

第 1 章 半导体芯片制造工国家职业标准

1.1 职业概况

1.1.1 职业名称

半导体芯片制造工。

1.1.2 职业定义

使用设备制造半导体分立元器件、集成电路芯片的人员。本职业含下列工种：外延工、氧化扩散工、离子注入工、化学汽相淀积工、光刻工、台面成型工、半导体器件及集成电路电镀工。

1.1.3 职业等级

本职业共分四个等级，分别为：中级（国家职业资格四级）、高级（国家职业资格三级）、技师（国家职业资格二级）、高级技师（国家职业资格一级）。

1.1.4 职业环境

室内、常温。

1.1.5 职业能力特征

	非 常 重 要	重 要	一 般
一般智力			
表达能力			
色 觉			
听 觉			
手指灵活性			
手臂灵活性			
动作协调性			
形体知觉能力			

1.1.6 基本文化程度

高中毕业（或同等学历）。

1.1.7 培训要求

1. 培训期限

全日制职业学校教育，根据其培养目标和教学计划确定。晋级培训期间：中级不少于

260 标准学时；高级不少于 180 标准学时；技师不少于 150 标准学时；高级技师不少于 150 标准学时。

2. 培训教师

培训中、高级的教师应具有本职业技师以上职业资格证书或相关专业中、高级专业技术职业任职资格；培训技师的教师应具有本职业高级技师职业资格证书或相关专业的高级专业技术职务任职资格；培训高级技师的教师应具有本职业高级技师职业资格证书 3 年以上或相关高级专业技术职务任职资格。

3. 培训场地要求

理论培训场地应具有可容纳 20 名以上学员的标准教室，并配备示教设备。实际操作培训场所应是具备半导体分立元器件、集成电路芯片制造设备和测试仪器的实践场所。

1.1.8 鉴定要求

1. 适用对象

从事或准备从事本职业的人员。

2. 申报条件

——中级（具备以下条件之一者）

（1）连续从事本职业工作 5 年以上，经本职业中级正规培训达规定标准学时数，并取得毕（结）业证书。

（2）连续从事本职业工作 7 年以上。

（3）取得经劳动保障行政部门审核认定的、以中级技能为培养目标的中等以上职业学校本职业（专业）毕业证书。

——高级（具备以下条件之一者）

（1）取得本职业中级职业资格证书后，连续从事本职业工作 4 年以上，经本职业高级正规培训达规定标准学时数，并取得毕（结）业证书。

（2）取得本职业中级职业资格证书后，连续从事本职业工作 7 年以上。

取得经劳动保障行政部门审核认定的、以高级技能为培养目标的高等职业学校本职业（专业）毕业证书。

（3）取得本职业中级职业资格证书的大专以上专业或相关专业毕业生，并连续从事本职业工作 2 年以上。

——技师（具备以下条件之一者）

（1）取得本职业高级职业资格证书后，连续从事本职业工作 5 年以上，经本职业技师正规培训达规定标准学时数，并取得毕（结）业证书。

（2）取得本职业高级职业资格证书后，连续从事本工作 8 年以上。

——高级技师（具备以下条件之一者）

（1）取得本职业高级职业资格证书后，连续从事本职业工作 3 年以上，经本职业高级技师正规培训达规定标准学时数，并取得毕（结）业证书。

（2）取得本职业中级职业资格证书后，连续从事本职业工作 5 年以上。

3. 鉴定方式

分为理论知识考试和技能操作考核。理论知识考试采用闭卷笔试方式，技能操作考核采用现场实际操作方式。理论知识考试和技能操作考核均实行百分制，成绩皆达 60 分以上者为合格。技师和高级技师还须进行综合评审。

4. 考评人员与考生配比

理论知识考试考评人员与考生配比为 1:15，每个标准教室不少于 2 名考评人员；技能操作考评员与考生配比为 1:5，且不少于 3 名考评员。综合评审委员会不少于 5 人。

