

形形色色的
科学
SCIENCE

第2弹

四色全彩



金色的能量：

太阳能电池 大揭秘

〔日〕佐藤胜昭/著
谭毅 史蹟/译

新能源界的王牌
——太阳能发电！

低碳社会的必经之路——太阳能发电

半导体技术是理解太阳能电池的关键

更高效的全新太阳能电池技术



科学出版社



金色的能量：

太阳能电池 大揭秘

〔日〕佐藤胜昭/著

谭毅 史蹟/译



湖北工业大学图书馆



01318848

科学出版社

北京

内 容 简 介

在我们生活的世界中，各种各样形形色色的事物和现象，其中都必定包含着科学的成分。在这些成分中，有些是你所熟知的，有些是你未知的，有些是你还一知半解的。面对未知的世界，好奇的你是不是有很多疑惑、不解和期待呢？！“形形色色的科学”趣味科普丛书，把我们身边方方面面的科学知识活灵活现、生动有趣地展示给你，让你在畅快阅读中收获这些鲜活的科学知识！

金色的阳光带给人们光明和温暖，也把能量源源不断地传递给地球。作为自然能源中被人们寄予厚望的新能源，你对太阳能有怎样的了解呢？太阳能电池的原理和应用、太阳能发电技术、相关的半导体知识……就让这本书为你解密阳光中的无穷能量吧！

本书适合青少年读者、科学爱好者以及大众读者阅读。

图书在版编目(CIP)数据

金色的能量：太阳能电池大揭秘/(日)佐藤胜昭著；谭毅，史蹟译.—北京：科学出版社，2012

(“形形色色的科学”趣味科普丛书)

ISBN 978-7-03-034711-4

I.金… II.①佐…②谭…③史… III.太阳能电池-普及读物
IV.TM914.4-49

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第121917号

责任编辑：唐璐 赵丽艳 / 责任制作：董立颖 魏谨

责任印制：赵德静 / 封面制作：泊远

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>

北京美通印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2012年7月第 一 版 开本：A5(890×1240)

2012年7月第一次印刷 印张：6 1/8

印数：1—5 000 字数：191 000

定价：32.00元

(如有印装质量问题，我社负责调换)

“TaiyoDenchi”no Kihon

Copyright © 2011 by Katsuaki Sato

Chinese translation rights in simplified characters arranged with

SOFTBANK Creative Corp., Tokyo

through Japan UNI Agency, Inc., Tokyo

「太陽電池」のキホン

佐藤勝昭 ソフトバンククリエイティブ株式会社 2011

著者简介

佐藤勝昭

1942年生于日本兵库县。1966年京都大学研究生院工学研究专业硕士课程结业。工学博士。1966年加入日本广播协会(NHK)，1984年担任东京农工大学工学部助教、1989年任教授、2005年任副校长，2007年被授予名誉教授。2007年担任日本科学技术振兴机构(JST)战略创造研究推进事业研究负责人、应用物理学会高级研究员。著有《锻炼理科能力Q&A》(Science i新书)、《光与磁》(朝仓书店)、《应用电子物性工学》(Corona出版社，合著)、《应用物性》(OHM社)、《半导体物性Q&A》(讲谈社)等。1994年开始在家安装太阳能电池，并公布其15年的数据。

坂本纪子(Design Studio Palette) 美术指导。

野边Hayato 封面绘图。

保田大介、渡边绫子、红谷桃衣、高山真季子(株式会社JOLLS) 内文插图。

译者简介

谭毅

1993年3月获东京工业大学金属工学博士学位，1997年与2001年分别在日本超高温材料研究所和美国加利福尼亚大学洛杉矶分校任研究员，2009年受聘于大连理工大学，任材料学院教授、能源研究院副院长至今。现从事冶金法提纯多晶硅材料、薄膜材料、高温材料等新能源材料的研究。

史蹟

1984年毕业于大连理工大学金属材料专业，1997年获东京工业大学金属工学博士学位，2004年任东京工业大学材料工学副教授，2012年4月升任教授至今。现从事金属物理、功能材料、结构分析等材料科学的研究。



