

# 交叉学科中的光刻工艺实验教学探讨与实践

张正涛<sup>1</sup>, 陈朝会<sup>2</sup>, 何荣祥<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>江汉大学智能制造学院, 湖北 武汉

<sup>2</sup>江汉大学光电材料与技术学院, 湖北 武汉

收稿日期: 2022年9月22日; 录用日期: 2022年10月19日; 发布日期: 2022年10月26日

## 摘要

高校开展交叉学科理论与实验教学在高校人才培养体系中具有举足轻重的作用, 也是有效地帮助学生将理论知识转化为科研能力的重要环节。所以交叉学科类实验教学开展意义重大, 交叉学科中的“光刻工艺实验”是典型的交叉学科类实验, 在介绍光刻实验操作教学时, 提出了交叉学科类实验教学对于新工科背景下人才培养的重要性, 充分合理利用好高校科研资源进行新兴学科方向的实验教学, 是培养学生良好的科研素质、创新思维、以及综合学科能力的重要手段。

## 关键词

交叉学科, 光刻工艺, 新工科, 实验教学, 人才培养

# Discussion and Practice on Experimental Teaching of Lithography Technology in Interdiscipline

Zhengtao Zhang<sup>1</sup>, Chaohui Chen<sup>2</sup>, Rongxiang He<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Intelligent Manufacturing Institute, Jiangnan University, Wuhan Hubei

<sup>2</sup>Optoelectronic Materials and Technology College, Jiangnan University, Wuhan Hubei

Received: Sep. 22<sup>nd</sup> 2022; accepted: Oct. 19<sup>th</sup>, 2022; published: Oct. 26<sup>th</sup>, 2022

## Abstract

The teaching of interdisciplinary theory and experiment plays an important role in the talent cultivation system of colleges and universities, and is also an important link to help students effec-

\*通讯作者。

文章引用: 张正涛, 陈朝会, 何荣祥. 交叉学科中的光刻工艺实验教学探讨与实践[J]. 教育进展, 2022, 12(10): 4122-4127.

DOI: 10.12677/ae.2022.1210629

tively transform theoretical knowledge into scientific research ability. Therefore, it is of great significance to carry out the experimental teaching of interdisciplinary. The lithography technology experiment in interdisciplinary is a typical interdisciplinary experiment. In introducing the teaching of lithography experimental operation this paper presents a new interdisciplinary class experimental teaching for engineering under the background of the importance of the cultivation of talents, fully reasonable make good use of scientific research resources for emerging discipline direction of experimental teaching in colleges and universities. It is an important means to cultivate students' good scientific research quality, innovative thinking and comprehensive subject ability.

## Keywords

Interdisciplinary, Photolithography, New Engineering, Experimental Teaching, Talent Training

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

教育部关于“新工科”建设的理念对传统工科专业的建设与发展提出了新的要求，“新工科”建设注重学科之间的融合创新，学科内容具有反映时代特征、内涵新且丰富、多主体参与且涉及面广，从学科导向转向产业需求导向，满足产业需求，培养出能够引领未来发展的工程技术人才[1] [2]。实验教学在“新工科”人才培养中具有十分重要的意义，特别是在交叉学科领域。交叉学科是指不同学科之间相互交叉、融合、渗透而出现的新兴学科。交叉学科往往涉及多学科领域的交叉融合，这是交叉学科与传统学科领域的最大不同。交叉学科可以是自然科学之间的不同学科门类的交叉，也可以是自然科学与人文社会科学或其内部不同分支学科之间的交叉而形成的新兴学科。科学上的新理论、新发明的产生，新的工程技术的出现，经常是在学科的边缘或交叉点上。科学上的突破和创新，越来越依赖于交叉学科。生物化学、纳米科学和人工智能等，其实都是跨学科的研究领域。2021年1月，国务院学位委员会、教育部印发通知，新设置“交叉学科”门类，成为我国第14个学科门类[3]。

