



# 四川轻化工大学课程实施大纲

课程名称：多晶硅生产技术

授课班级：工艺 20221~5

任课教师：张福平

工作部门：化学工程学院

联系方式：15084461196

四川轻化工大学 制

2025 年 02 月

# 《多晶硅生产技术》课程实施大纲

## 基本信息

课 程 名 称：	多晶硅生产技术
课程英文名称：	Polysilicon Production Technology
课程所属单位：	化学工程学院化学工程教研室
学 分：	2.0
总 学 时：	32 学时
学 期：	2024-2025-2
授 课 班 级：	工艺 2022 1~5
上 课 时 间：	2024~2025 学年，第 2 学期，9~16 周
上 课 地 点：	详见课表
答 疑 方 式：	课前、课间答疑；线下答疑；网络答疑
线下答疑地点：	授课教室、第二实验楼 533
任 课 教 师：	张福平
学 院：	化学工程学院
邮 箱：	zfp517@suse.edu.cn
联 系 方 式：	15084461196

# 目 录

一、	教学理念 .....	1
二、	课程介绍 .....	2
2.1	课程的性质 .....	2
2.2	课程在学科专业结构中的地位、作用 .....	2
2.3	课程的历史与文化传统 .....	2
2.4	课程的前沿及发展趋势 .....	3
2.5	课程与经济社会发展的关系 .....	4
2.6	课程内容可能涉及到的伦理与道德问题 .....	4
2.7	学习本课程的必要性 .....	5
三、	教师简介 .....	6
3.1	教师的职称、学历 .....	6
3.2	教育背景 .....	6
3.3	研究方向（兴趣） .....	6
四、	先修课程 .....	7
五、	课程目标 .....	8
六、	课程内容 .....	9
6.1	教学内容 .....	9
6.2	教学重点、难点 .....	10
6.3	学时安排 .....	11
6.4	学情分析 .....	13
七、	课程教学实施 .....	14
7.1	教学单元一 .....	14
7.1.1	教学日期 .....	14
7.1.2	教学目标 .....	14
7.1.3	教学内容 .....	14
7.1.4	教学过程 .....	15
7.1.5	教学方法 .....	16
7.1.6	作业安排 .....	16
7.2	教学单元二 .....	17
7.2.1	教学日期 .....	17
7.2.2	教学目标 .....	17
7.2.3	教学内容 .....	17
7.2.4	教学过程 .....	17
7.2.5	教学方法 .....	19
7.2.6	作业安排 .....	19
7.3	教学单元三 .....	20
7.3.1	教学日期 .....	20
7.3.2	教学目标 .....	20
7.3.3	教学内容 .....	20
7.3.4	教学过程 .....	20

7.3.5	教学方法	21
7.3.6	作业安排	22
7.4	教学单元四	22
7.4.1	教学日期	22
7.4.2	教学目标	22
7.4.3	教学内容	22
7.4.4	教学过程	22
7.4.5	教学方法	23
7.4.6	作业安排	24
7.5	教学单元五	24
7.5.1	教学日期	24
7.5.2	教学目标	24
7.5.3	教学内容	24
7.5.4	教学过程	24
7.5.5	教学方法	26
7.5.6	作业安排	26
7.6	教学单元六	26
7.6.1	教学日期	26
7.6.2	教学目标	26
7.6.3	教学内容	26
7.6.4	教学过程	27
7.6.5	教学方法	29
7.6.6	作业安排	29
7.7	教学单元七	29
7.7.1	教学日期	29
7.7.2	教学目标	29
7.7.3	教学内容	29
7.7.4	教学过程	29
7.7.5	教学方法	31
7.7.6	作业安排	31
7.8	教学单元八	32
7.8.1	教学日期	32
7.8.2	教学目标	32
7.8.3	教学内容	32
7.8.4	教学过程	32
7.8.5	教学方法	34
7.8.6	作业安排	34
7.9	教学单元九	34
7.9.1	教学日期	34
7.9.2	教学目标	34
7.9.3	教学内容	34
7.9.4	教学过程	34
7.9.5	教学方法	36
7.9.6	作业布置	37

7.10	教学单元十	37
7.10.1	教学日期	37
7.10.2	教学目标	37
7.10.3	教学内容	37
7.10.4	教学过程	37
7.10.5	教学方法	38
7.10.6	作业布置	38
7.11	教学单元十一	39
7.11.1	教学日期	39
7.11.2	教学目标	39
7.11.3	教学内容	39
7.11.4	教学过程	39
7.11.5	教学方法	41
7.11.6	作业布置	41
7.12	教学单元十二	42
7.12.1	教学日期	42
7.12.2	教学目标	42
7.12.3	教学内容	42
7.12.4	教学过程	42
7.12.5	教学方法	43
7.12.6	作业布置	44
7.13	教学单元十三	44
7.13.1	教学日期	44
7.13.2	教学目标	44
7.13.3	教学内容	44
7.13.4	教学过程	44
7.13.5	教学方法	47
7.13.6	作业布置	47
7.14	教学单元十四	47
7.14.1	教学日期	47
7.14.2	教学目标	47
7.14.3	教学内容	47
7.14.4	教学过程	47
7.14.5	教学方法	49
7.14.6	作业布置	49
7.15	教学单元十五	49
7.15.1	教学日期	49
7.15.2	教学目标	49
7.15.3	教学内容	49
7.15.4	教学过程	49
7.15.5	作业布置	51
7.15.6	教学方法	51
7.16	教学单元十六	51
7.16.1	教学日期	51

7.16.2	教学目标 .....	51
7.16.3	教学内容 .....	51
7.16.4	教学过程 .....	51
7.16.5	教学方法 .....	54
7.16.6	作业布置 .....	54
八、	课程要求 .....	55
8.1	学生自学要求 .....	55
8.2	课外阅读要求 .....	55
8.3	课堂讨论要求 .....	55
九、	课程考核 .....	56
9.1	出勤（迟到、早退等）、作业、期末考核等要求 .....	56
9.2	成绩的构成与评分规则说明 .....	56
十、	学术诚信 .....	57
十一、	课堂规范 .....	58
11.1	课堂纪律 .....	58
11.2	课堂礼仪 .....	58
十二、	课程资源 .....	59
12.1	教材 .....	59
12.2	参考书 .....	59
12.3	网络资源 .....	59
12.4	学术期刊 .....	59
十三、	教学合约 .....	60
13.1	教师作出师德师风承诺 .....	60
13.2	阅读课程实施大纲，理解其内容 .....	61
13.3	同意遵守课程实施大纲中阐述的标准和期望 .....	61
十四、	其他说明 .....	62

# 一、教学理念

在多晶硅生产技术的教学过程中，以学生为中心，注重理论与实践的结合，强调学生自主学习、实践能力和创新思维的培养，旨在培养出既掌握扎实理论知识又具备解决复杂工业问题能力的优秀人才。首先，要了解学生的兴趣爱好、学习基础和学习能力，以便为不同学生提供个性化的教学方案。针对不同学生的学习特点，采用差异化的教学方法和手段，使每个学生都能在适合自己的学习环境中取得进步。在教学中，应激发学生对多晶硅生产技术的兴趣，通过生动案例和实际应用展示，让学生感受到这门学科的魅力和价值。同时，强调基础理论的扎实掌握，因为这是解决实际问题的基石。更重要的是，要鼓励学生参与实验、项目设计等活动，通过亲手操作、团队合作，将理论知识转化为实践能力。这种“做中学”的方式，加深学生对知识的理解，培养学生的创新思维和解决问题的能力。注重培养学生的自主学习能力和批判性思维。鼓励学生主动探索新知识，学会独立思考和判断，不盲从、不迷信，敢于质疑和提出自己的观点。

## 二、课程介绍

### 2.1 课程的性质

《多晶硅生产技术》是化学工程与工艺专业的一门专业选修课程，旨在系统讲授多晶硅材料的制备工艺及其在光伏和半导体行业中的应用。课程内容涵盖晶体硅的物理特性、硅源合成工艺、电子级多晶硅的制备方法（如改良西门子法、硅烷法）、太阳级多晶硅的提纯技术（如冶金法、流化床法）、硅晶体生长工艺（如直拉法、悬浮区熔法）以及硅片生产技术等。通过本课程的学习，学生将掌握多晶硅生产的基本原理、工艺流程及关键技术，了解行业前沿技术与发展趋势。

### 2.2 课程在学科专业结构中的地位、作用

《多晶硅生产技术》作为化学工程与工艺专业的一门专业选修课程，在专业课程体系中具有重要的补充和拓展作用。它聚焦于多晶硅材料的制备工艺及其在光伏和半导体行业中的应用，为学生提供了从硅源合成到硅片生产的全流程知识体系，填补了传统化工课程在新能源材料领域的空白。

该课程在专业中的地位体现在其跨学科性和前沿性上。它不仅涉及化学工程的核心知识（如反应工程、分离工程），还融合了材料科学、物理学等多学科内容，帮助学生理解晶体硅的物理特性、提纯技术和晶体生长工艺等关键技术。这种跨学科的知识整合为学生提供了更广阔的学术视野和职业发展空间。

从作用来看，《多晶硅生产技术》课程为学生提供了解决复杂工程问题的实践能力，特别是在光伏和半导体行业中的应用场景中。通过学习改良西门子法、硅烷法等核心工艺，学生能够掌握多晶硅生产的关键技术，为未来从事新能源材料、半导体制造等领域研究与开发奠定坚实基础。同时，课程还注重培养学生的创新思维和可持续发展理念，契合化学工程与工艺专业培养高素质应用型人才的目标。

### 2.3 课程的历史与文化传统

《多晶硅生产技术》课程的历史与文化传统深深植根于半导体和光伏产业的发展历程中。自 20 世纪 50 年代硅材料成为半导体工业的核心以来，多晶硅的生产技术便成为电子工业发展的关键驱动力。1955 年，西门子公司首次开发出利用氢气还原三氯氢硅制



备多晶硅的工艺，标志着多晶硅工业化生产的开端。此后，随着改良西门子法、硅烷法等技术的不断优化，多晶硅生产技术逐渐成熟，并在全球范围内形成了以美、日、德为主导的技术垄断格局。这一历史背景为课程奠定了坚实的理论与实践基础。

课程的文化传统体现在其对技术创新与工程实践的重视上。多晶硅生产技术不仅是化学工程与材料科学的交叉领域，更是推动新能源与半导体产业发展的核心动力。课程内容涵盖了从硅源合成到硅片生产的全流程技术，强调工艺优化与绿色生产的结合，体现了工程教育中对可持续发展理念的传承。通过理论与实践相结合的教学模式，课程培养了学生解决复杂工程问题的能力，同时也传承了精益求精的工匠精神。

此外，课程还承载着推动国家科技自立自强的使命。多晶硅作为光伏和半导体产业的基础材料，其生产技术直接关系到国家能源安全与电子信息产业的发展。课程通过介绍国内外多晶硅产业的发展历程与技术突破，激发学生的创新意识与家国情怀，鼓励他们为打破技术垄断、推动产业升级贡献力量。这种将科技报国精神融入教学的文化传统，使课程不仅具有学术价值，更具备深远的社会意义。

## 2.4 课程的前沿及发展趋势

《多晶硅生产技术》课程的前沿及发展趋势紧密围绕全球光伏和半导体产业的发展动态，展现了多晶硅行业的未来方向。首先，技术创新是推动多晶硅生产工艺升级的核心动力。改良西门子法作为主流工艺，未来将继续优化热力学和动力学条件，提升尾气回收效率并降低能耗。同时，硅烷法和流化床法因其高纯度和低能耗的特点，正在成为重要补充，未来将通过工艺创新和设备改进进一步提升生产效率和产品质量。此外，绿色生产工艺的推广将成为重点，冶金法和气液沉积法等新型工艺将逐步应用，以减少污染物排放和能源消耗。

高纯度多晶硅的需求将持续增长。半导体级多晶硅作为 5G 通信、人工智能、物联网等新兴技术的基础材料，其纯度要求将达到 99.999999% 以上，推动生产技术向更高精度发展。光伏级多晶硅则通过技术创新降低生产成本、提升转换效率，以满足全球光伏装机量的快速增长。这两大应用领域的需求增长将共同推动多晶硅生产技术的进步。

