

# 半导体工艺实验室的建设与管理实践

黄展云, 陈 晖, 谢德英, 陈弟虎

(中山大学 电子与信息工程学院, 广东 广州 510275)

**摘 要:** 以建设一条“硅工艺教学生产线”为目标, 中山大学建立了半导体工艺实验室。详细介绍了实验室的建设现状, 包括分区设置和仪器配备, 结合微电子专业特点, 开设了有关课程。从三方面详细阐述了该实验室的建设和管理实践, 分别是: 建设规范化实验室、建设安全实验室和建设绿色实验室, 有利于实验教学工作顺利、有效和安全地进行。最后, 提出三个需要解决的问题, 包括师资队伍的建设、实验室建设工作计划的完善和开放实验室制度的建立。该实验室的建设, 完善了微电子专业的实验教学, 有利于提高学生的实践能力和创新能力。

**关键词:** 工艺实验室; 规范化; 安全管理; 绿色实验室

中图分类号: G482 文献标识码: A doi: 10.3969/j.issn.1672-4305.2016.06.060

## Construction and management practice of semiconductor technology laboratory

HUANG Zhan-yun, CHEN Hui, XIE De-ying, CHEN Di-hu

(School of Electronics and Information Technology, Sun Yat-Sen University, Guangzhou 510275, China)

**Abstract:** In order to build a “silicon production line”, we have established the semiconductor technology laboratory. This paper introduced the construction of the laboratory, including regional distribution and related instruments. According to the characteristics of microelectronics, we offer some new courses. And then, we described the construction plan and management practice from three aspects, consists of building standardized laboratory, building safe laboratory and building green laboratory. It is good for experiment teaching work smoothly, effectively and safely. Finally, three questions were put forward, including the construction of teachers, the perfection of the laboratory construction plan and the establishment of the open laboratory system. The laboratory improves the experimental teaching of microelectronics specialty in our college, and helps to improve the students' practical ability and innovative ability.

**Key words:** technology laboratory; standardization; security management; green laboratory

以集成电路为核心的微电子产业是信息化带动工业化、加快传统产业优化升级的关键技术和信息社会发展的基石,也是世界高科技竞争的制高点之一,在国民经济中占据着重要的地位<sup>[1]</sup>。其中集成电路产业是全球高新技术产业的前沿与核心,是最具活力和挑战性的战略产业。自2000年以来,在国家政策的大力支持下,我国集成电路产业得到了高速的发展<sup>[2]</sup>。伴随着产业迅速发展的步伐,为

了迎合产业的需求,需要大量的应用型专业人才<sup>[3-4]</sup>。

集成电路就是把一定数量的常用电子元件,如电阻、电容、晶体管等,以及这些元件之间的连线,通过半导体工艺集成在一起的具有特定功能的电路。这些电子元件的制作过程,需要昂贵的设备和苛刻的实验环境条件,运转和维护的费用很大,国内也仅有几所高校拥有可供教学的集成电路工艺线。对于半导体工艺的实验教学这一环节,很多时候都是依靠参观集成电路的生产车间,不能参与操作,这对于深化学生对集成电路有关理论课程,以及提高学生的动手能力、创新能力和团队合作精神上,是远远不

基金项目: 中山大学本科教学改革研究课题“集成电路制造工艺创新实验对学生科研能力的培养”(项目编号: 30000-16300008)。



够的<sup>[5]</sup>。中山大学作为“国家集成电路人才培养基地”之一,在微电子人才培养方面肩负着重要的使命<sup>[6]</sup>。因此,中山大学建设了半导体工艺实验室,在半导体工艺的实验教学方面进行实践。

整个半导体工艺实验过程,采取与企业实际生产相近的流水线,学生分组完成从硅片到半导体器件的一系列工艺,这有助于培养学生学以致用、团队协作和临场应对的能力,加深了对现有工艺的了解,使得学生毕业后可以尽快融入企业,满足企业对人才的需求。

## 1 半导体工艺实验室的建设现状

半导体工艺实验室是中山大学新建的一个专业实验室,隶属学校国家级物理实验教学中心,主要承担物理科学与工程技术学院微电子专业本科生的实验教学工作,同时也对外开放,为研究生提供科研平台。目标是建设一条“硅工艺教学生产线”,并在集成电路工艺与平板显示人才培养方面形成特色,达到微电子领域人才培养的国际化水平。

借鉴国外知名大学(Stanford University)半导体工艺实验教学的内容和流程,结合物理科学与工程技术学院的实际情况和条件,确定如何建立工艺实验室和配置仪器设备。

