

太阳能电池

制备
开发
应用

黄惠良 萧锡炼 周明奇
林坚杨 江雨龙 曾百亨 著
李威仪 李世昌 林唯芳
刘晓彦 审校



科学出版社

太阳能电池

制备·开发·应用

黄惠良	萧锡炼	周明奇	
林坚杨	江雨龙	曾百亨	著
李威仪	李世昌	林唯芳	
		刘晓彦	审校

科学出版社

北京

图字: 01-2011-3453 号

内 容 简 介

本书涵盖了太阳能电池的基本原理和各种不同材料制备的太阳能电池及其应用。书中先从导论开始,依次介绍了太阳能电池的工作原理和设计方法,结晶硅材料的制备,单晶硅、多晶硅、氢化非晶硅太阳能电池,化合物半导体太阳能电池,太空用太阳能电池,新型太阳能电池,最后介绍太阳能电池的经济效益与未来。本书通过对材料、工艺、器件及设计理念的介绍,可使读者对于太阳能电池的研发有较全面的了解。

本书可作为工科院校信息技术及光电专业师生的参考书,也可供相关领域的工程技术人员、科研人员阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

太阳能电池:制备·开发·应用/黄惠良等著;刘晓彦审校. —北京:
科学出版社,2012

ISBN 978-7-03-033045-1

I. 太… II. ①黄…②刘… III. 太阳能电池 IV. TM914.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 263781 号

责任编辑:刘红梅 杨 凯 / 责任制作:董立颖 魏 谨

责任印制:赵德静 / 封面设计:王秋实

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>

中国科学院印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2012 年 4 月第 一 版 开本: B5(720×1000)

2012 年 4 月第一次印刷 印张: 20 1/2

印数: 1—4 000 字数: 407 000

定 价: 48.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

本书为(台湾)五南图书出版股份有限公司授权科学出版社有限责任公司在大陆地区出版发行简体字版本

著 者 简 介(按章节顺序)

- 黄惠良 现职:台湾清华大学电机工程学系暨电子工程研究所教授 学历:布朗大学电机博士
- 萧锡炼 现职:台湾东海大学物理系教授 学历:台湾清华大学电机博士
- 周明奇 现职:台湾中山大学材料与光电科学学系教授 学历:中佛罗里达大学电机博士
- 林坚杨 现职:台湾云林科技大学电子工程研究所教授 学历:南加州大学电机博士
- 江雨龙 现职:台湾中兴大学电机工程学系教授 学历:台湾清华大学电机博士
- 曾百亨 现职:台湾中山大学材料与光电科学学系教授 学历:伊利诺大学材料博士
- 李威仪 现职:台湾交通大学电子物理系教授 学历:威斯康辛大学电机博士
- 李世昌 现职:晶元光电股份有限公司研发处副处长 学历:台湾交通大学电子物理博士
- 林唯芳 现职:台湾大学材料科学与工程研究所教授 学历:麻州大学高分子博士

前言

太阳能电池自 1954 年由贝尔实验室和 RCA 公司几位杰出的科学家发明问世以来,终于在今天因为石油价格一再攀升与环保意识逐渐高涨而成为一个新兴的光电产业。太阳能电池无疑是再生能源中最佳的选择,现今的产品规格与制造成本还有很大的发展空间,材料与器件技术的研发将会是太阳能电池产业决胜的关键。现今,在风起云涌的建厂潮流中,需才孔亟,产学研单位也多方进行量产和前瞻性的研究,鉴于学子和工程师对此领域专业知识的需求,于是积极邀约多位学者专家参与编写和校订,历经两年的努力,一本完整介绍太阳能电池的书籍终于问世。

本书由本人召集太阳能电池领域的学者依各人的专长撰写,从基本原理到各种不同材料所制成的太阳能电池均涵盖在内。书中的章节由导论开始,先介绍太阳能电池器件的工作原理与设计,然后分别就晶硅材料的制备、单晶硅与多晶硅太阳能电池、非晶硅太阳能电池、化合物半导体太阳能电池(包括 III-V、II-VI、I-III-VI 等)、新型太阳能电池(含染料敏化电池、有机材料、混合、量子点结构)等分章介绍,期望能够通过多角度的材料制备和器件设计理念,使读者了解太阳能电池研发过程的全貌。

