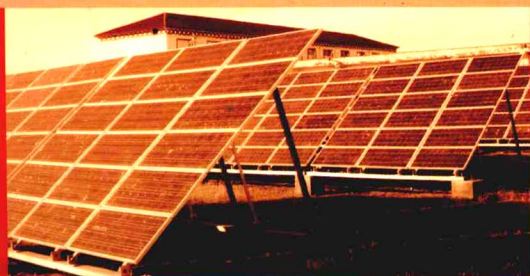




新 能 源 及 高 效 节 能 应 用 技 术 丛 书

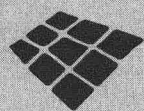
太阳能电池 技术手册



戴宝通 郑晃忠 主编
徐征 赵谏玲 李海玲 审校



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS



新能源及高效节能应用技术丛书

太阳能电池 技术手册

戴宝通 郑晃忠 主编
徐征 赵谔玲 李海玲 审校

常州大学图书馆
藏书章

人民邮电出版社
北京

图书在版编目 (C I P) 数据

太阳能电池技术手册 / 戴宝通, 郑晃忠主编. -- 北京: 人民邮电出版社, 2012.5
(新能源及高效节能应用技术丛书)
ISBN 978-7-115-27818-0

I. ①太… II. ①戴… ②郑… III. ①太阳能电池—技术手册 IV. ①TM914.4-62

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第047381号

新能源及高效节能应用技术丛书

太阳能电池技术手册

-
- ◆ 主 编 戴宝通 郑晃忠
审 校 徐 征 赵谡玲 李海玲
策划编辑 韦 毅
责任编辑 王朝辉
- ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街14号
邮编 100061 电子邮件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
三河市潮河印业有限公司印刷
- ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 23.5
字数: 565 千字 2012年5月第1版
印数: 1—3 000 册 2012年5月河北第1次印刷
- 著作权合同登记号 图字: 01-2010-7684 号
ISBN 978-7-115-27818-0
-

定价: 79.00 元

读者服务热线: (010) 67132692 印装质量热线: (010) 67129223
反盗版热线: (010) 67171154

主编的话

戴宝通 台湾电子材料与
组件协会理事长

当 1976 年台湾工业技术研究院（以下简称工研院）电子所到美国 RCA 厂受训，半导体工业就正式开始在台湾扎根。历经 30 多年的努力，台湾展现的优异技术及成功的企业经营模式，使其领先欧洲成为世界五大半导体制造工业的重镇之一。除了最先进 12 英寸晶圆的世界最大生产基地外，台湾半导体工业总产值在 21 世纪的起始期就突破兆元台币的规模。到了 1990 年，工研院电子所开始制订薄膜晶体管的研究计划，也为台湾的平面显示器工业培育了关键人才。由于半导体工业的厂务设施、设备维护、制备技术与生产管理等都可辅助显示器工业的成长，台湾也就很快成为世界三大平面显示器工业制造地区之一，于 2007 年更是首次超越韩国，成为全球第一的生产地区。除了高增长率外，其显示器面板的产值于 2007 年也首次突破兆元台币。

在两兆元（指我国台湾半导体与彩色显示器两项产业的产值在 2006 年时各突破 1 兆元台币）工业出现后，台湾的下一个兆元工业是什么？以目前台湾的产业技术发展与市场潜力分析，太阳能产业为最佳的候选者。当 2008 年每桶原油突破 100 美元时，太阳能已是未来地球能源的宝贝宠儿。只要它的产出单位电力成本趋近化石能源的电力成本，趋势必不可挡，太阳能产业的前景必然可期，届时台湾只要维持世界的领先地位，兆元台币的产业规模必可期待，现简单说明如后。

回顾世界半导体产业的发展历史，其核心的基本组件为 CMOS 晶体管。在长达半个世纪后，CMOS 晶体管仍是主力。技术的更新、科技的突破及制造的自动化等促使产业的进步，依循摩尔法则快速实现。像这种组件的基板面积，在每个技术节点缩小一半；像这种芯片的功能提升，而单位内存的成本则呈现几何级数的下降，也因此造就了兆元台币的产业。

