

通信电源设备 使用维护手册

通信用
光伏与风力发电系统

董宏 张飘 编著

人民邮电出版社
北京



通信电源设备使用维护手册

编 委 会

主 任：王晓丹

副主任：董晓庄 戴 忠 张清贵 崔荣春 李国光
王英栋 熊兰英 李长海

委 员：（按姓氏笔画为序）

丁 涛	王 平	王建军	牛志远	方 力
朱 挺	孙 研	李 峙	李克民	严 峰
杨世忠	吴京文	余 斌	张秀芳	陈忠民
易东山	侯福平	高 健	殷 琪	魏 巍



丛书前言

在我国改革开放以来近 30 年的时间里,通信业得到了超常规快速发展,网络规模和容量已是世界之最。通信网络规模越大,越要注意网络安全。把网络管理好、维护好,是当前各电信运营商的主要工作之一。通信电源是通信网重要的子系统,是实现通信网络畅通的基础和保障。

当前,我国通信电源的标准规范已基本齐全,技术装备已经多次升级,创新技术含量大为提升,供电系统灵活多样,供电方式大大提高了可靠性,运行维护方式也发生了革命性的变革,实现了动力机房的集中监控、集中维护、集中管理和无人值守。

可靠性和节能是通信电源永恒的主题,而可靠性永远是第一位的。保障安全、优质、不间断供电是通信电源工作者的天职。随着通信技术的日新月异,通信网络规模的不断扩大,数据通信、IDC 机房的供电和空调成为通信电源建设和维护管理的重点。在此情况下,加强通信电源团队的学习和培训显得更为迫切和重要。为了有利于从事通信电源技术维护和管理人员的学习提高,特组织编写了这套通信电源设备使用维护手册。丛书共 10 个分册:

- 第一分册 通信用交流变配电系统
- 第二分册 通信用柴油发电机组
- 第三分册 通信用直流系统
- 第四分册 通信用蓄电池
- 第五分册 通信用 UPS 及逆变器
- 第六分册 通信机房用空调设备
- 第七分册 通信系统防雷接地技术



丛书前言

第八分册 通信电源和环境的集中监控管理

第九分册 通信用光伏与风力发电系统

第十分册 通信电源的新型技术及产品

这套维护手册有三大特点，一是由一批具有丰富电源技术维护和管理经验的同志编写而成的，是大家运行维护和管理经验的结晶；二是紧密结合运行维护和管理工作中曾经出现的故障案例，进行了深入的分析，是付出沉重代价后而不可多得的经验教训的总结；三是既注重知识的系统性、完全性，更注重实用性和可读性，是动力维护规程的诠释。

这套维护手册的出版发行，对提高通信电源技术维护和管理总体水平，必将起到积极的作用。

编 者

2008年1月



前 言

能源是人类社会赖以生存和发展的物质基础。当前,包括我国在内的绝大多数国家都以石油和煤炭等矿物燃料为主要能源。随着矿物燃料的日益枯竭和全球环境的日益恶化,很多国家都在认真探索能源多样化的途径,积极开展新能源和可再生能源的研究开发工作。解决能源危机可以有如下三种办法:一是提高燃烧效率以减少资源消耗,实现清洁煤燃烧以减少污染;二是开发新能源,积极利用再生能源;三是开发新材料、新工艺,最大限度地实现节能。太阳能和风能被看作是最有代表性的新能源和可再生能源,作为这两种能源的高级利用,太阳能发电和风力发电技术受到世界各国的高度重视。

太阳能分布广泛,可自由利用,取之不尽,用之不竭,是人类最终可以依赖的能源。而光伏发电技术是太阳能利用技术中最具发展前景的方式之一。它具有无污染、无噪声、安全可靠、故障率低、维护简便、建设周期短等优点。它是今后可替代矿物燃料的战略性能源,又是目前边远地区能源供应的一种有效的补充。随着矿物燃料的逐渐消耗,太阳能光伏发电技术将越来越显示出其重要性和发展潜力。