实验教学是高等院校教学的重要组成部分，是对课堂所学理论知识的直观认识。在培养学生综合素质和创新能力方面有着不可替代的重要作用[4]。缺少实践，单靠理论教学不能培养出开拓型高素质人才，特别是对于“交叉学科”这一新兴学科门类。目前，国内很多高校已经开设了交叉学科专业，但是交叉学科的实验教学特别是理工类交叉学科的实验教学开展非常欠缺，主要体现在实验门类少、硬件软件资源欠缺、经验缺乏等方面。交叉学科相关实验课程可以极大提高学生对于理论知识的理解以及对学科知识的应用，调动学生学习的积极性和主动性，非常适用于“新工科”背景下的实验室教学[5] [6]，也对“交叉学科”这一新兴的学科门类的发展起到了重要推动作用。

## 2. 光刻实验教学现状

江汉大学智能制造学院为推动新工科学科建设，适应新形势下的教学改革创新，设置了智能制造工程这一新工科专业，智能制造工程专业是一门跨学科、高度交叉融合的新兴学科专业。江汉大学交叉学科研究院是一个多学科交叉融合的科研平台，平台的研究领域包括了光电材料、纳米生物医学、人工智能等多学科领域，科研及教学设备完善，在人工智能、智能制造、微纳结构加工等学科领域，实验室拥有完整的微纳米结构制备、微流芯片加工、微器件制作的硬件条件和技术。本文主要探讨实验室光刻技

术在“新工科”背景下的实验教学开展研究[7][8]。

光刻是平面型晶体管和集成电路生产中的一个主要工艺，光刻也是集成电路芯片制造工艺中最重要的一环，光刻实验教学非常有利于学生更好的理解和掌握半导体工艺设计制造，对人工智能、智能制造以及微电子专业相关课程的实践掌握具有非常重要的意义[9][10]。

实验平台拥有激光直写光刻机和紫外曝光光刻机。激光直写光刻机如图 1(a)所示，可根据图形设计软件设计的图形，激光直写光刻后对基板后处理，图 1(b)为后处理工作台，制作最小分辨率 1  $\mu\text{m}$  的光刻掩膜。再利用紫外曝光光刻机进行大面积曝光，图 1(c)为紫外曝光光刻机，其原理是通过高压汞灯发射出的紫外光将掩膜版上的图形复制到样品上，形成光刻胶图形，其紫外光源波段为 365 nm~450 nm，可进行接近式或接触式曝光。紫外曝光光刻机是需要掩膜的，因此，可以利用激光直写光刻机制作好掩膜，在紫外曝光光刻机上面对硅片或者其他基底上的光刻胶进行光刻实验，制作的微结构在图 1(d)所示显微镜下观察。

