

国家科学技术学术著作出版基金资助出版

# 硅基异质结太阳能电池 物理与器件

PHYSICS AND DEVICES OF SILICON  
HETEROJUNCTION SOLAR CELLS

沈文忠 李正平 编著

科学出版社  
北京

## 内 容 简 介

本书在分析当今高效晶体硅太阳能电池技术的基础上引出硅基异质结太阳能电池,是一本全面反映硅基异质结太阳能电池研究和技术进展的著作。全书首先简要介绍了半导体异质结基本知识和异质结太阳能电池的表征与测试手段,然后系统阐述了非晶硅/晶体硅异质结太阳能电池的制造工艺与技术、涉及的基本物理问题和模拟研究情况,最后综述了新型无机物硅基异质结太阳能电池的研究进展。

本书可作为高等院校半导体材料与器件、光电子、光学工程和光伏科学与技术等相关专业师生的参考用书,也可供太阳能光伏及相关技术领域的研发和工程技术人员学习参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

---

硅基异质结太阳能电池物理与器件/沈文忠,李正平编著. —北京:科学出版社, 2014

ISBN 978-0-00-000000-0

I. ①硅… II. ①沈… ②李… III. ① IV. ①0

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 000000 号

---

责任编辑:周 涵 / 责任校对:张小霞  
责任印制:钱玉芬 / 封面设计:铭轩堂

**科学出版社** 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

**骏志印刷厂** 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2014 年 8 月第 一 版 开本: 720 × 1000 1/16

2014 年 8 月第一次印刷 印张: 0

字数: 00 000

定价: 00.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

# 目 录

序

前言

第 1 章 绪论——高效晶体硅和异质结太阳电池	1
1.1 太阳和太阳能	1
1.2 太阳电池	2
1.3 晶体硅太阳电池的结构	4
1.4 晶体硅太阳电池的效率分析	5
1.5 高效晶体硅太阳电池介绍	6
1.5.1 钝化发射极太阳电池	6
1.5.2 氧化铝钝化的太阳电池	10
1.5.3 选择性发射极太阳电池	12
1.5.4 MWT 太阳电池	18
1.5.5 n 型晶体硅太阳电池	20
1.5.6 IBC 太阳电池	24
1.6 非晶硅/晶体硅异质结太阳电池	28
1.6.1 HIT 太阳电池的结构与特点	29
1.6.2 获得高效率 HIT 太阳电池的方法	31
1.6.3 HIT 太阳电池的效率进展	32
1.6.4 非晶硅/晶体硅异质结太阳电池的其他单位研发情况	33
1.7 本书的安排	36
参考文献	37
第 2 章 半导体异质结基本知识	44
2.1 异质结基本概念	44
2.1.1 理想异质结的能带图	44
2.1.2 反型异质结的主要公式	46
2.1.3 异质结中的界面态	48
2.1.4 有界面态的异质结能带图	50
2.2 异质结的伏安特性	51
2.2.1 尖峰势垒高度的影响因素	52

2.2.2	理想突变异质结的伏安特性	53
2.2.3	有界面态的异质结的伏安特性	59
2.3	异质结的注入特性	62
2.3.1	高注入特性	62
2.3.2	超注入特性	63
2.4	异质结的光电特性	64
2.4.1	反型异质结的光伏特性	65
2.4.2	反型异质结的光电流和光谱响应	66
2.5	晶体硅和非晶硅薄膜的基本物理参数	72
	参考文献	74
<b>第3章</b>	<b>与异质结太阳能电池相关的表征与测试</b>	<b>75</b>
3.1	太阳能电池的基本表征参数	75
3.1.1	太阳能电池等效电路	75
3.1.2	太阳能电池的基本参数	78
3.1.3	非晶硅/晶体硅异质结太阳能电池的 $I-V$ 曲线	81
3.1.4	太阳能电池的温度系数	81
3.1.5	太阳能电池的标准测试条件	83
3.2	太阳能电池的光谱响应和量子效率	84
3.2.1	光谱响应	84
3.2.2	量子效率	85
3.3	少数载流子寿命及其测量	88
3.3.1	非平衡少数载流子	88
3.3.2	少数载流子寿命	89
3.3.3	少数载流子寿命对太阳能电池性能的影响	92
3.3.4	少数载流子寿命的测量	94
3.4	薄膜的表征测试技术介绍	97
3.4.1	拉曼光谱	98
3.4.2	傅里叶变换红外吸收光谱	101
3.5	异质结太阳能电池的电容效应及其 $I-V$ 检测对策	103
3.5.1	p-n 结的电容	103
3.5.2	电容效应对太阳能电池 $I-V$ 测试的影响	105
3.5.3	异质结太阳能电池的 $I-V$ 检测对策	108
	参考文献	112
<b>第4章</b>	<b>非晶硅/晶体硅异质结太阳能电池制备</b>	<b>115</b>
4.1	非晶硅/晶体硅异质结太阳能电池的结构	115