风是地球上的一种自然现象,它是由太阳辐射热引起的。风能是太阳能的一种转换形式,是一种重要的自然能源,以其蕴藏量巨大、可以再生、分布广泛以及没有污染等优势而在各国发展迅速。全球的风能约为 $2.74 \times 10^9 \text{ MW}$,其中可利用的风能为 $2 \times 10^7 \text{ MW}$,比地球上可开发利用的水能总量还要大 10 倍。

在中国,风能资源丰富的地区主要集中在北部、西北和东北的草原、戈壁滩以及东部、东南部的沿海地带和岛屿上。这些地区缺少煤炭及其他常规能源,更加适宜利用风力资源进行能源补充。

为了适应通信用太阳能发电和风力发电的需要,帮助我国通信电源工程技术人员更新知识,了解当前太阳能和风力发电技术发展趋势,系统掌握新能源



前 言

新技术的基础理论知识,提高处理在日常维护过程中存在的各种故障及解决相关实际问题的能力,我们撰写了本书。

全书包括太阳能光伏发电、风力发电和混合发电三个部分,分别介绍太阳能光伏发电和风力发电的工作原理、结构、系统类型、关键技术、设计、安装、运行方式、应用领域、日常维护以及故障处理等。全书分为10章:第1章至第5章为第一部分,介绍通信用光伏发电系统;第5章至第9章为第二部分,介绍通信用风力发电系统;第10章为第三部分,介绍通信用混合发电系统。本书第一部分由董宏编写,第二部分和第三部分由张飘编写。

本书在编撰过程中,得到了很多专业人士和厂商的支持。其中,广东珠江电信设备制造有限公司、深圳自恒系统实业有限公司为本书的编写提供了大量技术资料和帮助,青海电信、新疆电信、甘肃电信等电信公司的有关专业人士为我们提供了很多实用的维护经验。谨此,向所有关心和支持本书编撰工作的有关领导、专业人士以及设备厂商表示衷心的感谢。

由于水平所限,加之编写过程仓促,书中可能存在错误和疏漏之处,敬请广大读者不吝赐教。

作者

2007年12月

目 录

第 1 章 太阳能光伏发电概述	1
1.1 太阳能概述	2
1.2 太阳能光伏发电的基本原理	2
1.3 太阳能电池常规制造工艺	4
1.4 太阳能光伏发电系统的优缺点	9
1.5 太阳能光伏发电的技术发展趋势	11
1.5.1 世界上光伏发电技术的发展概况	11
1.5.2 我国光伏发电技术的现状	14
1.5.3 太阳能光伏发电技术的发展趋势与前景	18
第 2 章 太阳能光伏发电系统	19
2.1 太阳能光伏发电系统的构成	20
2.2 太阳能光伏发电系统的主要供电类型	20
2.2.1 独立运行光伏发电系统	20
2.2.2 并网型光伏发电系统	21
2.2.3 混合型光伏发电系统	22
2.3 太阳能电池的特性及主要参数	23
2.3.1 太阳能电池的主要参数	23
2.3.2 影响太阳能电池组件输出特性的主要因素	26
2.4 太阳能电池组件	29
2.4.1 太阳能电池的串联和并联	29
2.4.2 二极管的作用	29
2.5 储能蓄电池	31
2.5.1 储能蓄电池的主要作用	32
2.5.2 通信用光伏系统中蓄电池的环境特点与技术要求	32
2.5.3 光伏发电系统中蓄电池主要类型	33
2.5.4 储能蓄电池的几个重要参数	35
2.5.5 影响蓄电池寿命主要因素	37
2.6 直流控制系统	40
2.6.1 太阳能充放电控制器原理及作用	40
2.6.2 充放电控制器的主要功能与技术要求	43



