

# 《集成电路工艺》课程教学大纲（三号黑体）

## 一、课程基本信息（四号黑体）

英文名称	集成电路工艺	课程代码	PHYS2047
课程性质	专业教学课程	授课对象	物理学等专业
学 分	2	学 时	36
主讲教师	辛煜	修订日期	2023. 9. 4
指定教材	施敏,《半导体器件：物理与工艺》, 苏州大学出版社, 2002 年		

## 二、课程目标（四号黑体）

### （一）总体目标：（小四号黑体）

（以三维目标即知识与技能、过程与方法、情感态度与价值观的形式反映核心素养观念和內容，其中核心素养不仅关注学生“当下发展”，更关注学生“未来发展”所需要的正确价值观念、必备品格和关键能力，即把知识、技能和过程、方法提炼为能力，把情感态度、价值观提炼为品格）（五号宋体）

半导体工艺是了解半导体器件加工、制作、以及功能实现的一门实用性很强的课程，通过本课程的学习，重点使学生了解主要半导体晶体的生长与外延技术，掌握重要半导体器件单元如 MOSFET 等中涉及的四種薄膜沉积方法与制作过程，弄清半导体器件几何图形的生成方法，认识实现半导体导电类型的掺杂机制等。学习过程中，将穿插学习半导体器件（如 MOSFET）的制作过程以及深亚微米技术的最新进展等。

### （二）课程目标：（小四号黑体）

（课程目标规定某一阶段的学生通过课程学习以后，在发展德、智、体、美、劳等方面期望实现的程度，它是确定课程内容、教学目标和教学方法的基础。）（五号宋体）

#### 课程目标 1:

#### 第一章 晶体生长与外延

##### 1、教学内容

使用柴可拉斯基法或提拉法，从熔融的硅液体中生长单晶硅，使用悬浮区熔工艺进一步提纯单晶硅；布里吉曼法生长复合半导体 GaAs 晶体，了解硅材料的相关特性，半导体硅以及 GaAs 的一些外延生长技术，以及涉及到外延层的构造和缺陷等。另外，还将通过 PPT 展

示介绍提拉法生长其它单晶材料的科研情况等。

## 2、教学要点

本章的教学重点在于半导体硅和 GaAs 晶体各种不同的生长方法，突出讲授提拉法生长单晶硅和 GaAs 单晶体之间的重要差别，重点理解拉晶过程中杂质均匀掺杂的分布特性等；在理解晶体缺陷时着重分析各类缺陷的存在形式以及成因；半导体外延生长方法，如硅的气相外延（化学气相淀积），金属有机气相淀积和分子束外延生长 GaAs 晶体等，进而理解晶格的匹配生长和应变层外延等重要概念。

### 课程目标 2:

#### 1. 教学内容

细致讲授 MOSFET 结构中涉及的四大类薄膜的淀积方法以及 MOSFET 制作工艺。以热氧化过程生长二氧化硅薄膜；淀积低介电常数和高介电常数的薄膜，并且介绍多晶硅薄膜；制作铝和铜导线的淀积技术，并介绍相关的全面性平坦化工艺；最后讲授以上的薄膜特性与集成电路工艺的相容性情况。补充 MOSFET 工艺制作流程。

#### 2. 教学要点

本章的教学重点在于首先要了解 MOSFET 内部完整的框架结构，了解要讲授的四大类薄膜在 MOSFET 中的具体定位及其作用。理解湿法氧化和干法氧化方法生长二氧化硅薄膜的形成机理以及在 MOSFET 中的具体应用；了解常规介质薄膜淀积的基本方法及其相关特性，掌握高低介电常数材料的具体应用实例；了解多晶硅薄膜的制备工艺以及工艺参量对多晶硅薄膜的生长速率、薄层电阻等的影响机制；了解金属薄膜的常规工艺方法以及相关金属薄膜在 MOSFET 中的作用；理解铜镀膜工艺中的化学机械抛光原理等。

### 课程目标 3:

## 第三章 图形曝光与刻蚀

#### 1. 教学内容

讲授洁净室对图形曝光的重要性；光学图形曝光技术与其分辨率的改善技巧和其它图形曝光技术的优缺点；半导体、绝缘体和金属膜的湿法化学腐蚀机制；高精度图形转移的等离子体辅助刻蚀方法（干法刻蚀）；利用各向异性刻蚀、牺牲层刻蚀与 LIGA（图形曝光光刻技术、电镀和铸模）工艺来制作微机电系统等。补充低温等离子体刻蚀技术与应用。