全球市场格局正在发生深刻变化。中国已成为全球最大的多晶硅生产国，2023 年产量达 147.2 万吨，预计 2025 年将超过 179 万吨。未来，中国将通过技术升级和产能扩张进一步巩固其全球市场主导地位。同时，国际竞争与合作也将加剧，全球主要生产国（如德国、日本、美国）将加强技术创新和国际合作，中国则通过“一带一路”等战略拓展海

外市场。

政策支持与产业协同发展多晶硅产业提供了强大动力。中国对多晶硅产业的支持力度不断加大，通过财政补贴、税收优惠等措施鼓励企业技术创新和产能扩张。例如，《产业结构调整指导目录》和《关于推动能源电子产业发展的指导意见》等政策为行业发展提供了明确方向。此外，多晶硅产业将更加注重上下游协同，例如与硅片、电池片、组件等环节的紧密衔接，以提升整体供应链效率和竞争力。

未来多晶硅产业将朝着智能化、自动化生产方向发展。随着工业 4.0 和智能制造的推进，多晶硅生产将逐步实现智能化和自动化，通过大数据、人工智能等技术优化生产流程，提升效率和产品质量。同时，多晶硅的应用领域将进一步拓展，不仅限于光伏和半导体，还将在储能、光伏建筑一体化（BIPV）等新兴领域发挥重要作用。课程内容将紧跟这些前沿动态，为学生提供最新的技术知识和实践技能，助力其在多晶硅领域取得更大成就。

## 2.5 课程与经济社会发展的关系

《多晶硅生产技术》课程与经济社会发展密切相关，多晶硅作为光伏和半导体产业的核心材料，直接推动了新能源和电子信息产业的快速发展。光伏产业的崛起为全球能源结构转型提供了重要支撑，助力实现“双碳”目标，而半导体级多晶硅则是 5G 通信、人工智能、物联网等新兴技术的基础，推动数字化经济的高质量发展。课程通过培养掌握多晶硅生产技术的专业人才，不仅满足了行业对高素质技术技能人才的需求，还促进了产业链的协同创新与升级，为经济社会可持续发展提供了强有力的技术支撑和人才保障。

## 2.6 课程内容可能涉及到的伦理与道德问题

《多晶硅生产技术》课程内容可能涉及多方面的伦理与道德问题，包括环境保护与可持续发展、资源利用与能源消耗、职业健康与安全、技术垄断与公平竞争、社会责任与公共利益，以及数据安全与隐私保护等。例如，多晶硅生产过程中的废气、废水排放可能对环境造成污染，高能耗生产模式与资源有限性之间的矛盾也引发了对绿色生产工艺的思考。此外，职业健康与安全问题、技术垄断带来的不公平竞争，以及企业在追求经济利益时如何履行社会责任，都是需要深入探讨的伦理议题。课程通过引导学生思考这些问题，培养其社会责任感和伦理意识，使其在未来工程实践中能够兼顾经济效益、

社会效益和环境效益。

## 2.7 学习本课程的必要性

学习《多晶硅生产技术》课程具有重要的现实意义和必要性。多晶硅作为光伏和半导体产业的核心材料，直接关系到新能源和电子信息产业的发展，而掌握多晶硅生产技术是推动这些领域技术进步的关键。通过本课程的学习，学生能够系统了解多晶硅生产的全流程工艺，包括硅源合成、提纯、晶体生长及硅片制备等核心技术，同时培养解决复杂工程问题的能力。此外，课程还注重绿色生产工艺和可持续发展理念的融入，帮助学生树立环保意识和社会责任感。无论是从个人职业发展还是国家产业升级的角度，学习本课程都是培养高素质技术技能人才、推动经济社会可持续发展的重要途径。

## 三、教师简介

### 3.1 教师的职称、学历

张福平，讲师，工学博士

### 3.2 教育背景

2018.09~2023.06 石河子大学 化学工程与技术 博士

2014.09~2018.06 重庆三峡学院 化学工程与工艺 学士

### 3.3 研究方向（兴趣）

- (1) 多孔纳米催化剂的设计与开发
- (2) 电催化小分子转化
- (3) 电催化深度水处理

代表性学术论文：

- (1) **Fuping Zhang**, Chenchen Ji, Chunmei Deng, et al. Multilayer meso–microporous carbon nanomesh: an effective oxygen reduction electrocatalyst[J]. Journal of Materials Chemistry A, 2024, 12(45): 31647-31654. (中科院二区 TOP)
- (2) **Fuping Zhang**, Long Chen\*, Haiyi Yang, et al. Ultrafine Co nanoislands grafted on tailored interpenetrating N-doped carbon nanoleaves: An efficient bifunctional electrocatalyst for rechargeable Zn-air batteries[J]. Chem. Eng. J., 2022, 431: 133734. (中科院一区 TOP)
- (3) **Fuping Zhang**, Long Chen\*, Yinglin Zhang, et al. Engineering Co/CoO heterojunctions stitched in mulberry-like open-carbon nanocages via a metal-organic frameworks in-situ sacrificial strategy for performance-enhanced zinc-air batteries[J]. Chem. Eng. J., 2022, 447: 137490. (中科院一区 TOP)
- (4) **Fuping Zhang**, Liu Liu, Long Chen, Yulin Shi\*. A cellulose dissolution and encapsulation strategy to prepare carbon nanospheres with ultra-small size and high nitrogen content for the oxygen reduction reaction[J]. New J. Chem., 2020, 44(25): 10613-10620. (中科院三区)

## 四、先修课程

物理化学、化工原理、化工安全与环境、化学反应工程。

## 五、课程目标

通过本课程学习，使学生具备以下能力：

**1.** 学生能够理解多晶硅在光伏和半导体行业中的重要性，认识到其在推动国家新能源战略和科技进步中的作用，增强维护国家利益和社会责任感。同时，学生能够运用辩证唯物主义方法论分析多晶硅生产中的技术问题，践行社会主义核心价值观，培养绿色生产工艺意识，推动可持续发展。（支撑毕业要求 1.2）

**2.** 学生能够利用系统思维的能力，将化工工程知识应用于多晶硅生产工艺的分析与优化，掌握改良西门子法、硅烷法、冶金法等核心技术的原理与工艺流程。学生能够对复杂多晶硅生产问题提出综合解决方案，并体现化工专业领域先进技术的应用。（支撑毕业要求 2.4）

**3.** 学生能够认识到多晶硅生产中复杂工程问题的多样性，理解不同多晶硅生产技术的优缺点及适用场景。通过文献研究和课堂讨论，学生能够寻找可替代的解决方案，并评估其技术可行性与经济性，培养创新思维和解决实际问题的能力。（支撑毕业要求 3.3）

## 六、课程内容

本课程采用刘秀琼主编的《多晶硅生产技术——项目化教程（第二版）》（北京:化学工业出版社, 2019）为教材，参考梁宗存主编的《多晶硅与硅片生产技术》（北京: 化学工业出版社, 2014 ），主要授课内容包括：绪论、第一章 晶体硅的物理特性、第二章 硅源合成工艺、第三章 电子级多晶硅的制备、第四章 冶金法太阳级多晶硅提纯技术、第五章 其他太阳级多晶硅提纯技术、第六章 硅晶体生长工艺、第七章 硅片生产技术。各部分教学内容及教学要求如下。

### 6.1 教学内容

序号	章节名称	课时数	支撑课程目标及强度	教学方法	教学手段
1	绪论	2	1 (H) 2 (L) 3 (L)	理论讲解	PPT、板书
2	第一章 晶体硅的物理特性	4	1 (L) 2 (M) 3 (M)	理论讲解	PPT、板书
3	第二章 硅源合成工艺	2	1 (M) 2 (H) 3 (H)	理论讲解	PPT、板书
4	第三章 电子级多晶硅的制备	8	1 (H) 2 (H) 3 (H)	理论讲解	PPT、板书
5	课堂讨论	2	1 (M) 2 (H) 3 (H)	课堂讨论	课题讨论
6	第四章 冶金法太阳级多晶硅提纯技术	2	1 (M) 2 (H) 3 (H)	理论讲解	PPT、板书
7	第五章 其他太阳级多晶硅提纯技术	4	1 (H) 2 (H) 3 (H)	理论讲解	PPT、板书
8	第六章 硅晶体生长工艺	4	1 (M) 2 (H) 3 (H)	理论讲解	PPT、板书

9	第七章 硅片生产技术	2	1 (H) 2 (H) 3 (H)	理论讲解	PPT、板书
---	------------	---	-------------------------	------	--------

## 6.2 教学重点、难点

### 绪论

#### 重点：

多晶硅生产技术的背景与意义，多晶硅在光伏和半导体行业中的应用。

#### 难点

理解多晶硅技术在不同领域中的具体应用及其技术需求。

### 第一章 晶体硅的物理特性

**重点：**晶体结构、能带和能级、电学性质、光学性质、力学和热学性质，P-N 结的形成及其在太阳电池中的应用。

**难点：**能带理论的理解及其对硅材料电学性质的影响，P-N 结的工作原理及其在太阳电池中的具体应用。

### 第二章 硅源合成工艺

**重点：**硅源合成的基本原理与工艺。

**难点：**硅源合成过程中反应条件的控制与优化。

### 第三章 电子级多晶硅的制备

**重点：**改良西门子法的热力学与动力学分析，原料系统（高纯氢气、三氯氢硅的合成与提纯）。

三氯氢硅还原制备高纯硅的工艺，尾气回收与  $\text{SiCl}_4$  冷氢化技术。

**难点：**改良西门子法的热力学平衡条件及动力学控制因素，三氯氢硅还原反应条件的控制（温度、压力、气体流量等），尾气回收与冷氢化技术的复杂工艺流程，硅烷法的反应机理与工艺条件。

### 第四章 冶金法太阳级多晶硅提纯技术



**重点：**冶金法多晶硅的提纯工艺。

**难点：**冶金法提纯过程中杂质去除的机理与控制。

## 第五章 其他太阳级多晶硅提纯技术

**重点：**流化床法、无氯法、直接冶炼法、区域熔化提纯法、气-液沉积法（VLD 技术）、常压碘化学气相传输净化法、电化学熔盐电解法等。太阳级硅的存在问题和解决办法。

**难点：**不同提纯技术的原理、优缺点及适用场景，太阳级硅的杂质控制与材料性能优化。

## 第六章 硅晶体生长工艺

**重点：**直拉法与悬浮区熔法制备单晶硅的工艺，多晶硅制备技术，掺杂工艺及其对硅材料性能的影响，带状多晶硅制造技术。

**难点：**单晶硅生长过程中的缺陷形成机制，掺杂工艺对晶体性能的影响及其控制方法。

## 第七章 硅片生产技术

**重点：**多线锯切割技术的原理、优点及工艺优化，硅片清洗与腐蚀工艺的目的与方法，硅片绒面制备技术的原理与应用。

**难点：**多线锯切割过程中多因素耦合作用下的质量控制，制绒工艺对硅片性能的影响及工艺优化，不同绒面制备技术的成本与效率平衡。

## 6.3 学时安排

本课程的总学时为 32 学时，具体分配如表 6-1 所示。

表 6-1 本课程的课堂学时分配表

教学单元	教学内容	上课学时
1	绪论	2
2	第一章 晶体硅的物理特性 1.1 晶体结构 1.2 能带和能级 1.3 电学性质	2

3	1.4 光学性质 1.5 力学和热学性质 1.6 P-N 结 1.7 晶体硅太阳能电池常规结构与工艺	2
4	第二章 硅源合成工艺	2
5	第三章 电子级多晶硅的制备 3.1 改良西门子法制备多晶硅 3.1.1 改良西门子法热力学 3.1.2 改良西门子法动力学	2
6	3.2 改良西门子法工艺 3.2.1 原料系统---高纯氢气的制备	2
7	3.2.1 原料系统---三氯氢硅的合成与提纯	2
8	3.2.2 三氯氢硅还原制备高纯硅	2
9	3.2.3 尾气回收 3.2.4 $\text{SiCl}_4$ 冷氢化 3.2.5 改良西门子法发展趋势 3.3 其他氯硅烷法制备多晶硅 3.3.1 $\text{SiHCl}$ 制备多晶硅 3.3.2 $\text{SiCl}$ 制备多晶硅 3.4 硅烷法制备多晶硅工艺 3.4.1 Asimi 工艺... 3.4.2 MEMC 工艺 3.5 多晶硅材料的评价	2
10	课堂讨论	2
11	第四章 冶金法太阳级多晶硅提纯技术	2
12	第五章 其他太阳级多晶硅提纯技术 5.1 流化床法 5.2 无氯法 5.3 直接冶炼法	2
13	5.4 区域熔化提纯法 5.5 气-液沉积法(VLD 技术) 5.6 常压碘化学气相传输净化法 5.7 电化学熔盐电解法 5.8 其他方法 5.9 太阳级硅的存在问题和解决办法	2
14	第六章 硅晶体生长工艺 6.1 直拉法制备单晶硅 6.2 悬浮区熔法制备单晶硅工艺	2
15	6.3 多晶硅制备技术	2