目录

2.6.3	国内外控制器技术的对比	44
2.7	逆变器	45
2.7.1	逆变器的基本原理	45
2.7.2	逆变器的技术性能基本要求	49
2.7.3	逆变器的主要检查项目	51
2.8	太阳能光伏发电系统的集中监控管理	52
2.8.1	太阳能光伏发电系统的监控系统结构	52
2.8.2	光伏发电系统的局(站)常用监控点的选取	53
第3章	太阳能光伏发电设备的设计及验收	55
3.1	太阳能资源和场地评价	56
3.1.1	太阳辐射及影响因素	56
3.1.2	获取太阳能资源数据	57
3.1.3	场地日照条件评价	61
3.2	太阳能光伏发电系统的设计	63
3.2.1	负载的计算	64
3.2.2	蓄电池容量的确定	65
3.2.3	太阳能电池功率确定及阵列设置	66
3.2.4	最佳倾角的设计	67
3.3	太阳能光伏发电设备安装技术要求	71
3.3.1	安装的前期准备工作	71
3.3.2	太阳能系统安装	72
3.4	太阳能光伏发电系统的调试与验收	78
3.4.1	系统检查及其他	79
3.4.2	太阳能控制系统调试	80
3.4.3	逆变器调试	81
3.4.4	直流变换系统调试	82
第4章	太阳能光伏发电系统的日常维护及工程实例	85
4.1	维护工作基本要求	86
4.1.1	基本要求	86
4.1.2	工作准备	86
4.2	光伏、风力及互补发电系统部件的维护	87
4.2.1	太阳能电池阵列	87
4.2.2	控制器	88
4.2.3	逆变器	89

4.2.4	蓄电池组	90
4.2.5	交流配电柜	93
4.2.6	充电机	93
4.2.7	监控系统的维护与管理	93
4.3	太阳能电源系统在西部地区的维护及工程实例	94
4.3.1	太阳能电源系统在青海地区的维护实例及使用情况	94
4.3.2	工程案例分析	99
第 5 章	太阳能光伏发电系统故障分析与处理	105
5.1	故障检查需要的基本条件	106
5.2	常见故障处理及应急方案	106
第 6 章	风力发电系统工作原理	113
6.1	风力发电概述	114
6.1.1	风力发电的特点	114
6.1.2	风力发电系统的分类	114
6.1.3	风力发电发展前景	116
6.2	离网型风力发电系统	117
6.2.1	系统的基本组成	117
6.2.2	离网型风力发电的优缺点	119
6.3	空气动力学的基础知识	120
6.3.1	升力和阻力	120
6.3.2	影响升力系数和阻力系数的因素	121
6.4	风力机的工作原理	125
6.4.1	风轮在静止情况下叶片的受力情况	125
6.4.2	风轮在转动情况下叶片的受力情况	125
6.5	风力机的气动力特性	128
6.6	风力机的输出功率	129
第 7 章	风力发电机组结构	131
7.1	风力机的结构及分类	132
7.1.1	风力机的结构	132
7.1.2	风力机的分类	140
7.2	风力发电机组	143
7.2.1	基本技术要求	143
7.2.2	恒速恒频发电机系统	143
7.2.3	变速恒频发电机系统	147



7.2.4 小型直流发电系统	152
7.3 风力发电机组的选择	153
7.3.1 风力发电机组性能评价	153
7.3.2 确定风力发电机组技术条件	156
第8章 风力发电系统的安装	157
8.1 小型风力发电机组的安装准备工作	158
8.2 风力发电机组一般的安装顺序	159
8.2.1 塔架基础	159
8.2.2 装配塔架	161
8.2.3 吊装准备	161
8.2.4 竖立塔架	164
8.2.5 放倒塔架	166
8.2.6 安装风力发电机组	166
8.2.7 最后竖立塔架	168
第9章 风力发电机组的运行维护与故障检修	169
9.1 风力发电系统的日常运行维护	170
9.1.1 基本原则和要求	170
9.1.2 风力发电机组的维护与检查	170
9.2 风力发电系统典型故障分析与处理	176
第10章 混合发电系统	181
10.1 混合发电系统概述	182
10.1.1 主要特点	182
10.1.2 主要类型	182
10.2 风—光混合型发电系统	182
10.2.1 风—光混合型发电系统的构成	182
10.2.2 风—光互补发电的优缺点	184
10.2.3 风—光互补发电系统的设计步骤	184
10.2.4 工程案例分析	185
10.3 风力—柴油混合型发电系统	195
10.3.1 基本组成框图及工作原理	195
10.3.2 实用性评价原则	196
10.4 光伏—柴油混合型发电系统	197
参考文献	199