拥抱科学，拥抱梦想！

伴随着20世纪广域网和计算机科学的诞生与普及，科学技术正在飞速发展，一个高度信息化的社会已经到来。科学技术以极强的渗透力和影响力融入我们日常生活中的每一个角落。

“形形色色的科学”趣味科普丛书力图以最形象生动的形式为大家展示和讲解科学技术领域的发明发现、最新技术和基本原理。该系列图书色彩丰富、轻松有趣，包括理科知识和工科知识两个方面的内容。理科方面包括数学、理工科基础知识、物理力学、物理波动学、相对论等内容，本着“让读者更快更好地掌握科学基础知识”的原则，每本书将科学领域中的基本原理和基本理论以图解的生动形式展示出来，增加了阅读的亲切感和学习的趣味性；工科方面包括电子电路、半导体、太阳能电池、无线电、薄膜、金属等方面的内容，从基本原理、组成结构到产品应用，大量照片和彩色插图详细生动地描述了各工科领域的轮廓和特征。“形形色色的科学”趣味科普丛书把我们生活中和身边方方面面的科学知识，活灵活现、生动有趣地展示给你，让你在畅快阅读中收获这些鲜活的科学知识！

愉快轻松的阅读、让你拿起放不下的有趣科学知识，尽在“形形色色的科学”趣味科普丛书！

出场人物介绍

★ 青蛙：跳跳



本书的主角。擅长制作各种小玩意儿，对任何事物都抱有浓厚的兴趣。渴望着将来亲自制造出具有划时代意义的产品。

★ 向导



空穴

这是我的第二次登场了！将光能转化成电能的过程中，我和电子都是不可缺少的哦。请多多关照！



电子

因为经常跟太阳光在一起，所以我必须要戴墨镜，衣服也是今夏最新款。今后会有越来越多的人从事太阳能发电方面的研究，我的未来一定是一片光明啊！

前 言

阻止地球变暖，控制核能依赖。为了维护社会的可持续发展，全球范围内正在掀起一场重大的能源变革。目前世界能源的80%来源于石油、煤炭、天然气等不可再生的化石能源，6%依靠具有一定安全隐患的核能。社会可持续发展的实现，需要我们尽可能提高目前仅占0.2%的自然能源比例。

在自然能源中，最令人期待的就是太阳能电池，但要将其作为替代能源来使用，还远远不够，我们必须开发效率更高、成本更低而且节省资源的太阳能电池。为了实现这个目标，我们需要有更多的人参与到太阳能电池的研究中，立足于基础问题的研究开发。

书店的书柜中陈列着很各类以“太阳能电池”命名的书籍。对于关心太阳能电池的理工科学生来讲，仅看面向大众读者的通俗读物远远不够，如果再进一步阅读专业书的话，又会在半导体、pn结等专业方面遇到一定的困难。目前很少有介于一般读者和专业读者之间的、面向理工科类的入门书籍。

本书是为今后想学习太阳能电池的高中生、大专生、大学生或工作在其他领域的各界人士启蒙而著的，是以提供关于太阳能电池及与其相关的半导体、半导体装置的基础知识为目的的书籍。

我们将从概况入手，让读者循序渐进地对太阳能电池涉及的科学技术背景、今后的发展方向等有所了解。

后半部分的难度将会逐渐增大，但重要的部分会反复说明，希望读者在仔细阅读的过程中逐步理解，这样就可以对太阳能电池的基本知识有比较全面的了解。

如果这本书能够成为相关专业的入门参考书籍，我们将倍感荣幸。

佐藤胜昭



太阳能电池 大揭秘 目录

第 1 章 太阳光和太阳能电池(入门篇) 001

- 001 太阳能电池时代来临① 南极冰山证实了CO₂剧增002
- 002 太阳能电池时代来临② 可再生能源中最容易获取的能源004
- 003 照射到地球表面的太阳光能量——1.37kW/m²006
- 004 地球每年从太阳获得的能量相当于1000亿吨石油008
- 005 太阳光中含有不可见光 太阳光谱①010
- 006 太阳光中含有不可见光 太阳光谱②012
- 007 随着季节、时间、气候变化的太阳光能量014
- 008 追溯太阳能电池的历史 起源于19世纪016
- 009 利用半导体将光能转换为电能018
- 010 太阳能电池中的pn结二极管020
- 011 太阳能电池板中pn结二极管的功能022
- 012 如何求转换效率?024
- 013 太阳能电池的转换效率为何达不到100%026
- 014 太阳能电池板(太阳能电池组件)由多个单元电池组成028
- 015 一块太阳能电池板(太阳能电池组件)能发多少瓦电030
- 016 太阳能电池并不喜欢夏日刺眼的阳光032
- 017 太阳能电池不能直接接入家庭用电 直流和交流034