5. 鉴定时间

理论知识考试为 90~120 分钟；技能操作考核为 150~180 分钟。综合评审时间不少于 40 分钟。

6. 鉴定场所设备

理论知识考试在标准教室进行；技能操作考核在具备必要实验设备的实践场所，设备要求能满足每人一批的待加工样件及相应的测试仪器和工具。

1.2 基本要求

1.2.1 职业道德

1. 职业道德基本知识

2. 职业守则

- (1) 敬业爱岗，实事求是。
- (2) 努力学习，不断提高理论水平和操作能力。
- (3) 工作热情、主动。
- (4) 严守纪律，不谋私利。
- (5) 自觉遵守工艺纪律和劳动纪律。
- (6) 遵守操作规程、注意安全。

1.2.2 基础知识

1. 半导体材料基本知识。
2. 晶体管原理基本知识。
3. 半导体集成电路基本知识。
4. 半导体器件工艺原理基本知识。
5. 半导体常用设备、仪器、仪表的基本知识。
6. 安全防护知识。
7. 《劳动法》等相关法律、法规知识。
8. 产品质量法相关知识
9. 环境保护法相关知识

1.3 工作要求

本标准对中级、高级、技师和高级技师的技能要求依次递进，高级别涵盖低级别的要求。

1.3.1 中级

职业功能	工作内容		技能要求	相关知识
一、准备工作	材料检查		能根据产品要求检查原材料是否合格	相关检查标准
	清洁处理		能按工艺要求清洁处理原材料、工具及器皿	1. 相关检验标准 2. 化学溶液的配制方法
	溶液的配制		能配制本工序所需要的腐蚀液、清洁液、保护胶等	
二、工艺操作	外延生长	工艺条件设定	能按工艺文件设定外延生长的工艺条件	1. 设备操作规程 2. 外延工艺基本要求 3. 外延质量检验规范 4. 位错的计算方法
		操作	1. 能按工艺文件规定设置设备运行参数 2. 能按工艺规定程序安全开炉，并能按规定程序完成外延生长操作，制作出合格的外延生长片 3. 能测量外延生长片的方块电阻并能测量计算其位错密度 4. 能对外延生长表面进行目检	
		质量判定	能按质量检验规范检验外延片的合格性	
	氧化扩散	工艺条件设定	能按工艺文件设定氧化扩散工艺条件	1. 设备操作规程 2. 氧化扩散工艺基本要求 3. 氧化扩散质量检验规范 4. 扩散片电阻率的计算方法
		操作	1. 能按工艺文件规定设置氧化扩散设备运行参数 2. 能按工艺规定程序安全开炉，并能按规定程序完成氧化扩散操作，制作出合格的氧化扩散片 3. 能测量扩散片的方块电阻及晶体管基本电参数 4. 能对氧化扩散表面进行目检	
		质量判定	能按质量检验规范检验氧化扩散片的合格性	
	离子注入	工艺条件设定	能按工艺文件设定离子注入工艺条件	1. 设备操作规程

(续表)

职业功能	工作内容		技能要求	相关知识
		操作	1. 能按工艺文件规定设置离子注入设备运行参数 2. 能按工艺规定程序安全开炉, 并能按规定程序完成离子注入操作, 制作出合格的离子注入片 3. 能测量离子注入片的方块电阻及晶体管基本电参数 4. 能对离子注入片表面进行目检	2. 离子注入工艺基本要求 3. 离子注入质量检验规范 4. 离子注入片电阻率的计算方法
		质量判断	能按质量检验规范检验离子注入片的合格性	
	化学汽相淀积	工艺条件设定	能按工艺文件设定化学汽相沉积的工艺条件	1. 设备操作规程 2. 化学汽相淀积的工艺基本要求 3. 膜厚测量方法 4. 化学汽相淀积质量检验规范
		操作	1. 能按工艺文件规定设置化学汽相淀积设备运行参数 2. 能按工艺规定程序安全开炉, 并能按规定程序完成化学汽相淀积操作, 制作出合格的化学汽相淀积片 3. 能测量化学汽相淀积层的厚度 4. 能对化学汽相淀积片表面进行目检	
		质量判定	能按质量检验规范检验化学汽相淀积片的合格性	
	光刻	工艺条件设定	1. 能按工艺文件设定光刻的工艺条件 2. 能根据不同的刻蚀对象设定匀胶厚度、曝光、坚膜时间	1. 设备操作规程 2. 光刻工艺基本要求 3. 光刻质量检验规范 4. 胶厚测量方法
		操作	1. 能按工艺文件设定设置光刻设备运行参数 2. 能按产品要求选择掩膜版, 并能按规定程序完成光刻操作, 制作出合格的光刻片 3. 能测量氧化扩散片的氧化层的厚度 4. 能对光刻片表面进行目检	
		质量判定	能按质量检验规范检验光刻片的合格性	
	台面成型	工艺条件设定	能按工艺文件设定台面成型工艺条件	1. 设备操作规程 2. 台面成型工艺基本要求