	6.4 掺杂工艺 6.5 带状多晶硅制造技术	
16	第七章 硅片生产技术	2
	<b>各章节具体内容及要求见教学规范</b>	

## 6.4学情分析

本课程面向化学工程与工艺专业大三本科生，学生已具备化工原理、物理化学和材料科学等基础知识，但对多晶硅生产技术的了解较为有限，尤其是对跨学科知识的整合和复杂工艺的理解可能存在困难。学生对新能源材料和半导体技术等前沿领域兴趣较高，但需要结合实际案例和互动讨论激发学习动力。通过多样化的教学方式（如讲授、案例分析、小组讨论等），帮助学生系统掌握多晶硅生产的全流程工艺，培养其解决复杂工程问题的能力，同时注重绿色生产工艺和行业前沿技术的介绍，为学生未来从事光伏、半导体及相关领域的研究与开发工作奠定坚实基础。

# 七、课程教学实施

《多晶硅生产技术》课程教学实施如下：

## 7.1 教学单元一

### 7.1.1 教学日期

第9周 1-2 节。

### 7.1.2 教学目标

- (1) 了解多晶硅生产技术的背景与意义
- (2) 掌握多晶硅生产的基本概念与发展历程
- (3) 树立课程学习的目标与方向

### 7.1.3 教学内容

- (1) 多晶硅生产技术的背景与意义

多晶硅在光伏和半导体行业中的应用。

多晶硅生产技术对国家新能源战略和科技进步的重要性。

多晶硅产业对全球能源转型和电子信息产业发展的推动作用。

- (2) 多晶硅的基本概念与分类

多晶硅的定义及其与单晶硅、非晶硅的区别。

多晶硅的物理化学特性（如晶体结构、电学性质、光学性质等）。

多晶硅的分类（如电子级多晶硅、太阳能级多晶硅）。

- (3) 多晶硅生产技术的历史发展

多晶硅生产技术的起源与早期发展。

改良西门子法的诞生及其技术突破。

硅烷法、流化床法等新兴工艺的发展与应用。

全球多晶硅产业的技术演进与市场格局变化。

- (4) 多晶硅生产技术的现状与挑战

当前多晶硅生产的主流工艺及其优缺点。

多晶硅生产中的关键技术难题（如高纯度要求、能耗控制、环保问题等）。

行业面临的挑战与发展机遇。

### 7.1.4 教学过程

#### (1) 导入环节

活动设计：

播放一段关于光伏发电或半导体芯片制造的短视频，展示多晶硅在实际应用中的重要性。

提出问题：“多晶硅在新能源和半导体行业中扮演了什么角色？为什么它的生产技术如此重要？”

邀请 2-3 名学生分享自己的看法。

目标：激发学生兴趣，引出课程主题。

#### (2) 多晶硅生产技术的背景与意义

教学方法：讲授+案例分析

讲解多晶硅在光伏和半导体行业中的应用，结合具体案例（如光伏电站、智能手机芯片）说明其重要性。

分析多晶硅生产技术对国家新能源战略和科技进步的推动作用。

互动设计：

提问：“你能想到哪些日常生活中依赖多晶硅的产品或技术？”

分组讨论：每组列举 3-5 个依赖多晶硅的产品或技术，并派代表分享。

目标：帮助学生理解多晶硅生产技术的实际意义。

#### (3) 多晶硅的基本概念与分类

教学方法：讲授+图示展示

讲解多晶硅的定义、物理化学特性及其与单晶硅、非晶硅的区别。

通过图表展示多晶硅的分类（电子级多晶硅、太阳能级多晶硅）及其应用领域。

互动设计：

小组讨论：“电子级多晶硅和太阳能级多晶硅的主要区别是什么？为什么会有这些区别？”

每组派代表分享讨论结果。

目标：帮助学生掌握多晶硅的基本概念与分类。

#### (4) 多晶硅生产技术的历史发展

教学方法：讲授+时间线展示

讲解多晶硅生产技术的起源、改良西门子法的发展历程，以及硅烷法、流化床法等新兴工艺的突破。

通过时间线展示全球多晶硅产业的技术演进与市场格局变化。

互动设计：

提问：“改良西门子法为什么能够成为主流工艺？它有哪些优缺点？”

邀请学生自由发言，教师进行点评和补充。

目标：帮助学生了解多晶硅生产技术的历史脉络。

#### （5）多晶硅生产技术的现状与挑战

教学方法：讲授+数据展示

讲解当前多晶硅生产的主流工艺及其优缺点。

通过数据展示多晶硅生产中的关键技术难题（如高纯度要求、能耗控制、环保问题等）。

分析行业面临的挑战与发展机遇。

互动设计：

小组讨论：“你认为多晶硅生产技术的未来发展方向是什么？如何解决当前的技术难题？”

每组派代表分享讨论结果。

目标：帮助学生了解多晶硅生产技术的现状与未来趋势。

### 7.1.5 教学方法

讲授法、案例教学法、问题教学法、启发式教学法、目标教学法

### 7.1.6 作业安排

要求学生查阅资料，撰写一篇关于多晶硅生产技术发展历程的小论文（500 字左右）。

## 7.2 教学单元二

### 7.2.1 教学日期

第9周 3-4 节

### 7.2.2 教学目标

掌握晶体结构、能带和能级、本征载流子、施主与受主、非平衡载流子的产生和复合、电阻率、迁移率和载流子扩散的基本概念及其影响因素。

### 7.2.3 教学内容

教学内容：晶体结构、能带和能级、本征载流子、施主与受主、非平衡载流子的产生和复合、电阻率、迁移率和载流子扩散

重点：晶体结构、能带和能级、本征载流子、施主与受主、非平衡载流子的产生和复合、电阻率、迁移率和载流子扩散

难点：晶体结构的想象与理解，能带理论的抽象性及其物理意义的理解，本征载流子浓度公式的推导与理解

### 7.2.4 教学过程

(1) 导入环节 (5 分钟)

活动设计：

展示一张光伏电池或半导体芯片的图片，提出问题：“你知道这些设备的核心材料是什么吗？它的物理特性如何影响其性能？”

简要介绍本章节的学习目标，激发学生兴趣。

目标：引出课程主题，明确学习目标。

(2) 晶体结构 (15 分钟)

教学方法：讲授+图示展示

讲解晶体硅的金刚石结构及其特点，介绍晶格常数、晶向、晶面等基本概念。

通过三维模型或动画展示晶体结构，帮助学生建立空间想象。

互动设计：

提问：“金刚石结构与其他晶体结构（如面心立方）有何不同？”

小组讨论 (5 分钟)：“晶向和晶面在多晶硅生产中有哪些实际意义？”

目标：帮助学生掌握晶体结构的基本概念及其在多晶硅生产中的应用。

### （3）能带和能级（15 分钟）

教学方法：讲授+图示展示

讲解能带理论的基本概念（价带、导带、禁带宽度），分析晶体硅的能带结构及其对电学性质的影响。

通过能带图展示禁带宽度与材料导电性能的关系。

互动设计：

提问：“禁带宽度如何影响硅材料的导电性能？”

小组讨论（5 分钟）：“能带理论在半导体器件设计中有哪些应用？”

目标：帮助学生理解能带理论及其在硅材料中的应用。

### （4）本征载流子与施主/受主（15 分钟）

教学方法：讲授+案例分析

讲解本征载流子的定义及其在纯净硅中的行为，分析本征载流子浓度与温度的关系。

介绍施主与受主掺杂的原理，分析 N 型硅和 P 型硅的形成机制。

互动设计：

提问：“温度如何影响本征载流子浓度？”

案例分析：“为什么在半导体器件中需要掺杂？掺杂浓度如何影响器件性能？”

目标：帮助学生掌握本征载流子和掺杂对硅材料电学性质的影响。

### （5）非平衡载流子的产生和复合（10 分钟）

教学方法：讲授+图示展示

讲解非平衡载流子的产生机制（如光激发、电注入）及其复合过程，分析非平衡载流子寿命的影响因素。

通过图示展示复合中心的形成及其对载流子复合的影响。

互动设计：

提问：“非平衡载流子寿命对光伏电池的性能有何影响？”

目标：帮助学生理解非平衡载流子的产生和复合机制。

### （6）电阻率、迁移率和载流子扩散（15 分钟）

教学方法：讲授+公式推导

讲解电阻率、迁移率和载流子扩散的定义及其在硅材料性能表征中的应用。

通过公式推导分析电阻率与载流子浓度、迁移率的关系，以及扩散系数与迁移率的关系。



互动设计：

提问：“电阻率与掺杂浓度、温度的关系是什么？”

小组讨论（5 分钟）：“载流子扩散在半导体器件中的作用是什么？”

目标：帮助学生掌握电阻率、迁移率和载流子扩散的基本概念及其应用。

（7）总结与练习（10 分钟）

教学方法：总结+练习

总结本章节的核心内容，强调晶体硅物理特性在多晶硅生产中的重要性。

布置练习题：

计算给定温度下的本征载流子浓度。

分析掺杂浓度对硅材料电阻率的影响。

目标：巩固课堂知识，检测学生学习效果。

## 7.2.5 教学方法

本单元内容属于基本概念性内容，内容多、范围广与中学物理知识联系紧密，主要通过教师课前组织大量的典型素材、举例和制作的 PPT 课件，通过现代多媒体教学技术进行演示，教师课堂教学，通过讲授法、提问法和案例分析，让学生对本专业和课程有一定的了解。本单元的教学方法以教师讲解+课堂提问的方法完成。

## 7.2.6 作业安排

假设你需要设计一种用于高效光伏电池的硅材料，请结合本章内容，提出优化其电学性能的具体方案（如掺杂类型、浓度、工艺条件等）。分析你的设计方案对材料电阻率、迁移率和载流子扩散的影响。

## 7.3教学单元三

### 7.3.1 教学日期

第10周 1-2节

### 7.3.2 教学目标

(1) 掌握晶体硅的光学性质（吸收系数、折射率和反射率），力学性质和热学性质。

(2) 掌握P-N结的形成原理及其电学特性。

(3) 晶体硅太阳能电池常规结构与工艺。

### 7.3.3 教学内容

光学性质、力学和热学性质、P-N结、晶体硅太阳能电池常规结构与工艺

### 7.3.4 教学过程

(1) 导入环节（5 分钟）

活动设计：

展示一张光伏电池的图片，提出问题：“你知道光伏电池是如何将光能转化为电能的吗？晶体硅的物理特性在其中起到了什么作用？”

简要介绍本节课程的学习目标，激发学生兴趣。

目标：引出课程主题，明确学习目标。

(2) 光学性质（15 分钟）

教学方法：讲授+图示展示

讲解晶体硅的光学性质，包括光吸收、反射和透射特性。

通过光谱图展示硅材料的光学特性及其对光伏电池性能的影响。

互动设计：

提问：“为什么光伏电池需要抗反射层？它的作用是什么？”

小组讨论（5 分钟）：“如何通过优化光学性质提高光伏电池的效率？”

目标：帮助学生掌握光学性质及其在光伏应用中的重要性。

(3) 力学和热学性质（15 分钟）

教学方法：讲授+案例分析

讲解晶体硅的力学性质（如硬度、弹性模量）和热学性质（如热导率、热膨胀系

数)。

通过案例分析，讨论力学和热学性质对多晶硅生产工艺的影响。

互动设计：

提问：“在多晶硅生产中，如何利用硅材料的热学性质优化工艺条件？”