实验室分为五个区域:纯水空调机房区、黄光区、湿法刻蚀区、氧化扩散区和镀膜区。由于工艺实验主要涉及微米尺度的器件和结构的制作,对实验环境有特定的需要,具体包括两方面:一是需要洁净实验室,该实验室需要配备专门的隔离空间及回风过滤系统,因此必须对实验场地进行改造和装修;二是需要为设备配置气动、工艺气体、吹扫气体等用途的供气管道,保证教学实验设备的正常运行。

目前实验室已配备了实现半导体工艺实验的相关仪器,包括:曝光机、净化显影机、加热板、匀胶机、湿法刻蚀实验台、超声清洗机、三管扩散炉及其净化塔系统、电阻蒸发镀膜机;器件外观观察和特性测试仪器包括半导体参数测试仪、薄膜分析仪、金相显微镜等。

## 2 课程的开设和对外开放

根据物理科学与工程技术学院的专业特点和培养方案,已在实验室开设了“集成电路制造工艺实验”课程。该课程是后端专业课,对象是高年级的本科生,是在学习“半导体物理”、“现代半导体器件”和“集成电路和微加工”理论课程之后而开设的独立实验课,是理论教学的深化和补充,具有很强的

实践性。实验室的课程开设主要是针对本学院的微电子学专业的本科生,一次能容纳30~40名学生同时进行工艺、器件设计与制作的实验,满足约200人的专业实验课的需要。同时可为高年级本科生和科学研究团队在工艺、器件设计与制作方面开展创新实验和研究,提供支撑平台。

目前开设的实验项目包括工艺仿真实验、单项工艺实验、综合设计制作实验和创新实验。工艺仿真实验是利用TCAD(Technology Computer Aided Design,半导体工艺仿真以及器件仿真工具)软件进行半导体工艺流程的模拟,让学生对相关理论课程有了更深的理解,丰富了工艺实验教学内容;单项工艺实验囊括了硅工艺的六个典型实验,如硅片清洗、热氧化、光刻、湿法刻蚀、扩散、金属蒸镀;综合设计制作实验是单项实验的深化,包括半导体工艺流程综合实验和晶圆器件测试,让学生对半导体工艺的整个流程有了更全面、更深入的了解;创新实验是为本科生开放一些仪器设备,进行创新性实验和课题研究,提高学生的科研能力和创新能力。

## 3 实验室建设与管理实践

实验室的建设和管理模式直接关系到实验室的发展,以及实验教学工作能否顺利、有效和安全地进行。下面从三个方面进行了实验室的建设和管理实践,目标是把半导体工艺实验室建设成规范化、安全、绿色实验室。

### 3.1 建设规范化实验室

半导体工艺实验室作为比较特殊的实验室,实验室的运行必须在一个封闭、洁净无污染的环境中进行。实验仪器设备非常昂贵,实验过程中会产生有毒有害的废液、废水和废气,在半导体制造和器件测试的过程中,也存在着广泛的安全隐患,因此,对实验室必须进行规范化管理,建立一系列规范、科学的管理规章制度<sup>[7]</sup>。

首先建立健全实验室的安全建设与管理规章制度及仪器安全操作规程,把对学生、教师、实验室工作人员的要求,以书面的形式确定下来,规章制度及安全操作规程应挂贴在墙上,如目前已建立的规章制度有《洁净实验室守则》、《洁净室安全卫生工作管理条例》、《洁净室消防安全守则》、《进入离开洁净室注意事项》等。

再就是形成了实验室日常工作管理档案<sup>[8]</sup>,以文档的方式记录实验室日常的运行情况,包括教学实验安排、值班记录、耗材消耗和购买情况、仪器维修记录、安全和技能培训记录、开放实验安排等等,

这些将成为实验室的历史记录,保障实验室和教学活动的有序进行。

对于化学药品的管理,特别着眼于危险化学品待分类和安全存放。在洁净室内要用到大量的化学溶液,如酸类药品(浓硫酸、浓盐酸、浓硝酸、氢氟酸)、碱类药品(氢氧化钠、TMAH、氨水)和有机药品(显影液、清洗液、剥离液、丙酮、乙醇、异丙醇),这里有不少是属于危险化学品,制定化学药品使用安全守则,如《强酸使用注意事项》、《碱类有机类化学品注意事项》。实验室内不存放大量危险化学品,对于实验室已有的危险化学品要做到三个“必须”:必须加上标识,标识必须清晰,必须分类存放,比如易挥发的药品存放在有通风设备的房间,强氧化剂不能跟强还原剂存放在同一药品柜,易潮解的药品必须存放在防潮柜里等。存放危险化学药品的柜子必须带锁,并由专人保管。使用前必须填写《中山大学危险品日常使用登记表》,这样也方便统计使用危险品的数量。实验中使用化学试剂时,要先看清楚标签和注意事项,或者查阅相关的安全资料,查明是否对人体造成伤害,药品使用完毕要放回原位。对于废弃的化学药品,分类存放,加上清晰的标签及时送到学校设备处统一处理。

