



国际电气工程先进技术译丛

薄膜太阳能电池的 基础与应用

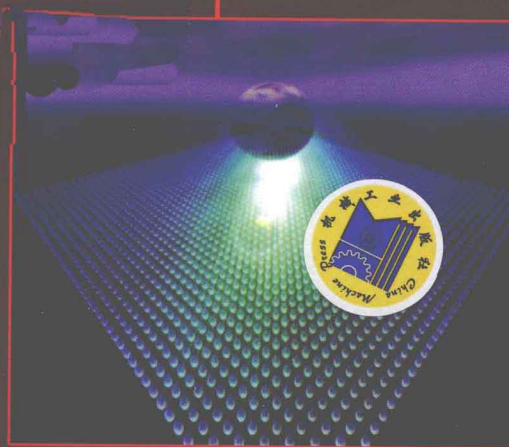
—— 太阳能光伏发电的新发展

薄膜太陽電池の 基礎と応用

—環境にやさしい太陽光発電の新しい展開—

太阳能光伏发电技术研究组织 主编
(日)小长井 诚 编著
李安定 吕全亚 陈丹婷 译

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



国际电气工程先进技术译丛

薄膜太阳能电池的 基础与应用 ——太阳能光伏发电的新发展

太阳能光伏发电技术研究组织 主编

(日) 小长井 诚 编著

李安定 吕全亚 陈丹婷 译

机械工业出版社

进入 21 世纪,随着人们对全球气候变化问题越发关注,太阳能光伏发电产业在世界上更加蓬勃发展。特别是中国,近些年来,其发展尤为迅猛,已成为世界的龙头。然而,仅仅通过批量化生产实现低成本的途径还远远不够。为在性价比上能与传统能源媲美,实现“平价上网”并达到更为广阔的应用,薄膜电池等新型太阳能电池的研发与产业化引人入胜。本书正是系统、全面介绍薄膜太阳能电池的科技专著,内容涵盖硅基薄膜电池、铜铟镓硒、碲化镉以及有机染料敏化等薄膜太阳能电池的基础理论及其应用知识。

本书可供从事太阳能光伏发电工程的技术人员及高等院校师生,以及对薄膜太阳能电池感兴趣的相关人员阅读。本书是一部值得参阅的科技著作。

Copyright © 2001 by Taiyoukou Hatsuden Gijutsu Kenkyu Kumiai Published by Ohmsha, Ltd.

This Chinese Language edition published by (name of publisher) Copyright © (Year of publication)

All rights reserved.

本书中文简体字版由机械工业出版社出版,未经出版者书面允许,本书的任何部分不得以任何方式复制或抄袭。版权所有,翻印必究。

本书版权登记号:图字 01-2009-2589 号

书名原文:薄膜太陽電池の基礎と応用

一環境にやさしい太陽光発電の新しい展開一

图书在版编目(CIP)数据

薄膜太阳能电池的基础与应用:太阳能光伏发电的新发展/(日)小长井 诚编著;李安定,吕全亚,陈丹婷译.一北京:机械工业出版社,2011.8

(国际电气工程先进技术译丛)

ISBN 978-7-111-35122-1

I. ①薄… II. ①小…②李…③吕…④陈… III. ①薄膜太阳能电池 IV. ①TM914.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 119445 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:张沪光

责任编辑:张沪光

版式设计:张世琴

责任校对:申春香

封面设计:马精明

责任印制:乔宇

三河市国英印务有限公司印刷

2011 年 9 月第 1 版第 1 次印刷

169mm×239mm·19.75 印张·382 千字

0001—3000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-35122-1

定价:88.00 元



凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010) 68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010) 88379649

读者购书热线:(010) 88379203

封面无防伪标均为盗版

译 者 序

当今，人类从未如此深感能源匮乏和环境恶化。有关气候变化的争议，严酷事实的频现以及科技发展的态势都导致一个结论，即人类未来更加依赖绿色、自然的可再生能源，更加依赖可再生能源的大规模开发利用。太阳能资源极为丰富，遍及全球，取用不竭，可谓最佳的可再生能源。太阳能光伏发电，其发电原理非同常规，具有无转动部件、模块化结构、运行维护简易、建设周期短以及可利用荒漠土地和建筑物屋顶资源等一系列独特优点，是大规模开发利用太阳能的必由之路。

