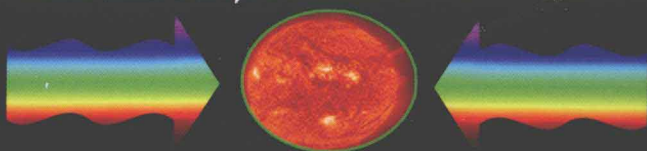


太阳能电池

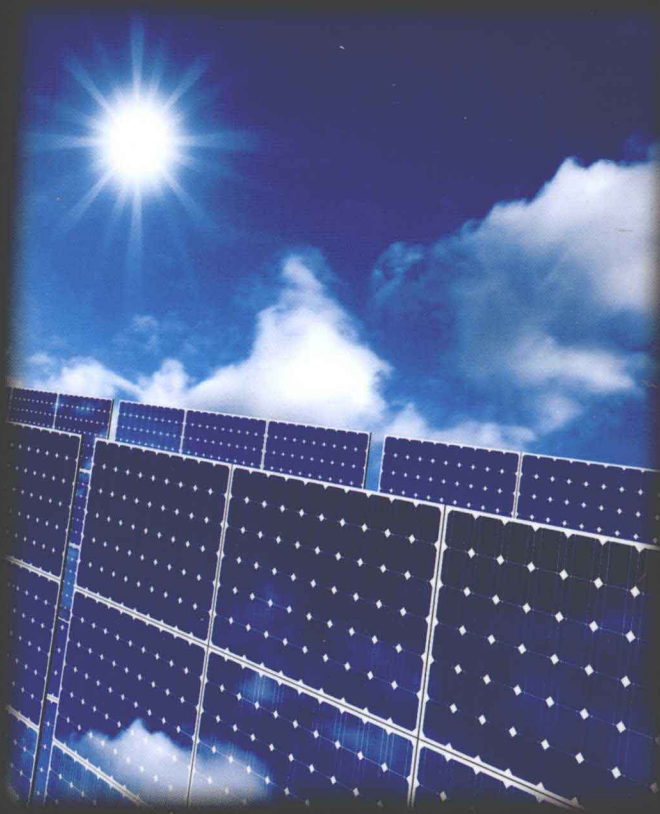
Technology
实用技术

全華

新技术



林明献 编著



科学出版社

太阳能电池新技术

林明献 编著

科学出版社

北京

图字：01-2011-7158号

内 容 简 介

本书作者根据多年的经验，由浅入深地对太阳能电池进行详细的解说。首先对太阳能光电产业的历史演进及基本理论做简单的介绍，并分别对多晶硅原料、单晶硅片和多晶硅片等原料的制造技术进行介绍；然后对所有硅基太阳能电池的制造技术做了说明，包括晶硅太阳能电池、薄膜型晶硅太阳能电池和非晶硅太阳能电池等。本书还对目前转换效率最高的III-V族化合物太阳能电池、CdTe化合物太阳能电池、CIS和CIGS太阳能电池、染料敏化太阳能电池的制造技术做了详细的介绍。

本书可作为在太阳能应用相关领域工作的技术人员、研发人员及管理技术人员的技术指导用书，也可作为工科院校相关专业师生的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

太阳能电池新技术/林明献 编著. — 北京：科学出版社，2012
ISBN 978-7-03-033771-9

I. 太… II. 林… III. 太阳能电池 IV. TM914.4

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第038859号

责任编辑：孙力维 杨 凯 / 责任制作：董立颖 魏 谨
责任印制：赵德静 / 封面设计：赵志远

北京东方科龙图文有限公司 制作
<http://www.okbook.com.cn>

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>

北京天时彩色印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*


2012年5月第 一 版 开本：B5 (720×1000)
2012年5月第一次印刷 印张：15 3/4
印数：1—4 000 字数：290 000

定价：56.00元

(如有印装质量问题，我社负责调换)

林明献：太阳能电池技术入门（修订版）

ISBN: 978-957-21-6261-3

 全华图书股份有限公司

原著于2009年1月出版发行

本书中文简体字版由台湾全华图书股份有限公司授权科学出版社独家出版，仅限于中国大陆地区出版发行，不含台湾、香港、澳门。

未经出版者预先书面许可，不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。

本书封底贴有全华图书股份有限公司防伪标签，无标签者不得销售。

再版序

Foreword of the Second Edition

时间飞逝，这本书的问世迄今为止已经4个年头了。在这期间，太阳能光电产业虽然经历了金融风暴的洗礼，但还是在不断地快速成长中。除了硅材料太阳能电池的年产量持续扩充之外，许多薄膜太阳能电池厂也如雨后春笋般在各地成立，而太阳能电池的能量转换效率也随着技术的不断提升而持续改善。基于油价高涨、环保意识抬头，以及核能发电安全性受质疑等因素，预计未来太阳能光电产业的发展还是相当正面的。