(续表)

职业功能	工作内容		技能要求	相关知识
		操作	1. 能按工艺文件规定设置台面成型设备运行参数 2. 能按工艺要求完成台面成型操作，制作出合格的台面成型片 3. 能测量台面管的反向电压和漏电流 4. 能对台面成型表面进行目检	3. 台面成型质量检验规范 4. 反向电压和漏电流的测量方法
		质量判定	能按质量检验规范检验台面成型片的合格性	
	半导体器件电镀	工艺条件设定	能按工艺文件设定电镀工艺条件	1. 设备操作规程 2. 半导体器件电镀工艺基础要求 3. 半导体器件电镀质量检验规范 4. 膜厚测量方法
		操作	1. 能按工艺文件规定设置半导体器件电镀设备运行参数 2. 能按工艺要求完成半导体器件电镀操作，制作出合格的电镀片 3. 能测量镀层厚度 4. 能对电镀片表面进行目检	
		质量规定	能按质量检验规范检验半导体器件电镀片的合格性	
三、记录	工艺记录		1. 能填写工艺卡 2. 能填写工艺记录	工艺卡、工艺记录填写要求
四、设备仪器维护保养	设备仪器		1. 能对设备仪器进行日常维护保养 2. 能排除简单的设备仪器故障	设备仪器使用说明书

1.3.2 高级

职业功能	工作内容		技能要求	相关知识
一、准备工作	材料检查		能根据产品要求鉴定全部使用材料是否合格	化学清洗的基本原理
	清洁处理		能应用多种清洗方法	
	溶液配制		能配制多种自用腐蚀液、清洗液、保护胶	
二、工艺操作	外延生长	工艺条件	能按工艺文件调控外延生长工艺条件	

(续表)

职业功能	工作内容		技能要求	相关知识
		操作	1. 能按工艺文件规定设置外延生长设备运行程序 2. 能控制外延片的电阻率和厚度, 外延生长片的产品合格率超过国内外同行的平均水平 3. 能测量计算其层错密度 4. 能解决外延一般技术问题	1. 外延工艺基本原理 2. 产品工艺流程图 3. 半导体器件点参数测试方法
		质量判定	1. 能按标准判定外延生长片的质量 2. 能分析解决外延生长较为复杂的质量问题	
	氧化扩散	工艺条件设定	能按工艺文件规定设置氧化扩散工艺条件	1. 氧化扩散工艺原理 2. 产品工艺流程图 3. 半导体器件电参数测试方法
		操作	1. 能按工艺文件规定设置氧化扩散设备运行程序 2. 能调控氧化片的厚度, 扩散片的电阻率和结深, 氧化扩散片的产品合格率超过国内同行业平均水平 3. 能测量扩散结深和氧化层的厚度 4. 能解决扩散结深一般技术问题	
		质量判定	1. 能准确判定氧化扩散质量 2. 能分析解决氧化扩散较为复杂的质量问题	
	离子注入	工艺条件设定	能按工艺文件调控离子注入工艺条件	1. 离子注入基本工艺原理 2. 产品工艺流程图 3. 半导体器件电参数测试方法
		操作	1. 能按工艺文件规定设置离子注入设备运行程序 2. 能调控离子注入片的电阻率和结深, 离子注入片的产品合格率超过国内同行业的平均水平 3. 能测量离子注入片结深 4. 能解决离子注入工艺一般技术问题	

(续表)