近年来，作为光伏发电系统主体部件的太阳电池，其技术创新进步及产业规模化扩大皆已取得长足发展。太阳电池种类繁多，大致可分为晶体硅电池和薄膜电池两大类。由于研究开发成果的应用及各国多种普及推广政策的促进，晶体硅太阳电池早已达到实用化阶段。而且，自从20世纪80年代初商业化薄膜电池开始进入市场以来，晶体硅电池的性能业已取得了尤为显著的进步，且电池的效率仍存在进一步提升的潜力。与此同时，各种薄膜电池的研发成果及产业化技术也在不断涌现，预示着光伏发电技术大规模推广应用的必要条件，即系统造价、千瓦时电成本及能量回收期的预期目标指日可达，实现“平价上网”及扩大应用范围时日为期很近。

为尽早实现太阳能光伏发电系统的实用化，原书作者受日本新能源产业技术综合开发机构委托，组织业内专家，尽其所能汇集了相关的研发成果，编写出版了本书。书中深入阐述了薄膜太阳电池的基础知识、制膜及批量化生产技术、评价技术等最新成果。本书可视为薄膜太阳电池入门的科技著作。国内像本书如此全面、系统介绍薄膜太阳电池的基础和应用的专著尚未见到，翻译出版本书，译者期望能对太阳能光伏发电的相关人士、学生及感兴趣的读者有所裨益。由于时间仓促，疏漏不当之处，敬请读者及专家、学者不吝赐教。

本书的翻译出版，要特别感谢常州佳讯光电产业发展有限公司同仁的理解、关心和大力支持，还要特别感谢机械工业出版社对本书出版与发行提供的鼎力支持。

译 者
2011年5月

序

以1973年的第一次石油危机为契机,以国产能源开发为目的,1974年日本通商产业省工业技术院开始拟定《阳光计划》。太阳能光伏发电技术是这项计划的基础,从开始研发已经历了26年。1993年起,又增加了保护地球环境的宗旨,实施了《新阳光计划》,进一步推进了光伏发电的研发。这项计划的第Ⅰ期于2001年3月结束,从4月起新的第Ⅱ期计划闪亮登场。

迄今的研究开发成果以及各国多种普及政策的促进,使晶体硅太阳能电池达到了实用化阶段。目前,日本太阳能电池的年产量已达到约80MW(2000年),成为世界第一生产国。这种生产量的增加是因为采用的是膜厚约为0.3mm的多晶硅太阳能电池,今后并不存在资源供给受限的问题,并且预计低成本的薄膜太阳能电池也将会进入市场。

为尽早实现太阳能光伏发电系统的实用化,受新能源·产业技术综合开发机构(NEDO)的委托,太阳能光伏发电技术研究组织(PVTEC)聚集各成员的研发力量,推动了产业界、官方及学术界多方的紧密结合,促进了太阳能光伏发电技术的研究开发。本书对迄今为止的技术开发成果进行了综述。作为实施计划的一个环节,PVTEC在内部设立了薄膜(太阳电池)调查分科会(分科会长:小长井 诚 东工大教授),并负责汇集迄今研发成果的本书出版。预计低成本薄膜太阳能电池的普及是今后的发展趋势。书中阐述了薄膜太阳能电池的基础知识、制膜技术、批量化生产技术、评价技术等最新的技术成果,可以作为薄膜太阳能电池的入门手册。本书的问世有幸得到了工业技术院新阳光计划推进本部以及日本新能源·产业技术综合开发机构(NEDO)的理解。

期望本书能对太阳能光伏发电的相关人士、学生以及感兴趣的读者有一定的帮助。在此,谨向欧姆(才一ム)社的协助深表谢意!