小组讨论（5 分钟）：“硅材料的力学性质对硅片切割工艺有何影响？”

目标：帮助学生理解力学和热学性质及其在多晶硅生产中的应用。

#### （4）P-N 结（15 分钟）

教学方法：讲授+图示展示

讲解 P-N 结的形成原理及其电学特性，分析 P-N 结在半导体器件中的作用。

通过能带图展示 P-N 结的电场分布和载流子运动。

互动设计：

提问：“P-N 结在光伏电池中的作用是什么？”

案例分析：“如何通过优化 P-N 结设计提高半导体器件的性能？”

目标：帮助学生掌握 P-N 结的基本原理及其在半导体器件中的应用。

#### （5）晶体硅太阳能电池常规结构与工艺（20 分钟）

教学方法：讲授+视频展示

讲解晶体硅太阳能电池的基本结构（如 P-N 结、抗反射层、电极）及其功能。

通过视频展示晶体硅太阳能电池的常规生产工艺（如扩散、刻蚀、镀膜）。

互动设计：

提问：“抗反射层和电极在太阳电池中的作用是什么？”

小组讨论（5 分钟）：“如何通过优化生产工艺提高太阳电池的效率？”

目标：帮助学生掌握太阳电池的结构与工艺，理解其性能优化的关键因素。

#### （6）总结与练习

教学方法：总结+练习

总结本节课程的核心内容，强调晶体硅物理特性在光伏电池中的重要性。

### 7.3.5 教学方法

（1）举例法；（2）提问法；（3）逻辑推导。

### 7.3.6 作业安排

分析硅材料的光学性质对光伏电池效率的影响。

设计一种优化P-N结结构的方案，并说明其优势。

## 7.4 教学单元四

### 7.4.1 教学日期

第10周，3-4节

### 7.4.2 教学目标

- (1) 掌握各种硅源的制备技术
- (2) 掌握其物理和化学性质

### 7.4.3 教学内容

- (1) 各种硅源的制备技术：硅石、冶金级硅、三氯氢硅、四氯化硅、二氯二氢硅、硅烷
- (2) 物理性质：密度（液态）、蒸气压、比热容（液态）
- (3) 化学性质：安全性、着火和爆炸性、对材料的腐蚀性

### 7.4.4 教学过程

- (1) 导入环节（5 分钟）

活动设计：

展示多晶硅生产流程图，提出问题：“你知道多晶硅生产的第一步是什么吗？硅源的选择和制备对后续工艺有何影响？”

简要介绍本节课程的学习目标，激发学生兴趣。

目标：引出课程主题，明确学习目标。

- (2) 各种硅源的制备技术（30 分钟）

教学方法：讲授+案例分析

硅石制备技术：讲解硅石的来源及其在冶金级硅制备中的应用。

冶金级硅制备技术：介绍冶金级硅的生产工艺（如电弧炉还原法）。

三氯氢硅、四氯化硅、二氯二氢硅、硅烷的制备技术：

讲解这些硅源的化学合成方法（如氢化法、歧化法）。

通过反应方程式展示制备过程。

互动设计：

提问：“为什么三氯氢硅是多晶硅生产中最常用的硅源？”

小组讨论（5 分钟）：“比较不同硅源制备技术的优缺点，并分析其适用场景。”

目标：帮助学生掌握各种硅源的制备技术及其在多晶硅生产中的应用。

### （3）物理性质（20 分钟）

教学方法：讲授+数据展示

密度（液态）：讲解液态硅源的密度及其对工艺设计的影响。

蒸气压：介绍蒸气压的概念及其在硅源提纯中的应用。

比热容（液态）：分析液态硅源的比热容及其对热能管理的影响。

互动设计：

提问：“蒸气压在硅源提纯中的作用是什么？”

案例分析：“如何利用硅源的物理性质优化多晶硅生产工艺？”

目标：帮助学生理解硅源的物理性质及其在工艺设计中的重要性。

### （4）化学性质（20 分钟）

教学方法：讲授+案例分析

安全性：讲解硅源的安全操作规范及其在储存和运输中的注意事项。

着火和爆炸性：分析硅源的易燃易爆特性及其防护措施。

对材料的腐蚀性：介绍硅源对设备材料的腐蚀性及其防护方法。

互动设计：

提问：“如何防止硅源在储存和运输过程中发生安全事故？”

小组讨论（5 分钟）：“硅源对设备材料的腐蚀性如何影响多晶硅生产？如何解决这一问题？”

目标：帮助学生掌握硅源的化学性质及其在安全生产中的应用。

### （5）总结与练习

教学方法：总结+练习

总结本节课程的核心内容，强调硅源制备技术及其物理化学性质在多晶硅生产中的重要性。

## 7.4.5 教学方法

（1）、举例法；（2）、提问法；（3）、逻辑推导。

### 7.4.6 作业安排

阅读一篇关于硅源制备技术的最新文献，总结其主要内容和创新点。

结合本节内容，撰写一篇 500 字左右的短文，分析硅源物理化学性质对多晶硅生产的影响。

## 7.5 教学单元五

### 7.5.1 教学日期

第 11 周 1-2 节

### 7.5.2 教学目标

- (1) 掌握改良西门子法热力学
- (2) 掌握改良西门子法动力学

### 7.5.3 教学内容

改良西门子法热力学、动力学

### 7.5.4 教学过程

- (1) 导入环节（5 分钟）

活动设计：

展示改良西门子法的工艺流程图，提出问题：“你知道改良西门子法是如何通过化学反应制备高纯多晶硅的吗？热力学和动力学在这一过程中起到了什么作用？”

简要介绍本节课程的学习目标，激发学生兴趣。

目标：引出课程主题，明确学习目标。

- (2) 改良西门子法热力学（30 分钟）

教学方法：讲授+公式推导

热力学基础：

讲解热力学第一定律和第二定律在多晶硅生产中的应用。

介绍吉布斯自由能、焓变、熵变等基本概念。

反应热力学分析：

通过反应方程式分析三氯氢硅还原反应的热力学特性（如反应焓变、吉布斯自由能

变化)。

讨论温度、压力对反应平衡的影响。

互动设计：

提问：“为什么温度对三氯氢硅还原反应的平衡有重要影响？”

小组讨论（5 分钟）：“如何通过优化热力学条件提高多晶硅的产率和纯度？”

目标：帮助学生掌握改良西门子法的热力学原理及其在工艺优化中的应用。

### （3）改良西门子法动力学（30 分钟）

教学方法：讲授+案例分析

动力学基础：

讲解反应速率、活化能、反应级数等基本概念。

介绍阿伦尼乌斯方程及其在多晶硅生产中的应用。

反应动力学分析：

分析三氯氢硅还原反应的动力学特性（如反应速率、活化能）。

讨论温度、压力、催化剂对反应速率的影响。

互动设计：

提问：“为什么催化剂能够加速三氯氢硅还原反应？”

案例分析：“如何通过优化动力学条件提高多晶硅的生产效率？”

目标：帮助学生掌握改良西门子法的动力学原理及其在工艺优化中的应用。

### （4）热力学与动力学的综合应用（15 分钟）

教学方法：讲授+案例分析

热力学与动力学的协同作用：

讲解热力学和动力学在多晶硅生产中的协同作用，分析如何通过优化热力学和动力学条件实现高效生产。

实际案例分析：

通过实际生产案例，分析热力学和动力学条件对多晶硅产率、纯度和能耗的影响。

互动设计：

提问：“在实际生产中，如何平衡热力学和动力学条件以实现最优工艺？”

小组讨论（5 分钟）：“结合热力学和动力学知识，提出一种优化改良西门子法的方案。”

目标：帮助学生理解热力学和动力学的综合应用及其在工艺优化中的重要性。

(5) 总结与练习 (5 分钟)

教学方法：总结+练习

总结本节课程的核心内容，强调热力学和动力学在改良西门子法中的重要性。

布置练习题：

计算给定温度下三氯氢硅还原反应的吉布斯自由能变化。

## 7.5.5 教学方法

讲授、互动、讨论和练习

## 7.5.6 作业安排

分析温度对三氯氢硅还原反应速率的影响。

## 7.6 教学单元六

### 7.6.1 教学日期

第11周，3-4节

### 7.6.2 教学目标

- (1) 掌握氢气性质
- (2) 理解电解水制氢原理
- (3) 掌握电解水制氢工艺流程、制氢站关键及核心设备
- (4) 能判断与处理制氢站常见问题
- (5) 能在制氢站出现突发事故时进行处理

### 7.6.3 教学内容

- (1) 氢气的性质、电解水制氢的基本原理、氢气的生产工艺流程
- (2) 制氢站的核心设备：电解槽、电解液循环系统、氢气系统、氧气系统、补水和碱系统、冷却水系统、氮气及氮气吹扫系统、排污系统
- (3) 制氢站主要控制条件
- (4) 操作与维护
- (5) 应急事故及处理



## 7.6.4 教学过程

### (1) 导入环节 (5 分钟)

活动设计：

展示氢气在多晶硅生产中的应用场景（如还原反应），提出问题：“你知道氢气在多晶硅生产中是如何制备的吗？它的性质和制备工艺对多晶硅生产有何影响？”

简要介绍本节课程的学习目标，激发学生兴趣。

目标：引出课程主题，明确学习目标。

### (2) 氢气的性质与电解水制氢的基本原理 (15 分钟)

教学方法：讲授+图示展示

氢气的性质：讲解氢气的物理化学性质（如密度、可燃性、还原性）及其在多晶硅生产中的应用。

电解水制氢的基本原理：

介绍电解水制氢的化学反应方程式（如  $2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{H}_2 + \text{O}_2$ ）。

通过图示展示电解水制氢的过程及其关键参数（如电压、电流、电解效率）。

互动设计：

提问：“为什么电解水制氢是一种清洁的制氢方法？”

小组讨论（5 分钟）：“氢气在多晶硅生产中的作用是什么？”

目标：帮助学生掌握氢气的性质及电解水制氢的基本原理。

### (3) 氢气的生产工艺流程 (10 分钟)

教学方法：讲授+流程图展示

讲解氢气生产的典型工艺流程，包括原料水处理、电解、氢气纯化、储存和输送等环节。

通过流程图展示各环节的工艺参数和设备配置。

互动设计：

提问：“氢气纯化的主要方法有哪些？它们的作用是什么？”

目标：帮助学生理解氢气生产的全流程工艺。

### (4) 制氢站的核心设备 (20 分钟)

教学方法：讲授+图示展示

电解槽：讲解电解槽的结构、工作原理及其在制氢中的作用。

电解液循环系统：介绍电解液的组成及其循环系统的功能。

氢气系统、氧气系统：分析氢气系统和氧气系统的设备配置及其安全操作规范。

补水和碱系统：讲解补水和碱系统的作用及其维护要求。

冷却水系统：介绍冷却水系统的功能及其对设备运行的影响。

氮气及氮气吹扫系统：分析氮气系统的作用及其在安全操作中的应用。

排污系统：讲解排污系统的功能及其环保意义。

互动设计：

提问：“冷却水系统在制氢站中的作用是什么？”

小组讨论（5 分钟）：“如何通过优化设备配置提高制氢站的运行效率？”

目标：帮助学生掌握制氢站核心设备的结构、功能及其操作要求。

#### （5）制氢站主要控制条件（10 分钟）

教学方法：讲授+案例分析

讲解制氢站的主要控制条件，包括电解槽的电压和电流、电解液浓度、温度和压力等参数。

通过案例分析，讨论如何通过优化控制条件提高制氢效率。

互动设计：

提问：“温度和压力对电解水制氢的效率有何影响？”

目标：帮助学生理解制氢站的主要控制条件及其优化方法。

#### （6）操作与维护（10 分钟）

教学方法：讲授+案例分析

讲解制氢站的日常操作流程及其注意事项。

介绍设备的维护要求（如定期检查、清洗、更换易损件）。

互动设计：

提问：“制氢站设备的日常维护有哪些关键点？”

目标：帮助学生掌握制氢站的操作与维护技能。

#### （7）应急事故及处理（10 分钟）

教学方法：讲授+案例分析

讲解制氢站可能发生的应急事故（如氢气泄漏、设备故障）及其处理方法。

通过案例分析，讨论如何预防和应对应急事故。

互动设计：

提问：“氢气泄漏时应如何快速处理？”