本书的出版承蒙撰稿专家们的鼎力协助以及五南图书出版公司同仁们的费心帮忙,在此一并致谢。

黄惠良

目 录

第 1 章 导 论

1.1	太阳能电池为什么那么重要?	2
1.1.1	市场前景	2
1.1.2	致读者的一段话	4
1.2	太阳能电池发展的一些小(但很重要)的故事	4
1.2.1	太阳能电池在美国的故事(也是 J. J. Loferski 的故事)	4
1.2.2	太阳能电池在中国台湾的故事	5
1.3	台湾地区太阳能电池产业的缘起与挑战	5
1.3.1	台湾地区太阳能电池产业的发轫	5
1.3.2	台湾地区太阳能电池产业的挑战	6
1.4	太阳能电池技术总论与评价	6
1.5	太阳能电池产业未来制胜的策略	9

第 2 章 半导体太阳能电池器件原理

2.1	引 言	12
2.2	半导体物理基础	14
2.2.1	晶体结构	15
2.2.2	电子能带结构	18
2.2.3	能态密度及载流子统计分布	23
2.2.4	施主与受主	28
2.2.5	光吸收	32
2.2.6	载流子复合	38
2.2.7	传导及扩散	46
2.3	太阳能电池的基本原理	53
2.3.1	PN 结二极管	54
2.3.2	少数载流子扩散方程式	60
2.3.3	太阳能电池的边界条件	61
2.3.4	载流子产生率	64

2.3.5 电极端点特性	66
2.4 太阳能电池的特性与效率	73
2.4.1 电流-电压特性	73
2.4.2 寿命与表面复合效应	78
2.4.3 效率与能隙的关系	81
2.4.4 频谱响应	83
2.4.5 寄生电阻	84
2.4.6 温度效应	90
2.5 结 语	91
参考文献	91

第 3 章 结晶硅材料的制备

3.1 引 言	94
3.2 单晶硅的生长	94
3.2.1 柴式提拉法	95
3.2.2 浮区法	97
3.3 多晶硅的生长	98
3.3.1 坩埚下降法	98
3.3.2 浇铸法	100
3.3.3 热交换法	101
3.3.4 限边薄片状晶体生长法	104
3.4 结 语	108
参考文献	109

第 4 章 单晶硅太阳能电池

4.1 引 言	112
4.2 电池结构设计考虑	113
4.2.1 半导体材料的考虑	113
4.2.2 光谱响应的考虑	113
4.2.3 浅界面的考虑	113
4.2.4 抗反射层的考虑	114
4.2.5 表面钝化的考虑	114
4.2.6 织构化结构的考虑	115
4.3 高效率单晶硅太阳能电池常见种类	115
4.4 射极钝化背面局部扩散太阳能电池	116
4.5 埋接触太阳能电池	117
4.6 光栅太阳能电池	118

4.7 薄本征层异质结 HIT 太阳能电池	119
4.8 背面接触太阳能电池	120
4.9 点接触太阳能电池	121
4.10 OECO 太阳能电池	122
4.11 金属绝缘层半导体太阳能电池	123
4.12 网版印刷太阳能电池	124
4.13 单晶硅太阳能电池的应用	125
4.14 结 语	132
参考文献	132

第 5 章 多晶硅太阳能电池

5.1 引 言	136
5.2 多晶硅太阳能电池的结构考虑	136
5.2.1 陷光技术	137
5.2.2 堆叠结构	139
5.2.3 多晶硅的氢钝化	139
5.2.4 多晶硅的杂质吸附	141
5.2.5 多晶硅薄膜淀积技术	141
5.3 块材多晶硅太阳能电池	142
5.3.1 块材多晶硅太阳能电池的表面织构化	143
5.3.2 电池制造与特性	148
5.4 薄膜多晶硅太阳能电池	149
5.4.1 表面织构/背反射面强化吸收(NSTAR)太阳能电池	149
5.4.2 P-i-N 堆叠式太阳能电池	153
5.5 多晶硅太阳能电池的应用	156
5.6 结 语	158
参考文献	158

第 6 章 氢化非晶硅太阳能电池

6.1 引 言	164
6.2 氢化非晶硅薄膜的制作	164
6.3 氢化非晶硅薄膜的特性	167
6.4 氢化非晶硅太阳能电池原理	172
6.5 氢化非晶硅太阳能电池制作	173
6.6 结 语	181
参考文献	181