这本书一直受到许多读者的肯定，有着不错的销售成绩。为了提供更新的信息给广大的读者参考，在全华编辑部的督促之下，笔者在繁忙的工作之余，抽空仔细地把书中一些过时的内容重新做了修订，同时订正了书中一些印刷错误的地方。希望随着这本书的重新修订，能更好地为台湾的太阳能光电产业起到承前启后的教育责任。



于新竹

序

Foreword

美国威斯康星大学的指导教授Sindo Kou博士曾告诉我：“一个人拿到博士学位，不该只是为了追求一份高薪的工作，更重要的是要负担起知识传承的责任。”这句话一直深植在我的心中，也鞭策着我在受益于许多的社会与教育资源之后，努力地为这个社会尽到一己绵薄的知识传承的责任。在这种信念的支持下，我于1999年年底出版了第一本拙作《硅晶圆半导体材料技术》。但因接踵而来的一连串忙碌的工作，让我停笔了好几年。直到将第一本书重新修订完成后，在夫人美凤的鼓励下，我开始了《太阳能电池技术入门》这本书的写作工作。

近年来，由于国际油价不断高涨，加上环保意识的抬头，世界上的主要国家都在积极研发使用清洁的可再生能源，以减轻传统发电方式所产生的污染问题。这使得太阳能电池产业一夕之间变得火热了起来，国内外许多从业者竞相投入这个领域，我也常接到一些读者来电询问这个产业的相关信息。虽然坊间也有一些太阳能电池的相关书籍，但却没有一本适合初学者阅读的入门参考书籍。有鉴于此，为了服务于有心进入太阳能电池产业的初学者，本书舍弃了大部分深奥的理论探讨，而采用浅显易懂的技术描述，并辅以彩色的插图以帮助读者加深对内容的理解。然而毕竟笔者所学有限，对太阳能电池知识的涉猎也不够深入，因此本书的内容难免有不足与错误之处，还望各位读者和同行不吝赐教和指正。

本书第1章是对整个太阳能光电产业与历史演进进行简单的介绍，使读者对太阳能光电产业概念有整体的了解。第2章则是先对太阳能光电的一些基本理论做简单的介绍，但也只介绍最基础的部分。第3章至第5章分别介绍多晶硅原料、单晶硅片及多晶硅片等原料的制造技术。第6章至第8章介绍所有硅基太阳能电池的制造技术，包括第6章的晶硅太阳能电池、第7章的薄膜型晶硅太阳能电池、第8章的非晶硅太阳能电池等。第9章介绍III-V族化合物太阳能电池的制造技术，这是目前转换效率最高且

用在太空领域的太阳能电池。第10章介绍CdTe化合物太阳能电池的制造技术、第11章介绍CIS及CIGS太阳能电池的制造技术、第12章介绍染料敏化太阳能电池的制造技术，这些太阳能电池各具特色。最后，第13章则是对太阳能光电系统与应用进行简单的说明。通过阅读本书，读者可以对整个太阳能电池产业及制造技术有全面的了解。

本书能够顺利问世，要感谢的人有很多。首先最要感谢的是我的夫人，没有她的鼓励与支持，就不会有这本书的问世。还要特别感谢她体谅我在写作期间对家庭的疏忽，以及她在这段期间和过去的辛苦付出。再来要感谢的是世创电子的李昭霖与蔡昌志先生，没有他们分担了我大部分的工作及对我的体谅，这本书就无法这么快问世。对于其他朋友的鼓励及全华图书公司的全力协助，笔者也借此予以一并致谢！

回首过去这段写作的日子，它是辛苦的也是充实的。在本书完成的这一刻，心头像是去掉一块大石般的轻松。但这只是一个阶段性使命的完成，今后应该还会有第三本书的问世吧！最后，诚挚地将这本书献给我的夫人美凤、宝贝女儿语柔。

林明欵 于新竹

编辑部序

Foreword of the Editorial Department

近年来，随着环保意识抬头，全球都在积极研发使用清洁的可再生能源，以减轻传统发电方式所产生的污染问题，使得太阳能产业受到广泛重视，成为未来能源的发展趋势。

本书作者根据多年的经验由浅入深地对太阳能电池进行详细的解说，对于太阳能光电产业的历史演进及基本理论做简单的介绍，使读者有整体的概念，并分别对多晶硅原料、单晶硅片和多晶硅片等原料的制造技术进行介绍。然后对所有硅基太阳能电池的制造技术做了说明，包含晶硅太阳能电池、薄膜型晶硅太阳能电池和非晶硅太阳能电池等。本书分别对目前转换效率最高且应用在太空领域的III-V族化合物太阳能电池、CdTe化合物太阳能电池、CIS和CIGS太阳能电池、染料敏化太阳能电池的制造技术做了详细的介绍，这些太阳能电池各具特色。本书最后对太阳能光电系统与应用做了简单的说明，使读者可以融会贯通并应用于生活中。本书适合从事太阳能电池产业的工程人员及学术研究者，或是有兴趣的人士参考阅读。