目标：帮助学生掌握应急事故的处理方法及其预防措施。

(7) 总结与练习 (5 分钟)

教学方法：总结+练习

总结本节课程的核心内容，强调氢气制备及其相关设备、操作和维护的重要性。

布置练习题：

分析电解水制氢的主要控制条件及其优化方法。

## 7.6.5 教学方法

(1) 举例法、(2) 提问法、(3) 逻辑推导

## 7.6.6 作业安排

设计一种制氢站设备的日常维护计划

# 7.7 教学单元七

## 7.7.1 教学日期

第12周，1-2节

## 7.7.2 教学目标

- (1) 理解三氯氢硅合成原理
- (2) 掌握三氯氢硅合成工艺流程、关键及核心设备结构
- (3) 掌握三氯氢硅精馏提纯原理

## 7.7.3 教学内容

- (1) 三氯氢硅的性质
- (2) 三氯氢硅的合成原理
- (3) 三氯氢硅的合成工艺流程
- (4) 三氯氢硅合成的主要设备
- (5) 三氯氢硅精馏提纯

## 7.7.4 教学过程

(1) 导入环节 (5 分钟)

活动设计：

展示三氯氢硅在多晶硅生产中的应用场景，提出问题：“你知道三氯氢硅是如何制备和提纯的吗？它在多晶硅生产中起到了什么作用？”

简要介绍本节课程的学习目标，激发学生兴趣。

目标：引出课程主题，明确学习目标。

## （2）三氯氢硅的性质（10 分钟）

教学方法：讲授+图示展示

讲解三氯氢硅的物理化学性质，包括密度、沸点、蒸气压、溶解性、反应活性等。

通过图表展示三氯氢硅的性质数据及其在多晶硅生产中的重要性。

互动设计：

提问：“三氯氢硅的沸点和蒸气压对其提纯工艺有何影响？”

目标：帮助学生掌握三氯氢硅的基本性质及其在工艺设计中的应用。

## （3）三氯氢硅的合成原理（15 分钟）

教学方法：讲授+反应方程式展示

讲解三氯氢硅的合成原理，包括氢化法和歧化法的化学反应方程式。

通过图示展示反应机理及其关键参数（如温度、压力、催化剂）。

互动设计：

提问：“为什么氢化法是三氯氢硅合成的主要方法？”

小组讨论（5 分钟）：“比较氢化法和歧化法的优缺点，并分析其适用场景。”

目标：帮助学生掌握三氯氢硅的合成原理及其反应条件。

## （4）三氯氢硅的合成工艺流程（15 分钟）

教学方法：讲授+流程图展示

讲解三氯氢硅合成的典型工艺流程，包括原料准备、反应、分离、纯化等环节。

通过流程图展示各环节的工艺参数和设备配置。

互动设计：

提问：“三氯氢硅合成过程中，如何控制反应温度和压力？”

目标：帮助学生理解三氯氢硅合成的全流程工艺。

## （5）三氯氢硅合成的主要设备（15 分钟）

教学方法：讲授+图示展示

反应器：讲解反应器的结构、工作原理及其在合成中的作用。

分离设备：介绍分离设备（如冷凝器、过滤器）的功能及其操作要求。

纯化设备：分析纯化设备（如吸附塔、精馏塔）的结构及其在提纯中的应用。

互动设计：

提问：“反应器的材质选择对三氯氢硅合成有何影响？”

小组讨论（5 分钟）：“如何通过优化设备配置提高三氯氢硅的合成效率？”

目标：帮助学生掌握三氯氢硅合成主要设备的结构、功能及其操作要求。

#### （6）三氯氢硅精馏提纯（20 分钟）

教学方法：讲授+案例分析

讲解三氯氢硅精馏提纯的原理及其在多晶硅生产中的重要性。

通过流程图展示精馏提纯的工艺流程，包括预热、精馏、冷凝等环节。

分析精馏提纯的关键参数（如温度、压力、回流比）及其优化方法。

互动设计：

提问：“精馏提纯过程中，如何控制回流比以提高产品纯度？”

案例分析：“如何通过优化精馏工艺降低能耗？”

目标：帮助学生掌握三氯氢硅精馏提纯的原理及其工艺优化方法。

#### （7）总结与练习（5 分钟）

教学方法：总结+练习

总结本节课程的核心内容，强调三氯氢硅的性质、合成、设备及精馏提纯的重要性。

布置练习题：

分析三氯氢硅合成的主要控制条件及其优化方法。

设计一种三氯氢硅精馏提纯的优化方案。

目标：巩固课堂知识，检测学生学习效果。

#### （8）作业布置（5 分钟）

### 7.7.5 教学方法

1、提问法 2、提讲授

### 7.7.6 作业安排

阅读一篇关于三氯氢硅合成或精馏提纯技术的最新文献，总结其主要内容和创新点。

## 7.8教学单元八

### 7.8.1 教学日期

第12周，3-4节

### 7.8.2 教学目标

- (1) 掌握三氯氢硅还原制备高纯硅的原理、影响因素和工艺流程
- (2) 了解三氯氢硅还原制备高纯硅的关键设备

### 7.8.3 教学内容

- (1) 三氯氢硅还原制备高纯硅的原理
- (2) 三氯氢硅还原制备高纯硅的影响因素
- (3) 三氯氢硅还原制备高纯硅的工艺流程
- (4) 三氯氢硅还原制备高纯硅的关键设备：蒸发器、还原炉、淋洗塔系统等

### 7.8.4 教学过程

- (1) 导入环节（5 分钟）

活动设计：

展示高纯硅在半导体和光伏产业中的应用场景，提出问题：“你知道高纯硅是如何通过三氯氢硅还原制备的吗？这一过程的关键技术和设备是什么？”

简要介绍本节课程的学习目标，激发学生兴趣。

目标：引出课程主题，明确学习目标。

- (2) 三氯氢硅还原制备高纯硅的原理（15 分钟）

教学方法：讲授+反应方程式展示

讲解三氯氢硅还原制备高纯硅的化学反应方程式（如  $\text{SiHCl}_3 + \text{H}_2 \rightarrow \text{Si} + 3\text{HCl}$ ）。

通过图示展示反应机理及其关键参数（如温度、压力、氢气比例）。

互动设计：

提问：“为什么氢气在三氯氢硅还原反应中起到关键作用？”

小组讨论（5 分钟）：“三氯氢硅还原反应的副产物是什么？如何处理这些副产物？”

目标：帮助学生掌握三氯氢硅还原制备高纯硅的基本原理。

- (3) 三氯氢硅还原制备高纯硅的影响因素（20 分钟）

教学方法：讲授+数据分析

温度：讲解温度对反应速率和产物纯度的影响。

压力：分析压力对反应平衡和能耗的影响。

氢气比例：讨论氢气比例对反应选择性和副产物生成的影响。

催化剂：介绍催化剂的作用及其对反应效率的影响。

互动设计：

提问：“如何通过优化反应条件提高高纯硅的产率和纯度？”

小组讨论（5 分钟）：“温度和压力对三氯氢硅还原反应的综合影响是什么？”

目标：帮助学生理解影响三氯氢硅还原反应的关键因素及其优化方法。

#### （4）三氯氢硅还原制备高纯硅的工艺流程（20 分钟）

教学方法：讲授+流程图展示

讲解三氯氢硅还原制备高纯硅的典型工艺流程，包括原料准备、还原反应、产物分离、尾气处理等环节。

通过流程图展示各环节的工艺参数和设备配置。

互动设计：

提问：“尾气处理在三氯氢硅还原工艺中的作用是什么？”

目标：帮助学生理解三氯氢硅还原制备高纯硅的全流程工艺。

#### （5）三氯氢硅还原制备高纯硅的关键设备（20 分钟）

教学方法：讲授+图示展示

蒸发器：讲解蒸发器的结构、工作原理及其在原料准备中的作用。

还原炉：介绍还原炉的结构、加热方式及其在还原反应中的应用。

淋洗塔系统：分析淋洗塔系统的功能及其在尾气处理中的作用。

互动设计：

提问：“还原炉的材质选择对高纯硅制备有何影响？”

小组讨论（5 分钟）：“如何通过优化设备配置提高三氯氢硅还原工艺的效率？”

目标：帮助学生掌握三氯氢硅还原制备高纯硅的关键设备及其操作要求。

#### （6）总结与练习（5 分钟）

教学方法：总结+练习

总结本节课程的核心内容，强调三氯氢硅还原制备高纯硅的原理、影响因素、工艺流程及关键设备的重要性。

布置练习题：

分析三氯氢硅还原反应的主要控制条件及其优化方法。

设计一种三氯氢硅还原工艺的优化方案。

目标：巩固课堂知识，检测学生学习效果。

### 7.8.5 教学方法

(1) 举例法、(2) 提问法、(3) 逻辑推导

### 7.8.6 作业安排

结合本节内容，撰写一篇500字左右的短文，分析三氯氢硅还原工艺的优化策略。

## 7.9 教学单元九

### 7.9.1 教学日期

第13周，1-2节；

### 7.9.2 教学目标

- (1) 掌握尾气吸收的基本原理
- (2) 掌握 $\text{SiCl}_4$ 冷氢化的基本原理
- (3) 了解改良西门子法发展趋势
- (4) 了解 $\text{SiHCl}$ 制备多晶硅、 $\text{SiCl}$ 制备多晶硅、Asimi 工艺、MEMC工艺
- (5) 了解多晶硅材料的评价方法

### 7.9.3 教学内容

- (1) 尾气回收
- (2)  $\text{SiCl}_4$  冷氢化
- (3) 改良西门子法发展趋势
- (4) 其他氯硅烷法制备多晶硅： $\text{SiHCl}$  制备多晶硅、 $\text{SiCl}$  制备多晶硅
- (5) 硅烷法制备多晶硅工艺：Asimi 工艺、MEMC 工艺
- (6) 多晶硅材料的评价

### 7.9.4 教学过程

- (1) 导入环节（5 分钟）



活动设计：

展示多晶硅生产中的尾气处理场景，提出问题：“你知道多晶硅生产中的尾气是如何回收利用的吗？这些技术对环境保护和资源利用有何意义？”

简要介绍本节课程的学习目标，激发学生兴趣。

目标：引出课程主题，明确学习目标。

## （2）尾气回收（15 分钟）

教学方法：讲授+流程图展示

讲解尾气回收的原理及其在多晶硅生产中的重要性。

通过流程图展示尾气回收的典型工艺流程，包括冷凝、吸附、分离等环节。

互动设计：

提问：“尾气回收的主要目的是什么？它对多晶硅生产成本有何影响？”

小组讨论（5 分钟）：“如何通过优化尾气回收工艺提高资源利用率？”

目标：帮助学生掌握尾气回收的原理及其在工艺优化中的应用。

## （3）SiCl<sub>4</sub>冷氢化（15 分钟）

教学方法：讲授+反应方程式展示

讲解 SiCl<sub>4</sub>冷氢化的化学反应方程式（如  $\text{SiCl}_4 + 2\text{H}_2 \rightarrow \text{Si} + 4\text{HCl}$ ）。

通过图示展示冷氢化的工艺流程及其关键参数（如温度、压力、催化剂）。

互动设计：

提问：“SiCl<sub>4</sub>冷氢化在多晶硅生产中的作用是什么？”

小组讨论（5 分钟）：“冷氢化工艺的优缺点是什么？如何优化其反应条件？”

目标：帮助学生掌握 SiCl<sub>4</sub>冷氢化的原理及其在资源利用中的重要性。

## （4）改良西门子法发展趋势（10 分钟）

教学方法：讲授+案例分析

讲解改良西门子法的最新发展趋势，包括工艺优化、设备升级、绿色生产等方向。

通过案例分析，讨论改良西门子法在降低能耗、提高纯度方面的创新。

互动设计：

提问：“改良西门子法未来的发展方向是什么？”