---

4.2	非晶硅/晶体硅异质结太阳电池的制作工序	117
4.3	硅片的湿化学处理	118
4.3.1	去损伤层	120
4.3.2	制绒	121
4.3.3	表面氧化层的去除和表面调控	124
4.4	非晶硅薄膜的沉积	126
4.4.1	硅薄膜沉积设备	126
4.4.2	本征非晶硅薄膜	129
4.4.3	掺杂非晶硅薄膜	141
4.4.4	非晶硅薄膜的光吸收	147
4.5	TCO 薄膜的沉积	148
4.5.1	TCO 薄膜的制备方法和设备	149
4.5.2	硅异质结太阳电池对 TCO 薄膜的要求	153
4.5.3	TCO 薄膜在硅异质结太阳电池上的应用	155
4.6	电极制作	159
4.6.1	电极制作的方法	160
4.6.2	丝网印刷在硅异质结太阳电池上的应用	161
4.7	非晶硅/晶体硅异质结太阳电池的薄片化	165
4.7.1	硅片减薄对太阳电池的影响	166
4.7.2	薄型 HIT 太阳电池	166
4.8	发射极在背面的硅异质结太阳电池	168
4.8.1	背发射极硅异质结太阳电池	169
4.8.2	背接触硅异质结太阳电池	170
4.9	非晶硅/晶体硅异质结太阳电池组件的应用	173
4.9.1	HIT 电池组件	173
4.9.2	HIT 双面组件	175
4.9.3	关于 HIT 组件的 PID	177
	参考文献	179
<b>第 5 章</b>	<b>非晶硅/晶体硅异质结太阳电池中的物理问题</b>	<b>189</b>
5.1	非晶硅/晶体硅异质结太阳电池的能带	189
5.1.1	非晶硅/晶体硅异质结太阳电池的能带图	189
5.1.2	非晶硅/晶体硅异质结的带阶	193
5.1.3	TCO 薄膜对非晶硅/晶体硅异质结能带的影响	197
5.2	非晶硅/晶体硅异质结太阳电池中的钝化机制	198
5.2.1	硅异质结太阳电池的开路电压和钝化	198
5.2.2	本征非晶硅的钝化	202

5.2.3	掺杂非晶硅的钝化	206
5.2.4	其他钝化方案	208
5.3	非晶硅/晶体硅异质结太阳能电池的界面	210
5.3.1	本征非晶硅/掺杂非晶硅界面	210
5.3.2	掺杂非晶硅/TCO 薄膜界面	212
5.4	非晶硅/晶体硅异质结太阳能电池中的电输运特性	216
5.4.1	非晶硅/晶体硅异质结电池中的电荷输运基本过程	217
5.4.2	电流-电压特性	218
5.5	结语	225
	参考文献	226
<b>第 6 章</b>	<b>硅基异质结太阳能电池的模拟</b>	<b>233</b>
6.1	太阳能电池模拟的基本原则	233
6.1.1	光学模拟	234
6.1.2	电学模拟	234
6.2	用于异质结太阳能电池模拟的软件简介	237
6.2.1	AFORS-HET 软件简介	237
6.2.2	AMPS 软件简介	238
6.3	非晶硅/晶体硅异质结太阳能电池的模拟研究	239
6.3.1	以 n 型单晶硅为衬底的硅异质结太阳能电池模拟	239
6.3.2	以 p 型单晶硅为衬底的硅异质结太阳能电池模拟	246
6.4	IBC-SHJ 太阳能电池的二维模拟	249
6.4.1	模拟用 IBC-SHJ 太阳能电池的基本结构	250
6.4.2	IBC-SHJ 太阳能电池的背面几何尺寸模拟优化	251
6.4.3	前表面钝化对 IBC-SHJ 太阳能电池影响的模拟	255
6.4.4	背表面钝化和界面缺陷对 IBC-SHJ 太阳能电池影响的模拟	256
6.5	新结构硅基异质结太阳能电池的模拟研究	260
6.5.1	硅基同质-异质结太阳能电池的模拟研究	260
6.5.2	纳米柱阵列硅异质结太阳能电池的模拟	264
6.5.3	硅基金属化合物半导体异质结太阳能电池的模拟	266
	参考文献	271
<b>第 7 章</b>	<b>新型硅基异质结太阳能电池</b>	<b>277</b>
7.1	硅量子点/晶体硅异质结太阳能电池	277
7.1.1	氧化硅基体中的硅量子点/晶体硅异质结电池	279
7.1.2	碳化硅基体中的硅量子点/晶体硅异质结电池	282
7.1.3	氮化硅基体中的硅量子点及异质结太阳能电池	284

---

7.2	II - VI族半导体/晶体硅异质结太阳电池	285
7.2.1	CdSe/Si 异质结太阳电池	285
7.2.2	ZnO/Si 异质结太阳电池	287
7.3	III - V族半导体/晶体硅异质结太阳电池	291
7.3.1	GaN/Si 异质结太阳电池	292
7.3.2	InAs/Si 异质结太阳电池	294
7.4	碳/晶体硅异质结太阳电池	295
7.4.1	非晶碳/硅异质结太阳电池	295
7.4.2	CNT/Si 异质结太阳电池	297
7.4.3	石墨烯/硅太阳电池	302
7.5	新型硅基异质结太阳电池的展望	303
	参考文献	304
	索引	311