太阳能光伏发电技术研究组织
事务理事 森 信昭
2001年1月

前 言

经科学技术会议总结，最近提出了第二期科学技术基本计划。21 世纪初期重点关注的科学技术领域，分为“生命”、“IT（信息通信技术）”、“环境”和“纳米技术、纳米材料”四个领域。本书所涉及到的太阳能光伏发电是一种新能源，对解决 21 世纪全球环境问题将做出重大贡献。

日本经济新闻社以产、官、学的研究者和开发责任者为对象进行了调查，并在 2001 年元旦的晨报上发表了 2030 年的预测结果。预计到 2030 年，日本发电量的 8% 将来自太阳能光伏发电。为了能早日实现这一预测，普及住宅用太阳能光伏发电系统，得到了政府大量的补助支持，太阳电池的产量以及设置太阳电池的住宅也在急速增加。2000 年安装了约 2 万套住宅太阳能光伏发电系统。目前各公司的年产量为 20 ~ 30MW，但在即将迎来的 21 世纪，各公司将向年产 100MW 的生产规模迈进。

然而，这些所使用的太阳电池依旧是以前的晶体硅太阳电池，为在 2010 年达到引入 5000MW 太阳电池的这一目标，在成本上占绝对优势的薄膜太阳电池的上市是必然趋势。

这里所言的太阳电池和太阳能光伏发电，以往就出版过很多这方面的书籍，但是要从书中得知最新动向还是比较困难的。同时，在快速推进薄膜太阳电池的研究开发过程中，很多大学的本科生、研究生还有企业的年轻研究者都迫切希望能有这样的一本教科书问世，而本书正是一本广泛介绍薄膜太阳电池从基础到系统应用的教科书。特别是书中讲述了各种太阳电池的工作机理，同时还从基础入手阐述了成膜的基本过程。书中所介绍的最新动向是以太阳能光伏发电技术研究组织的研发工作为主，由这一领域的一线研究者归纳而成的。

本书主要介绍了非晶硅、多晶硅薄膜、铜铟镓硒、碲化镉等开发中的薄膜太阳电池。预计将来会有用超越以往新材料和新的光电转换机制研制而成的太阳电池上市。材料的开发是意义深远的。染料敏化电池和有机半导体太阳电池等也会成为今后关注的对象。

最后，在此衷心地感谢在本书策划阶段给予建议和指导的若松清司氏

VI 薄膜太阳能电池的基础与应用——太阳能光伏发电的新发展

(太阳能光伏发电技术研究组织 前常务理事)、石川 浩氏 (太阳能光伏发电技术研究组织 前科长) 以及短期内完成原稿的执笔分担者! 并对竭尽心力出版本书的欧姆社杂志部的各位致以谢意!

小长井 诚

2001 年 1 月

编著者、执笔者一览表（按五十音图顺序）

石川 浩	（太阳能光伏发电技术研究组织）	第 8 章
石原 隆	（三菱电机股份有限公司）	第 2 章 2.4
大塚 宽之	（信越半导体股份有限公司）	第 2 章 2.3
冈本 保	（东京工业大学）	第 6 章 6.1
冈本 博明	（大阪大学）	第 3 章 3.1，第 6 章 6.2
北川 雅俊	（松下电器产业股份有限公司）	第 5 章 5.2
栉屋 胜巳	（昭和壳牌石油股份有限公司）	第 5 章 5.3，5.4
小长井 诚	（东京工业大学）	第 1 章
近藤 道雄	（电子技术综合研究所）	第 4 章 4.2
坂田 功	（电子技术综合研究所）	第 2 章 2.1
佐藤 一夫	（旭哨子股份有限公司）	第 3 章 3.6
清水 正文	（夏普股份有限公司）	第 2 章 2.2
高仓 秀行	（立命馆大学）	第 4 章 4.1
中田 时夫	（青山学院大学）	第 5 章 5.1
中田 昭彦	（日本品质保证机构）	第 7 章
根上 卓之	（松下电器产业股份有限公司）	第 5 章 5.2
花房 彰	（松下电池工业股份有限公司）	第 6 章 6.1
滨 敏夫	（工程技术振兴协会）	第 3 章 3.5
冬木 隆	（奈良先端科学技术大学院大学）	第 4 章 4.4
松田 彰久	（电子技术综合研究所）	第 3 章 3.2
丸山 英治	（三洋电机股份有限公司）	第 3 章 3.4，3.7
山田 明	（东京工业大学）	第 3 章 3.3
山本 宪治	（钟渊化学工业股份有限公司）	第 4 章 4.3
若松 清司	（太阳能光伏发电技术研究组织）	第 8 章