第 1 章

太阳能光伏发电概述

人类对太阳能的利用已有悠久历史。太阳能分布广泛，可自由利用，取之不尽，用之不竭，是人类最终可以依赖的能源。人们很早就发现，在太阳光的照射下，一些特定的半导体内会产生自由电荷，这些自由电荷定向移动和积累并产生一定的电动势，可以向外电路提供电流。这就是“光伏发电”。光伏发电技术是太阳能利用技术中最具发展前景的方式之一。它具有诸多优点，是今后可替代矿物燃料的战略性能源，也是目前边远地区能源供应的一种有效的补充。



1.1 太阳能概述

人类对太阳能的利用已有悠久历史，早在两千多年前的战国时期，人们就已经懂得用金属做成的凹面镜聚集太阳光点火，以后发展到使用玻璃放大镜聚光取火。那么太阳的能量是从哪里来的呢？

太阳是离地球最近的一颗巨大而灼热的星球，它的直径是地球直径的 109 倍。质量为地球的 33 万倍。太阳能是太阳内部连续不断的核聚变反应过程产生的能量。太阳位于太阳系中心。太阳表面温度大约为 $5\,700^{\circ}\text{C}$ ，中心温度高达约 $2\times 10^7^{\circ}\text{C}$ ，压力约为 2 000 多亿大气压。由于太阳内部温度极高、压力极大，物质早已离化而呈等离子态；不同原子核的相互碰撞引起一系列核子反应，其中类似于氢弹爆炸的热核反应是太阳能量的主要来源。太阳的能量是向四面八方辐射的，每秒钟投射到地球上的能量约为 $1.757\times 10^{17}\text{J}$ ，相当于 6×10^6 吨标准煤。形象的比喻就是地球每天从太阳那里获得 5 000 多亿吨标准煤 (5.184×10^{11} 吨标准煤)。按目前的发电水平可转换成电量 $1.41\times 10^{15}\text{kWh}$ ($1.41\times 10^{15}\text{kWh}$)。遗憾的是，人类目前还没有能力将如此巨大的能量全部转换成电能。现在人们利用光伏发电技术已可以将少量的太阳能转换成电能并储存起来。地球海平面上的光照标准峰值强度为 $1\text{kW}/\text{m}^2$ 。

图 1-1 所示的是地球上的能流图。从图 1-1 可以看出，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；即使是地球上的矿物燃料（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。所以，广义的太阳能所包括的范围非常大，狭义的太阳能则限于太阳辐射能的光热、光电和光化学的直接转换。

1.2 太阳能光伏发电的基本原理

人们很早就发现，在太阳光照射下，一些特定的半导体内会产生自由电荷，这些自由电荷定向移动和积累并产生一定的电动势，可以向外电路提供电流。这种现象被称为光生伏特效应或光伏效应，它是制造太阳能电池的物理基础。

最早用于制造太阳能电池的半导体材料是晶体硅。直到目前为止，它仍然是用于制造太阳能电池的主要材料。以晶体硅材料为基础生产的太阳能电池（包括单晶硅太阳能电池和多晶硅太阳能电池）仍占据着主导地位，被广泛地用于

1.2 太阳能光伏发电的基本原理

各类光伏发电系统中。下面，我们以晶体硅为例，介绍太阳能电池的基本原理。它也可以作为了解其他太阳能电池工作原理的基础。

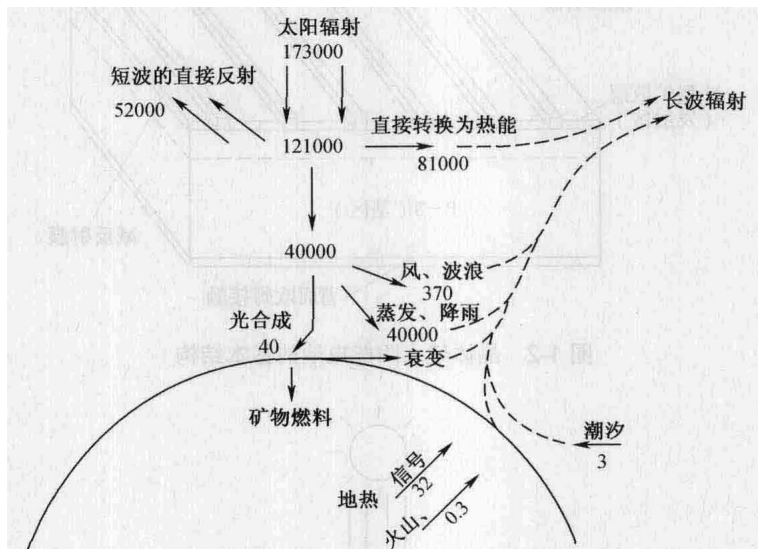


图 1-1 地球上的能流图 (单位 10^6 MW)