平面显示器产业的核心组件为薄膜晶体管，配合人类的视觉，其薄膜晶体管组件并无缩小的需求。然而在新时代基板面积扩大、产能自动化的驱动下，其单位面积的生产成本能迅速降低，因而能快速取代传统荧光显示器，快速应用在计算机、电视与信息产品的显示器上，也因此造就了另一个台湾的兆元产业。

太阳能电池的核心组件为光电转换二极管，其相对于薄膜晶体管似乎更为简单。对应于集成电路的 CMOS 制备显然更为简略，也因此少了科技研发动力的注入，而呈现技术的长时

间停滞期。而今在化石能源的短缺下及为了地球环保需求的 CO₂ 减量呼声下，我们不得不再次正视地球能源供应无缺的太阳能产业。

太阳能产业的技术关键，就在提升光电能源的转换效率、增加材料的吸收系数及降低单位面积的生产成本。集成电路制造在纳米薄膜、纳米材料的制备上都有很高的科技水平。因此配合纳米点、奈纳米线等纳米科技的发展，提升吸收系数、改善光电转换效率应是可行的方向。在平面显示器工业上，我们可以借助于大面积的自动化生产经验，获取单位面积生产成本的下降。为了有效促进太阳能产业的发展，快速注入所需的人才仍是重要的一环。当我们环视台湾市面上的太阳能技术手册时会发现，目前尚缺乏相关的指引书籍。台湾电子材料与组件协会本着服务我国工业、提升技术水准的精神，积极筹划编写此《太阳能电池技术手册》。

为了使本手册能涵盖台湾目前已有的产、研、学界的技术，特别由台湾交通大学郑晃忠教授召集台湾大学林唯芳、台湾成功大学苏炎坤、张守进，中兴江雨龙、林佳锋与中山曾百亨，工研院叶芳耀、王柏元、刘佳怡，核能研究所洪慧芬及台湾纳米组件实验室翁敏航，中德电子曾繁中，中美硅晶徐文庆、何思桦，旺能光电黄崇杰，经由大家的热情参与，本手册才得以顺利完成。

本手册内容涵盖太阳能电池介绍及原理、产业概况、市场及其应用、硅材料纯化技术、单晶硅及多晶硅太阳能电池长晶技术、Cell 量产技术、模块技术、前瞻技术、硅薄膜太阳能电池、高效率聚光型太阳能电池、新型太阳能电池、太阳能电池专利地图等。本协会规划此手册的出版，经费相当紧张，除了理监事的大力支持外，也争取到了产、学、研界的赞助，在大家的帮助下，本手册才得以顺利出版，特此致上感恩的心情，期待大家共同努力，携手为我国台湾的兆元产业共创佳绩。



主编的话

郑晃忠 台湾交通大学

当 20 世纪 90 年代大家还陶醉于每桶原油 40~50 美元时，曾几何时已在众人无预警的情况下，其价格转眼间涨到每桶 110 美元以上，让所有人开始意识到石油终有匮乏之日，更注意到能源的宝贵。在诸多能源之中，除与原油相关的火力发电、水资源的水力、核分裂与融合的核能外，人们也苦思其他可利用的能源，包括风力发电、生物能源、地热以及太阳能电池。然而近期科学家们发现生物能源有可能造成粮食以及农作物等民生必需品短缺，于是最具环保概念之风力与太阳能发电便成为众所瞩目的焦点，其中又以太阳能发电最受关注，因为太阳能具备遍布地球之特色，更是所有发达国家，包括德国、美国、日本与其他欧美亚等国家争相投入研发的标的，以期在未来能有所突破，并为全人类挹注可利用的新能源。

在 2006 年，全球太阳能电池安装规模为 1.744GW，全世界太阳光电产业产值在 2006 年达到 88 亿美元，到 2010 年全球累积装置容量达到 13GW。其中太阳能电池在 2006 年产值为 13 亿美元，在 2010 年达 42 亿美元，而 2020 年则预计会增长到 488 亿美元。台湾近几年太阳光电产业快速成长，2006 年俨然已成为全球第五大生产地区，2007 年台湾的产能倍增，同年产值已达 429 亿台币，可望成为全世界第四大生产地区，其总产能已达 0.3GW 以上。在诸多太阳能电池技术当中，包括晶圆式太阳能电池与薄膜式太阳能电池，其中晶圆式太阳能电池可分为硅材料单晶硅及多晶硅，以及化合物半导体材料单结晶化合物半导体；薄膜式亦可分为硅材料非晶硅与多晶硅，以及非晶硅/微晶硅堆栈型，与化合物半导体材料之 III-V 族与 II-IV 族等。另外尚有其他有机及高分子材料太阳能电池，所以技术种类繁多。