目标：帮助学生了解改良西门子法的发展趋势及其对行业的影响。

#### （5）其他氯硅烷法制备多晶硅（10 分钟）

教学方法：讲授+反应方程式展示

讲解  $\text{SiHCl}_3$  和  $\text{SiCl}_4$  制备多晶硅的化学反应方程式及其工艺流程。

比较这些方法与改良西门子法的优缺点。

互动设计：

提问：“ $\text{SiHCl}_3$  和  $\text{SiCl}_4$  制备多晶硅的适用场景是什么？”

目标：帮助学生了解其他氯硅烷法制备多晶硅的原理及其应用。

#### （6）硅烷法制备多晶硅工艺（15 分钟）

教学方法：讲授+案例分析

讲解硅烷法制备多晶硅的原理及其工艺流程（如 Asimi 工艺、MEMC 工艺）。

通过案例分析，讨论硅烷法在高纯度多晶硅生产中的优势。

互动设计：

提问：“硅烷法与改良西门子法相比有哪些优势？”

小组讨论（5 分钟）：“硅烷法在未来的多晶硅生产中可能有哪些应用？”

目标：帮助学生掌握硅烷法制备多晶硅的原理及其发展趋势。

#### （7）多晶硅材料的评价（10 分钟）

教学方法：讲授+数据分析

讲解多晶硅材料的评价指标，包括纯度、晶体质量、电学性能等。

通过数据分析，讨论多晶硅材料评价对生产工艺的指导意义。

互动设计：

提问：“多晶硅材料的纯度对其在半导体和光伏产业中的应用有何影响？”

目标：帮助学生掌握多晶硅材料的评价方法及其在工艺优化中的应用。

#### （8）总结与练习（5 分钟）

教学方法：总结+练习

总结本节课的核心内容，强调尾气回收、 $\text{SiCl}_4$  冷氢化、改良西门子法发展趋势、其他氯硅烷法、硅烷法及多晶硅材料评价的重要性。

### 7.9.5 教学方法

（1）举例法、（2）提问法、（3）逻辑推导

## 7.9.6 作业布置

分析尾气回收和 $\text{SiCl}_4$ 冷氢化在多晶硅生产中的作用。

比较改良西门子法和硅烷法的优缺点。

## 7.10 教学单元十

### 7.10.1 教学日期

第13周，3-4节

### 7.10.2 教学目标

- (1) 能够通过讨论分析改良西门子法的工艺优化方向、环境影响及未来发展趋势。
- (2) 能够清晰、有条理地表达自己的观点，并参与小组讨论和互动。
- (3) 能够与小组成员协作，共同完成讨论任务并展示讨论结果。

### 7.10.3 教学内容

改良西门子法的讨论课程

### 7.10.4 教学过程

- (1) 导入环节（5分钟）

活动设计：

简要回顾改良西门子法的基本原理和工艺流程，提出讨论课的主题：“改良西门子法的优化与未来发展”。

介绍讨论课的目标和形式，激发学生的参与兴趣。

目标：明确讨论主题，调动学生的积极性。

- (2) 分组与选题（10分钟）

活动设计：

将学生分为若干小组（每组4-6人），每组选择一个讨论题目（可从以下主题中选择）：

改良西门子法的工艺优化方法。

改良西门子法的环境影响与绿色生产工艺。

改良西门子法与其他多晶硅制备工艺的比较。

改良西门子法的未来发展趋势。

每组分配一名组长，负责组织讨论和记录讨论结果。

目标：确保每个小组有明确的讨论方向，为后续讨论做好准备。

### （3）小组讨论（30分钟）

活动设计：

各小组围绕所选题目展开讨论，组长负责引导讨论并记录关键观点。

教师巡视各小组，提供必要的指导和帮助。

讨论提示：

工艺优化：如何通过调整反应条件、改进设备、引入新技术提高工艺效率？

环境影响：改良西门子法的主要环境问题是什么？如何实现绿色生产？

工艺比较：改良西门子法与硅烷法、流化床法相比有哪些优缺点？

未来趋势：改良西门子法在未来多晶硅生产中的地位如何？可能面临哪些挑战？

目标：通过小组讨论，激发学生的思考，培养其团队合作和问题分析能力。

### （4）小组展示与互动（30分钟）

活动设计：

每组派一名代表分享讨论结果（每组5分钟），其他小组可以提问或补充。

教师对每组展示进行点评，引导学生深入思考。

互动设计：

提问：“你们小组提出的优化方案在实际生产中是否可行？为什么？”

辩论：“改良西门子法在未来是否会被其他工艺取代？”

目标：通过展示和互动，拓宽学生的视野，培养其表达和批判性思维能力。

### （5）总结与点评（10分钟）

活动设计：

教师总结各组的讨论结果，强调改良西门子法的核心优化方向和发展趋势。

点评学生的表现，指出讨论中的亮点和不足。

目标：帮助学生梳理讨论内容，巩固学习成果。

## 7.10.5 教学方法

讨论

## 7.10.6 作业布置

改良西门子法在未来多晶硅生产中的地位如何？可能面临哪些挑战？

## 7.11 教学单元十一

### 7.11.1 教学日期

第14周，1-2节

### 7.11.2 教学目标

- (1) 掌握冶金法太阳级多晶硅提纯技术
- (2) 了解冶金法多晶硅的进展，多晶硅的提纯工艺，硅料的储运和处理
- (3) 明白冶金法多晶硅的生产设备，安全生产问题和应用

### 7.11.3 教学内容

- (1) 冶金法太阳级多晶硅提纯技术
- (2) 冶金法多晶硅的进展
- (3) 冶金法多晶硅的提纯工艺
- (4) 硅料的储运和处理
- (5) 冶金法多晶硅的生产设备
- (6) 冶金法多晶硅的安全生产问题
- (7) 冶金法多晶硅的应用

### 7.11.4 教学过程

- (1) 导入环节（5 分钟）

活动设计：

展示冶金法多晶硅在光伏产业中的应用场景，提出问题：“你知道冶金法多晶硅是如何提纯的吗？它在太阳级多晶硅生产中有何优势？”

简要介绍本节课程的学习目标，激发学生兴趣。

目标：引出课程主题，明确学习目标。

- (2) 冶金法太阳级多晶硅提纯技术（15 分钟）

教学方法：讲授+图示展示

讲解冶金法多晶硅提纯的基本原理及其在太阳级多晶硅生产中的应用。

通过流程图展示冶金法提纯的典型工艺流程。

互动设计：

提问：“冶金法提纯与化学法提纯相比有哪些优势？”

小组讨论（5 分钟）：“冶金法提纯在太阳级多晶硅生产中的潜力是什么？”

目标：帮助学生掌握冶金法提纯的基本原理及其应用。

### （3）冶金法多晶硅的进展（10 分钟）

教学方法：讲授+案例分析

讲解冶金法多晶硅的技术进展，包括工艺优化、设备升级、绿色生产等方向。

通过案例分析，讨论冶金法多晶硅在降低成本和能耗方面的创新。

互动设计：

提问：“冶金法多晶硅的技术进展对光伏产业有何影响？”

目标：帮助学生了解冶金法多晶硅的最新进展及其行业意义。

### （4）冶金法多晶硅的提纯工艺（15 分钟）

教学方法：讲授+流程图展示

讲解冶金法多晶硅的提纯工艺，包括熔炼、定向凝固、酸洗等环节。

通过流程图展示各环节的工艺参数和设备配置。

互动设计：

提问：“定向凝固在冶金法提纯中的作用是什么？”

小组讨论（5 分钟）：“如何通过优化提纯工艺提高多晶硅的纯度？”

目标：帮助学生理解冶金法多晶硅的提纯工艺及其优化方法。

### （5）硅料的储运和处理（10 分钟）

教学方法：讲授+案例分析

讲解硅料的储存、运输和处理方法，分析其对多晶硅生产的影响。

通过案例分析，讨论硅料处理中的常见问题及其解决方案。

互动设计：

提问：“硅料处理不当会对多晶硅生产造成哪些影响？”

目标：帮助学生掌握硅料储运和处理的关键技术。

### （6）冶金法多晶硅的生产设备（10 分钟）

教学方法：讲授+图示展示

讲解冶金法多晶硅生产的关键设备，包括熔炼炉、定向凝固炉、酸洗设备等。

通过图示展示设备的结构及其在提纯中的作用。

互动设计：

提问：“定向凝固炉的工作原理是什么？如何优化其性能？”

目标：帮助学生掌握冶金法多晶硅生产设备的结构及其操作要求。

#### （7）冶金法多晶硅的安全生产问题（10 分钟）

教学方法：讲授+案例分析

讲解冶金法多晶硅生产中的安全问题，包括高温操作、化学品使用、设备维护等。

通过案例分析，讨论如何预防和应对安全生产问题。

互动设计：

提问：“冶金法多晶硅生产中的主要安全隐患是什么？如何防范？”

目标：帮助学生掌握冶金法多晶硅生产中的安全操作规范。

#### （8）冶金法多晶硅的应用（10 分钟）

教学方法：讲授+案例分析

讲解冶金法多晶硅在光伏产业中的应用，分析其市场前景和技术挑战。

通过案例分析，讨论冶金法多晶硅在降低成本和提高效率方面的潜力。

互动设计：

提问：“冶金法多晶硅在未来的光伏产业中可能有哪些应用？”

目标：帮助学生了解冶金法多晶硅的应用及其行业意义。

#### （9）总结与练习（5 分钟）

教学方法：总结+练习

总结本节课程的核心内容，强调冶金法多晶硅提纯技术、设备、安全及应用的重要性。

目标：巩固课堂知识，检测学生学习效果。

### 7.11.5 教学方法

（1）举例法、（2）提问法、（3）逻辑推导

### 7.11.6 作业布置

分析冶金法多晶硅提纯工艺的优化方法。

设计一种冶金法多晶硅生产的安全操作规范。

## 7.12 教学单元十二

### 7.12.1 教学日期

第14周，3-4节

### 7.12.2 教学目标

- (1) 掌握流化床法太阳级多晶硅提纯技术的基本原理
- (2) 掌握无氯法太阳级多晶硅提纯技术的基本原理
- (3) 掌握直接冶炼法太阳级多晶硅提纯技术的基本原理

### 7.12.3 教学内容

- (1) 流化床法太阳级多晶硅提纯技术
- (2) 无氯法太阳级多晶硅提纯技术
- (3) 直接冶炼法太阳级多晶硅提纯技术

### 7.12.4 教学过程

- (1) 导入环节（5 分钟）

活动设计：

展示太阳级多晶硅在光伏产业中的应用场景，提出问题：“你知道除了改良西门子法，还有哪些技术可以提纯太阳级多晶硅吗？这些技术有何特点？”

简要介绍本节课程的学习目标，激发学生兴趣。

目标：引出课程主题，明确学习目标。

- (2) 流化床法太阳级多晶硅提纯技术（25 分钟）

教学方法：讲授+图示展示

基本原理：讲解流化床法提纯的基本原理及其在太阳级多晶硅生产中的应用。

工艺流程：通过流程图展示流化床法提纯的典型工艺流程，包括原料处理、流化床反应、产物分离等环节。

优缺点分析：讨论流化床法提纯的优势（如高效、连续生产）和局限性（如设备复杂、能耗较高）。

互动设计：

提问：“流化床法提纯与改良西门子法相比有哪些优势？”

小组讨论（5 分钟）：“如何通过优化流化床法提纯工艺降低能耗？”



目标：帮助学生掌握流化床法提纯的基本原理及其应用。

### （3）无氯法太阳级多晶硅提纯技术（25 分钟）

教学方法：讲授+案例分析

基本原理：讲解无氯法提纯的基本原理及其在太阳级多晶硅生产中的应用。

工艺流程：通过流程图展示无氯法提纯的典型工艺流程，包括硅烷制备、热分解、产物分离等环节。

优缺点分析：讨论无氯法提纯的优势（如无氯污染、高纯度）和局限性（如成本较高、工艺复杂）。

互动设计：

提问：“无氯法提纯在环境保护方面有何优势？”

小组讨论（5 分钟）：“无氯法提纯在未来的多晶硅生产中可能有哪些应用？”

