

新能源系列 —— 光伏发电技术与应用专业规划教材

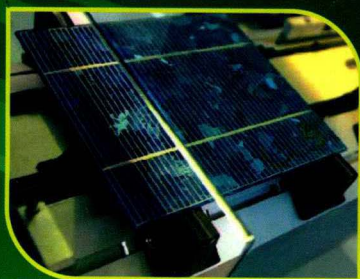
# 光伏电池制备工艺

第二版

陈楠 向钠 曾礼丽 主编



GUANGFU DIANCHI  
ZHIBEI  
GONGYI



化学工业出版社



新能源系列 —— 光伏发电技术与应用专业规划教材

# 光伏电池制备工艺

第二版

陈楠 向钠 曾礼丽 主编



GUANGFU DIANCHI  
ZHIBEI  
GONGYI



化学工业出版社

· 北京 ·

《光伏电池制备工艺》结合晶硅电池生产过程，将晶硅电池片生产工艺流程分为材料准备、制绒、扩散、刻蚀、去 PSG、镀膜、印刷电极、烧结、检测分级 9 个任务，采用任务驱动的方法，分别对各个任务的原理、工艺流程、设备运行管理、常见问题及解决措施、作业指导书的制定等内容进行详细的描述。

《光伏电池制备工艺》在第一版的基础上，加进了一些新的技术和案例，包括黑硅制绒工艺、镀膜工艺、丝网印刷工艺等。

《光伏电池制备工艺》适合高职高专光伏发电技术与应用、光伏材料等相关专业的学生学习，也可供相关企业人员学习参考。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

光伏电池制备工艺/陈楠, 向钠, 曾礼丽主编. —2 版.  
北京: 化学工业出版社, 2017. 12

(新能源系列)

光伏发电技术与应用专业规划教材

ISBN 978-7-122-31327-0

I. ①光… II. ①陈… ②向… ③曾… III. ①光电池-  
生产工艺-教材 IV. ①TM914

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 002693 号

---

责任编辑: 刘 哲

装帧设计: 韩 飞

责任校对: 宋 夏

---

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 刷: 三河市航远印刷有限公司

装 订: 三河市瞰发装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张 10½ 彩插 4 字数 240 千字 2017 年 12 月北京第 2 版第 1 次印刷