目 录

Contents

第1章 太阳能电池概论

1.1 我们所知道的太阳	1
1.2 太阳辐射	2
1.3 利用太阳能的重要性	4
1.4 太阳能发电的优缺点	6
1.5 什么是太阳能电池	6
1.6 太阳能电池的发展史	7
1.7 台湾地区太阳能电池产业的发展	15
1.8 太阳能电池的经济效益	17

第2章 太阳能电池的基本原理

2.1 光电物理基础知识	19
2.2 硅的原子结构	23
2.3 半导体的能带理论	25
2.4 P-N接合	27
2.5 太阳能电池的发电原理	29
2.6 太阳光的光谱照度	30
2.7 太阳能电池的电路模型	31
2.8 判别太阳能电池效率的参数	32
2.8.1 最大的功率点	32
2.8.2 能量转换效率	33

2.8.3 填充系数	34
2.8.4 量子效率	35
2.9 影响太阳能电池效率的因素	35
2.9.1 造成转换效率损失的原因	35
2.9.2 提高转换效率的方法	36

第3章 多晶硅原料的制造技术

3.1 太阳能电池材料的选定标准	39
3.2 硅原料的特性	40
3.3 多晶硅原料的制造流程（Siemens方法）	41
3.3.1 冶金级多晶硅原料的制造技术	42
3.3.2 三氯硅烷的制造与纯化	45
3.3.3 块状多晶硅原料的制造技术（Siemens方法）	46
3.4 块状多晶硅原料的制造技术（ASiMi方法）	49
3.4.1 SiH_4 原料的制造技术	49
3.4.2 多晶硅原料的制造技术	51
3.5 粒状多晶硅原料的制造技术	51
3.6 太阳能级多晶硅的制造技术	54
3.7 多晶硅原料的市场概况	56

第4章 太阳能电池级单晶硅片的制造技术

4.1 概 述	59
4.2 CZ硅单晶棒的制造技术	61
4.2.1 CZ拉晶炉设备	61
4.2.2 CZ拉晶流程	62

4.3 太阳能电池等级CZ单晶硅片的常用规格	64
4.4 CZ单晶棒的质量与良率控制	65
4.4.1 单晶良率的提升	65
4.4.2 电阻率的控制	66
4.4.3 氧在硅晶棒内的形成机构与控制	67
4.4.4 CZ硅晶棒中碳的形成与控制	68
4.4.5 CZ硅晶棒中金属不纯物的来源与控制	69
4.5 晶圆的加工成型	69
4.5.1 修 边	69
4.5.2 切 片	70
4.5.3 蚀刻清洗	72
4.6 单晶硅片的市场概况	73

第5章 多晶硅片的制造技术

5.1 概 述	75
5.2 铸造多晶硅锭的技术	76
5.2.1 浇铸法	76
5.2.2 布里基曼法	77
5.2.3 电磁铸造法	80
5.3 多晶硅片的加工成型	81
5.4 多晶硅片的质量控制	82
5.4.1 结晶缺陷	82
5.4.2 不纯物的控制	83
5.5 薄板多晶硅片的制造技术	85
5.5.1 EFG法	85

5.5.2	WEB法	88
5.5.3	STR法	89
5.5.4	RGS法	89
5.6	硅薄板的质量特性	90

第6章 晶硅太阳能电池

6.1	概 述	91
6.2	太阳能电池的基本结构	92
6.2.1	基 板	93
6.2.2	表面粗糙结构化	94
6.2.3	P-N二极管	95
6.2.4	抗反射层	96
6.2.5	金属电极	96
6.3	太阳能电池的制造流程	98
6.3.1	表面粗糙结构化	99
6.3.2	磷扩散制作工艺	100
6.3.3	边缘绝缘处理	102
6.3.4	抗反射层涂布	102
6.3.5	正面电极的网印	104
6.3.6	背面电极的网印	105
6.3.7	火 烤	106
6.4	模块化技术	106
6.4.1	太阳能电池的串联	107
6.4.2	太阳能电池模块的构造与制造过程	107