晶体硅太阳能电池的基本结构如图 1-2 所示。用扩散法在 P 型硅衬底上形成 N 型层，制成大面积 PN 结，再用真空蒸发法或化学沉积法在 N 型层上面淀积金属栅作为正面欧姆接触电极，在整个背面淀积金属作背面欧姆接触电极，就形成了一个晶体硅太阳能电池。为了减少光反射损失，一般再在整个上表面覆盖一层合适的减反射膜，从两面的金属接触电极上引出电极引线，便是一个单片太阳能电池。光照的上表面为一层 N 型层，称为顶层；基片材料为 P 型层，称为基区。

太阳能电池的基本原理是光生伏特效应，如图 1-3 所示，用适当波长的光照射到由 P 型和 N 型两种不同导电类型的同质半导体材料构成的 PN 结上时，在一定条件下，光能被半导体吸收后，在导带和价带中产生非平衡载流子——电子和空穴。由于 PN 结势垒区存在较强的内建静电场，因而产生在势垒区中的非平衡电子和空穴，或者产生在势垒区外但扩散进势垒区的非平衡电子和空穴。在内建静电场的作用下，它们各向相反方向作漂移运动，结果使 P 区电势升高，N 区电势降低，PN 结两端形成光生电动势，这就是 PN 结的光生伏特效应。由于光照产生的非平衡载流子各向相反方向漂移，从而在内部构成自 N 区流向 P 区的光生电流，在 PN 结短路情况下构成短路电流密度；在开路情况下，PN 结两端建立起光生电势差 V_0 ，也即开路电压。如将 PN 结与外电路接通，只



第1章 太阳能光伏发电概述

要光照不停止，就会不断地有电流流过电路。

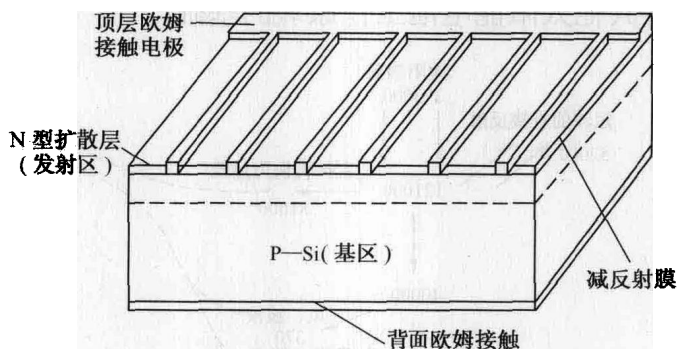


图 1-2 晶体硅太阳能电池的基本结构

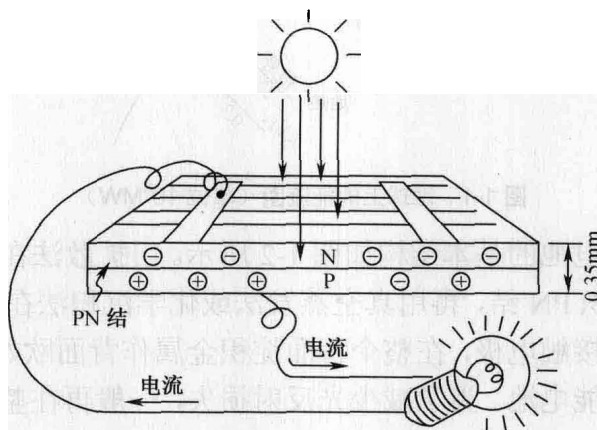


图 1-3 太阳能电池的基本原理图

1.3 太阳能电池常规制造工艺

太阳能电池的种类很多，其制造工艺也很不一样。由于单晶硅太阳能电池是目前使用最广泛的太阳能电池之一，而且其制造工艺也比较成熟，所以这里重点介绍单晶硅太阳能电池的制造。