因此，本书一开始即由单晶硅及多晶硅技术导入，再对其太阳能电池与模块技术一一解说，并选取最具前瞻性的未来技术加以说明，其次对硅薄膜太阳能电池和 III-V 族化合物半导体太阳能电池加以介绍，并详述其模块制作及测量技术，并提出高效率聚光型太阳能电池的模块技术与测量技术，其后解说 II-IV 族（CdTe 与 CIS）等薄膜太阳能电池及其他热敏化、全有机、高分子掺杂等薄膜太阳能电池，并在最后提出各太阳能电池技术的市场和应用现状与前景，以及专利地图等信息。

全书尽量完整及深入浅出，希望读者能在各章的介绍下对太阳能电池有更深入的认识和了解，并为我国太阳能电池产业的发展贡献一份心力。

鄭晃忠

序

太阳能资源丰富、分布广泛,是最具发展潜力的可再生能源。随着全球环境恶化和能源短缺等问题的日益突出,太阳能光伏发电因清洁、安全、便利等优点,已成为世界各国普遍关注和重点发展的新兴产业。

在此背景下,近年来全球光伏发电产业迅猛发展,产业规模不断扩大,产品的技术与性能不断提高,产品成本持续下降。2010 年全球太阳能电池产量达到 20.5GW,多晶硅产量达到 16 万吨,组件价格则从 2000 年的 4.5 美元/瓦下降到 2010 年的 1.7 美元/瓦。

随着光伏产业的不断进步和发展,技术上的要求越来越高,对专业技术人才的需求也急剧增长。本书的出版对光伏人才的培养,以及产业技术人员水平的提高都具有很重要的作用。本书适用于本科生、研究生、生产线上的技术人员,以及从事光伏发电技术研发和教学的人员。

与其他介绍太阳能电池的书籍大部分篇幅都是介绍太阳能电池的机理不同,本书除了介绍太阳能电池机理之外,还较多地介绍了产业方面的相关技术,有助于读者学习到更多的产业技术方面的相关知识,使理论与实际结合紧密。

本书第 1 章和第 2 章介绍了晶体硅太阳能电池产业链中的相关技术和机理。第 4~6 章介绍了薄膜太阳能电池的相关技术和机理。第 7~9 章介绍了新型太阳能电池的相关技术和机理。不同于其他书籍,本书在第 11~13 章介绍了太阳光电产业与市场发展和太阳能电池技术的专利地图,将给读者提供更多的相关信息。

参与本书审校的人员有北京交通大学赵谡玲教授、中国科学院电工研究所李海玲副研究员、北京交通大学徐征教授。

徐征
北京交通大学
2011 年 11 月

目 录

第 1 章 绪言	1
1.1 前言	1
1.2 太阳能电池介绍及原理	2
1.3 太阳能电池的种类	6
1.4 太阳能电池产业概况	8
1.5 本书架构	10
参考文献	11
第 2 章 太阳能级单晶硅拉棒及多晶硅铸造技术	12
2.1 太阳能电池所用的硅材料	12
2.1.1 高纯度多晶硅的制造	12
2.1.2 太阳能级多晶硅原料的制造	14
2.2 单晶硅长晶技术	15
2.2.1 CZ (柴氏) 法单晶硅晶棒的制造方法	15
2.2.2 区熔法	17
2.2.3 新型长晶技术	18
2.2.4 CZ 单晶硅晶棒 (硅棒) 的品质控制	20
2.3 多晶硅铸造技术	27
2.3.1 多晶硅铸造技术种类	27
2.3.2 多晶硅铸造硅锭	28
2.3.3 多晶硅铸锭的质量控制	31
2.4 太阳能硅片加工	35
2.5 结论	37
参考网站及文献	37
第 3 章 单晶硅及多晶硅太阳能电池的生产技术	39
3.1 前言	39