第 7 章 II-VI 族及 I-III-VI 族化合物半导体太阳能电池

7.1 引 言	186
7.2 II-VI 族和 I-III-VI 族化合物半导体的材料特性	186
7.2.1 II-VI 族化合物	186
7.2.2 I-III-VI ₂ 族化合物	188
7.3 II-VI 族半导体太阳能电池	190
7.3.1 CdTe 薄膜工艺	191
7.3.2 CdTe 的电性与器件工艺	191
7.3.3 CdTe 薄膜太阳能电池的未来发展	196
7.4 I-III-VI ₂ 族半导体太阳能电池	196
7.4.1 CuInSe ₂ 的薄膜工艺	197
7.4.2 CIGS 高效率太阳能电池的器件结构	201
7.4.3 CIGS 太阳能电池模块的量产工艺	204
7.4.4 CIGS 薄膜太阳能电池的未来发展	207
7.5 结 语	210
参考文献	211

第 8 章 III-V 族半导体太阳能电池

8.1 引 言	214
8.2 III-V 族太阳能电池的应用	215
8.2.1 在卫星上或是太空中使用	215
8.2.2 地表发电	216
8.3 与太阳能电池相关的 III-V 族半导体材料和外延技术	216
8.3.1 III-V 族半导体材料简介	216
8.3.2 与太阳能电池相关的 III-V 族半导体材料	218
8.3.3 III-V 族半导体材料的外延方法介绍	220
8.4 单结 III-V 族半导体太阳能电池	225
8.4.1 各种单结太阳能电池所使用的材料	225
8.4.2 单结 GaAs 太阳能电池	228
8.4.3 用于聚光模块的 GaAs 太阳能电池	231
8.5 多结叠合的 III-V 族半导体太阳能电池	233
8.5.1 多结太阳能电池的理论	233
8.5.2 多结太阳能电池的分光方式与电能取出设计	233
8.5.3 双结太阳能电池:理想的能带隙的选择与从实际半导体 材料角度考虑	235
8.5.4 机械叠合双结太阳能电池的例子:GaAs/GaSb 双结 太阳能电池	236

8.5.5 串联、两电极端点的整体多结太阳能电池	236
8.5.6 GaInP ₂ /GaAs/Ge 三结太阳能电池	239
8.6 具有潜力的Ⅲ-V族半导体太阳能电池新材料	245
8.6.1 利用 InGaNaAs 材料制作 GaInP/GaAs/InGaNaAs/Ge 四结 太阳能电池	245
8.6.2 晶格不匹配的 Ga _{0.35} In _{0.65} P/Ga _{0.83} In _{0.17} As/Ge 三结太阳 能电池	246
8.6.3 InGaN 材料	247
8.7 结 语	248
参考文献	249

第 9 章 太空用太阳能电池

9.1 引 言	252
9.2 电池结构设计考虑	256
9.3 太空光谱考虑	257
9.4 抗辐射强化考虑	258
9.5 热循环考虑	260
9.6 高效率太空用太阳能电池的种类	262
9.7 单晶硅太阳能电池	263
9.8 化合物太阳能电池	265
9.8.1 砷化镓太阳能电池的特性	265
9.8.2 单结 GaAs 太阳能电池	267
9.8.3 多结 GaAs 太阳能电池	270
9.8.4 InP 太阳能电池	276
9.9 太空用太阳能电池板	278
9.9.1 坚固平板型阵列	279
9.9.2 柔性平板型阵列	279
9.9.3 柔性薄膜型阵列	279
9.9.4 集中型阵列	280
9.10 结 语	280
参考文献	280

第 10 章 新型太阳能电池:染料敏化、有机、混合、量子点

10.1 引 言	284
10.2 极高效能(>31%)新型太阳能电池	285
10.2.1 叠层太阳能电池	286
10.2.2 多重电子-空穴对太阳能电池	286