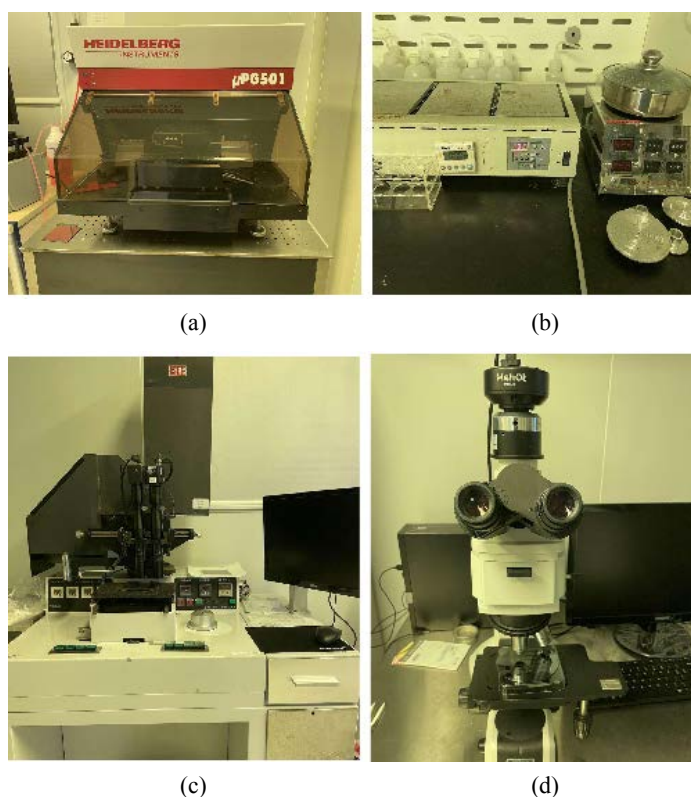


Figure 1. Lithography main experimental equipment  
图 1. 光刻主要实验设备

### 3. 光刻实验教学过程

光刻实验步骤主要包括掩模板制作、紫外曝光光刻、后处理等步骤，具体过程以微电极结构制作实验为例。

#### 3.1. 掩膜图形设计

该实验环节要求学生以小组为单位布置微电极结构图形设计任务，学生可以结合微电子电路课程，利用半导体版图绘制软件 L-EDIT，设计典型的微电极结构，如图 2 所示。学生可以通过实验设计熟悉相

关图形设计软件，用于微米级图形设计及图形转换，同时加深理解集成电路相关理论知识。

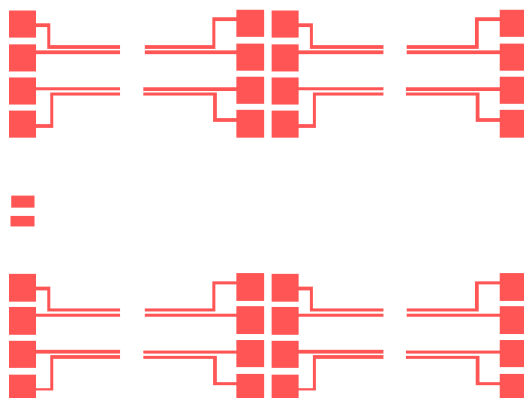


Figure 2. Microelectrode structure drawn with L-Edit  
图 2. L-EDIT 绘制微电极结构

### 3.2. 激光直写光刻

将设计的掩膜图形通过转档文件转换为 GSD 格式，根据正负光刻胶的性质选择曝光方式，最后转换为光刻机支持的曝光文件。根据基板上光刻胶的特征选择合适的曝光功率、曝光时间及曝光百分比，对基底聚焦后调节好参数。实验中选用 2.5 英寸匀胶铬板(长沙韶光 SG-Q2506)作为基板，该基板以石英片为基底，石英片上镀有 100 nm 厚铬膜，铬膜上涂有一层 AZ 光刻胶。激光直写光刻机型号为德国 Heidelberg  $\mu$ PG501，设备初始化后，开始寻边操作计算基片尺寸的大小，确定中心点位置及图形区域，开始光刻，光刻完场后取出被曝光基片。

### 3.3. 激光直写光刻

将光刻后的基板置于 AZ300MIF 显影液中显影，时刻观察基板表面显影程度直至显影完成，显影时间约为 1 min。显影完成后用去铬液(酸化硝酸铈铵)处理铬板，去除多余的光刻胶，最后用去离子水洗涤并用氮气吹干后得到掩模板如图 3。

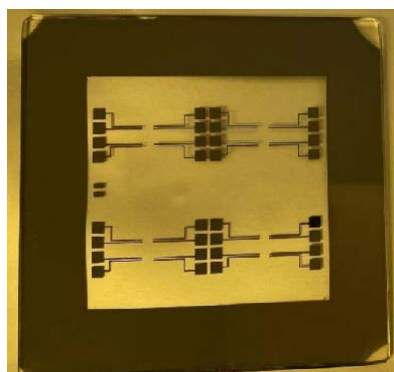


Figure 3. Mask  
图 3. 掩模板

### 3.4. 紫外曝光光刻

由于光刻胶为感光材料，所以实验过程在黄光洁净室内的百级洁净通风橱内进行。选择合适大小的

石英片或者单晶硅片作为基片，用滴管取适量光刻胶涂覆在基片表面，在匀胶机中设置好参数，利用离心力作用，使表面的光刻胶均匀平铺。教学实验中选用石 $45 \times 45$  mm 英片为基片，光刻胶型号为 AZ9260。实验中甩胶机设置前 10 s 转速为 750 r/min，后将转速提高至 3000 r/min，持续时间 30 s。甩胶完成后将基片放置在温度为 90℃ 加热板上，使光刻胶中的溶剂蒸发，光刻胶固化。将基片置于紫外曝光光刻机的曝光台上，并在基板正上方对准放置掩模板，设置好曝光时间后(本实验曝光时间 33 s)，开始操作光刻机曝光。