3.2 电池结构与制备流程	40
3.2.1 电池结构	40
3.2.2 制备流程	41
3.3 腐蚀	43
3.3.1 去切割损伤层	44
3.3.2 表面织构化	44
3.3.3 化学腐蚀	45
3.3.4 等离子体刻蚀	52
3.4 磷扩散	54
3.4.1 管式批次结构	54
3.4.2 链式结构	56
3.5 去氧化层	56
3.6 抗反射镀膜	57
3.6.1 等离子体镀膜技术比较	57
3.6.2 $\text{SiN}_x\text{:H}$ 薄膜沉积工艺	58
3.7 电极制备	59
3.7.1 丝网印刷	59
3.7.2 烧结	61
3.8 边缘隔离	61
3.8.1 等离子体刻蚀	61
3.8.2 激光边缘隔离	62
3.9 光电特性测试	63
3.9.1 太阳光谱	63
3.9.2 电池的电压—电流特性曲线	64
3.10 其他测试	65
3.10.1 载流子寿命测试	65
3.10.2 光谱响应测试	67
参考文献	68

第4章 单晶硅及多晶硅太阳能电池的组件技术

4.1 光伏组件的构造、封装与技术发展	71
4.1.1 光伏组件的构造	71
4.1.2 光伏组件的封装	72
4.1.3 光伏组件技术发展趋势	73
4.2 光伏组件材料选用	73
4.2.1 太阳能电池	73
4.2.2 玻璃	74
4.2.3 EVA	74
4.3 光伏组件工艺技术	75

4.3.1	光伏组件封装流程	75
4.3.2	太阳能电池组件封装工艺管制	75
4.4	光伏组件品管技术	77
4.4.1	太阳能电池片与铜箔焊线焊接强度评估	77
4.4.2	EVA 与玻璃封装界面强度评估	78
4.4.3	晶体硅太阳能电池反向电压的反向电流评估	79
4.5	太阳能电池组件检测与验证	79
4.5.1	光伏组件检测技术	79
4.5.2	光伏组件验证	89
	参考文献	95
第 5 章	单晶硅及多晶硅太阳能电池的前瞻技术	97
5.1	前言	97
5.1.1	替代能源的蓬勃发展	97
5.1.2	太阳能电池的种类——晶体硅型太阳能电池为市场之主流	97
5.1.3	太阳能产业面临的挑战——发电单位成本较高，能量密度偏低	98
5.1.4	国内外产业分析	99
5.2	硅太阳能电池的理论极限与损耗机制	100
5.2.1	光进入太阳能电池的损失	101
5.2.2	其他太阳能电池损失机制——弱光效应	112
5.3	高效率太阳能电池技术	112
5.3.1	选择性发射极技术	113
5.3.2	刻槽埋栅	114
5.3.3	N 型硅太阳能电池	115
5.4	其他高效率晶硅太阳能电池技术	116
5.4.1	PERL 结构太阳能电池	116
5.4.2	IBC 结构太阳能电池	116
5.4.3	HIT 结构太阳能电池	117
5.4.4	倾斜蒸镀金属接触式太阳能电池	117
5.4.5	Hot carrier 太阳能电池	118
	参考网站及文献	118
第 6 章	硅薄膜太阳能电池	120
6.1	简介	120
6.2	氢化非晶硅薄膜的制备	121
6.2.1	非晶硅薄膜沉积	122
6.2.2	非晶硅薄膜掺杂	123
6.3	氢化非晶硅薄膜的特性	124
6.3.1	氢化非晶硅薄膜的结构特性	124

6.3.2	氢化非晶硅薄膜的光学特性	127
6.3.3	氢化非晶硅薄膜的电学特性	129
6.4	氢化非晶硅太阳能电池原理	130
6.5	氢化非晶硅太阳能电池制备	131
6.5.1	非晶硅太阳能电池制备的要求	131
6.5.2	非晶硅 P-i-N 太阳能电池生产技术	132
6.6	氢化非晶硅薄膜太阳能电池优缺点	134
6.6.1	氢化非晶硅薄膜太阳能电池的优点	134
6.6.2	氢化非晶硅薄膜太阳能电池的缺点	137
6.7	氢化非晶硅薄膜太阳能电池研发方向	137
6.7.1	薄膜结晶结构控制	138
6.7.2	组件结构控制	142
6.7.3	氢化非晶硅薄膜太阳能电池研发情况	143
6.8	结论	147
	参考文献	148