- 10.2.3 热载流子太阳能电池 287
 - 10.2.4 多能带太阳能电池 288
 - 10.2.5 热光太阳能电池及热光器件 289
- 10.3 价廉大面积有机太阳能电池 290
 - 10.3.1 染料敏化太阳能电池 290
 - 10.3.2 全有机半导体太阳能电池 293
 - 10.3.3 高分子掺混 C₆₀ 及其衍生物的太阳能电池 296
 - 10.3.4 高分子掺混无机纳米粒子太阳能电池 298
 - 10.3.5 有机掺混材料太阳能电池的效率 301
 - 10.3.6 价格与成本讨论 302
 - 10.3.7 电池寿命讨论 303
- 10.4 结 语 304
- 参考文献 304

第 11 章 太阳能电池的经济效益与未来展望

- 11.1 引 言 308
- 11.2 太阳能电池的经济效益 309
 - 11.2.1 现有 PV 系统的耗能评估 309
 - 11.2.2 未来 PV 系统的耗能评估 311
- 11.3 太阳能电池的未来展望 312
 - 11.3.1 产品开发与应用 312
 - 11.3.2 太阳能电池的研发趋向 313
- 参考文献 314



第1章 导 论

黄惠良

台湾清华大学电子工程研究所教授

- 1.1 太阳能电池为什么那么重要?
- 1.2 太阳能电池发展的一些小（但很重要）的故事
- 1.3 台湾地区太阳能电池产业的缘起与挑战
- 1.4 太阳能电池技术总论与评价
- 1.5 太阳能电池产业未来制胜的策略

1.1 太阳能电池为什么那么重要？

1.1.1 市场前景

由于地球变暖现象日益严重,世界各国对二氧化碳的排放量均采取严格的管制,再加上石油匮乏,40年后将消耗殆尽,其价格持续攀升,这些因素都促成了对替代能源的重视与需求,也激发了太阳能电池产业的蓬勃发展。过去5年来,太阳能电池产量平均以36%的高增长率逐年增加,如果未来硅材料每年可供应6~10GW,使得短缺情况大幅改善,每瓦装机成本将可由7美元降至3.5美元;进一步而言,如果多晶硅太阳能电池的转换效率超过18%,以平均日晒时间为4.2h来计算,假设长期投资回报率为6%,则发电成本会降到0.23美元/(kW·h),与经济合作与发展组织(OECD)国家尖峰发电成本一样,即所谓“黄金交叉”预计在2015年前后出现,如图1.1所示。太阳能电池市场将因此而有爆炸性的发展,从此太阳能电池将成为发电(亦是能源)的主力,其前途是无可限量的。

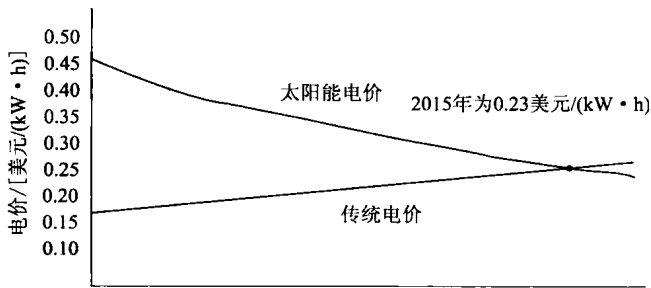


图 1.1 传统发电与太阳能发电的成本趋势图

当前太阳能发电占总能源比例极小,仅有0.037%,图1.2是全球能源使用量及其组成展望,由该图可看到太阳能发电于2040年占有所有能源的比例预测约为25%,另根据德国全球变化咨询委员会(WBGU)的预测,到2100年该比例可达50%。回到近年来太阳能电池使用的情形,以2006年为例,图1.3示出了世界各国使用太阳能电池的用量比例,图1.4则示出1999—2007年全球太阳能电池累计装机容量,其中的小插图 为2007年装机容量,总共为8GW,其中以德、日、美三国为主。从历年的装机容量趋势来看,复合年均增长率(CAGR)高达55%,这就是太阳能电池产业前仆后继、方兴未艾的原因。