---

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

---

定 价: 28.00 元

版权所有 违者必究





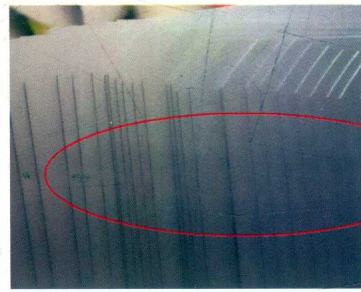
图1-9 有破损的硅片

凹痕: 规格 $\leq 10\ \mu\text{m}$



(a) 凹痕

线痕: 规格 $\leq 10\ \mu\text{m}$



(b) 线痕

密集线痕: 规格 $\leq 10\ \mu\text{m}$



(c) 密集线痕图

普通线痕: 规格 $\leq 10\ \mu\text{m}$



(d) 普通线痕



(e) 亮线

图1-10 常见线痕问题

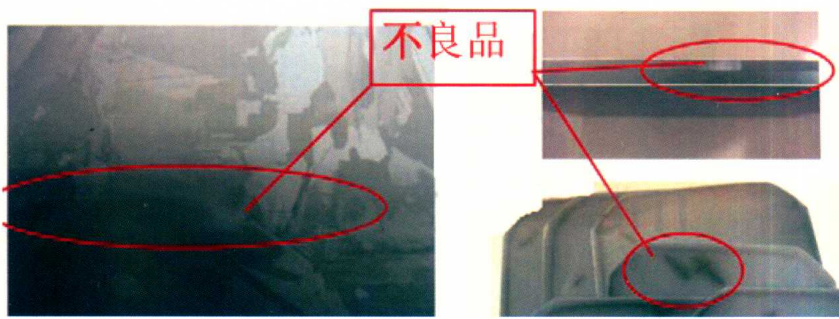


图1-11 常见的裂纹晶片

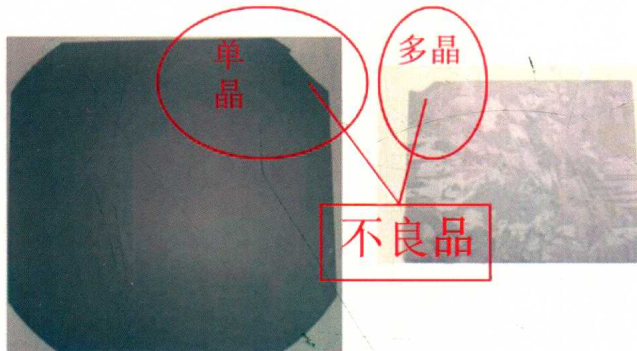


图1-12 常见单晶、多晶缺角硅片

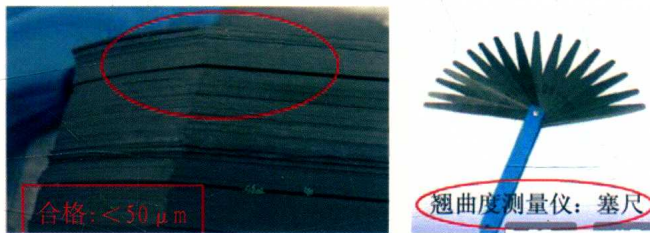