#### 2. 教学要点

图形转移是半导体工艺技术中的重要一环。本章在重点介绍图形曝光和新一代图形曝光

技术的基础上，还着重介绍湿法刻蚀尤其是干法刻蚀（即等离子体刻蚀）超高线宽尺度器件的原理与方法。

#### 课程目标 4:

### 第四章 杂质扩散

#### 1. 教学内容

杂质掺杂是将数量可控的杂质掺入到半导体中。本章的主要讲授内容：在高温与高浓度梯度情况下杂质原子在晶格中的运动；在恒定扩散系数及与浓度有关的扩散系数下的杂质分布；横向扩散与杂质再分布对器件的影响；离子注入工艺及优点；晶格中的离子分布如何消除因离子注入而造成的晶格损伤；与离子注入相关的工艺如掩蔽、高能量离子注入及大电流离子注入等。

#### 2. 教学要点

首先让学生了解扩散和离子注入是半导体掺杂的两种方式，也是制造分立器件和集成电路的彼此互补工艺。由杂质的费克扩散方程推导在恒定表面浓度和恒定杂质总量下杂质的扩散行为，由此分析实际硅半导体扩散过程中的一些特例以及相关扩散工艺；理解离子注入半导体中的两种阻止行为，定量分析高能离子在半导体硅中引起的注入损伤情况，及其在器件尺寸进入深亚微米时常规的离子注入措施等。

#### 课程目标 5:

### 第五章 集成器件

#### 1. 教学内容：

集成电路电阻、电容和电感的涉及与制作；标准双极型晶体管及先进双极型器件的工艺顺序；MOSFET 工艺顺序，其中将特别强调 CMOS 及存储器器件的工艺顺序；高效的 MESFET 和单片微波集成器件的工艺顺序；未来微电子器件所面临的主要挑战，包含超浅结、超薄氧化层、新的金属连线材料、低功率消耗及隔离问题等。

#### 2. 教学要点：

通过前面四章内容的讲授，将重点放在 MOSFET、CMOSFET 以及 MESFET 等器件的工艺顺序方面的讲解。最后概括纳电子器件所面临的挑战。

（要求参照《普通高等学校本科专业类教学质量国家标准》，对应各类专业认证标准，注意对毕业要求支撑程度强弱的描述，与“课程目标对毕业要求的支撑关系表一致）（五号宋体）

#### （三）课程目标与毕业要求、课程内容的对应关系（小四号黑体）

表 1：课程目标与课程内容、毕业要求的对应关系表（五号宋体）

课程目标	课程子目标	对应课程内容	对应毕业要求
课程目标 1	1.1	从融体中生长单晶；硅的悬浮区熔工艺；	3,6
	1.2	GaAs 晶体的生长技术；材料特性；	3,6
	1.3	外延；外延层的构造与缺陷；总结	3,6
课程目标 2	2.1	热氧化；	3,6
	2.2	介质淀积；	3,6
	2.3	多晶硅淀积；	3,6
	2.4	原子的激发与电离	3,6
课程目标 3	3.1	光学图形曝光；	3,6
	3.2	新一代图形曝光技术；	3,6
	3.3	湿法化学腐蚀；	3,6
	3.4	干法刻蚀；	3,6
	3.5	微机电系统；总结	3,6
课程目标 4	4.1	基本扩散工艺；	3,6
	4.2	非本征扩散，扩散相关工艺；	3,6
	4.3	注入离子的分布；注入损伤与退火；	3,6
	4.4	注入相关工艺；总结	3,6
课程目标 5	5.1	无源器件；	3,6
	5.2	双极型晶体管技术；	3,6
	5.3	MOSFET 技术；MESFET 技术；	3,6

	5.4	微电子器件的挑战；总结	3,6
--	-----	-------------	-----

（大类基础课程、专业教学课程及开放选修课程按照本科教学手册中各专业拟定的毕业要求填写“对应毕业要求”栏。通识教育课程含通识选修课程、新生研讨课程及公共基础课程，面向专业为工科、师范、医学等有专业认证标准的专业，按照专业认证通用标准填写“对应毕业要求”栏；面向其他尚未有专业认证标准的专业，按照本科教学手册中各专业拟定的毕业要求填写“对应毕业要求”栏。）

### 三、教学内容（四号黑体）

（具体描述各章节教学目标、教学内容等。实验课程可按实验模块描述）

#### 课程目标 1:

#### 第一章 晶体生长与外延

##### 1、教学内容

使用柴可拉斯基法或提拉法，从熔融的硅液体中生长单晶硅，使用悬浮区熔工艺进一步提纯单晶硅；布里吉曼法生长复合半导体 GaAs 晶体，了解硅材料的相关特性，半导体硅以及 GaAs 的一些外延生长技术，以及涉及到外延层的构造和缺陷等。另外，还将通过 PPT 展示介绍提拉法生长其它单晶材料的科研情况等。