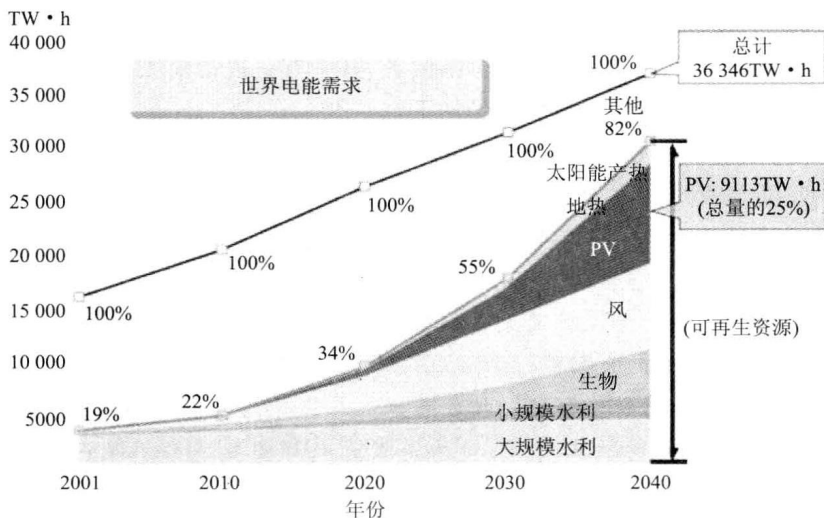


图 1.2 全球能源使用量及其组成展望(来源:Sharp, Japan)

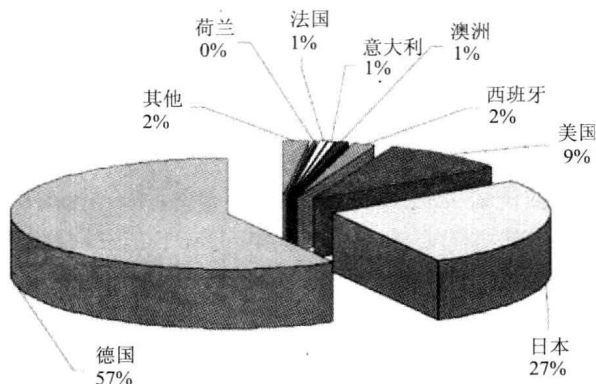


图 1.3 2006 年太阳能电池市场分布图(来源:JPEA, March 2007)

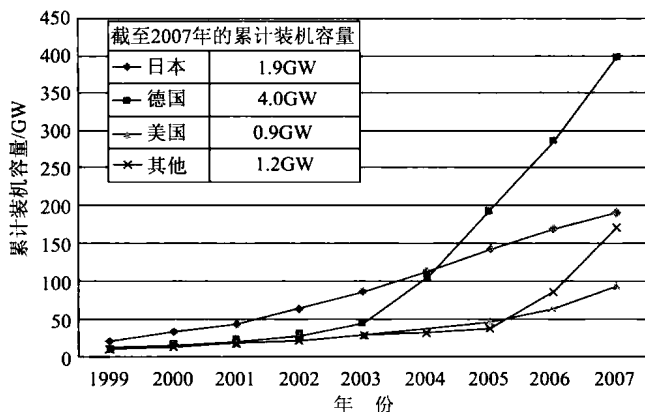


图 1.4 1999—2007 年全球各国太阳能电池装机容量(来源:Sharp, Japan)

1.1.2 致读者的一段话

笔者多年前写了一本书《太阳能》给读者,其中有一段话对太阳有所叙述,其含义是太阳能无限,甚为有趣,现摘录如下:

太阳能是地球的生命源泉

不知道各位有没有去过阿里山看日出?清晨五点钟左右,如果你在祝山的观日峰面对着清澈的云海,观赏绚烂的太阳从山背后一下子闪耀跳了出来,大放光芒,那份亮丽一定会逼得你张不开眼睛,那份心情是何等地令人悸动!你有没有想过这光芒四射的太阳对于生物及大自然生态究竟有什么影响及重要性呢?