图1-13 有翘曲度的硅片及测量工具

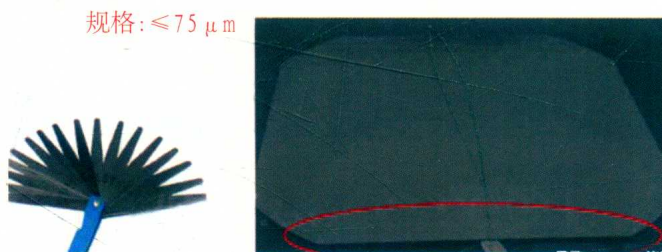


图1-14 弯曲度检测工具及有弯曲度的硅片

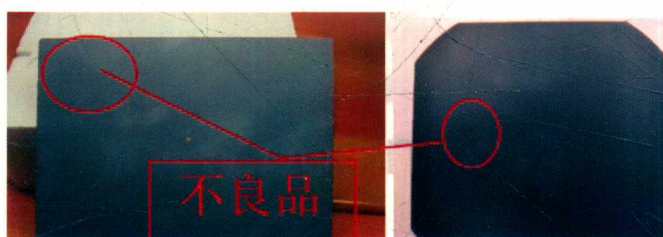


图1-15 具有针孔的多晶硅、单晶硅片



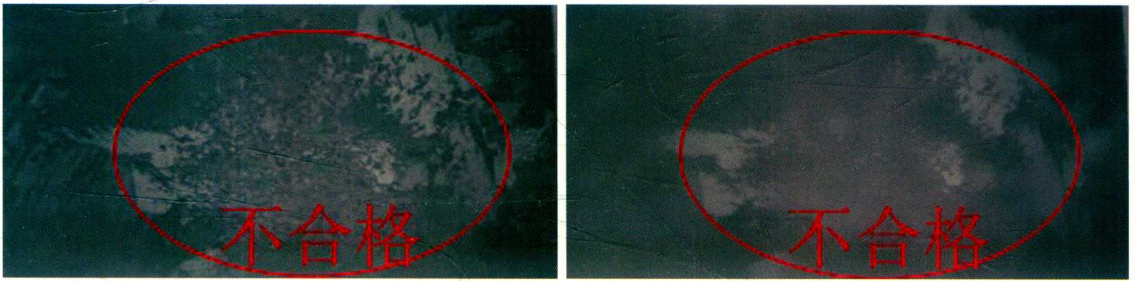


图1-16 具有微晶现象的硅片

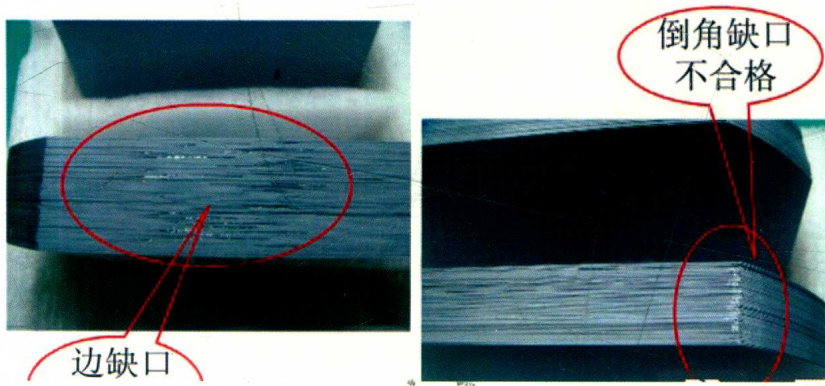


图1-17 具有不同缺口的硅片



(a) 有崩边的晶片

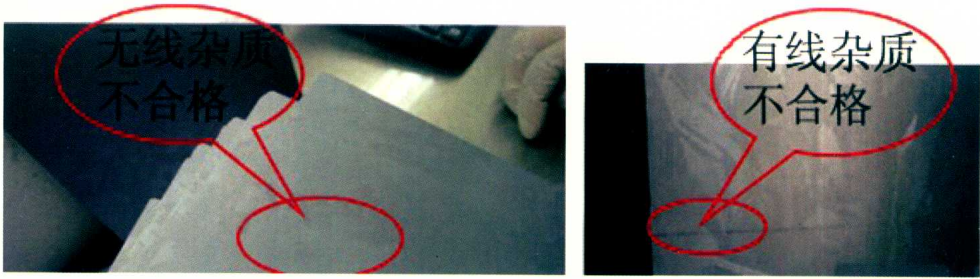


(b) 崩边的测量工具



(c) 连续性崩边的片子

图1-18 常见有崩边的硅片

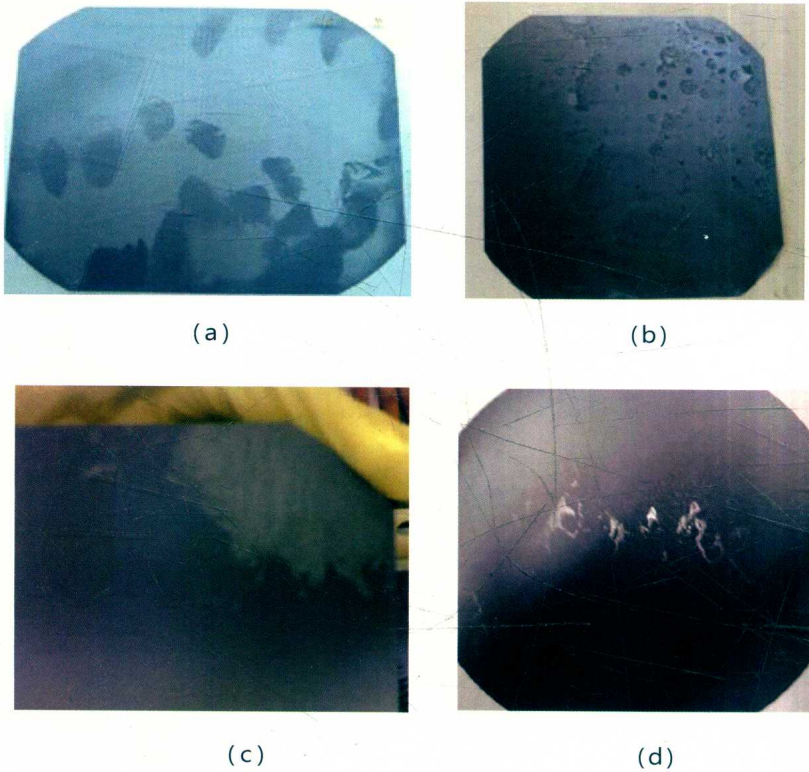


(a) 含有氮化硅、碳化硅的脏污片



(b) 水痕杂质脏污片

图1-19 常见有污物的晶片

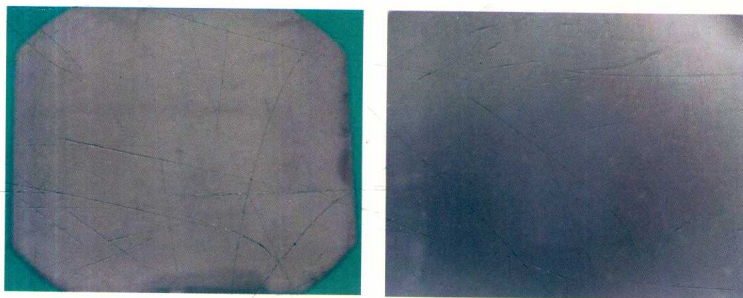


(c)

(d)