目标：帮助学生掌握无氯法提纯的基本原理及其应用。

### （4）直接冶炼法太阳级多晶硅提纯技术（25 分钟）

教学方法：讲授+图示展示

基本原理：讲解直接冶炼法提纯的基本原理及其在太阳级多晶硅生产中的应用。

工艺流程：通过流程图展示直接冶炼法提纯的典型工艺流程，包括熔炼、定向凝固、酸洗等环节。

优缺点分析：讨论直接冶炼法提纯的优势（如低成本、简单工艺）和局限性（如纯度较低）。

互动设计：

提问：“直接冶炼法提纯在太阳级多晶硅生产中的潜力是什么？”

小组讨论（5 分钟）：“如何通过优化直接冶炼法提纯工艺提高多晶硅的纯度？”

目标：帮助学生掌握直接冶炼法提纯的基本原理及其应用。

### （5）总结与练习（5 分钟）

教学方法：总结+练习

总结本节课的核心内容，强调流化床法、无氯法和直接冶炼法提纯技术的原理、工艺流程及其应用。

## 7.12.5 教学方法

（1）举例法、（2）提问法、（3）逻辑推导

### 7.12.6 作业布置

比较流化床法、无氯法和直接冶炼法提纯技术的优缺点。

设计一种优化太阳级多晶硅提纯工艺的方案。

## 7.13 教学单元十三

### 7.13.1 教学日期

第15周，1-2节

### 7.13.2 教学目标

- (1) 掌握区域熔化提纯法、气-液沉积法(VLD 技术)的原理
- (2) 了解常压碘化学气相传输净化法，电化学熔盐电解法和其他方法
- (3) 了解太阳级硅的存在问题和解决办法

### 7.13.3 教学内容

- (1) 区域熔化提纯法
- (2) 气-液沉积法(VLD 技术)
- (3) 常压碘化学气相传输净化法
- (4) 电化学熔盐电解法
- (5) 其他方法
- (6) 太阳级硅的存在问题和解决办法

### 7.13.4 教学过程

- (1) 导入环节（5 分钟）

活动设计：

展示太阳级多晶硅在光伏产业中的应用场景，提出问题：“你知道有哪些新兴技术可以提纯太阳级多晶硅吗？这些技术有何特点？”

简要介绍本节课程的学习目标，激发学生兴趣。

目标：引出课程主题，明确学习目标。

- (2) 区域熔化提纯法（15 分钟）

教学方法：讲授+图示展示

基本原理：讲解区域熔化提纯法的基本原理及其在太阳级多晶硅生产中的应用。

工艺流程：通过流程图展示区域熔化提纯的典型工艺流程，包括加热、熔化、凝固等环节。

优缺点分析：讨论区域熔化提纯的优势（如高纯度）和局限性（如能耗较高）。

互动设计：

提问：“区域熔化提纯法在太阳级多晶硅生产中的潜力是什么？”

小组讨论（5 分钟）：“如何通过优化区域熔化提纯工艺降低能耗？”

目标：帮助学生掌握区域熔化提纯法的基本原理及其应用。

### （3）气-液沉积法（VLD 技术）（15 分钟）

教学方法：讲授+图示展示

基本原理：讲解气-液沉积法的基本原理及其在太阳级多晶硅生产中的应用。

工艺流程：通过流程图展示气-液沉积法的典型工艺流程，包括气相沉积、液相分离、产物收集等环节。

优缺点分析：讨论气-液沉积法的优势（如高效、连续生产）和局限性（如设备复杂）。

互动设计：

提问：“气-液沉积法与流化床法相比有哪些优势？”

小组讨论（5 分钟）：“气-液沉积法在未来的多晶硅生产中可能有哪些应用？”

目标：帮助学生掌握气-液沉积法的基本原理及其应用。

### （4）常压碘化学气相传输净化法（15 分钟）

教学方法：讲授+案例分析

基本原理：讲解常压碘化学气相传输净化法的基本原理及其在太阳级多晶硅生产中的应用。

工艺流程：通过流程图展示常压碘化学气相传输净化法的典型工艺流程，包括碘化、传输、沉积等环节。

优缺点分析：讨论该方法的优势（如高纯度）和局限性（如成本较高）。

互动设计：

提问：“常压碘化学气相传输净化法在环境保护方面有何优势？”

小组讨论（5 分钟）：“如何通过优化该方法降低生产成本？”

目标：帮助学生掌握常压碘化学气相传输净化法的基本原理及其应用。

### （5）电化学熔盐电解法（15 分钟）

教学方法：讲授+图示展示

基本原理：讲解电化学熔盐电解法的基本原理及其在太阳级多晶硅生产中的应用。

工艺流程：通过流程图展示电化学熔盐电解法的典型工艺流程，包括熔盐制备、电解、产物分离等环节。

优缺点分析：讨论该方法的优势（如低成本）和局限性（如工艺复杂）。

互动设计：

提问：“电化学熔盐电解法在太阳级多晶硅生产中的潜力是什么？”

小组讨论（5 分钟）：“如何通过优化该方法提高多晶硅的纯度？”

目标：帮助学生掌握电化学熔盐电解法的基本原理及其应用。

#### （6）其他方法（10 分钟）

教学方法：讲授+案例分析

简要介绍其他太阳级多晶硅提纯方法（如等离子体法、激光熔炼法）。

通过案例分析，讨论这些方法的优缺点及其应用前景。

互动设计：

提问：“这些新兴提纯方法在未来的多晶硅生产中可能有哪些应用？”

目标：帮助学生了解其他提纯方法的基本原理及其应用。

#### （7）太阳级硅的存在问题和解决办法（10 分钟）

教学方法：讲授+案例分析

讲解太阳级硅生产中存在的主要问题（如纯度不足、成本高、能耗大）。

通过案例分析，讨论解决这些问题的可能方法（如工艺优化、设备升级、绿色生产）。

互动设计：

提问：“如何通过技术创新解决太阳级硅生产中的问题？”

目标：帮助学生理解太阳级硅生产中的问题及其解决方案。

#### （8）总结与练习（5 分钟）

教学方法：总结+练习

总结本节课程的核心内容，强调区域熔化提纯法、气-液沉积法、常压碘化学气相传输净化法、电化学熔盐电解法及其他方法的基本原理及其应用。

目标：巩固课堂知识，检测学生学习效果。

### 7.13.5 教学方法

(1) 举例法、(2) 提问法、(3) 逻辑推导

### 7.13.6 作业布置

比较区域熔化提纯法和气-液沉积法的优缺点。

设计一种优化太阳级硅提纯工艺的方案。

## 7.14 教学单元十四

### 7.14.1 教学日期

第15周，3-4节

### 7.14.2 教学目标

- (1) 掌握硅晶体生长原理、工艺
- (2) 掌握直拉法制备单晶硅
- (3) 了解悬浮区熔法制备单晶硅工艺

### 7.14.3 教学内容

- (1) 硅晶体生长工艺
- (2) 直拉法制备单晶硅
- (3) 悬浮区熔法制备单晶硅工艺

### 7.14.4 教学过程

(1) 导入环节（5 分钟）

活动设计：

展示单晶硅在半导体和光伏产业中的应用场景，提出问题：“你知道单晶硅是如何生长的吗？直拉法和悬浮区熔法有何不同？”

简要介绍本节课程的学习目标，激发学生兴趣。

目标：引出课程主题，明确学习目标。

(2) 硅晶体生长工艺概述（10 分钟）

教学方法：讲授+图示展示

讲解硅晶体生长的基本原理，包括晶体成核、生长和缺陷控制。

通过图示展示硅晶体生长的典型工艺流程。

互动设计：

提问：“晶体生长过程中，如何控制晶体的缺陷？”

目标：帮助学生掌握硅晶体生长的基本原理及其在单晶硅制备中的应用。

### （3）直拉法制备单晶硅（30 分钟）

教学方法：讲授+图示展示

基本原理：讲解直拉法的基本原理及其在单晶硅制备中的应用。

工艺流程：通过流程图展示直拉法的典型工艺流程，包括熔料、引晶、放肩、等径生长、收尾等环节。

关键参数：讨论温度、拉速、转速等参数对单晶硅质量的影响。

优缺点分析：讨论直拉法的优势（如高纯度、大尺寸）和局限性（如能耗较高）。

互动设计：

提问：“直拉法中，如何通过控制拉速和转速提高单晶硅的质量？”

小组讨论（5 分钟）：“直拉法在未来的单晶硅生产中可能有哪些改进方向？”

目标：帮助学生掌握直拉法制备单晶硅的基本原理及其应用。

### （4）悬浮区熔法制备单晶硅工艺（30 分钟）

教学方法：讲授+图示展示

基本原理：讲解悬浮区熔法的基本原理及其在单晶硅制备中的应用。

工艺流程：通过流程图展示悬浮区熔法的典型工艺流程，包括熔区形成、晶体生长、熔区移动等环节。

关键参数：讨论温度、熔区宽度、移动速度等参数对单晶硅质量的影响。

优缺点分析：讨论悬浮区熔法的优势（如高纯度、无坩埚污染）和局限性（如尺寸受限）。

互动设计：

提问：“悬浮区熔法与直拉法相比有哪些优势？”

小组讨论（5 分钟）：“悬浮区熔法在未来的单晶硅生产中可能有哪些应用？”

目标：帮助学生掌握悬浮区熔法制备单晶硅的基本原理及其应用。

### （5）总结与练习（10 分钟）

教学方法：总结+练习

总结本节课程的核心内容，强调直拉法和悬浮区熔法的基本原理、工艺流程及其应用。

### 7.14.5 教学方法

(1) 举例法、(2) 提问法、(3) 引导法

### 7.14.6 作业布置

比较直拉法和悬浮区熔法的优缺点。

设计一种优化单晶硅生长工艺的方案。

## 7.15 教学单元十五

### 7.15.1 教学日期

第16周，1-2节

### 7.15.2 教学目标

- (1) 掌握多晶硅制备技术
- (2) 清楚掺杂工艺
- (3) 了解带状多晶硅制造技术

### 7.15.3 教学内容

- (1) 多晶硅制备技术
- (2) 掺杂工艺
- (3) 带状多晶硅制造技术

### 7.15.4 教学过程

(1) 导入环节 (5 分钟)

活动设计：

展示多晶硅在光伏产业中的应用场景，提出问题：“你知道多晶硅是如何制备的吗？掺杂工艺和带状多晶硅制造技术在其中起到了什么作用？”

简要介绍本节课程的学习目标，激发学生兴趣。

目标：引出课程主题，明确学习目标。

(2) 多晶硅制备技术 (30 分钟)

教学方法：讲授+图示展示

基本原理：讲解多晶硅制备的基本原理及其在光伏产业中的应用。

工艺流程：通过流程图展示多晶硅制备的典型工艺流程，包括硅源合成、还原反应、

晶体生长等环节。

关键设备：介绍多晶硅制备中的关键设备（如还原炉、蒸发器、淋洗塔系统）。

优缺点分析：讨论多晶硅制备技术的优势（如低成本、高效率）和局限性（如纯度较低）。

互动设计：

提问：“多晶硅制备中，如何通过优化工艺提高硅材料的纯度？”

小组讨论（5 分钟）：“多晶硅制备技术在未来的光伏产业中可能有哪些改进方向？”

目标：帮助学生掌握多晶硅制备技术的基本原理及其应用。

### （3）掺杂工艺（25 分钟）

教学方法：讲授+案例分析

基本原理：讲解掺杂工艺的基本原理及其在半导体和光伏产业中的应用。

掺杂方法：介绍常见的掺杂方法（如扩散法、离子注入法）。

掺杂元素：讨论常用掺杂元素（如硼、磷）及其对硅材料电学性能的影响。

优缺点分析：讨论掺杂工艺的优势（如精确控制电学性能）和局限性（如工艺复杂）。

互动设计：

提问：“掺杂工艺在光伏电池中的作用是什么？”

小组讨论（5 分钟）：“如何通过优化掺杂工艺提高光伏电池的效率？”

目标：帮助学生掌握掺杂工艺的基本原理及其应用。

### （4）带状多晶硅制造技术（25 分钟）

教学方法：讲授+图示展示

基本原理：讲解带状多晶硅制造技术的基本原理及其在光伏产业中的应用。

工艺流程：通过流程图展示带状多晶硅制造的典型工艺流程，包括熔料、拉带、冷却、切割等环节。

关键设备：介绍带状多晶硅制造中的关键设备（如拉带机、冷却系统）。

优缺点分析：讨论带状多晶硅制造技术的优势（如低成本、高效率）和局限性（如厚度均匀性控制）。

互动设计：

提问：“带状多晶硅制造技术与传统多晶硅制备技术相比有哪些优势？”