职业功能	工作内容		技能要求	相关知识
		质量判定	1. 能准确判定离子注入质量 2. 能分析解决外延生长较为复杂的质量问题	
	化学汽相淀积	工艺条件设定	能按工艺文件调控化学汽相淀积工艺条件	1. 化学汽相淀积工艺基本原理 2. 产品工艺流程图 3. 半导体器件电参数测试方法
		操作	1. 能按工艺文件条件规定设置化学汽相淀积设备运行程序 2. 能调控化学汽相淀积的厚度, 化学汽相淀积片的产品合格率超过国内同行业的平均水平 3. 能测量半导体器件一般电参数 4. 能分析解决汽相淀积工艺的一般技术问题	
		质量判定	1. 能准确判定化学汽相淀积的质量 2. 能分析解决汽相淀积较为复杂的质量问题	
	光刻	工艺条件设定	能按工艺文件调控光刻工艺条件	1. 光刻工艺基本原理 2. 产品工艺流程图 3. 半导体器件电参数测试方法
		操作	1. 能按工艺文件规定设置光刻设备运行程序 2. 能刻蚀不同的材料, 光刻片的合格率超过国内同行业平均水平 3. 能测量金属膜的厚度和半导体器件一般电参数 4. 能解决光刻一般技术问题	
		质量判定	1. 对工序的异常质量状况(如钻蚀、溶胶、针孔、小岛、染色等)判定准确 2. 能分析解决光刻工艺较为复杂的质量问题	
	台面成型	工艺条件设定	能按工艺文件调控台面成型工艺条件	1. 台面成型工艺基本原理 2. 产品工艺流程图 3. 半导体器件电参数测试方法
		操作	1. 能按工艺文件规定设置台面成型设备运行程序 2. 能调控台面成型的台面斜率和钝化层厚度, 台面成型的合格率超过国内同行业平均水平	

(续表)

职业功能	工作内容		技能要求	相关知识
			3. 能测量计算台面斜率 4. 能解决台面成型一般技术问题	
		质量判定	1. 能对工序的异常质量状况能正确判定 2. 能分析解决台面成型较为复杂的质量问题	
	半导体器件电镀	工艺条件设定	能按工艺文件调控半导体器件电镀工艺条件	1. 半导体器件电镀工艺基本原理 2. 产品工艺流程图 3. 半导体器件电参数测试方法
		操作	1. 能按工艺文件规定设置半导体器件电镀设备运行程序 2. 能调控半导体器件电镀的厚度和表面状态, 半导体器件电镀的合格率超过国内同行业水平 3. 能测量半导体器件一般电参数 4. 能解决半导体器件电镀工艺一般技术问题	
		质量判定	1. 能对工序的异常质量状况能正确判断 2. 能分析解决半导体器件电镀较为复杂的质量问题	
三、记录	工艺记录		能填写工艺异常报告单	工艺异常报告单填写知识
	质量纪录		1. 能按要求统计质量数据 2. 能提供书面质量异常报告	质量数据表填写方法
四、设备维护保养	设备		1. 能排除一般设备故障 2. 能进行设备仪器的年度保养	1. 一般设备故障排除方法
	仪器、仪表		能校准工序测量仪器	2. 测量仪器校准方法
五、培训及管理	管理		1. 能提出新产品试制方案 2. 能提出工艺试验方案并能组织工艺试验 3. 能对产品质量和成本管理提出改进意见	