图2-9 硅片表面污染异常图片

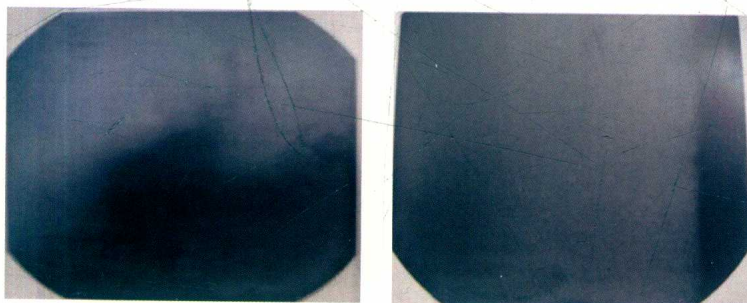




(a)

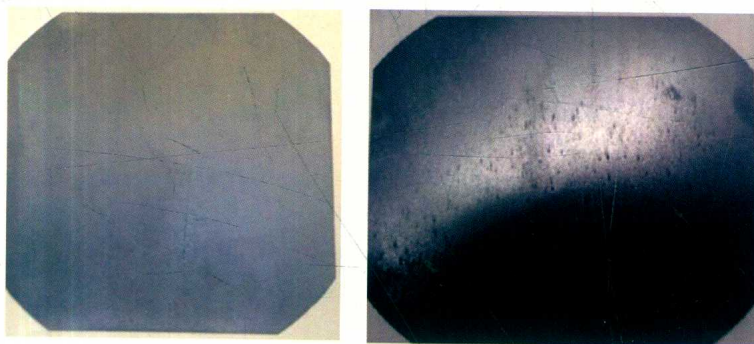
(b)

图2-10 硅片表面颜色异常图片



(a)

(b)



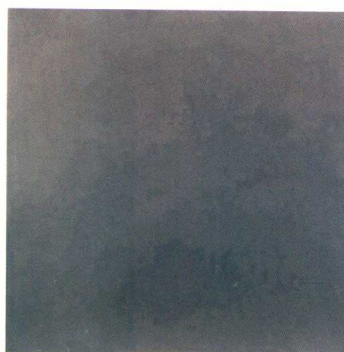
(c)

(d)