对于实验室的仪器设备必须重视日常使用、维护和管理。制定用户手册,规范仪器使用流程,仪器设备使用前,必须对学生进行培训,讲解仪器设备的原理、性能和操作方法,确保学生安全规范地使用仪器设备;制定《贵重仪器使用登记》手册,每次使用前都要对仪器的性能进行观察,方便判断仪器在何时何种情况下出现故障;实验结束后,要把仪器设备恢复到原始的状态,把有关的实验用品整理好才能离开,如有仪器设备损坏,须及时报告教师。

### 3.2 建设安全实验室

半导体工艺实验室放置着贵重的工艺制造和测试仪器设备,一旦发生实验室安全事故,将造成人员伤亡、仪器设备损毁、教学科研停滞,使师生员工的家庭以及社会、国家蒙受重大的损失,甚至还可能连带发生其他刑事或民事的官司或赔偿。因此强化实验室安全管理,才能保障教学科研的正常运行,确保实验室人员和财产的安全。

建立实验室安保系统,如实验室处于24小时安保监控全覆盖状态;安装烟感系统;配备消防设施等。建立实验安全工作小组,统筹协调安排实验室安全建设、运行和管理,设立实验室的安全责任人和安全管理员,负责本实验室的日常安全管理工作,检查监督实验室技术规范 and 操作规程的执行情

况,定期组织开会<sup>[9]</sup>。制定安全事故应急处置预案并张贴在墙上,实验室危险部位设置明显的危险标识或安全警示标志。定期对安全设施设备进行检查、维护和更新,确保完好有效,填写安全日志或记录,如制定《半导体工艺实验室安全检查表》,定期对实验室进行安全检查,发现问题上报学院和整改。

对于进入实验室工作和实验的师生,必须先经过安全教育和安全操作规程培训,本科生进入实验室应签订实验室安全责任书。开展各种形式的安全教育和宣传活动,增强师生的实验室安全意识和自我保护能力,营造良好的安全文化氛围。

使用化学药品前,要先看清楚标签和注意事项,或者查阅相关的安全资料,查明是否对人体造成伤害,还要学习一些化学药品伤害的急救方法。使用时,必须佩戴耐酸碱手套,对于强酸强碱,须要穿上防酸围裙,并佩戴防护面罩。

使用仪器前要先了解仪器的性能、配备和正确操作方法,零件及附件严禁拆卸,仪器的参数不能私自调整。使用过程中,必须严格执行安全操作规程,按实验操作规范进行实验操作。对于一些创新和危险实验项目需要进行必要和充分的风险评估。如曝光机使用时应戴好防护眼镜,以免紫外光灼伤眼睛;氧化扩散炉运行时,炉内温度可以达到1000℃,要注意热防护,放置和取拿样品时必须佩戴绝热手套等等。

### 3.3 建设绿色实验室

科技进步和社会发展不能以污染环境、破坏生态平衡为代价,科学研究和实验教学中也必须贯彻建设绿色实验室的思想<sup>[10]</sup>。首先要改变传统的思维方式,要在实验室的整体运作过程中体现出绿色实验思想。“绿色实验”是指实验的微型化,节约化学试剂,在源头上减轻污染;试剂的无毒无公害化;合理设计实验方案,采取绿色化学实验新技术、新方法,减少污染物排放;另一方面从化学废液、化学药品回收处理措施入手,分类回收、集中处理,降低处理难度,防止污染扩散,认真执行有关有毒、有害化学废液的管理,保障社会安全<sup>[11]</sup>。体现绿色实验思想要贯穿整个实验过程,包括实验准备、实验过程和实验后,也包括节省资源、减少排放和废物处理。

实验前,仪器设备出现故障,可以带来水电和化学药品的浪费,因此要对仪器设备进行定期检查,及时排除故障。若有条件,可以改善实验环境,升级仪器<sup>[12]</sup>。如使用显影机代替手动显影,既可以提高实



验效率,又可以节省溶液。少用对环境有污染的化学药品,购买有绿色标记的化学药品。

在物理化学实验过程中,不可避免要产生一些有毒、有害的废弃物,如不适当处理就排放,明显违反绿色实验室的原则。在实验过程中,使用化学药品要节约,采用新方法、新技术,合理设计实验方案,减少污染物排放。在扩散实验中,需要选择扩散源,相对于液态或气态的扩散源,固态扩散源毒性较小,使用较安全,因此选择固态扩散源。在扩散过程中还是会产生有毒的气体,如三氧化二硼、三氧化二磷蒸汽,建立过滤塔系统,减少有毒蒸汽排放到空气中。