3.3 技师

职业功能	工作内容		技能要求	相关知识
一、工艺操作	外延生长	工艺条件设定	能根据工艺实际情况调整不同外延生长工艺条件和工艺参数	1. 半导体器件工艺原理 2. 外延生长工艺参数规范表 3. 半导体物理 4. 外延生长新材料新工艺新技术的国内外发展动态
		操作	1. 能完成多种材料的外延生长和多种生长工艺的操作 2. 能测量外延生长的物理参数 3. 能解决外延生长较为复杂的技术问题	
		质量判定	能解决外延生长工艺中较为复杂的质量问题，并提出解决方案	
	氧化扩散	工艺条件设定	能根据工艺实际情况调整不同氧化扩散工艺条件和工艺参数	1. 半导体器件工艺原理 2. 氧化扩散工艺参数规范表 3. 半导体物理 4. 氧化扩散新材料新工艺新技术的国内外发展动态
		操作	1. 能完成多种材料的氧化扩散和多种氧化扩散工艺的操作 2. 能测量氧化扩散片的物理参数 3. 能解决氧化扩散较为复杂的技术问题	
		质量判定	能分析氧化扩散工艺中较为复杂的质量问题，并提出解决方案	
	离子注入	工艺条件设定	能根据工艺实际情况调整不同的离子注入工艺条件和工艺参数	1. 半导体器件工艺原理 2. 离子注入工艺参数规范表 3. 半导体物理 4. 离子注入新材料新工艺新技术的国内外发展动态
		操作	1. 能完成多种掺杂的离子注入和多种离子注入工艺的操作 2. 能测量计算离子注入区的杂质浓度 3. 能解决离子注入较为复杂的技术问题	
		质量判定	能分析离子注入工艺中较为复杂的质量问题，并提出解决方案	
	化学汽相淀积	工艺条件设定	能根据工艺实际情况调整化学汽相淀积工艺条件和工艺参数	1. 半导体器件工艺原理 2. 化学汽相淀积工艺参数规范表 3. 半导体物理 4. 化学汽相淀积新材料、新工艺、
		操作	1. 能完成多种淀积源的化学汽相淀积和多种化学汽相淀积工艺的操作 2. 能测量分化学汽相淀积层电性能 3. 能解决化学汽相淀积工艺中比较复杂	

(续表)

职业功能	工作内容		技能要求	相关知识
			的技术问题	新技术的国内外发展动态
		质量判定	能分析化学汽相淀积工艺中较为复杂的质量问题,并提出解决方案	
	光刻	工艺条件设定	能根据工艺实际情况调整光刻工艺条件的工艺参数	1. 半导体器件工艺原理 2. 光刻工艺参数规范表 3. 半导体物理 4. 光刻新材料新工艺新技术的国内外发展动态
		操作	1. 能完成多种材料的刻蚀和多种光刻工艺的操作 2. 能测量分析不同刻蚀层的电参数 3. 能解决光刻工艺中比较复杂的技术问题	
		质量判定	能解决光刻工艺中较为复杂的质量问题,并提出解决方案	
	台面成型	工艺条件设定	能根据工艺实际情况调整台面成型工艺条件和工艺参数	1. 半导体器件工艺原理 2. 台面成型工艺参数规范表 3. 半导体物理 4. 台面成型新材料、新工艺、新技术的国内外发展动态
		操作	1. 能完成多种台面形状,多种钝化材料的台面形成和多种台面形成工艺的操作 2. 能测量台面成型器件的电性能及参数 3. 能解决台面成型工艺中较为复杂的技术问题	
		质量判定	能分析台面形成工艺中较为复杂的质量问题,并提出解决方案	
	半导体器件电镀	工艺条件设定	能根据工艺实际情况调整半导体器件电镀工艺条件和工艺参数	1. 半导体器件工艺原理 2. 半导体器件电镀工艺参数规范表 3. 半导体物理 4. 半导体器件电镀新材料、新工艺、新技术的国内外发展动态
		操作	1. 能完成多种材料的半导体器件电镀和多种半导体器件电镀的工艺的操作 2. 能测量分析半导体器件电镀层的电性能及参数 3. 能解决半导体器件电镀工艺中较为复杂的技术问题	
		质量判定	能分析半导体器件电镀工艺中较为复杂的质量问题,并提出解决方案	
二、设备维护保养		设备	1. 能参与复杂精密设备的安装调试和验收 2. 能排除较为复杂的设备故障	设备验收方法

(续表)

职业功能	工作内容		技能要求	相关知识
		仪表、仪器	1. 能监督仪器仪表的周期检定 2. 能装接实验测量仪器	
三、培训及管理		培训指导	1. 能指导高级工及以下人员的工作 2. 能讲授制造工艺基础知识	1. 培训指导方法 2. 行业技术发展动态
		管理	1. 能提出新产品试制方案 2. 能提出工艺试验方案并能组织工艺试验 3. 能对产品质量和成本管理提出改进意见	