第 7 章 高效率聚光型太阳能发电技术——III-V 族化合物半导体多结太阳能电池长晶技术

7.1	简介	152
7.1.1	III-V 族半导体材料	152
7.1.2	直接与间接带隙半导体	153
7.1.3	发展历程与近况	155
7.1.4	主要应用与发展趋势	156
7.2	III-V 族太阳能电池种类	158
7.2.1	单结式	158
7.2.2	多结式	161
7.2.3	聚光型	163
7.3	外延设备介绍	165
7.3.1	有机金属气相外延法	165
7.3.2	分子束外延法	167
7.3.3	化学束外延法	170
7.4	单结材料太阳能电池的外延与结构设计	171
7.4.1	GaAs 太阳能电池的外延与结构设计	172
7.4.2	AlGaAs 单结材料太阳能电池	177
7.4.3	量子阱太阳能电池	178
7.4.4	氮 (N) 基	181
7.5	双结材料太阳能电池的外延与结构设计	183
7.5.1	双结太阳能电池的设计概念	183
7.5.2	多种不同结构、不同材料的双结太阳能电池	189

7.6 多结叠接太阳能电池	192
7.6.1 GaInP/InGaAs/Ge 太阳能电池的外延与结构设计	192
7.6.2 GaInP/GaAs/InGaAs/Ge 太阳能电池的外延与结构设计	200
参考网站及文献	205
第 8 章 高效率聚光型太阳能发电技术——提升聚光型太阳能电池光电转换效率的技术	215
8.1 III族太阳能电池组件结构设计	215
8.2 III-V 族太阳能电池的设计与材料选用	218
8.3 III-V 族太阳能电池的组件表面抗反射技术	224
参考文献	228
第 9 章 高效率聚光型太阳能发电技术——聚光型太阳能电池（光伏）模块技术	230
9.1 简介	230
9.2 CPV 技术	231
9.2.1 CPV 技术的工作原理	231
9.2.2 CPV 技术的优点	232
9.2.3 CPV 发电系统的种类	234
9.2.4 CPV 技术其他考虑因素	234
9.3 CPV 模块	235
9.3.1 聚光型太阳能电池	235
9.3.2 CPV 模块制作	237
9.3.3 CPV 模块测量	237
9.3.4 CPV 模块技术的挑战与机遇	237
9.4 CPV 模块发展现状	238
9.4.1 台湾的发展现状	238
9.4.2 国际的发展现状	239
9.4.3 产品标准的重要性	243
9.5 结语	243
参考网站及文献	243
第 10 章 CdTe 及 Cu(In, Ga)Se₂ 薄膜太阳能电池	244
10.1 绪论	244
10.2 CdTe 薄膜太阳能电池	246
10.2.1 CdTe 薄膜的制备与电性	247
10.2.2 CdTe 太阳能电池的组件结构与电性	248
10.2.3 CdTe 薄膜太阳能电池的未来发展	249
10.3 Cu(In,Ga)Se ₂ 薄膜太阳能电池	249
10.3.1 CuInSe ₂ 系列材料的基本性质	249