COLUMN 为何使用交流方式输送电力 036

第 2 章 太阳能电池关键技术(中级篇) 037

- 018 制备太阳能电池时所使用的各种技术038
- 019 高品质单晶硅生长方法 区域提纯法和提拉法040

020	多晶硅铸锭	042
021	晶体硅和薄膜硅太阳能电池的制作过程完全不同	044
022	砷化镓单晶采用凝固方法制造	046
023	透明电极像金属一样能导电是由氧缺陷所致	048
024	尽可能将更多的光导入半导体① 防反射膜的作用	050
025	将尽可能更多的光导入半导体② 改善防反射膜的方法	052
026	不同波长的角色分配 多结串联电池	054
027	使用透镜或平面镜汇聚光线 聚光型太阳能电池	056

COLUMN 用数据说话：太阳能发电的真相①一天中发电量的变化 058

第 3 章 从太阳能发电组件到太阳能发电系统(中级篇) 059

028	太阳能电池板(太阳能电池组件)的制造过程	060
029	太阳能电池实验中使用的人工光源 日光模拟器	062
030	建材型太阳能电池① 根据安装方式分类	064
031	建材型太阳能电池② 建材型的性能要求	066
032	将直流电转换成交流电的装置 逆变器的工作原理	068
033	对太阳能电池的输出进行并网 系统连接	070
034	贡献出您家的屋顶 地域集中型太阳能发电	072
035	雨后春笋般的兆瓦级光伏电站	074
036	智能电网带来的电力革新	076

COLUMN 用数据说话：太阳光发电的真相②雨天也能发电 078

第 4 章 形形色色的太阳能电池(高级篇) 079

037	太阳能电池材料的变革① 太阳能电池的分类	080
-----	----------------------	-----

038	太阳能电池材料的变革② 太阳能电池的比较	082
039	各有千秋! 半导体的吸收光谱	084
040	占市场份额75%的晶体硅太阳能电池①	086
041	占市场份额75%的晶体硅太阳能电池②	088
042	转换效率高的晶体硅 单晶硅太阳能电池	090
043	与单晶硅相比转换效率低、成本也低的多晶硅太阳能电池	092
044	转换效率低但成本更低的硅薄膜太阳能电池①	094
045	转换效率低但成本更低的硅薄膜太阳能电池②	096
046	转换效率低、成本更低的硅薄膜太阳能电池③	098
047	活跃于太空中的III-V族化合物半导体太阳能电池	100
048	III-V族化合物半导体的晶体结构和原子结合	102
049	转换效率为40%的混晶III-V族化合物半导体太阳能电池	104
050	因低成本而迅速普及的CdTe薄膜太阳能电池	106
051	CIGS薄膜太阳能电池的晶体结构和物理性质	108
052	CIGS薄膜太阳能电池的结构与特性	110
053	有机化合物与碳共同作用发电的有机太阳能电池	112
054	通过二氧化钛与染料来发电——染料敏化太阳能电池	114

COLUMN

用数据说话: 太阳光发电的真相③
太阳能电池的发电量会逐年减少吗?