1.3.4 高级技师

职业功能	工作内容		技能要求	相关知识
一、工艺操作	外延生长	操作	1. 能完成新材料的外延和新外延工艺的操作 2. 能解决台面成型工艺中较为复杂的技术问题	1. 晶体管原理与设计 2. 半导体器件的可靠性 3. 新型半导体器件制造技术
		质量判定	能解决外延及相关工序的全部质量问题，并能提出预防措施	
	氧化扩散	操作	1. 能完成新材料的氧化扩散和新氧化扩散工艺的操作 2. 能解决台面成型工艺中较为复杂的技术问题	1. 晶体管原理与设计 2. 半导体器件可靠性 3. 新型半导体器件制造技术
		质量判定	能解决氧化扩散及相关工序的全部质量问题，并能提出预防措施	
	离子注入	操作	1. 能完成新材料的离子注入和新离子注入工艺的操作 2. 能解决离子注入工艺中复杂的技术问题	1. 晶体管原理与设计 2. 半导体器件可靠性 3. 新型半导体器件制造技术
		质量判定	能分析离子注入及相关工序的全部质量问题，并能提出预防措施	
	化学汽相淀积	操作	1. 能完成新材料的化学汽相淀积和新化学汽相淀积的操作 2. 能解决化学汽相淀积工艺中复杂的技术问题	1. 晶体管原理设计 2. 半导体器件的可靠性 3. 新型半导体器件制造技术
		质量判定	能分析化学汽相淀积及相关工序的全部质量问题，并能提出预防措施	

(续表)

职业功能	工作内容		技能要求	相关知识
	光刻	操作	1. 能完成新材料的光刻和新光刻工艺的操作 2. 能解决光刻工艺中复杂的技术问题	1. 晶体管原理与设计 2. 半导体器件的可靠性 3. 新型半导体器件制造技术
		质量判定	能分析解决光刻及相关工序的全部质量问题, 并能提出预防措施	
	台面成型	操作	1. 能完成新材料的台面成型和新台面成型工艺的操作 2. 能解决台面成型工艺中复杂的技术问题	1. 晶体管原理与设计 2. 半导体器件的可靠性 3. 新型半导体器件制造技术
		质量判定	能分析解决台面成型及相关工序的全部质量问题, 并能提出预防措施	
	半导体器件电镀	操作	1. 能完成新材料的半导体器件电镀和新半导体器件电镀工艺的操作 2. 能解决半导体器件电镀工艺中较为复杂的技术问题	1. 晶体管原理与设计 2. 半导体器件的可靠性 3. 新型半导体器件制造技术
		质量判定	能分析解决半导体器件电镀及相关工序的全部质量问题, 并能提出预防措施	
二、设备维护保养	设备		1. 能组织复杂精密设备的安装调试验收 2. 能排除复杂的设备故障	相关电子线路知识
	仪器、仪表		1. 能组织高精密仪器的安装调试和验收 2. 能排除复杂的设备故障	机电一体化知识
三、培训及管理	培训		1. 能指导技师以下人员工作 2. 能讲授工艺理论知识	1. 培训改进编写方法 2. 培训教学基础知识 3. 制图知识 4. 计算机知识
	管理		1. 能组织新产品试制 2. 能组织新工艺实验 3. 能分析产品质量成本 4. 能编写专业论文	

1.4 比重表

1.4.1 理论

项 目			中级（%）	高级（%）	技师（%）	高级技师（%）
基本要求	职业道德		5	5	5	5
	基础知识		40	35	30	30
相 关 知 识	准备 工作	材料检查	2	2	—	—
		清洁处理	2	1	—	—
		溶液配制	4	2	—	—
	工艺 操作 *	工艺条件设定	5	5	5	—
		操作	30	25	15	10
		质量判定	5	10	5	5
	纪录	工艺记录	5	5	—	—
		质量记录	—	5	—	—
	设备仪器 维护保养	设备	2	3	8	8
		仪器、仪表	—	2	2	2
	培训及 管理	培训	—	—	10	10
		管理	—	—	20	30
合 计			100	100	100	100

