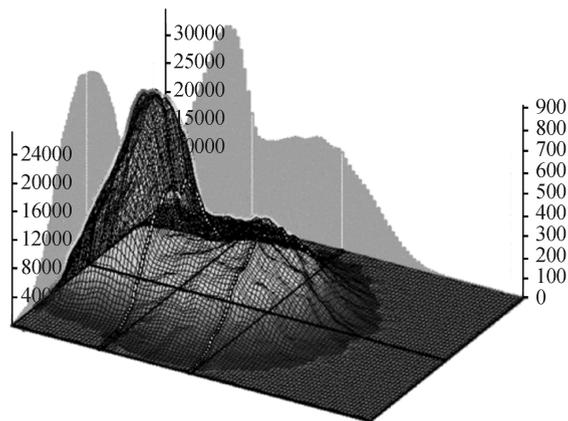
系统讲解 SRIM、Crosslight APSYS 软件在光电器件设计中的应用,重点介绍如何利用仿真软件开展 MicroLED 三维模拟研究,为学生科研实践提供具体的指导.扎实的软件模拟能力提供了强有力的辅助实验手段,也为实验方案设计提供了准确而系统的技术支持.

主要设计内容:

(1)SRIM 软件是模拟计算离子束在目标靶材中能量损失和分布特征,采用 Monte Carlo 方法模拟跟踪入射粒子的能量损失、分布位置以及次级粒子的综合参数,最后得到离子注入所需物理量的设计值.通过调节加速电压,模拟计算得到不同粒子以不同角度、能量入射到半导体中的分布情况,如图

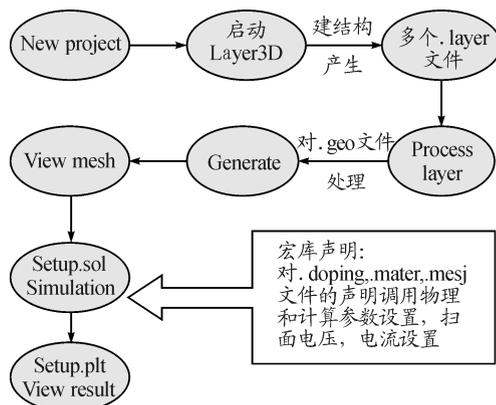
2(a) 所示。

(2) Crosslight APSYS 是三维光电子器件模拟软件,其内置数学模型可自洽解决泊松方程、载流子能量传输方程、电流连续性方程、热传输方程。



(a) SRIM软件离子注入模拟示意图

APSYS 完善的三维模拟能力,能够完成对复杂三维结构的 MicroLED 器件有源发光区电子输运以及 3D 光线的追踪模拟,优化器件结构设计。运算步骤如图 2(b) 所示。



(b) APSYS软件3D运算步骤图

注: (a)、(b) 分别来源于 <https://zhuanlan.zhihu.com/p/455843091> 和文献 [4]

图 2 模拟仿真设计软件的设计内容

### 3.3 实践:光电子器件科创实验开展

利用校级器件模拟仿真平台进行科创实践。首先,训练学生使用 SRIM 软件模拟在半导体中形成有效的离子注入,分析具有不同能量的离子的注入效果,通过仿真深入了解离子注入在光电子器件制备工艺中的实际应用。其次,进一步训练学生利用 Crosslight APSYS 软件进行光电器件结构设计,结合已有科研成果,引导学生基于离子注入设计新型 MicroLED 器件,使其从底层设计逻辑上了解器件制备流程,明确器件结构与性能之间的调节机制。

### 4 教学安排

综合考虑到微电子专业学生对发光二极管内容已经较为熟悉,具备了一定的理论基础,因此在制定教学安排时,力求保持与教学大纲一致,优化改进原有授课内容,进行整体的替换升级,具体的教学设计安排如表 1 所示。

表 1 半导体发光二极管教学设计

授课内容	教学目标	课时
发光二极管前沿新技术	MicroLED 发光器件的科技前沿发展	1
SRIM 软件	SRIM 软件介绍	1
Crosslight APSYS 软件	Crosslight APSYS 软件介绍	1
科创实践	课程思政,学以致用	2

### 5 结论

光电子材料与器件作为微电子专业的核心课程,具有专业性强、学科交叉多等特征,本文针对“发光二极管”内容的传统授课方式,提出了优化教学内容的创新和改革,基于光电子器件 MicroLED 技术的前沿发展,并引入“课程理论+仿真实践”融合的教学模式,结合多元化教学手段提升教学效率。通过优化教学计划,将理论结合科创实践,深入学生的科学理论素养,引导学生树立责任意识 and 职业精神。同时,利用课程改革深化创新创业教育,推动创新创业教育与专业教育深度融合、与课程思政紧密结合,促进学生发展成为德才兼备的创新创业型人才。

### 参考文献

- 1 YANG L, TAO J, WANG Q, et. al. Microfluidics - based quantum dot color conversion layers for full - color micro - LED display[J]. *Appl. Phys. Lett.*, 2021, 118:173501
- 2 LIANG K L, KUO W H, SHEN H T, et. al. Advances in color - converted micro - LED arrays[J]. *Jpn. J. Appl. Phys.*, 2021, 60:SA0802
- 3 韩涛, 曹仕秀, 杨鑫. 光电材料与器件. 北京: 科学出版社, 2017
- 4 董雅娟. GaN 基 LED 新型结构的外延生长和高效 LED 芯片的研制. 扬州: 扬州大学, 2012