10.3.2	Cu(In,Ga)Se ₂ 薄膜的制备方法	251
10.3.3	CIGS 高效率太阳能电池的组件结构	253
10.3.4	CIGS 太阳能电池的量产制程	255
10.4	结语	257
	参考文献	258
第 11 章	新型太阳能电池	259
11.1	引言	259
11.2	高效率(>31%) 新型太阳能电池	260
11.2.1	叠层太阳能电池	261
11.2.2	多数电子—空穴对太阳能电池	261
11.2.3	热载流子太阳能电池	261
11.2.4	多能带太阳能电池	262
11.2.5	热光太阳能电池及热光组件	263
11.3	廉价大面积有机太阳能电池	263
11.3.1	染料敏化太阳能电池	264
11.3.2	全有机半导体太阳能电池	267
11.3.3	高分子掺混 C ₆₀ 及其衍生物的太阳能电池	268
11.3.4	高分子混合无机纳米粒子太阳能电池	270
11.3.5	有机混合材料太阳能电池的效率	272
11.3.6	价格与成本讨论	273
11.3.7	电池寿命讨论	273
11.4	结论	274
	参考文献	274
第 12 章	太阳光电产业与市场发展	277
12.1	全球太阳光电产业发展历程	277
12.2	总体环境监测	281
12.2.1	太阳光电主要市场与潜力国家推动政策	281
12.2.2	全球太阳光电未来潜力市场与其应用	301
12.3	全球产业链动态监测	306
12.3.1	区域分析	306
12.3.2	获利分析	309
12.3.3	技术发展趋势	312
12.4	中国台湾太阳光电产业发展监测	315
12.4.1	光电产业发展现况	315
12.4.2	光电产业供应链分析	319
第 13 章	太阳能电池方面的专利情况	324
13.1	引言	324

13.2 专利分析的概念	324
13.2.1 专利的种类	325
13.2.2 专利分析的意义	328
13.2.3 专利分析与研发策略的关系	329
13.3 太阳能电池的可专利性探讨	331
13.3.1 太阳能电池的技术	331
13.3.2 太阳能电池的可专利关键技术	332
13.3.3 专利检索的方法与限制	333
13.4 太阳能电池专利的管理分析	334
13.4.1 第一代硅基太阳能电池的专利管理分析	334
13.4.2 第二代薄膜型太阳能电池的专利管理分析	339
13.4.3 第三代高效率太阳能电池的专利管理分析	348
13.5 太阳能电池专利的技术分析	353
13.5.1 第一代硅基太阳能电池的专利技术分析	353
13.5.2 第二代薄膜型太阳能电池的专利技术分析	355
13.5.3 第三代高效率太阳能电池的专利技术分析	358
13.6 总结与建议	359
13.6.1 太阳能电池专利分析后的策略布局	359
13.6.2 太阳能电池的回避设计	360
13.6.3 未来研发的建议	360
13.6.4 致谢	361
参考网站及文献	361

第 1 章

绪言

郑晃忠 台湾交通大学电子工程系所教授
张国瑞 台湾交通大学电子工程系所博士后研究员

1.1 前言

能源是人类社会生活和生产的基础，而且能源使用量逐年增加。经过多项科学研究和长期观察，二氧化碳（CO₂）的排放被证实是造成地球温室效应与全球变暖的最大主因。温室气体的过度排放会造成地球平均气温升高，导致温室效应日益严重。目前二氧化碳的排放量约占了温室气体排放量的 70%，而且二氧化碳绝大部分来源于化石能源（如煤、石油、天然气）的燃烧。我国台湾有 98% 的能源依赖进口，其中有一半的化石能源用来发电，产生的电力再予以利用，另一半则直接给工业生产及家庭利用（如重油、柴油、汽油、瓦斯）。目前各国为了减缓地球温室效应，都在考虑如何在不影响人民生活和经济发展的情况下减少能源的使用量，以减少二氧化碳排放量。1997 年，联合国《气候变化纲要公约》缔约国在日本京都制定了《京都议定书》，并于 2005 年 2 月 16 日生效。该协议规范了工业化国家二氧化碳等 6 种温室气体排放减量责任及日程，要求工业化国家最晚于 2012 年之前将造成地球暖化的废气排放量降低到 1990 年的 5.2% 以下。目前全球石油与天然气的蕴藏量分别够用 40 年与 60 年左右，并且这些化石燃料的价格逐年升高，国内外专家已预测每桶原油将上升到 100~200 美元。相信再过不久，其价格必定会不断上涨到令人无法承受的地步，因此发展可再生能源来取代现有的化石燃料能源并降低二氧化碳的排放量，成为全世界各国所必须面对的课题。

太阳能为可再生能源中的一种，其他可再生能源还包括水力、风力、地热、生物质能等，目前都被开发应用。表 1-1 所示为各类可再生能源发电成本的比较。其实从广义的太阳能来说，地球上的风能、水能、海洋温差能、波浪能和生物质能以及部分潮汐能都是来源于太阳辐射，即使是地球上现存的化石燃料（如煤、石油、天然气等），从根本上说也是远古以来储存下来的太阳能。