116

第5章

应用于太阳能电池的半导体入门(高级篇)

117

055	金属的光电效应无法应用于太阳能电池 若不施加高电压就无法获取光电流	118
056	在半导体单体上无法制成太阳能电池 光生电需要与半导体相连接	120
057	半导体与金属、绝缘体的不同之处	122

058	带隙决定半导体的电学性质	124
059	带隙决定半导体的光学性质	126
060	有机物的分子轨道与半导体能带结构的差异 以染料敏化太阳能电池为例	128
061	原子聚集形成固体时就出现了能带	130
062	电子具有一定的统计分布规律——费米分布	132
063	杂质掺杂① n型半导体和施主能级	134
064	杂质掺杂② 掺杂半导体的载流子密度与温度之间的关系	136
065	杂质掺杂③ p型半导体的空穴和受主能级	138
066	间接跃迁原理① 从动量守恒定律的角度考虑	140
067	间接跃迁原理② 从自由电子波数的角度考虑	142
068	间接跃迁原理③ 从周期性势场中的电子波的角度考虑	144
069	间接跃迁原理④ 半导体的光吸收	146
070	硅为什么不是金属却有金属光泽	148
071	半导体中的电子真的比自由电子质量轻吗?	150

COLUMN	用数据说话：太阳光发电的真相④削峰效果?	152
--------	----------------------	-----

第 6 章 太阳能电池半导体器件入门(高级篇) 153

072	太阳能电池是二极管的一种 二极管的起源是真空二极管	154
073	在pn结界面上形成的耗尽层和内建电场	156
074	pn结二极管的正向特性 电流呈指数上升	158
075	pn结二极管的反向特性 电流很小,几乎为零	160
076	通过改变背面电场(BSF)提高效率 太阳能电池能带的截面结构	162
077	延长少子寿命 钝化	164

078 能带间隙决定转换效率 转换效率的理论极限 166

COLUMN 能源回收期小于2年 168

第7章 太阳能电池发展方向(高级篇) 169

079 进一步降低太阳能电池成本

如何降低材料、晶片的成本 170

080 进一步提高太阳能电池的发电效率 172

081 有益于环境的太阳能电池材料 太阳能电池的元素战略 174

082 太阳能发展计划 将太阳能电池发的电送到世界各地 176

COLUMN 回顾生态住宅的15年 178

参考文献 179

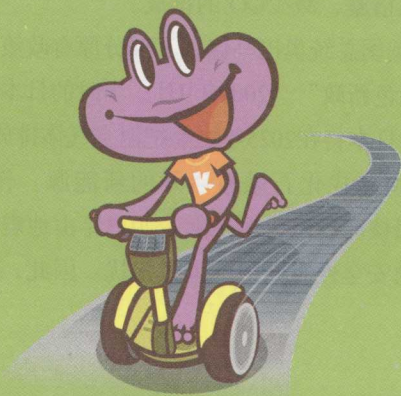
译后记 181



第 1 章

太阳光和太阳能电池 (入门篇)

照射到地球上的太阳光的能量有多少呢？
把光能转换成电能时，太阳能电池的转换效率是如何计算的？
转换效率真的无法达到100%吗？
本章将对有关太阳能电池的基础知识进行一一讲解。



太阳能电池时代来临①

南极冰山证实了CO₂剧增

图1所示的是南极冰床中储存的CO₂（二氧化碳）浓度与时间之间的关系曲线，根据测量可知，CO₂在18世纪末的浓度大约是280ppm（1ppm=1μL/L），到20世纪超过了300ppm，从1960年开始急剧增加，进入21世纪已经超过350ppm。2010年日本气象厅公布的数值显示，该浓度已经达到390ppm。

图2是相同年代地球平均气温变化曲线，受到各种因素影响，在过去100年间全球温度上升了0.74℃，由上可知，气温的变化趋势与CO₂浓度变化曲线非常相似。

为什么CO₂浓度增加会使地球环境温度升高呢？这是因为空气中的CO₂吸收了从地球放射到宇宙中的红外线，地球仿佛成了一个巨大的塑料大棚。英语中把它称为“green house effect”，译为“温室效应”。

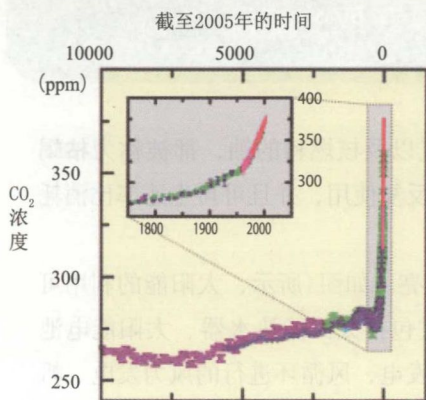
CO₂主要由煤、石油等化石燃料燃烧产生。在我们的日常生活中，做饭、洗澡、使用暖气时所需的电能，一半以上都是由火力发电供给的，因此，人类必须采取措施，减少CO₂的排放。