图2-11 绒面异常图片



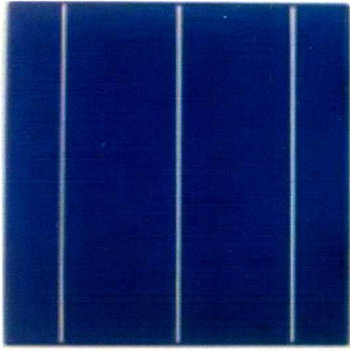
(a) 传统多晶



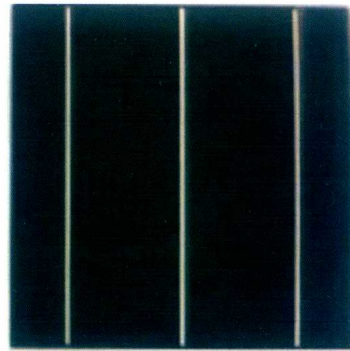
(b) 黑硅

图2-12 传统多晶硅片与多晶黑硅表面形貌





(a) 传统多晶



(b) 黑硅

图2-13 传统多晶硅电池与多晶黑硅电池表面形貌



图2-15 减重过低黑硅绒面

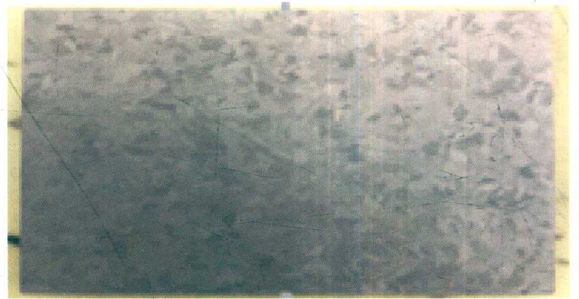


图2-16 挖孔过浅黑硅绒面



图2-17 扩孔较小黑硅绒面

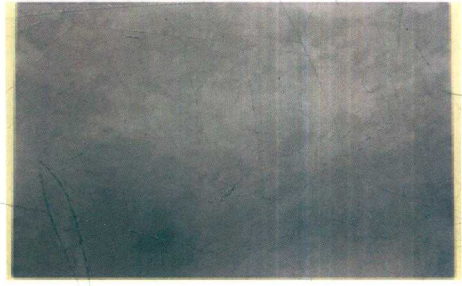


图2-18 白点黑硅绒面

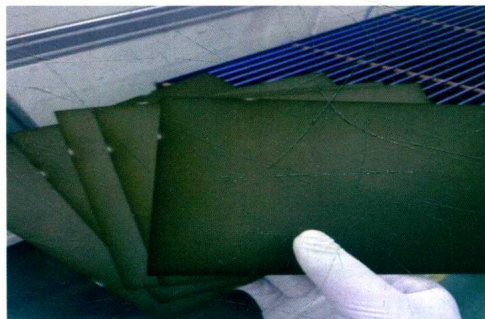


图6-24 电流过大引起的整舟发黄现象

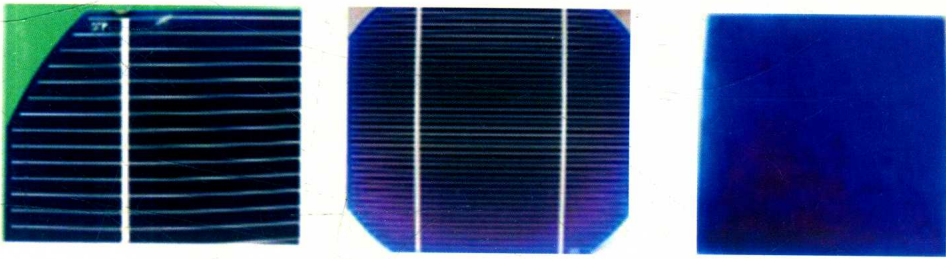
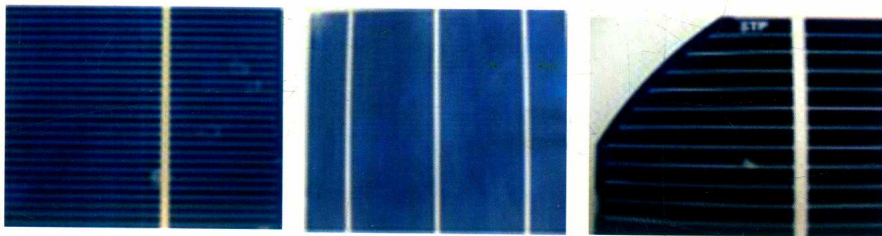


图9-12 单晶色差对比

印刷图形前



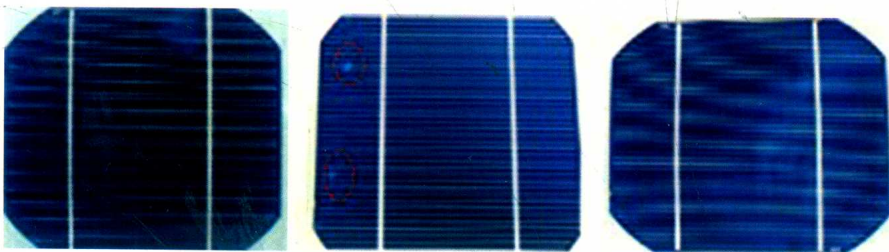
图9-13 多晶色差对比



水痕印

脏污

未镀膜



A级淡蓝色斑

B级发白色斑

C级色斑

图9-14 绒面色斑

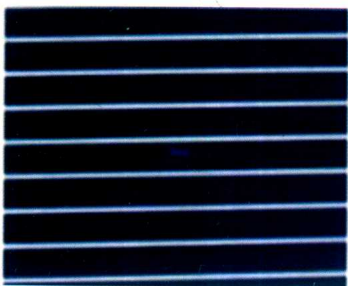


图9-15 有亮斑的电池片

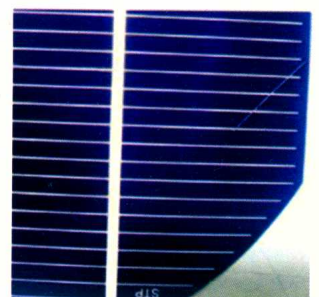
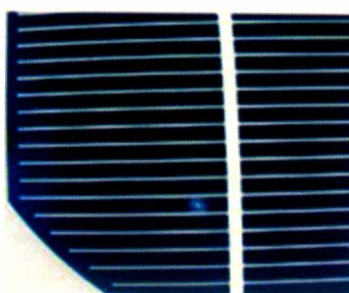