事实上,射到地面的太阳能,对地球的生态造成决定性的影响,在生物界,动植物就是靠着太阳能来维持生命的。植物将水和二氧化碳借着光合作用制成碳水化合物(有机物),并且同时放出氧气;动物是吸进新鲜空气中的氧气而吐出二氧化碳。所以植物是靠这些碳水化合物来提供能量的,而动物是靠着氧气来维持生命的。换句话说,一切生物能量的最根本来源还是太阳能。

1.2 太阳能电池发展的一些小(但很重要)的故事

1.2.1 太阳能电池在美国的故事(也是 J. J. Loferski 的故事)

1954 年是很重要的一年,美国贝尔实验室(Bell Laboratories)有两位研究员发表应用硅 PN 结(junction)光照即可发电,取其名为太阳能电池(solar cell)。同年同月美国 RCA 公司两位研究员 J. J. Loferski 与 R. Rarapport 也发表硅 PN 结光照发电的研究成果,应其主管要求,取名为 Nuclear Battery(原子电池,当时为原子时代,符合当年的时尚),从此开启太阳能电池的新纪元。

稍后 J. J. Loferski 离开 RCA 公司,执教于布朗大学,一直以太阳能电池的研究为其一生的事业。Loferski 教授除了发明硅太阳能电池之外,还发明砷化镓(GaAs)太阳能电池,同时也是第一位建立太阳能电池理论体系者(准确预测太阳能电池效率与半导体能隙之间的关系)。Loferski 教授在布朗大学时曾经接受美国军方资助,建立 Vander Graff 加速器以仿真太阳能电池在太空中的各种辐射实验与辐射防护。这里面还有一个小故事,在 1960 年年初,原子能极为盛行,当时美国所发展的人造卫星需要配备可以长期使用的能源系统,为此曾组织一个委员会,其成员有 20 人,其中除了 Loferski 教授及其他两位之外,几乎全都主张应用小型原子炉作为卫星的能源动力。当时 Loferski 教授建议发展太阳能电池面板作为人造卫星的电源,最后终于说服其他委员,开启太阳能电池在人造卫星上的应用,并延续至今。否则,卫星内置一小型原子炉在太空轨道绕行,终有一天会掉落到地球表面,其后果将不堪设想。

此后,Loferski 教授陆续从事 CuS/CdS、Si Grating Cells、CIGS 与 Tandem Cells 等太阳能电池相关研究的创新开发,经 48 年不懈(为 4 位太阳能电池发明人中唯一持续研究到他的生命尽头者),太阳能电池发展的重要里程中都有他的足迹与贡献。因

此,Loferski 教授成为首届 IEEE William Cherry Award 的获奖者,也获入列太阳能电池名人堂(Hall of Fame),世称 Loferski 为“太阳能电池之父”实不过誉。

Loferski 生前喜欢中国台湾,一生到台 18 次,1994—1995 年在台湾新竹清华大学担任杰出讲座教授一年。

1.2.2 太阳能电池在中国台湾的故事

1976 年,笔者在 Loferski 教授指导下研发新型的 CuS/CdS 薄膜太阳能电池,获博士学位后任教于台湾新竹清华大学。时值第一次能源危机,油价高涨。笔者担任“原委会核能研究所”顾问,指导晶体硅太阳能电池的发展与应用,单晶硅太阳能电池最高效率达 16%,也自制太阳能电池板,供电动摩托车充电用,在中山科学研究院院区行驶两年,非常顺利。1980—1995 年,担任台湾工业技术研究院太阳能电池小组顾问,指导其非晶硅太阳能电池的发展。1980 年,笔者与洪传献(时任台湾工业技术研究院太阳能电池小组主任)在 *Journal of Solar Cells* 发表论证中国台湾太阳能电池发展的策略。该文主张由油价来决定研发的方向,即若油价升高,则单晶、多晶、非晶硅等太阳能电池均可发展,若油价降低,则只专注非晶硅太阳能电池的发展。此想法是基于非晶硅材料除了应用于太阳能电池之外,也可用于 TFT-LCD 及其他各式传感器。期间又参与指导台湾第一个太阳屋的设计与建造,并发展出关键的软硬件设施。1980—1986 年,为适应太阳能电池及半导体工业未来发展的需要,笔者主持“国科会”第一个科技整合计划“硅烷计划”,整合中山科学研究院、工业技术研究院、核能研究所、新竹清华大学、台湾大学等 15 个团队发展硅材料各层面的关键技术。

1995—1998 年,笔者担任“中华一号”卫星太阳能电池面板的指导,奠定其顺利运转的基础。最有趣的是陪同工业技术研究院团队以 5 天时间应玉山公园管理局之邀登玉山北峰勘测天候,当时用军用直升机将 4kW 太阳能电池面板运至北峰,装于气象站屋顶,那是台湾最高地点的太阳能发电装置。