2009年1月，美国总统奥巴马修正了部分原有政策，提出了以建设低碳社会为目标的“绿色新政”。2009年9月，当时的日本首相鸠山由纪夫在联合国大会上承诺，日本将在2025年之前把温室气体排放量减少25%。

因此我们必须寻找化石燃料以外的新能源。作为化石燃料的替代品，人们开始使用核能发电，但是随着2011年由地震导致的核电站事故的发生，核能发电的安全性重新引起世人担忧。因此，人们今后将会更加关注可再生能源。



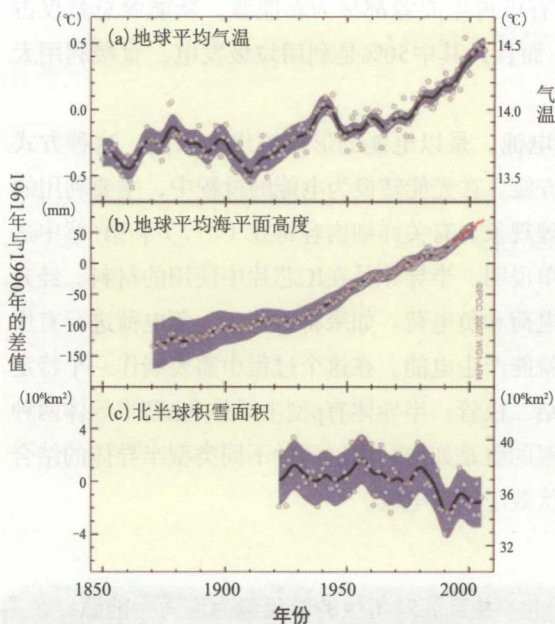
- CO₂会给地球带来“温室效应”
- CO₂主要由化石燃料燃烧产生

图1 大气中CO₂浓度随时间变化曲线

图中显示的是在过去一万年时间里大气中CO₂浓度的变化规律(图中放大的小图是1750年之后的变化规律)。1960年以后的数据来源于南极冰床中储存的CO₂测量值(不同颜色表示不同的研究工作)。1960年以后的数据(红线)来源于空气中CO₂的测量值,由此可以看到从1900年开始,在最近的100年间CO₂含量大幅度上升

出处: IPCC 第四次报告书(2007)

图2 测量值随时间的变化



截至1900年,全球平均气温保持在 $13.7^{\circ}\text{C} \pm 0.2^{\circ}\text{C}$ 范围内,在截至2005年的100年间,全球平均气温上升了 0.74°C

蓝点表示潮位计的数据,红线是经人造卫星测定的数据。我们可以看出,在截至2005年的100年间,海平面大约升高了150mm

积雪面积在80年间一共减少了200万 km^2 ,相当于日本国土面积的5倍

出处: IPCC 第四次报告书(2007)

太阳能电池时代来临②

可再生能源中最容易获取的能源

作为化石燃料的煤、石油、天然气以及核燃料的铀，都被称为**枯竭性能源**。与此相对应的，自然界中能够反复使用，并且可再生速率比消耗速率快的能源，都称为**可再生能源**。

可再生能源的基本源泉是太阳和月亮。如图1所示，太阳能的利用可以分为直接方式和间接方式，直接方式包括太阳能热水器、太阳能电池等，间接方式有通过水循环进行的水力发电，风循环进行的风力发电、帆船行使等，除此之外，还有利用受惠于太阳光生长的植物进行的生物质能发电和生物酒精制造等。另外，还有利用月球引力所引起的潮位变化来进行的潮汐发电、利用地球内部岩浆产生的热进行的地热发电等。