（所属执笔时间，2000 年 10 月）

目 录

译者序

序

前言

第1章 总论	1
1.1 地球环境问题和太阳能光伏发电	2
1.2 太阳能光伏发电	3
1.2.1 太阳能光伏发电系统与太阳电池	3
1.2.2 太阳电池成本与发电成本	3
1.2.3 太阳能光伏发电	4
1.3 太阳电池的种类	5
1.4 薄膜太阳电池的特性	6
1.4.1 吸收系数	6
1.4.2 能量回收期 (EPT)	7
1.5 太阳电池产业的现状	8
1.5.1 太阳电池的产量变化	8
1.5.2 产量预测	10
1.6 转换效率的理论值和实测值	11
1.7 各国的规划	15
1.7.1 新阳光计划的技术开发	15
1.7.2 2030 年的研发课题	16
1.7.3 太阳能光伏发电系统的普及政策	19
1.7.4 欧美的开发计划	20
1.8 薄膜太阳电池的发展趋势与课题	21
1.8.1 硅系薄膜	21
1.8.2 CIGS、CdTe	22
1.8.3 转换效率汇总	23

1.9 有机材料系的可能性	24
参考文献	25
第2章 硅太阳能电池的基础	27
2.1 硅太阳能电池的工作原理	28
2.1.1 太阳光谱和硅的光物理特性	28
2.1.2 载流子的发生与复合	29
2.1.3 硅太阳能电池的工作分析	32
2.1.4 理想转换效率和高效率化方法	37
参考文献	39
2.2 硅太阳能电池的制造方法	40
2.2.1 用于太阳能电池的硅片的制造方法	40
2.2.2 硅太阳能电池的制造方法	42
参考文献	46
2.3 硅太阳能电池的基础特性	47
2.3.1 光谱灵敏度特性	47
2.3.2 太阳电池的等效电路	50
2.3.3 硅太阳能电池的电流-电压特性	51
2.3.4 温度特性	61
参考文献	61
2.4 硅太阳能电池的应用	62
2.4.1 住宅用 PV 系统的晶硅太阳能电池组件	62
2.4.2 大型 PV 系统设置事例	63
2.4.3 聚光型太阳电池	65
2.4.4 航天太阳电池	66
参考文献	67
第3章 非晶体太阳电池	69
3.1 太阳电池材料的基础物理特性	70
3.1.1 能带端电子状态和电气特性 ^[1-5,6]	70
3.1.2 光吸收光谱与光学禁带宽度 ^[1-5,7]	72
3.1.3 结构缺陷、深定域能级群和载流子输送特性 ^[1-5]	73
3.1.4 光致衰减效应 (Staebler-Wronski 效应) ^[1-5,8,9]	75
参考文献	81

3.2 制膜技术	81
3.2.1 引言	81
3.2.2 非晶硅材料的制膜技术	82
3.2.3 等离子 CVD 法	82
3.2.4 高品质非晶硅系薄膜材料的制造	86
3.2.5 结束语	88
参考文献	88
3.3 非晶体太阳能电池的工作分析	89
3.3.1 硅太阳电池和非晶体太阳电池	89
3.3.2 非晶体太阳能电池的工作分析	91
3.3.3 级联太阳电池	98
参考文献	100
3.4 非晶体太阳能电池的高效率化技术	100
3.4.1 引言	100
3.4.2 发电层	102
3.4.3 涂料层	105
3.4.4 叠层太阳电池	107
3.4.5 光稳定性	110
3.4.6 结构设计	112
3.4.7 透明导电氧化物 (TCO) 膜	113
参考文献	114
3.5 非晶体太阳能电池的批量化生产技术	118
3.5.1 引言	118
3.5.2 制造过程的主要技术	118
3.5.3 玻璃衬底型非晶体太阳能电池的批量化生产技术	122
3.5.4 薄膜衬底型非晶体太阳能电池的批量化生产技术	123
3.5.5 今后的课题	127
参考文献	128
3.6 薄膜太阳电池所用的透明导电膜	128
3.6.1 引言	128
3.6.2 导电性	129
3.6.3 透明性	129
3.6.4 织构	131