图9-16 有裂痕的片子



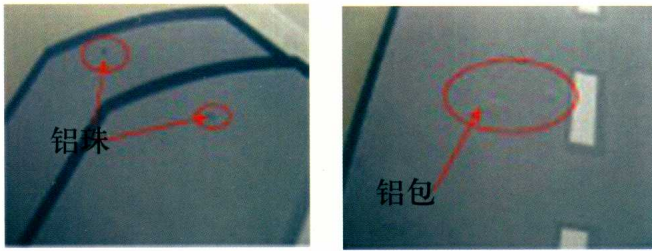


图9-20 铝珠、铝包示意图

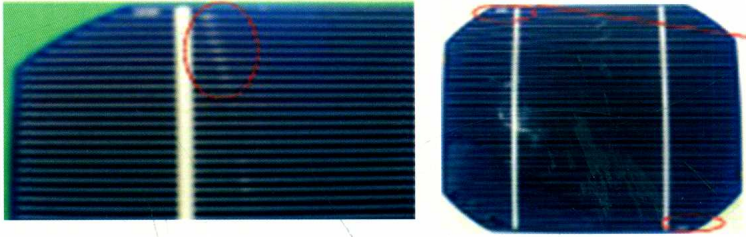


图9-21 粗点

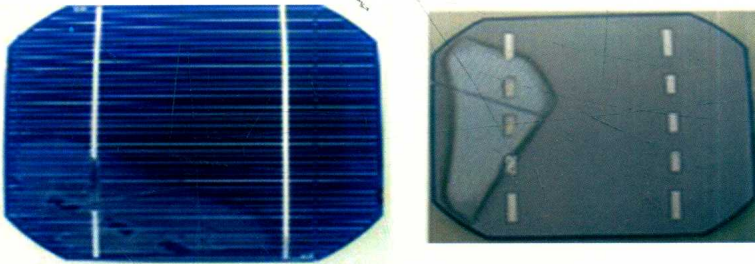
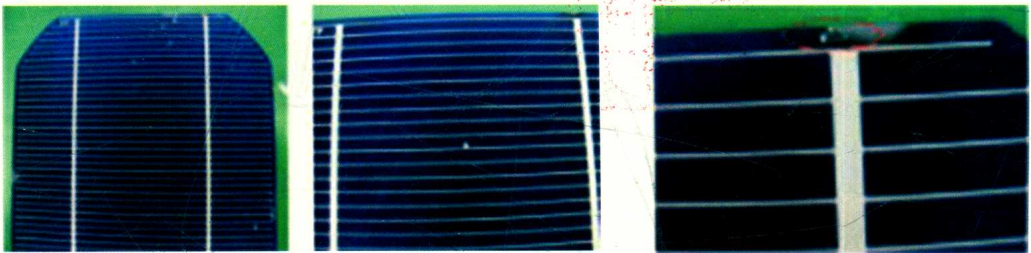
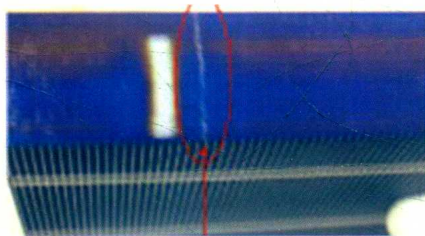


图9-22 正面叠片、背面叠片



(a) 漏浆

(b) 硅晶脱落



(c) 侧面漏浆

图9-23 漏浆的不同类型

# 前言

光伏电池制备工艺  
GUANGFU DIANCHI ZHIBEI GONGYI

近年来,我国对能源的需求量日益增加,环保压力增大。优化能源结构,实现清洁低碳发展,是我国经济社会转型发展的迫切需要。因此国家在节约能源的同时也在积极开发新能源。太阳能是取之不尽、用之不竭的能源,而且能量巨大、安全无污染,是人类的理想能源。中国太阳能资源非常丰富,理论储量达每年 17000 亿吨标准煤,太阳能资源开发利用的潜力非常广阔。2000 年以来,中国光伏产业发展迅速,产业结构也发生了很大的变化,光伏市场已经从专注于电池及组件产品出口,逐步转向国内光伏发电市场的开发。目前,光伏产业已经完全实现了规模化发展,中国正在尝试以招标来制定补贴电价,竞价上网成为未来必然的趋势,这些势必推动高效产品产业化。同时,“领跑者计划”的实施,有利于通过市场化竞争引导光伏技术进步和产业升级,从而倒逼光伏企业在保持产量的基础上,更加注重产品的质量提升。当前,光伏材料领域,光伏电池材料的应用可以分为以硅材料为主体的光伏电池和薄膜光伏电池两类。在晶体硅光伏电池技术开发方面,“金刚线切片+黑硅技术”的多晶硅生产线和“PERC 技术”的单晶硅生产线齐头并进。在薄膜电池领域,碲化镉和钙钛矿薄膜电池发展迅速。在光电转化效率方面,碲化镉、钙钛矿薄膜光伏电池分别达到 17% 和 21%,与晶硅电池的差距在逐步缩小。总体而言,光伏产业在多年的高速发展后,已经成为中国能源系统不可或缺的组成部分。