制造单晶硅太阳能电池一般需要经过如图 1-4 所示的工艺流程。下面，我们简单介绍其中几个主要的工艺过程。

1. 拉制单晶棒材

硅是地球上蕴藏量仅次于氧的元素，但它在自然界中主要以砂子的形式存在。砂子的主要成分是二氧化硅。为了制作太阳能电池，第一步是要将石英砂

1.3 太阳能电池常规制造工艺

提纯为冶金级的多晶硅。方法是将石英砂与碳混合，在高温电炉中加热进行氧化、还原反应，生成碳氧化合物，析出相对纯的熔融硅，把熔融硅置于器皿中快速冷却，形成冶金级多晶硅。

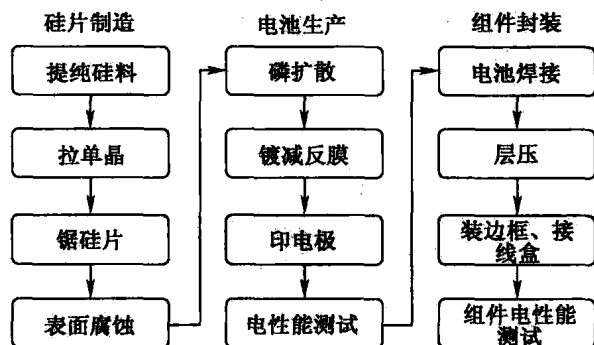


图 1-4 太阳能电池的工艺流程

为了制成单晶及更纯的硅，通常采用丘克拉斯基凝固工艺（CZ 法），如图 1-5 所示。将冶金级硅装入石英坩埚中加热熔融，并让装硅的坩埚缓慢旋转，再将一小块用作“种子”的定向单晶硅籽晶放入其中并与熔融硅表面接触。这样，熔融硅就会凝固在籽晶上，籽晶慢慢变大，最终形成直径 75~125mm、大约 1000mm 长的圆柱形单晶硅棒。然后将单晶硅棒切割成 0.2~0.4mm 厚的薄片，就得到了制作太阳能电池的基片。

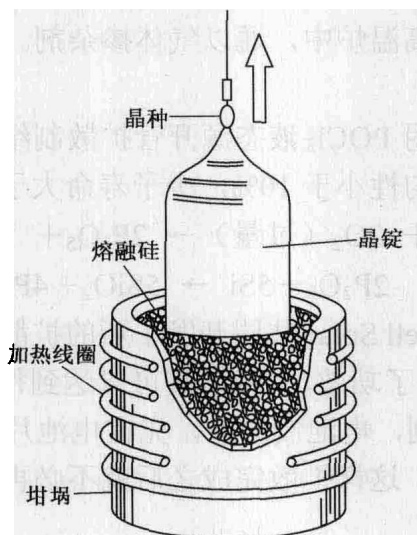


图 1-5 CZ 法拉制单晶硅



2. 掺杂及扩散制 PN 结

掺杂的目的是形成具有不同类型杂质浓度的平面区域，以便组成 PN 结。在 N/P 型同质结单晶硅太阳能电池中，可以用硼作为主要杂质的 P 型硅材料为基片，再将杂质磷掺入基片，在其表面附近生成一薄层 N 型硅。

太阳能电池的基本结构如图 1-6 所示，包括电极、P 层、N 层以及减反射膜。结特性是影响光电转化效率的主要因素。

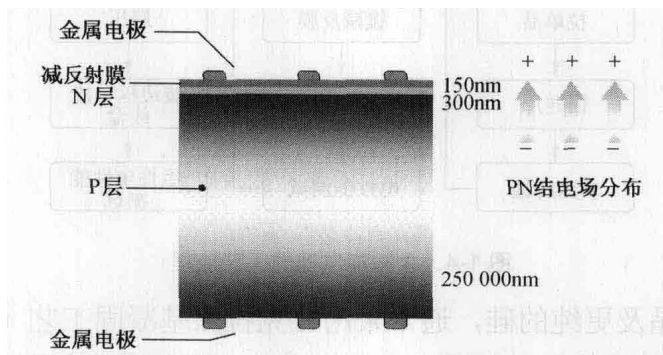
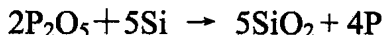