小组讨论（5 分钟）：“带状多晶硅制造技术在未来的光伏产业中可能有哪些应用？”

目标：帮助学生掌握带状多晶硅制造技术的基本原理及其应用。



(5) 总结与练习 (5 分钟)

教学方法：总结+练习

总结本节课程的核心内容，强调多晶硅制备技术、掺杂工艺和带状多晶硅制造技术的基本原理及其应用。

### 7.15.5 作业布置

比较多晶硅制备技术和带状多晶硅制造技术的优缺点。

设计一种优化掺杂工艺的方案。

### 7.15.6 教学方法

(1) 举例法、(2) 提问法、(3) 引导法

## 7.16 教学单元十六

### 7.16.1 教学日期

第 16 周，3-4 节

### 7.16.2 教学目标

了解硅片生产技术

### 7.16.3 教学内容

硅片生产技术：外圆加工、内圆切割、多线锯切割技术、清洗及腐蚀、硅片绒面制备技术

### 7.16.4 教学过程

(1) 导入环节 (5 分钟)

活动设计：

展示硅片在半导体和光伏产业中的应用场景，提出问题：“你知道硅片是如何生产的吗？不同的切割和表面处理技术对硅片性能有何影响？”

简要介绍本节课程的学习目标，激发学生兴趣。

目标：引出课程主题，明确学习目标。

## （2）外圆加工（10 分钟）

教学方法：讲授+图示展示

基本原理：讲解外圆加工的基本原理及其在硅片生产中的应用。

工艺流程：通过流程图展示外圆加工的典型工艺流程，包括切割、研磨、抛光等环节。

关键设备：介绍外圆加工中的关键设备（如切割机、研磨机）。

互动设计：

提问：“外圆加工在硅片生产中的作用是什么？”

目标：帮助学生掌握外圆加工的基本原理及其应用。

## （3）内圆切割（10 分钟）

教学方法：讲授+图示展示

基本原理：讲解内圆切割的基本原理及其在硅片生产中的应用。

工艺流程：通过流程图展示内圆切割的典型工艺流程，包括切割、清洗、检测等环节。

关键设备：介绍内圆切割中的关键设备（如内圆切割机）。

互动设计：

提问：“内圆切割与外圆切割相比有哪些优势？”

目标：帮助学生掌握内圆切割的基本原理及其应用。

## （4）多线锯切割技术（20 分钟）

教学方法：讲授+图示展示

基本原理：讲解多线锯切割技术的基本原理及其在硅片生产中的应用。

工艺流程：通过流程图展示多线锯切割的典型工艺流程，包括切割、清洗、检测等环节。

关键设备：介绍多线锯切割中的关键设备（如多线锯切割机）。

优缺点分析：讨论多线锯切割技术的优势（如高效、高精度）和局限性（如成本较高）。

互动设计：

提问：“多线锯切割技术在硅片生产中的优势是什么？”

小组讨论（5 分钟）：“如何通过优化多线锯切割工艺提高硅片的质量？”

目标：帮助学生掌握多线锯切割技术的基本原理及其应用。

#### （5）清洗及腐蚀（20 分钟）

教学方法：讲授+案例分析

基本原理：讲解清洗及腐蚀的基本原理及其在硅片生产中的应用。

清洗工艺：介绍清洗的典型工艺流程，包括预清洗、去离子水清洗、干燥等环节。

腐蚀工艺：讲解腐蚀的典型工艺流程，包括酸洗、碱洗、表面处理等环节。

优缺点分析：讨论清洗及腐蚀工艺的优势（如提高表面质量）和局限性（如化学品使用）。

互动设计：

提问：“清洗及腐蚀工艺在硅片生产中的作用是什么？”

小组讨论（5 分钟）：“如何通过优化清洗及腐蚀工艺提高硅片的表面质量？”

目标：帮助学生掌握清洗及腐蚀工艺的基本原理及其应用。

#### （6）硅片绒面制备技术（20 分钟）

教学方法：讲授+图示展示

基本原理：讲解硅片绒面制备技术的基本原理及其在光伏产业中的应用。

工艺流程：通过流程图展示绒面制备的典型工艺流程，包括刻蚀、清洗、检测等环节。

关键设备：介绍绒面制备中的关键设备（如刻蚀机、清洗机）。

优缺点分析：讨论绒面制备技术的优势（如提高光吸收效率）和局限性（如工艺复杂）。

互动设计：

提问：“绒面制备技术在光伏电池中的作用是什么？”

小组讨论（5 分钟）：“如何通过优化绒面制备工艺提高光伏电池的效率？”

目标：帮助学生掌握硅片绒面制备技术的基本原理及其应用。

#### （7）总结与练习（5 分钟）

教学方法：总结+练习

总结本节课程的核心内容，强调外圆加工、内圆切割、多线锯切割技术、清洗及腐蚀、硅片绒面制备技术的基本原理及其应用。

### **7.16.5 教学方法**

(1) 举例法、(2) 提问法、(3) 引导法

### **7.16.6 作业布置**

- (1) 比较多线锯切割技术和内圆切割技术的优缺点。
- (2) 设计一种优化硅片清洗及腐蚀工艺的方案。

## 八、课程要求

### 8.1 学生自学要求

课前预习：需要学生课前对相关的知识进行预习，对下次所需学习内容有一个初步了解，这样老师在讲解知识点时能够更好理解。

课中：认真听讲，与老师互动，针对老师提出的问题积极思考，不懂的知识点向老师多加请教。

课后：认真学习教材，学习老师课件，巩固老师所讲知识点，并通过课后习题方式加深知识点理解。

### 8.2 课外阅读要求

阅读教材之外至少一本参考书，或者是充分利用网络知识，学习许多高校的精品课程，进一步加深知识点理解。

### 8.3 课堂讨论要求

针对重点和难点知识设置讨论或典型例题。讨论一般以分组的方式进行，要求每组要有自己的结论，小组成员必须发言。

## 九、课程考核

### 9.1 出勤（迟到、早退等）、作业、期末考核等要求

**出勤：**本课程的学习中，选课同学应该主动遵守四川轻化工大学学生管理条例中关于出勤的相政策规定。本课程将采用倒扣分形式，即对无故缺席的同学，每缺席 1 次平均时成绩扣 10 分，直至扣完。此外，请假的同学务必在上课前出示假条，后补无效。

**迟到与早退：**上课铃后进入教室的同学算迟到。下课前擅自离开教室的同学算早。迟到和早退一次扣 2 分。

### 9.2 成绩的构成与评分规则说明

课程考核采用课堂表现、课后作业和期末考试考核。课堂表现占课程成绩的 10%，课后作业占课程成绩的 60%，期末考核成绩占总成课程成绩的 30%。即课程成绩=课堂表现×10%+课后作业×60%+期末考核成绩×30%。

## 十、学术诚信

作业和期末考核等，若有剽窃和抄袭行为被证实，当次成绩按零分记。

# 十一、 课堂规范

## 11.1 课堂纪律

学生在《多晶硅生产技术》课程进行中应遵守以下规范：

- （1）学生必须按时上课，不得无故旷课、迟到或早退。上课期间禁止使用手机，迟到的同学应从后门进入教室并不得影响其他同学。
- （2）上课时学生衣着要整齐得体，专心听讲，认真做笔记，禁止随意交谈或
- （3）学生应爱护教室内的一切公物，不得搬走桌椅、不准取走电器设备，损坏公物照价赔偿。
- （4）若在课堂期间有私事需要处理，请安静离开，到教室外解决后安静地回到座位上。

## 11.2 课堂礼仪

- （1）学生不得穿背心、内裤、拖鞋进教室，不准在教室内抽烟。
- （2）学生应自觉保持教室整洁，不得随意吐痰、乱丢果皮、纸屑，严禁在桌椅上刻画。
- （3）课堂讲授过程中若需表达自己的观点前，请举手示意，得到允许后，用普通话发言，同学发言时认真听不得嘲笑。



## 十二、 课程资源

### 12.1 教材

刘秀琼. 多晶硅生产技术——项目化教程(第二版). 北京:化学工业出版社, 2019.

### 12.2 参考书

梁宗存. 多晶硅与硅片生产技术. 北京: 化学工业出版社, 2014.

邓丰. 多晶硅生产技术. 北京: 化学工业出版社, 2009.

### 12.3 网络资源

中国大学生慕课: <https://www.icourse163.org>

中国知网: <https://www.cnki.net>

### 12.4 学术期刊

AICHE Journal、Chemical Engineering Science (CES)、Industrial & Engineering Chemistry Research (IECR)

## 十三、 教学合约

### 13.1 教师作出师德师风承诺

作为一名光荣的人民教师，担负着教书育人的重任，为了认真履行教师职责，严格遵守《高等学校教师职业道德规范》；为了进一步明确授课教师对师德师风建设应负的责任，努力提高授课教师师德师风建设的整体水平，特向全社会作出公开承诺，全校教职工应在以下十方面履行职责，承担教育责任。

(1)、实行师德师风建设目标管理责任制，授课教师都应严格执行学校关于加强师德师风建设的各项规定，以德立身。

(2)、爱国守法。热爱祖国，热爱人民，拥护中国共产党领导，拥护中国特色社会主义制度。遵守宪法和法律法规，贯彻党和国家教育方针，依法履行教师职责，维护社会稳定和校园和谐。不得有损害国家利益和不利于学生健康成长的言行。

(3)、切实提高依法执教的法制意识，全校教职工都要自觉学法、知法、守法，用《教师法》、《教育法》、等有关政策法规规范自己的教学工作。

(4)、坚持开展以德立身，教学为本，情感育人的师德自律教育，铸师魂，修师德，练师能，内强素质，外树形象。

(5)、严谨治学。弘扬科学精神，勇于探索，追求真理，修正错误，精益求精。实事求是，发扬民主，团结合作，协同创新。秉持学术良知，恪守学术规范。尊重他人劳动和学术成果，维护学术自由和学术尊严。诚实守信，力戒浮躁。坚决抵制学术失范和学术不端行为。

(6)、模范遵守社会公德。为人师表，衣着整洁得体，语言规范健康，举止文明礼貌，以自身的良好形象教育引导学生。

(7)、尊重、爱护和信任学生，爱心育人，尊重学生人格，对学生不讽刺，不挖苦，不辱骂，杜绝体罚和变相体罚行为。

(8)、注重提高教育教学效果。爱生敬业，勤奋工作，备好每一篇教案，上好每一堂课，批好每一次作业，与学生谈好每一次话，以自己辛勤的劳动换取每一位学生的成功。

(9)、严格执行有关教育法规。不搞有偿家教，不向家长索要或暗示馈赠钱

物，不参与黄、赌、毒及一切封建迷信活动，教师不得请学生代批作业、试卷，代写学生成绩册和评语等。

（10）、自觉抓好自查自纠，围绕师德师风建设问题，定期进行自我对照，自我检查，自我整改，主动听取接受学生家长、学校行风监督员等各方面的批评与建议，自觉置于社会的监督之下。

以上十条，特向学校和上课学生作出公开承诺，如有违法违纪，授课教师将接受学校处罚，同时敬请学生、学校、行风监督员积极配合、支持，共同落实以上承诺。

### **13.2 阅读课程实施大纲，理解其内容**

本课程实施大纲是对课程的教学内容、教学实施方案、师资基本情况、教学方法及其他与本课程相关的内容说明。本课程实施大纲主要是面向学生，以学习为中心，确保课程的每一个方面都能为学生的学习提供最为有效的支持。上课同学应该认真阅读本课程实施大纲，明确本大纲具体的教学以及规范内容，同时遵守课程实施大纲当中所确定的责任与义务。

### **13.3 同意遵守课程实施大纲中阐述的标准和期望**

本课程实施大纲由任课老师指定，教师对大纲中阐述的标准和期望能很好地理解和执行。同时，希望上课同学也能将本大纲的要求贯穿本课程。

## 十四、 其他说明

如果上课同学有对本课程实施的意见和建议，欢迎大家提出，或对你自己做更多介绍，以便我对你有更多了解。同时进度安排可能会根据实际授课情况有所调整。