*工艺操作——只考核在工作中的内容

1.4.2 操作技能

项 目			中级 (%)	高级 (%)	技师 (%)	高级技师 (%)
技 能 要 求	准备 工作	材料检查	2	2	—	—
		清洁处理	2	1	—	—
		溶液配制	4	2	—	—
	工艺 操作 *	工艺条件设定	15	15	15	—
		操作	50	45	40	30
		质量判定	15	15	25	30
	记录	工艺记录	10	5	—	—
		质量记录		5	—	—
	设备仪器 维护保养	设备	2	7	8	15
		仪器、仪表	—	3	2	5
	培训及 管理	培训	—	—	3	5
管理		—	—	7	15	
合 计			100	100	100	100

*工艺操作——只考核在工作中的内容

第2章 专业知识解答

2.1 中级部分

1. 简述半导体材料的现状。

半导体技术的飞速发展，给科学技术、我们的日常生活带来了很大的变革。在20世纪80年代，硅超大规模集成电路已进入实用阶段。同时以砷化镓为代表的化合物半导体材料及器件也迅速发展起来了。现在已得到应用并能批量生产的半导体晶体材料有硅、锗、砷化镓、磷化镓、磷化铟、锑化铟、碳化硅等。批量生产的外延片有硅、砷化镓、磷化镓等的同质外延片，还有砷化镓、磷化铟等的异质外延片。正在研究开发的有Ⅲ~Ⅳ族、Ⅱ~Ⅵ族量子阱超晶格材料。

半导体硅（Si）单晶和锗（Ge）单晶是第一代半导体材料，硅是现代最主要的半导体材料，锗是现代最重要的半导体材料之一。1950年，由蒂尔（G.Teal）用直拉法首先拉制出锗单晶，随着电子器件集成电路的发展，硅单晶发挥了至关重要的作用。目前，商用硅单晶片的直径为200毫米（8英寸），实验室研究水平为300毫米（12英寸），硅单晶片的质量几乎达到了无缺陷的水平。以单晶硅为基底的集成电路技术，最小线宽已经达到深亚微米尺度，集成度达到每平方厘米几十兆个晶体管的水平。

砷化镓（GaAs）和磷化铟（InP）化合物半导体单晶是典型的第二代半导体材料。与硅集成电路相比，以砷化镓为基底的集成电路具有更高的频率、更高的增益和更低的噪声。由于砷化镓和磷化铟等化合物半导体单晶属于直接能带隙半导体材料，它们也是制备发光二极管和半导体激光器的理想材料。在数字移动通信、光纤通信、全球定位和导航等领域中第二代半导体材料将发挥越来越重要的作用。

在第二代半导体材料中，砷化镓单晶是比较成熟的产品，半绝缘砷化镓单晶已经成为制造大功率微波、毫米波通信器件和集成电路的主要材料。目前生产最多的是直径为75毫米（3英寸）和100毫米（4英寸）的砷化镓单晶片，50毫米（2英寸）直径的砷化镓单晶片仍然有一定的应用需求。为了降低砷化镓产品的成本，今后150毫米（6英寸）直径的砷化镓单晶片将占主导地位。

但是，与硅单晶相比，化合物半导体材料中还存在着相当多的晶体缺陷。化合物半导体至少由两种元素构成，所以，可能形成的缺陷种类比第一代单质半导体材料要多，而且

结构更加复杂。由于半绝缘磷化铟单晶的制备工艺还不够成熟，磷化铟单晶具有的超高频率、超高速度和低噪声的优异性能还没有得到很好发挥。如何控制化合物半导体材料的化学配比是提高第二代半导体材料质量的关键。