### 3.5. 后处理

将曝光后的基片从光刻机取出后，在显影液中显影，显影操作与制作掩模板时基本相同，显影后得到利用紫外曝光复制的微电极结构，如图 4 所示。

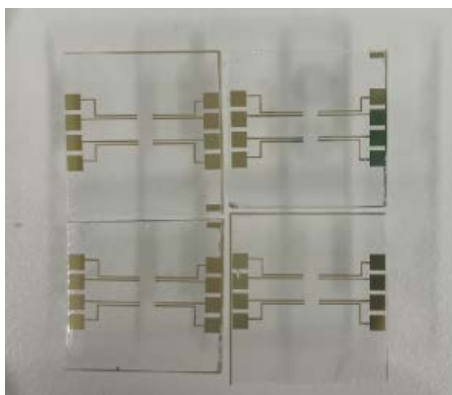


Figure 4. A lithography rendering  
图 4. 光刻效果图

## 4. 教学效果

光刻工艺实验课目前开展芯片设计、光刻机掩膜制作与处理、光刻胶性质与匀胶处理、掩膜对准光刻实验、显影与后处理实验等几个实验，每次实验课对应一个实验，作为交叉学科研究院研一学生《微流控技术概论》的学科实验。由于实验耗材成本原因，这几个实验教学中基底选用 ITO 导电玻璃代替单晶硅片。掩模版每组共用一个。由于光刻间场地与洁净度要求，实验学生 6 人一组。上述实验课完成后每组完成一整套光刻实验并提交实验成果如图 5 所示。

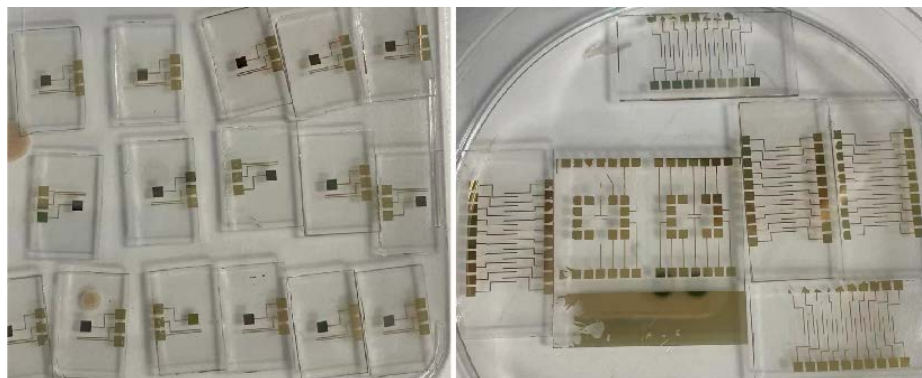


Figure 5. Experimental results of lithography by students  
图 5. 学生光刻实验成果图



光刻效果图光刻效果图光刻技术实验可以让学生接收到一些新的知识,例如,芯片制造中的正负光刻胶性质,影响光刻效果的一些重要参数,可以帮助学生学习掌握光刻工艺过程中的各种光刻条件控制,光刻机聚焦调节、软硬件基本操作等。实验中对于精细加工设备操作的高要求及严谨性有助于提高学生的实操能力,培养学生的思维严谨性。掩膜后处理环节的实验涉及学科交叉,显影、去镀铬层等均属于化学工艺实验操作,原理简单[11][12]。显影效果需要一定的实验观察和理解能力,相比于单纯的机械、电子、计算机等软硬件流程化操作实验,这种交叉领域实验对学生的动手能力有更高要求,实践操作后,加深书本知识的理解程度的同时,动手能力也能得到更大提升[13][14]。