促进光伏产业的可持续发展,人才培养是关键。当前光伏产业的快速发展与人才培养相对落后的矛盾日益凸显,越来越多的光伏企业人力资源紧张。人才培养的基础是课程,而教材对支撑课程质量举足轻重。光伏产业相关技术更新较快,教材也需要根据光伏材料的新技术和新工艺进行实时更新,才能培养出满足产业发展需要的专业人才。

“光伏电池制造工艺”是光伏类相关专业的核心课程之一,具有很强的实践性。本书以晶硅电池生产过程为导向,根据整个电池片生产工艺流程,采用任务



驱动的方法，将晶硅电池片生产工艺流程（材料准备、制绒、扩散、刻蚀、去PSG、镀膜、印刷电极、烧结、检测分级）分成十个模块，分别对各个项目的原理、工艺流程、设备运行管理、常见问题及解决措施、作业指导书的制定等内容进行详细的描述。

本书由陈楠、向钠、曾礼丽任主编。全书由张存彪拟定提纲，黄建华、廖东进统稿。模块一、二、三、四、六由南昌大学材料科学与工程学院陈楠编写，模块五由湖南理工职业技术学院黄建华编写，模块七、八由湖南理工职业技术学院向钠编写，模块九、十由湖南理工职业技术学院曾礼丽编写。全书由杭州瑞亚教育科技有限公司教学研究院院长桑宁如主审。

《光伏电池制备工艺》第一版已出版五年，几年时间让我们对行业产生了新的理解，也收集了一些新的技术和案例，包括黑硅制绒工艺、镀膜工艺、丝网印刷工艺等。因此我们对本书进行了再版增修。在此，感谢国家自然科学基金委的项目资助（项目编号 51362020），感谢浙江瑞亚能源科技有限公司董事长易潮等人对本书提出宝贵的建议，感谢杭州瑞亚教育科技有限公司对本书再版提供的设备支持和技术支持，希望捧卷的各位读者能够在本书中收获新的知识！

教材的开发是一个循序渐进的过程，限于编者水平有限，经验不足，在编写过程中难免会有疏漏之处，竭诚欢迎广大师生和读者提出宝贵意见，使本书不断改进、不断完善。在教材中引用了一些资料，在此对有关专家学者和单位一并表示感谢！

编者

# 目 录

光伏电池制备工艺  
GUANGFU DIANCHI ZHIBEI GONGYI

<b>模块一</b>	<b>光伏电池制备的准备</b>	<b>1</b>
第一节	光伏电池发电原理	1
第二节	晶硅电池产业链工艺流程	3
第三节	硅片分检标准	4
小结		8
思考题		8
<b>模块二</b>	<b>制绒工艺</b>	<b>9</b>
第一节	制绒工艺的目的与原理	9
第二节	单晶制绒操作工艺	11
第三节	多晶制绒操作工艺	14
第四节	制绒不良片案例分析	17
第五节	多晶黑硅制绒工艺	19
第六节	制定单晶硅、多晶硅制绒工艺作业指导书	23
小结		24
思考题		24
<b>模块三</b>	<b>扩散工艺</b>	<b>25</b>
第一节	扩散工艺的目的与原理	25
第二节	扩散工艺流程	26
第三节	石英管的拆装与清洗	32
第四节	扩散工艺要求及常见问题分析	34
第五节	扩散炉的使用与维护	41
第六节	制定扩散工艺作业指导书	46
小结		46
思考题		46
<b>模块四</b>	<b>腐蚀周边(刻蚀)工艺</b>	<b>47</b>
第一节	腐蚀周边(刻蚀)工艺的目的与原理	47
第二节	干法刻蚀操作工艺	50