2. 什么是导体、绝缘体、半导体？

容易导电的物质叫做导体，如：金属、石墨、人体、大地以及各种酸、碱、盐的水溶液等都是导体。

不容易导电的物质叫做绝缘体，如：橡胶、塑料、玻璃、云母、陶瓷、纯水、油、空气等都是绝缘体。

导电能力介于导体和绝缘体之间的物体叫做半导体，如：硅、锗、砷化镓、磷化铟、氮化镓、碳化硅等。

3. 半导体材料的特征有哪些？

（1）导电能力介于导体和绝缘体之间。

（2）当其纯度较高时，电导率的温度系数为正值，随温度升高电导率增大；金属导体则相反，电导率的温度系数为负值。

（3）有两种载流子参加导电，具有两种导电类型：一种是电子，另一种是空穴。同一种半导体材料，既可形成以电子为主的导电，也可以形成以空穴为主的导电。

（4）晶体的各向异性。

4. 半导体材料是如何分类的？

根据其性能可分为高温半导体、磁性半导体、热半导体；

根据其晶体结构可分为金刚石型、闪锌矿型、纤锌矿半导体；

根据其结晶程度可分为晶体半导体、非晶体半导体、微晶体半导体；

比较通用的则是根据其化学组成为元素半导体、化合物半导体、固溶半导体三大类；

化合物半导体可分为无机化合物半导体和有机化合物半导体。

5. 简述N型半导体。

常温下半导体的导电性能主要由杂质来决定。当半导体中掺有施主杂质时，主要靠施主提供电子导电，这种依靠电子导电的半导体叫做N型半导体。

例如：硅中掺有Ⅴ族元素杂质磷（P）、砷（As）、锑（Sb）、铋（Bi）时，称为N型半导体。

砷化镓（GaAs）中掺有Ⅳ和Ⅵ族元素杂质硅（Si）、碲（Te）、硒（Se）时，称为N型半导体。

磷化铟 (InP) 中掺有元素杂质硫 (S)、镉 (Sn) 等时, 称为 N 型半导体。

氮化镓 (GaN) 中掺有 IV 和 VI 族元素杂质硅 (Si)、碲 (Te)、硒 (Se) 等时, 称为 N 型半导体。

碳化硅 (SiC) 中掺有元素杂质氮 (N)、磷、砷等时, 称为 N 型半导体。

6. 简述 P 型半导体。

当半导体中掺有受主杂质时, 主要靠受主提供空穴导电, 这种依靠空穴导电的半导体叫做 P 型半导体。

例如: 硅中掺有 III 族元素杂质硼 (B)、铝 (Al)、镓 (Ga)、铟 (In) 时, 称为 P 型半导体。

砷化镓 (GaAs) 中掺元素杂质锌、镉、镁、铍、碳时, 称为 P 型半导体。

磷化铟 (InP) 中掺有元素杂质锌 (Zn)、镉 (Cd) 等时, 称为 P 型半导体。

氮化镓 (GaN) 中掺有元素杂质锌、镉、镁、铍、碳时, 称为 P 型半导体。

碳化硅 (SiC) 中掺有元素杂质铝、镓、铍时, 称为 P 型半导体。

7. 什么是半绝缘半导体材料?

定义电阻率大于 $10^7 \Omega \cdot \text{cm}$ 的半导体材料称为半绝缘半导体材料。

如: 掺 Cr 的砷化镓, 非掺杂的砷化镓为半绝缘砷化镓材料。

掺 Fe 的磷化铟, 非掺杂的磷化铟经退火为半绝缘磷化铟材料。

8. 什么是单晶、多晶?

单晶是原子或离子沿着三个不同的方向按一定的周期有规则地排列, 并沿一致的晶体学取向所堆积起来的远程有序的晶体。

多晶则是有多个单晶晶粒组成的晶体, 在其晶界处的颗粒间的晶体学取向彼此不同, 其周期性与规则性也在此处受到破坏。

当前半导体生产和科研主要使用的是单晶材料。

9. 常用半导体材料的晶体结构有几种?

半导体材料的主要晶体结构有金刚石型、闪锌矿型、纤锌矿型。

常用的硅、锗都属于金刚石型晶体结构; 一些重要的化合物半导体砷化镓、磷化镓、磷化铟等属于闪锌矿型晶体结构; 硫化锌、氮化镓等属于纤锌矿型晶体结构。

10. 常用半导体材料的晶体生长方向有几种?

我们实际使用单晶材料都是按一定的方向生长的, 因此单晶表现出各向异性。单晶生长的这种方向直接来自晶格结构, 常用半导体材料的晶体生长方向是 $\langle 111 \rangle$ 和 $\langle 100 \rangle$ 。