3.6.5 膜材料和制作方法	133
3.6.6 透明导电膜的特性例子	135
3.6.7 透明导电膜今后的课题	135
参考文献	135
3.7 非晶体太阳能电池的应用实例	137
第4章 晶体硅薄膜太阳能电池	141
4.1 多晶硅薄膜太阳能电池的理论分析	142
4.1.1 制作方法与结结构	142
4.1.2 二维模拟法	142
4.1.3 理论工作分析	146
4.1.4 达到可能效率和高效率化的课题	152
参考文献	156
4.2 多晶硅薄膜的低温高速制膜技术	156
4.2.1 多晶硅薄膜低温形成的历史	156
4.2.2 多晶硅和微晶硅的物理特性	157
4.2.3 晶体硅低温生长的机制	160
4.2.4 非热平衡工艺处理的高速化技术	162
4.2.5 器件技术因素	165
参考文献	166
4.3 用非热平衡工艺处理的多晶硅薄膜太阳能电池	168
4.3.1 用非热平衡工艺处理多晶硅薄膜太阳能电池的特征	168
4.3.2 用非热平衡工艺处理的微晶硅薄膜太阳能电池	169
4.3.3 微晶硅薄膜太阳能电池的载流子输送	171
4.3.4 薄膜微晶硅电池的陷光效果	172
4.3.5 混合型太阳能电池的应用	175
参考文献	177
4.4 用热平衡工艺处理的晶体硅薄膜太阳能电池	177
4.4.1 引言	177
4.4.2 用CVD法的晶体硅薄膜沉积技术	178
4.4.3 器件特性	183
4.4.4 小结	186
参考文献	186

第5章 Cu (InGa) Se ₂ 系薄膜太阳能电池	189
5.1 CIGS 太阳能电池的基础	190
5.1.1 CIS 系的物理特性	190
5.1.2 CIGS 太阳能电池的特征	201
5.1.3 太阳能电池的结构和工作原理	202
5.1.4 制膜法	204
5.1.5 小面积电池的性能	206
参考文献	208
5.2 CIGS 太阳能电池的高效率化技术	211
5.2.1 光吸收层 CIS 膜形成技术	211
5.2.2 界面控制技术	216
5.2.3 缓冲层、窗口层形成技术	219
5.2.4 高效率化技术的发展方向	221
参考文献	221
5.3 CIGS 太阳能电池的批量化生产技术	224
5.3.1 CIGS 太阳能电池组件的特征	224
5.3.2 CIGS 太阳能电池的批量化生产技术	225
参考文献	229
5.4 CIGS 太阳能电池的应用举例	230
5.4.1 组件的稳定性: 室外曝露试验	230
5.4.2 组件的稳定性: 加速老化试验	231
参考文献	232
第6章 CdTe 太阳能电池	235
6.1 CdTe 太阳能电池的高效率化和批量化生产技术	236
6.1.1 引言	236
6.1.2 CdTe 太阳能电池的发展历史	236
6.1.3 CdTe 薄膜太阳能电池的结构和制造过程	239
6.1.4 高效率化技术	243
6.1.5 批量化生产技术	246
参考文献	248
6.2 CdTe 太阳能电池的界面评估	252
6.2.1 CdS/CdTe 界面上 CdTe _{1-x} S _x 混晶层的存在与组成比	252
6.2.2 n-p 结界面的位置	253
6.2.3 Cu 扩散	254