1.3 台湾地区太阳能电池产业的缘起与挑战

1.3.1 台湾地区太阳能电池产业的发轫

台湾地区太阳能电池产业其实开始得很早(20 世纪 60 年代初),主要是再利用 4in 的报废硅芯片,从事扩散的制程,所生产的太阳能电池作为手表的一种能源,可惜此项研究未能持续。

1988 年,中央研究院叶玄院士从工业技术研究院能矿所退休,募集资金在新竹科学园区创立“光华非晶硅公司”,从事 4kW 硅薄膜太阳能电池的制造,生产各式消费性产品及路灯等所需的太阳能电池,此项发展持续至今,是国际上极少数无政府补贴而能生存下来的太阳能电池公司,延续太阳能电池的香火而不辍。

直到 1993 年茂迪公司左元淮博士在南科设厂,成功制作单晶硅、多晶硅太阳能电池,进而成为股王。此外,中美硅晶公司亦成功转型成为太阳能电池硅芯片材

料的主要供应者。

近年来由于油价高涨,各式太阳能电池产业如雨后春笋般快速发展。2008年,台湾地区的太阳能电池装机容量达 1800 MW,在国际上名列前茅。

1.3.2 台湾地区太阳能电池产业的挑战

台湾地区各家太阳能电池厂商的优势与劣势如下。

台湾地区 IC 产业生产技术成熟,加上台湾地区半导体人才充沛,在太阳能电池产制的良率与产率上占有优势;而且台湾地区半导体产业长于将产能提高到极限,这在国际竞争上是一大优势。近来由于太阳能电池产业在台湾地区发展迅速,在质与量方面已逐渐形成群聚效益,而且台湾地区精密机械工业已臻成熟,虽然在半导体 IC 及光电 LCD 方面由于其设备的复杂度和成熟度(尤其是产品良率)方面的限制仍难与国际大厂抗衡,但在太阳能电池光电方面,若自动化技术更加精进,则台湾地区自制太阳能电池生产设备(甚至整厂输出)的机会将大幅度增高。这样就更有可能降低制造成本而增加竞争力。

其次,太阳能电池产制将面临逐年降价的压力,因此更有机会通过制造成本的降低打开市场而增加市场占有率。在晶圆太阳能电池方面则面临两项考验:其一为太阳能电池效率的提升;其二为低价格多晶硅材料的充分供应。前者在德国、日本均有优良的研发机构。例如,在德国有 University of Constance(学校)、Fraunhofer Institute(研究院)及 Centrotherm(工艺设备的制造及整合厂)三位一体的研发队伍,并获得国际上的领导地位。

1.4 太阳能电池技术总论与评价

目前,太阳能电池产品是以半导体为主要的吸收材料,在器件结构上则使用 P 型与 N 型半导体所形成的 PN 结产生内在电场,从而分离带负电荷的电子与带正电荷的空穴至两端点而产生电压。由于晶体硅材料与器件在技术的成熟度方面领先于其他半导体材料,最早期的太阳能电池即为晶体硅制成,直到近几年晶体硅太阳能电池仍有大约 90% 的市场占有率。除了技术与投资门槛较低之外,不用担心硅原料匮乏等都是造成其市场占有率高的主因。

在晶体硅太阳能电池之后,大约从 1980 年起开始有非晶硅薄膜太阳能电池产品导入市场,率先应用于小型电子产品(如计算器、手表等),接着因技术演进而有大面积的太阳能电池模块用于建筑物,甚至以其可弯曲的特性创造更宽广的多元应用。只要是具有直接能隙的半导体材料,因其光吸收系数很高,如 GaAs、CdTe、CIGS 等,都可以作为薄膜太阳能电池结构中的光吸收层,厚度只有数微米(μm)。比起间接能隙的晶体硅材料(一般需要数百微米的厚度),薄膜太阳能电池用料较少,再加上晶体硅原料价格居高不下,在材料成本上会显著低于晶体硅太阳能电池。若未来技术成熟度和自主性提升,将有利于市场占有率的提高。图 1.5 即为日本 Sharp 公司对不同形式太阳能电池的产量预测,以 2012 年为例,薄膜太阳能电池的市场占有率将为 40%,相对于晶体硅太阳能电池的 55%,与目前的状况有