图 1-6 硅 P—N 结太阳能电池结构示意图

为了制作 P 型硅基片，可以在拉制单晶硅锭的时候，在坩锅里加入微量的掺杂剂硼（P 型掺杂剂），这样拉制成的单晶硅锭切成薄片后就得到 P 型硅基片。

为了在硅片表面形成不同的导电层，通常采用扩散的方法：在已经放好了经仔细清洗过的硅片的高温炉中，通以气体掺杂剂。掺杂原子在高温下会向晶片内热扩散。

通常，很多厂商采用 POCl_3 液态源开管扩散制结，这种方法制出的结均匀性好，方块电阻的不均匀性小于 10%，少子寿命大于 $10\mu\text{s}$ 。其原理如下：



近年来，ECN 和 Shell Solar 共同开发了新的扩散工艺，其制作工艺采用红外加热的办法，大大提高了功效，扩散速度可以达到每秒完成一片电池。在 Shell Solar 的生产线上还看到，电池制作前，先在电池片周边涂上一圈绝缘胶，以保证扩散仅限于上表面，这样扩散完成之后就不必再腐蚀周边了。

3. 制作上、底电极

一般来说，在扩散过程中，硅片的周边表面也会形成扩散层，使电池短路，

1.3 太阳能电池常规制造工艺

必须除去。利用辉光放电中氟离子与硅原子发生反应,产生挥发性的产物 SiF_4 , 可达到边缘腐蚀的目的。

太阳能电池的电极是通过半导体与金属的接触制成的。理想的金属电极应无整流作用,无少子注入效应,而且其欧姆接触的接触电阻很小。在常规 PN 结太阳能电池中,常在背面由金属化电极做成欧姆接触,在正面做成网格状电极,光可以从透明的网格间通过。制作电极的方法主要有真空蒸发镀膜法、化学镀膜法、印刷烧结法。所用的金属材料有铝、银、镍、钛等。

硅太阳能电池的上、底电极可用真空蒸发镀膜法制作。这种方法工艺成熟,操作方便,得到的电极接触电阻小,导电性能好。

金属电极与硅基片黏附的牢固程度是显示硅太阳能电池性能的重要指标;电池失效往往是由于电极的脱落,在电极制作过程中,必须严加注意。

4. 蒸镀减反射膜

硅太阳能电池的表面是用化学抛光法制得的一个较为平整光滑的表面,对 $0.5\sim 1.1\mu\text{m}$ 波长范围内的光,有(超过)35%的光能因表面反射而损失掉了。为了减小这部分损失,往往在电池表面上涂上一层透明的减反射膜,达到提高光电流和光电转换效率的目的。

采用真空蒸发镀膜法、气相生长法和其他化学方法,在已制作好的太阳能电池正面镀上一层或多层透明介质膜,具有减少光反射的作用。同时对电池表面起到钝化和保护作用,减反射膜的特性要求是入射光波长范围的吸收率要小,物理与化学稳定性要好,能与硅牢固粘合,对潮湿空气及酸、碱气体有一定的抵抗能力,并且制作工艺简单,价格低廉。目前,实际使用的材料有一氧化硅、二氧化钛、氮化硅等。镀上一层减反射膜,可将入射光的反射率降低到 10% 左右,而两层减反射膜可将光的反射率降低到 4% 以下。

降低入射光反射率的另一个办法是采用“绒面”技术。有些化学腐蚀剂,例如氢氧化钠稀溶液等,对硅的不同晶面的腐蚀速度不同。经过这些腐蚀液处理后,电池表面会出现以 4 个面形成的正方锥。这些正方锥就像丛山那样密布于电池表面,肉眼看来好像是一块丝绒,因此称为“绒面”,如图 1-7 所示。

经“绒面”技术处理后,入射光投射到电池表面的机会增加了,第一次没有被吸收的光,经折射后投射到电池表面的另一个晶面上时仍然可能被吸收。这样,入射光的反射率可以减少到 10% 以内。如果再镀上一层减反射膜,反射率还可以进一步降低。