6.2.4 界面对太阳能电池特性的影响	255
参考文献	255
第7章 薄膜太阳能电池的测定法	257
7.1 测定标准和光谱灵敏度特性	258
7.1.1 测定标准	258
7.1.2 光谱灵敏度特性	259
7.2 太阳能电池输出特性的测定法	260
7.2.1 转换效率	260
7.2.2 测定的标准	261
7.2.3 室内测定法	262
7.2.4 室外测定法	262
7.2.5 稳定化效率	263
7.2.6 多结太阳能电池的测定法	263
7.2.7 CIS、CdTe 太阳能电池的测定法	264
7.3 标准太阳能电池的校正法	265
7.3.1 标准太阳能电池	265
7.3.2 国际巡回测定和 WPVS	265
7.3.3 IEC 标准和 JIS 标准的动向	266
7.3.4 光谱辐照度分布的测定法	268
参考文献	269
第8章 薄膜太阳能电池的展望	271
8.1 太阳能电池和组件	272
8.2 太阳能光伏发电系统	272
8.3 建材一体化组件	274
8.4 以建筑标准法为基准的耐燃材料认定	275
8.5 独户太阳能光伏发电住宅周围的环境、动向	275
8.6 大楼用建材一体化组件	276
8.7 带融雪功能的太阳能电池组件及积雪地方的太阳能光伏发电特性	277
8.8 建材一体化组件的展望	278
8.9 AC 组件	278
8.10 再利用技术	278
8.11 面向可移动太阳能光伏发电系统的展望	279
8.12 今后的普及展望	280
索引	284

第 1 章 总 论

主要目录

- 1.1 地球环境问题和太阳能光伏发电
- 1.2 太阳能光伏发电
- 1.3 太阳电池的种类
- 1.4 薄膜太阳电池的特性
- 1.5 太阳电池产业的现状
- 1.6 转换效率的理论值和实测值
- 1.7 各国的规划
- 1.8 薄膜太阳电池的发展趋势与课题
- 1.9 有机材料系的可能性

1.1 地球环境问题和太阳能光伏发电

1954 年贝尔实验室第一次试制硅 (Si) 太阳电池。当时这种设计被称为贝尔太阳电池, 其能量转换效率只有 6%^[1], 而现在硅太阳电池的最高转换效率已达到了 24.5%^[2]。20 世纪 60 年代, 硅太阳电池仅用于人造卫星的电源上。自 1974 年的石油危机以来, 硅太阳电池才正式作为地面电力使用。20 世纪 80 年代, 太阳电池首先广泛应用于边远地区的电源和日用电器的电源上, 尤其是非晶体太阳电池广泛应用于日用电器上, 并进入公众的视野。

日本的太阳电池开发作为新能源, 最初是为了解决石油枯竭问题, 现在我们更为期待成为解决地球环境问题的途径。一般认为, 地球变暖是由占温室气体约 60% 的二氧化碳引起的, 而其中约 80% 是由化石燃料的消耗产生的。图 1-1 所示为大气中二氧化碳浓度的变化: 工业革命前二氧化碳浓度为 $280 \times 10^{-4}\%$, 而现在已增至 $360 \times 10^{-4}\%$, 使地球的平均气温上升了 $0.3 \sim 0.6^{\circ}\text{C}$, 海平面上升了 $10 \sim 25\text{cm}$ 。