第7章 薄膜型结晶硅太阳能电池

7.1 概 述	111
7.2 薄膜型结晶硅的沉积技术	112
7.2.1 CVD薄膜型结晶硅的沉积技术	113
7.2.2 LPE薄膜型结晶硅的沉积技术	117
7.3 薄膜晶粒的改善技术	118
7.3.1 ZMR再结晶技术	118
7.3.2 金属诱发结晶法	118
7.3.3 退火处理	119
7.3.4 激光诱导再结晶	120
7.4 薄膜型结晶硅的种类	121
7.4.1 单晶硅薄膜生长在单晶硅基板上	122
7.4.2 多晶硅薄膜生长在多晶硅基板上	124
7.4.3 多晶硅薄膜生长在其他材质的基板上	125
7.5 薄膜硅太阳能电池设计上的考虑	125
7.5.1 光线的留滞	127
7.6 混合型堆栈的薄膜太阳能电池	129

第8章 非晶硅太阳能电池

8.1 概 述	131
8.2 非晶硅的原子结构与特性	133
8.3 非晶硅的沉积技术	135
8.3.1 PECVD	135
8.3.2 HWCVD	138
8.3.3 合金膜的形成	138

8.4 非晶硅太阳能电池的结构	139
8.4.1 基本的P-I-N结构	139
8.4.2 多接面太阳能电池结构	141
8.5 非晶硅太阳能电池模块	143
8.6 非晶硅薄膜的光劣化现象	143

第9章 III-V族化合物太阳能电池

9.1 概 述	145
9.2 III-V族化合物的特性	146
9.3 III-V族化合物的薄膜生长技术	149
9.3.1 液相磊晶法	150
9.3.2 化学气相沉积法	150
9.3.3 有机金属化学气相沉积法	151
9.3.4 分子束磊晶法	151
9.4 单一接面太阳能电池的设计	153
9.5 多接面太阳能电池的设计	154
9.6 GaInP/GaAs/Ge太阳能电池	156
9.6.1 Ge电池	157
9.6.2 GaAs电池	157
9.6.3 GaInP电池	158
9.6.4 隧道结	159
9.7 InP基太阳能电池	160
9.8 量子阱太阳能电池	160
9.9 III-V族太阳能电池的应用	161
9.9.1 热光伏系统	161

9.9.2 聚光系统	161
9.9.3 太空领域的应用	162

第10章 碲化镉太阳能电池

10.1 概 述	165
10.2 CdTe的基本物理性质	167
10.3 CdTe薄膜的制造技术	168
10.3.1 物理气相沉积法	168
10.3.2 密闭空间升华法	169
10.3.3 气相传输沉积法	170
10.3.4 溅镀法	170
10.3.5 电解沉积法	171
10.3.6 喷涂沉积法	171
10.3.7 有机金属化学气相沉积法	172
10.3.8 网印沉积法	172
10.4 CdCl ₂ 处理	172
10.5 CdTe太阳能电池的结构	172
10.6 CdTe太阳能电池模块	175
10.7 CdTe太阳能电池的未来发展	176

第11章 铜铟镓二硒太阳能电池

11.1 概 述	177
11.2 材料特性	179
11.3 CIGS薄膜制造技术	181
11.3.1 同步蒸镀法	182

11.3.2 硒化法	183
11.4 CIGS太阳能电池的结构	184
11.4.1 背面电极	184
11.4.2 吸收层	185
11.4.3 缓冲层	185
11.4.4 透明导电氧化层	187
11.4.5 正面金属电极	187
11.5 CIGS太阳能电池模块	187
11.6 CIGS太阳能电池的未来发展	189

第12章 染料敏化太阳能电池

12.1 概 述	191
12.2 染料敏化太阳能电池的基本结构	193
12.2.1 玻璃基板	194
12.2.2 TiO_2 光导电极	194
12.2.3 染料光敏化剂	196
12.2.4 电解质	199
12.2.5 辅助电极	201
12.3 染料敏化太阳能电池的发电原理	201
12.4 染料敏化太阳能电池的特性	203
12.5 染料敏化太阳能电池模块化的考虑	204
12.6 染料敏化太阳能电池的发展趋势	205

第13章 太阳能光电系统与应用

13.1 概 述	207
----------------	-----

13.2 太阳能光电系统的组成	208
13.2.1 蓄电池	209
13.2.2 充电控制器	211
13.2.3 直/交流转换器	212
13.3 太阳能光电系统的种类与应用	214
13.3.1 独立型太阳能光电系统	214
13.3.2 并网发电型太阳能光电系统	218
13.3.3 混合型太阳能光电系统	219
13.4 太阳能光电系统在太空领域的应用	220
参考文献及网站	223