除水力发电之外的所有可再生能源都称为**新能源**。新能源总量仅占一次能源供给总量的3%。而且，其中50%是利用垃圾发电，直接利用太阳能发电方面的进展不大。

本书所描绘的太阳能电池，是以电能的形式输出太阳能，这种方式比直接利用太阳热能更加方便。在光能转换为电能的过程中，主要利用的是“**光电效应**”半导体物理现象。有关详细内容将在(011)和第6章中进行具体解释，这里只做简单说明。半导体是在IC芯片中使用的材料。经光照射后，材料中会产生正电荷和负电荷。如果将这些正、负电荷进行有序分离的话，在外部回路中就能产生电能。在这个过程中需要制作一个特定的结构，这个结构就是**pn结二极管**。半导体有**p型半导体**和**n型半导体**两种类型，因此我们首先要理解的就是如何利用这两种不同类型半导体的结合使电荷发生分离，利用**光伏效应**输出电流。



要点

Check!

- 从大自然中产生，并且能够再生的能源称为**可再生能源**
- 热水器、太阳能电池、水力发电、风力发电等都是由**太阳光**产生的能量

图1 太阳等自然界中的可再生能源

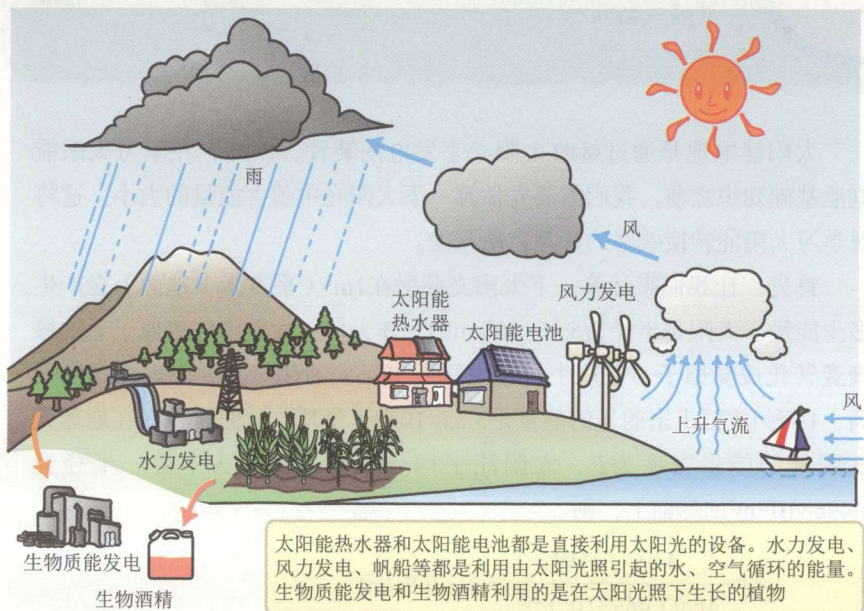
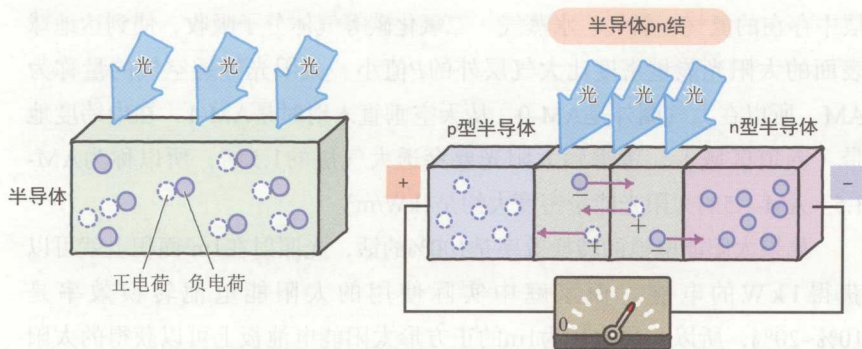


图2 太阳能电池的发电原理



当太阳光照射在半导体表面上时，正、负电荷发生结合，此时不能产生电流（如左图所示）。如果内部有pn结存在的话，可以将正、负电荷分离，此时就可以产生电流（如右图所示）

名词解释

一次能源 → 化石燃料、铀、太阳光等自然界中可以直接获得的能源。电、煤气、汽油等通过加工获得的能源称为二次能源