实验后,组织学生对一些废弃物进行集中放置,统一回收处理,既保护了环境,也增强了学生的绿色环保意识。对于实验室用到的氢氟酸溶液使用完毕后,应把残液倒入废弃的氢氟酸桶内,严禁直接倒入下水管道;酸碱性废液必须稀释后方可倒入酸碱腐蚀槽内(除氢氟酸废液外),不可任意倾倒,更不可与有机溶液混合。浓硫酸废液需稀释后并等溶液完全冷却后方可倒入酸碱腐蚀槽内。

### 3.4 需要解决的问题

(1) 加强师资队伍建设。实验室人员是建设、使用和管理实验室的基本力量,实验室人员的政治水平、业务素质及管理能力的差异,直接影响着实验室教学、科研和设备管理工作的质量<sup>[13]</sup>。因此,一方面要提高实验室管理水平,另一方面要提高学科专业技术能力。如组织实验室人员参加有关实验室管理的研讨会,通过交流,学习高效的实验室管理方法;参观其他高校的实验室,了解实验室环境和仪器设备的合理配置;组织实验室人员参加培训,提高专业技能。

(2) 制定实验室建设工作计划,保障实验室的安全工作环境。包括建立健全实验教学管理制度、实验室规章制度的规范化建设、实验室安全和绿色管理等,从而确保实验教学活动有序进行,充分发挥实验仪器的教学效益,提高实验教学质量。

(3) 建立和完善开放实验室制度。学生完成基础教学实验后,可以自行进行设计性、综合性、研究性实验,发掘实验室现有仪器设备与相关科研项目的联系。如结合光电科学和材料学等研究领域,开设创新实验。从而达到培养学生科研能力、分析问题和解决问题的能力、团队合作精神,提高学生的创新能力。然而开放式教学也给实验室管理和教师工作带来了一定的困难<sup>[14]</sup>,如实验室的开放时间安排、药品和仪器的管理、参与人员的工作安排等,可以参考国外开放实验室的管理模式<sup>[15]</sup>,建立一系列

的开放实验室制度,才能保障开放实验顺利进行。

## 4 结语

实验室是实践实验教学的基地,实验室的建设和管理工作千丝万缕,任务也十分繁重。随着中山大学微电子专业教学改革开展和逐步深入,建成了半导体工艺实验室,开始了管理实践。需要吸取国内外实验室管理的宝贵经验,设定目标,不断加强实验室建设和提升实验室管理水平,以与时俱进的观念来实现实验室建设和管理的新突破,更好地为实验教学服务,培养出适应行业发展趋势的创新人才。

### 参考文献(References):

- [1] 陈伟元,吴清鑫,吴尘,等.高职微电子技术专业实验室的构建[J].实验室研究与探索,2012,31(7):227-229.
- [2] 廖荣,刘玉荣.微电子工艺实习教学改革探索[J].实验室研究与探索,2010,29(8):274-276.
- [3] 杨虹.面向21世纪的微电子技术人才的培养[J].重庆邮电大学学报,2003(增刊):51-52.
- [4] 易红.高校实验教学与创新人才培养[J].实验室研究与探索,2008,27(2):1-4.
- [5] 梁齐,杨明武.微电子工艺实验教学模式探索[J].实验室科学,2008(1):41-42.
- [6] 谢德英,陈弟虎,邓少芝,等.创新人才培养实践教学平台的构建[J].实验室研究与探索,2011,30(3):222-224.
- [7] 李邦军.浅谈高校实验室规范化管理的建设[J].光谱实验室,2010,27(4):1333-1335.
- [8] 徐金荣,徐嘉祥,杨玲,等.实验室规范化管理的思考与实践[J].实验室研究与探索,2012,31(5):162-164.
- [9] 温光浩,周勤,程蕾.强化实验室安全管理,提升实验室管理水平[J].实验技术与管理,2009,26(4):153-157.
- [10] 余训爽.浅谈高校绿色化学实验室的建设[J].实验科学与技术,2010,8(3):162-165.
- [11] 程芳婷,杨伟民,汪红梅.加强规范化管理,创建绿色实验室[J].实验科学与技术,2008,6(4):120-122.
- [12] 洪丽雅.高校绿色化学实验室的建设[J].实验室研究与探索,2008,27(7):161-164.
- [13] 苏广和,焦吉祥,姚恺华.院校实验室规范化管理的探究[J].实验室研究与探索,2012,31(5):177-179.
- [14] 陈代梅,张泽朋,柳冈.我校材料化学专业实验室建设实践与探索[C]//北京高教学会实验室工作研究会2009年学术研讨会论文集.北京:北京高教学会实验室工作研究会,2009:22-25.
- [15] 王云平.国外大学实验室管理及其对国内开放实验室的启示[J].实验技术与管理,2010,27(3):149-151.

收稿日期:2015-05-27

修改日期:2016-02-28

作者简介:黄展云(1983-),女,广东广州人,博士,工程师,主要研究方向为半导体材料和半导体工艺实验教学。