表 1-1 各类可再生能源发电成本统计 (单位：美分/度)

能源 成本	太 阳 光 电	太 阳 热 能	风 力	生 物 质 能	水 力	地 热
目前成本	25~40	12~34	4.5~8	3~12	2~12	2~10
2015 年成本	6~25	4~20	3~10	4~10	2~10	1~8

资料来源：中国台湾工研院 IEK (2005-10)。

太阳能既是一次能源，也是可再生能源。它的优点是资源丰富，既可免费使用，又无需运输，对环境没有任何污染、无噪声，以及发电模板系统可使用 20 年以上，等等。在目前各国对于可再生能源的发展中，水力、风力和太阳能是可再生能源发展的主流。水力发电应用极早，但因其需要河流落差较大的区段，且往往需要建设水坝并影响当地动、植物生态，考虑到地点难寻、生态保护和安全因素，逐渐不被新一代电力发展所采用。风力发电近年来发展相当迅速，已经有单机年发电量达 5MW 的大型机种出现，且所需风力的强度也较过去大幅降低，因此风力目前是水力之外可再生能源的主流。2004 年全球累计风力装置容量达 40GW，且据 BTM 公司预估其后平均年增长率为 16.6%。然而风力发电需要宽阔、平坦的基地，设备体积又过大，也不断有破坏环境的质疑声。此外，在具有适合风力发电的地点有限，且仍需以集中式的大型基地（包括离岸型和陆上型）为主的情况下，存在地点不易寻求的问题，因此风力发电的长期发展仍会受到限制。由于太阳能是取之不尽、用之不竭的天然能源，除了没有能源耗尽的疑虑之外，也可以避免能源被垄断的问题，因此各国也积极地发展对太阳能的应用，期望通过增加太阳能的利用来降低对化石能源的依赖性及减少污染。然而利用太阳能也有两个主要问题：一是能流密度低，二是其强度受各种因素（如季节、地点、气候等）的影响而不能维持常量。这两大缺点限制了对太阳能的有效利用。

可再生能源意指发电所需的原料，乃是取之不尽、用之不竭的，这和目前主流发电所用的煤、石油、天然气等化石燃料蕴藏量有限及使用后无法恢复形成最明显的对比。可再生能源的另一特性是，发电后不会有其他副产品，而化石燃料则在燃烧之后会转化成二氧化碳等气体。太阳能除了可以用曝晒、集光点燃等方法直接利用外，也可以把它转换成热能或电能进一步加以使用，例如，在日常生活中常用的太阳能热水器以及户外的太阳能电池模板，等等。换一个角度来看，我国很多地区具有日照量充足、半导体和电力电子产业发展健全和政府极力推广等优厚条件，再加上可能的能源危机，以及环保意识普及等，太阳能发电事业确实具有非常大的发展空间。

1.2 太阳能电池介绍及原理^[1,2]

太阳是距离人类最近的一颗恒星，它所发出的光和热给地球上的万物带来生机，并无时无刻不在向宇宙空间发送大量的能量。太阳能是以电磁波的形式传递的，并射入大气层内。其中的能量大约有 35% 会被反射而消失于大气层外；大约有 17.5% 会被大气吸收；剩下的大约 47.5% 就传到地球表面，将地面加热，并蒸发水分，以及提供植物进行光合作用等所需要的能源。就全球而言，美国西南部、非洲、澳大利亚、中国西藏、中东等地区的全年总辐射量或日照总时数最大，是世界太阳能资源最丰富的地区。

光电效应是在 1887 年由 Heinrich Hertz 于实验中发现的，爱因斯坦于 1905 年使用光子的概念成功地进行了解释。光电效应是指光子照射到金属表面的行为，金属内的电子吸收足够的光子能量，脱离金属表面放射到真空中成为自由电子。实验上是用两块金属和一个电压源连接起来，被光照射的金属当作阴极放射器，不被光照射的金属当作阳极接收器，外加电压使光照后逃离金属表面束缚的电子从阴极脱离而入射到阳极，形成光电流。一般金属的功函数大部分在 3~5 eV，因此只有能量大于紫外线的光子才能被吸收来产生光电流。但太阳