##### 2、教学要点

本章的教学重点在于半导体硅和 GaAs 晶体各种不同的生长方法，突出讲授提拉法生长单晶硅和 GaAs 单晶体之间的重要差别，重点理解拉晶过程中杂质均匀掺杂的分布特性等；在理解晶体缺陷时着重分析各类缺陷的存在形式以及成因；半导体外延生长方法，如硅的气相外延（化学气相淀积），金属有机气相淀积和分子束外延生长 GaAs 晶体等，进而理解晶格的匹配生长和形变层外延等重要概念。

#### 课程目标 2:

#### 第二章 薄膜淀积

##### 1. 教学内容

细致讲授 MOSFET 结构中涉及的四大类薄膜的淀积方法以及 MOSFET 制作工艺。以热氧化过程生长二氧化硅薄膜；淀积低介电常数和高介电常数的薄膜，并且介绍多晶硅薄膜；制作铝和铜导线的淀积技术，并介绍相关的全面性平坦化工艺；最后讲授以上的薄膜特性与集成电路工艺的相容性情况。补充 MOSFET 工艺制作流程。

## 2. 教学要点

本章的教学重点在于首先要了解 MOSFET 内部完整的框架结构，了解要讲授的四大类薄膜在 MOSFET 中的具体定位及其作用。理解湿法氧化和干法氧化方法生长二氧化硅薄膜的形成机理以及在 MOSFET 中的具体应用；了解常规介质薄膜淀积的基本方法及其相关性，掌握高低介电常数材料的具体应用实例；了解多晶硅薄膜的制备工艺以及工艺参量对多晶硅薄膜的生长速率、薄层电阻等的影响机制；了解金属薄膜的常规工艺方法以及相关金属薄膜在 MOSFET 中的作用；理解铜镀膜工艺中的化学机械抛光原理等。

### 课程目标 3:

## 第三章 图形曝光与刻蚀

### 1. 教学内容

讲授洁净室对图形曝光的重要性；光学图形曝光技术与其分辨率的改善技巧和其它图形曝光技术的优缺点；半导体、绝缘体和金属膜的湿法化学腐蚀机制；高精度图形转移的等离子体辅助刻蚀方法（干法刻蚀）；利用各向异性刻蚀、牺牲层刻蚀与 LIGA（图形曝光光刻技术、电镀和铸模）工艺来制作微机电系统等。补充低温等离子体刻蚀技术与应用。

### 2. 教学要点

图形转移是半导体工艺技术中的重要一环。本章在重点介绍图形曝光和新一代图形曝光技术的基础上，还着重介绍湿法刻蚀尤其是干法刻蚀（即等离子体刻蚀）超高线宽尺度器件的原理与方法。

### 课程目标 4:

## 第四章 杂质扩散

### 1. 教学内容

杂质掺杂是将数量可控的杂质掺入到半导体中。本章的主要讲授内容：在高温与高浓度梯度情况下杂质原子在晶格中的运动；在恒定扩散系数及与浓度有关的扩散系数下的杂质分布；横向扩散与杂质再分布对器件的影响；离子注入工艺及优点；晶格中的离子分布如何消除因离子注入而造成的晶格损伤；与离子注入相关的工艺如掩蔽、高能量离子注入及大电流离子注入等。

### 2. 教学要点

首先让学生了解扩散和离子注入是半导体掺杂的两种方式，也是制造分立器件和集成电路的彼此互补工艺。由杂质的费克扩散方程推导在恒定表面浓度和恒定杂质总量下杂质的扩散行为，由此分析实际硅半导体扩散过程中的一些特例以及相关扩散工艺；理解离子注入

半导体中的两种阻止行为，定量分析高能离子在半导体硅中引起的注入损伤情况，及其在器件尺寸进入深亚微米时常规的离子注入措施等。

#### 课程目标 5:

### 第五章 集成器件

#### 1. 教学内容：

集成电路电阻、电容和电感的涉及与制作；标准双极型晶体管及先进双极型器件的工艺顺序；MOSFET 工艺顺序，其中将特别强调 CMOS 及存储器器件的工艺顺序；高效的 MESFET 和单片微波集成器件的工艺顺序；未来微电子器件所面临的主要挑战，包含超浅结、超薄氧化层、新的金属连线材料、低功率消耗及隔离问题等。