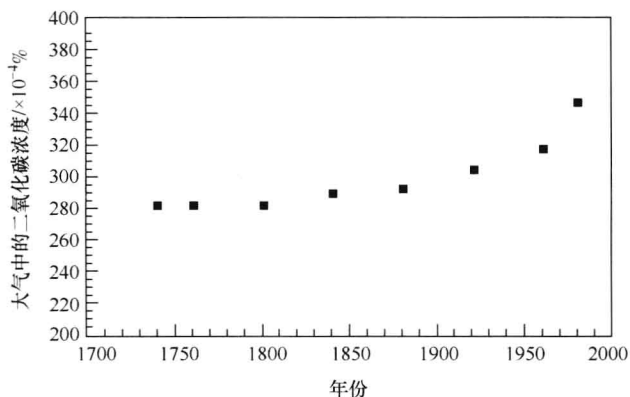


图 1-1 大气中二氧化碳浓度的变化

为减少温室气体的排放, 各国采取了积极的应对措施。1997 年 12 月在京都召开的气候变化框架条约第三次缔约方会议 (COP3) 中, 日本承诺在 2008 ~ 2012 年期间, 温室气体的排放量在 1990 年的基准上再减少 6%^[3]。为此, 我们尤为期待通过太阳能光伏发电来减少二氧化碳的排放。减少 6% 的温室气体具体是指: 减少二氧化碳、甲烷、二氧化氮的排放量占 2.5%, 通过改变土地利用和扩大森林面积的增加吸收量占 3.7% 等。特别要指出的是, 前面 2.5% 的减排中, 2% 是由技术创新和各阶层民众的共同努力下达到的。最初将太阳能光伏发电作为新能源开发就包含了这项“创新技术”。

根据 COP3, 日本 1997 年 12 月设立了应对地球暖化对策推进本部 (部长: 内阁总理大臣), 1998 年 6 月制定了面向 2010 年的《应对地球暖化对策推进大纲》。其中, 重点介绍了太阳能光伏发电等。

1.2 太阳能光伏发电

1.2.1 太阳能光伏发电系统与太阳电池

太阳电池的基本构造是半导体 pn 结: 光线照射到硅太阳电池上, 硅内部会产生大量的电子和空穴, 电子流向 n 侧, 空穴流向 p 侧, 即形成光生电流。如果太阳电池两个端子间加上负荷电阻, 就会产生电压。中午的太阳辐照度约为 $1\text{kW}/\text{m}^2$, 因此若这时能量转换效率达到 16%, 最大能从 15cm 见方的硅太阳电池上得到约 3.6W 的输出功率 (电压 0.5V, 电流 7.2A)。用太阳电池发电时, 0.5V 的输出电压过低。因此, 为了提高工作电压, 可以直接将多片太阳电池串联。一般串联 36 片硅太阳电池, 工作电压能提高到 18V, 这就叫做组件。为防止腐蚀, 达到抵抗风雨的机械强度, 组件表面需要覆盖钢化玻璃。硅太阳电池是典型的半导体器件, 所以不管用多少年都不会老化。但是, 如果放置在户外 20 年, 组件的外部端子就会生锈, 会有水分浸入, 因此寿命约为 20 年。现在, 太阳电池组件封装已进一步改善, 寿命已延长至 30 年。

1.2.2 太阳电池成本与发电成本

早期的硅太阳电池, 是用廉价的未达到集成电路使用要求的淘汰品制成的。购买太阳电池的话, 其单价是每瓦 400 ~ 600 日元, 与其他商用电源相比较, 需要考虑其系统运行时间。例如, 近两三年核电站的设备利用率约为 80%, 而太阳能光伏发电的设备利用率为 12% ~ 14%。因此, 为得到相同的发电量, 就装机容量上而言, 太阳能光伏发电与核电站发电从规模上比较时, 需将太阳能光伏发电系统建成核电站的 5 ~ 6 倍。

太阳能光伏发电系统, 除了太阳电池, 还有逆变器、各种控制设备和支架等。1999 年购买 3kW 的太阳能光伏发电系统大约需要 280 万日元。假设这个系统使用 20 年的话, 粗略可以计算出其发电量:

$$3\text{kW} \times (4\text{h}/\text{天}) \times (365\text{天}) \times 20\text{年} = 87600\text{kW} \cdot \text{h}$$

电费按 25 日元/ $\text{kW} \cdot \text{h}$ 来算的话, 用 219 万日元左右才可以实现自家发电, 因此目前还不合算。另外, 现在虽然是以 25 日元/ $\text{kW} \cdot \text{h}$ 的价格从电力公司购买太阳能光伏发电系统发出的电力, 但随着太阳能光伏发电系统的逐步普及, 预计购买价格将会下降, 这就是后面所说的: 核电站发电的价格为 9 日元/ $\text{kW} \cdot \text{h}$, 而用石油火力发电要 10 日元/ $\text{kW} \cdot \text{h}$ 的原因。太阳能光伏发电要在一般家庭广泛普