第三节	湿法刻蚀的操作工艺 .....	51
第四节	湿法刻蚀的常见问题 .....	54
第五节	制定腐蚀周边工艺指导书 .....	55
小结	.....	56
思考题	.....	56
<b>模块五</b>	<b>去 PSG 工艺</b> .....	<b>57</b>
第一节	去 PSG 工艺的目的与原理 .....	57
第二节	去 PSG 工艺流程及注意事项 .....	57
第三节	去 PSG 工艺中的材料与设备仪器 .....	59
第四节	制定去 PSG 工艺作业指导书 .....	61
小结	.....	61
思考题	.....	62
<b>模块六</b>	<b>镀膜工艺</b> .....	<b>63</b>
第一节	减反射膜的目的与工作原理 .....	63
第二节	PECVD 镀膜工作原理 .....	65
第三节	PECVD 镀膜的操作工艺流程 .....	66
第四节	PECVD 镀膜设备的维护与管理 .....	72
第五节	PECVD 常见问题及处理方法 .....	77
第六节	制定 PECVD 镀膜作业指导书 .....	83
小结	.....	83
思考题	.....	83
<b>模块七</b>	<b>丝网印刷工艺</b> .....	<b>84</b>
第一节	丝网印刷的目的与原理 .....	84
第二节	丝网印刷工艺流程 .....	85
第三节	丝网印刷工艺参数 .....	92
第四节	丝网印刷的设备维护 .....	100
第五节	丝网印刷工艺中常见问题及解决方法 .....	102
第六节	制定丝网印刷工艺作业指导书 .....	107
小结	.....	107
思考题	.....	107
<b>模块八</b>	<b>烧结工艺</b> .....	<b>108</b>
第一节	烧结的目的与原理 .....	108
第二节	烧结工艺操作流程 .....	111
第三节	烧结设备的使用与维护 .....	113
第四节	常见烧结工艺问题及解决方案 .....	119
第五节	制定烧结工艺作业指导书 .....	124

小结.....	124
思考题.....	125
<b>模块九</b> <b>检测分级</b> .....	<b>126</b>
第一节 检测分级的目的和原理.....	126
第二节 检测分级的工艺流程.....	128
第三节 电池片检测分级管理.....	133
第四节 检测设备使用与管理.....	139
第五节 制定检测工序作业指导书.....	142
小结.....	142
思考题.....	142
<b>模块十</b> <b>电池片事业部管理</b> .....	<b>143</b>
第一节 建立电池片车间产品工艺流程.....	143
第二节 7S管理 .....	154
第三节 制定电池片管理总表.....	156
小结.....	157
思考题.....	157
<b>参考文献</b> .....	<b>158</b>

# 光伏电池制备的准备

## 【学习目标】

- ① 了解光伏电池发电原理。
- ② 了解晶硅电池制作工艺流程。
- ③ 掌握硅片分检的标准。
- ④ 掌握电池制备原材料的使用。

## 第一节 光伏电池发电原理

光伏电池是一种对光有响应并能将光能转换成电能的器件。光伏能量转换包括电荷产生、电荷分离和电荷输运三个过程。电荷分离或光伏行为就是在光照下存在光生电流或光生电动势。能产生光伏效应的材料有许多种，如单晶硅、多晶硅、非晶硅、砷化镓、铜硒钢等半导体材料，它们的发电原理基本相同。

P 型半导体和 N 型半导体结合形成 PN 结，由于浓度梯度导致多数载流子的扩散，留下不能移动的正电中心和负电中心，所带电荷组成了空间电荷区，形成内建电场，内建电场又会导致载流子的反向漂移，直到扩散的趋势和漂移的趋势可以相抗衡，载流子不再移动，空间电荷区保持一定的范围，PN 结处于热平衡状态。

太阳光的照射会打破 PN 结的热平衡状态，能量大于禁带宽度的光子发生本征吸收，在 PN 结的两边产生电子-空穴对，见图 1-1。在光激发下多数载流子浓度一般变化很小，而少数载流子浓度却变化很大，因此主要分析光生少数载流子的运动。P 型半导体中少数载流子指的是电子，N 型半导体中少数载流子指的是空穴。

当能量大于禁带宽度的光子照射到 PN 结上时，半导体中产生电子空穴对。由于 PN 结势垒区中存在较强的内建电场（自 N 区指向 P 区），光生电子和空穴受到内建电场的作用而分离，P 区的电子穿过 PN 结进入 N 区；N 区的空穴进入 P 区，使 P 端电势升高，N 端电势降低，于是 PN 结两端形成了光生电动势，这就是 PN 结的光生伏特效应。由于光照产生的载流子各自向相反方向运动，从而在 PN 结内部形成自 N 区向 P 区的光生电流  $I_l$ ，见图 1-2(b)。由于光照在 PN 结两端产生光生电动势，光生电场的方向是从 P 型半导体指向 N 型