#### 2. 教学要点：

通过前面四章内容的讲授，将重点放在 MOSFET、CMOSFET 以及 MESFET 等器件的工艺顺序方面的讲解。最后概括纳电子器件所面临的挑战。

## 四、学时分配（四号黑体）

表 2：各章节的具体内容和学时分配表（五号宋体）

章节	章节内容	学时分配
第一章 晶体生长与外延	从融体中生长单晶；硅的悬浮区熔工艺；GaAs 晶体的生长技术；材料特性；外延；外延层的构造与缺陷；总结	8
第二章 薄膜淀积	热氧化；介质淀积；多晶硅淀积；金属化；总结	8
第三章 图形曝光与刻蚀	光学图形曝光；新一代图形曝光技术；湿法化学腐蚀；干法刻蚀；微机电系统；总结	8
第四章 杂质掺杂	基本扩散工艺；非本征扩散，扩散相关工艺；注入离子的分布；注入损伤与退火；注入相关工艺；总结	8
第五章 集成器件	无源器件；双极型晶体管技术；MOSFET 技术；MESFET 技术；微电子器件的挑战；总结	4

## 五、教学进度（四号黑体）

表 3：教学进度表（五号宋体）

周次	日期	章节名称	内容提要	授课时数	作业及要求	备注
1		1.1	半导体概述 从融体中生长单晶	2	完成章节后对应作业	
2		1.3	硅的悬浮区熔工艺； GaAs 晶体的生长技术	2	完成章节后对应作业	
3		1.4	材料特性； 外延；外延层的构造与缺陷	2	完成章节后对应作业	
4			作业讲解	2	作业完善+提问	
5		2.1	热氧化；	2	完成章节后对应作业	
6		2.2	介质淀积	2	完成各章节对应作业	
7		2.3	多晶硅淀积；金属	2	完成各章节对应作业	
8			作业讲解	2	作业完善+提问	
9		3.1	光学图形曝光	2	完成各章节对应作业	
10		3.2	新一代图形曝光技术	2	完成各章节对应作业	

11		3.3	湿法化学腐蚀；干法刻蚀	2	完成各章节对应作业	
12		3.4	作业讲解	2	作业完善+提问	
13		4.1	基本扩散工艺	2	完成章节后对应作业	
14		4.2	非本征扩散，扩散相关工艺	2	完成章节后对应作业	
15		4.3	注入离子的分布	2	完成章节后对应作业	
16		4.4	注入损伤与退火；注入相关工艺	2	完成章节后对应作业	
17			无源器件；双极型晶体管技术	2	完成章节后对应作业	
18			OSFET 技术；MESFET 技术；微电子器件的挑战；复习	2	完成章节后对应作业	

## 六、教材及参考书目（四号黑体）

（电子学术资源、纸质学术资源等，按规范方式列举）（五号宋体）

1. 施敏 半导体器件 物理与工艺 苏州大学出版社 2002
2. 王蔚 田丽 任明远 集成电路制造技术 原理与工艺 电子工业出版社 2010

## 七、教学方法（四号黑体）

（讲授法、讨论法、案例教学法等，按规范方式列举，并进行简要说明）（五号宋体）

课堂讲授，注重师生互动，积极考勤，作业考查等

## 八、考核方式及评定方法（四号黑体）

### （一）课程考核与课程目标的对应关系（小四号黑体）

表 4：课程考核与课程目标的对应关系表（五号宋体）

课程目标	考核要点	考核方式
课程目标 1		
课程目标 2		
课程目标 3		
……（五号宋体）		

### （二）评定方法（小四号黑体）

#### 1. 评定方法（五号宋体）

（例：平时成绩：10%，期中考试：30%，期末考试 60%，按课程考核实际情况描述）（五号宋体）

#### 2. 课程目标的考核占比与达成度分析（五号宋体）

表 5：课程目标的考核占比与达成度分析表（五号宋体）

考核占比 课程目标	平时	期中	期末	总评达成度
课程目标 1				（例：课程目标 1 达成度 = $0.3 \times$ 平时目标 1 成绩 + $0.2 \times$ 期中目标 1 成绩 + $0.5 \times$ 期末目标 1 成绩）/ 目标 1 总分。按课程考核实 际情况描述）
课程目标 2				
课程目标 3				
……（五号宋体）				

### （三）评分标准（小四号黑体）

课程 目标	评分标准				
	90-100	80-89	70-79	60-69	<60
	优	良	中	合格	不合格
	A	B	C	D	F
课程 目标 1					
课程 目标 2					
课程 目标 3					
..... (五号 宋体)					