光刻实验需要在千级或更高洁净度要求的洁净室内完成,但是洁净室内光刻实验只是众多学科交叉类实验中的一个步骤,所以,实验平台的教学实验还可以得到更大的延伸。例如,在光刻实验后我们需要利用高分辨显微镜观察表面微结构,也可以对表面微结构进行磁控溅射镀膜实验,然后通过扫描电镜观察结构表面形貌,测量结构尺寸,亦可设计制作微流芯片,研究微流芯片中的流体特性等。实验平台的实验设备可以设计多个交叉学科类的实验,使学生加深理解书本知识的同时,能了解到自身学科专业在化学、材料、生物、环境等其他学科方向上的应用,拓宽了学生的思维,起到很好的综合学科能力培养效果。

## 5. 结语

复杂的工艺生产往往需要多学科交叉,光刻实验是制作半导体器件中关键的一步,实验内容结合了半导体工艺、微电子及电化学等学科领域。如果制作一个完整的半导体器件,不仅需要完备的硬件设备,更需要多种学科融合的理论支撑,这也更体现了交叉学科在理论教育及实验开展上的必要性。尤其在新工科背景下,高校作为人才培养的重要基地,应该紧密关注学科前沿方向,针对性的调整学科方向,整合各种软件与硬件资源,创新性的培养更适应现代工业生产发展、促进科技进步的人才。

## 参考文献

- [1] Ma, J. (2021) Analysis of the Collaborative Education System of Local Universities under the Fundamentals of “New Engineering” Construction. *Journal of Contemporary Educational Research*, **5**, 81-85. <https://doi.org/10.26689/jcer.v5i5.2143>
- [2] Shen, J.L., Li, T.Y. and Wu, M.C. (2020) The New Engineering Education in China. *Procedia Computer Science*, **172**, 886-895. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.05.128>
- [3] 马廷奇. 交叉学科建设与拔尖创新人才培养[J]. 高等教育研究, 2011(6): 73-77.
- [4] 陈文倩, 宋军, 颜忠诚, 张志强, 蓝叶芬. 高校实验教学体系创新性构建研究[J]. 实验技术与管理, 2019, 36(3): 44-46+62.
- [5] 刘痒痒, 乌兰. “新工科”背景下对工科教育实践教学模式改革的研究[J]. 国际教育论坛, 2020, 2(5):16-17.
- [6] 叶中帅. 新工科教育理念下工程科技人才的培养研究——以中原工学院人工智能专业为例[J]. 青年时代, 2020(24): 170-171.
- [7] 杨晴, 王晓墨, 成晓北, 舒水明, 陈汉平. 新工科背景下的新能源科学与工程专业——哈佛大学工科教育在学科交叉方面的启示[J]. 高等工程教育研究, 2019(S1): 23-24+33.
- [8] 马艳, 黄宏佑, 冉瑞龙. 新工科背景下交叉学科实验教学体系的探索与实践[J]. 蚕学通讯, 2021, 41(2): 54-60.
- [9] 马健. 光刻实验教学模式的探讨[J]. 教育现代化, 2017, 4(25): 177-178.
- [10] 刘加峰, 胡存刚, 宗仁鹤. 光刻技术在微电子设备的应用及发展[J]. 光电子技术与信息, 2004, 17(1): 24-27.
- [11] 王奇, 刘勖, 汪家奇. 光刻系统实验教学平台搭建及课程开展[J]. 实验室科学, 2017(6): 10-12+15.
- [12] 李萍, 王春艳. 交叉学科实验中心实践教学平台创新设计[J]. 实验室研究与探索, 2019(2): 179-181+194.
- [13] 刘洋. 多学科交叉融合的模拟电路实验设计[J]. 吉林大学学报(信息科学版), 2020(4): 448-452.
- [14] 荣俊锋. 化工与环境交叉实验教学对交叉学科人才培养体系构建的影响[J]. 教育教学论坛, 2019(9): 225-226.