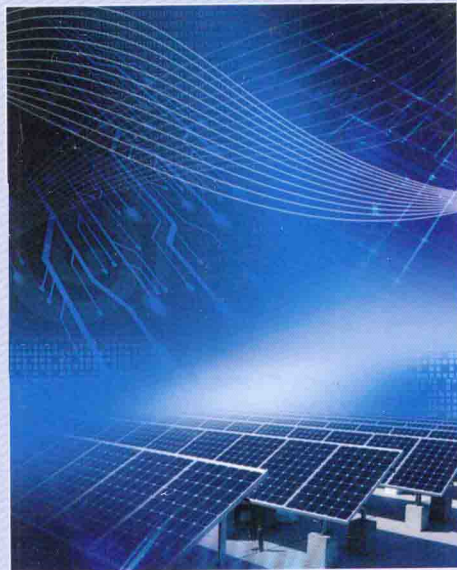


光伏组件 设计与生产工艺

GUANGFU ZUJIAN SHEJI YU SHENGCHAN GONGYI

■ 胡昌吉 段春艳 主 编
■ 林 涛 董 娴 副主编




 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

光伏组件设计与 生产工艺

胡昌吉 段春艳 主 编
林 涛 董 娴 副主编



 **北京理工大学出版社**

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

版权专有 侵权必究

图书在版编目 (CIP) 数据

光伏组件设计与生产工艺/胡昌吉, 段春艳主编. —北京: 北京理工大学出版社, 2015. 1

ISBN 978 - 7 - 5640 - 9920 - 6

I. ①光… II. ①胡… ②段… III. ①太阳能电池 - 设计 - 高等职业教育 - 教材
②太阳能电池 - 生产工艺 - 高等职业教育 - 教材 IV. ①TM914. 4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 253047 号

主 编 胡昌吉 段春艳
主 审 陈 颖 林

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)

82562903 (教材售后服务热线)

68948351 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 三河市华骏印务包装有限公司

开 本 / 787 毫米 × 1092 毫米 1/16

印 张 / 12.5

字 数 / 280 千字

版 次 / 2015 年 1 月第 1 版 2015 年 1 月第 1 次印刷

定 价 / 39.00 元

责任编辑 / 钟 博

文案编辑 / 钟 博

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 李志强

图书出现印装质量问题, 请拨打售后服务热线, 本社负责调换

随着煤炭、石油等不可再生能源可开采量的减少,关系国计民生的能源短缺问题日益突出,而且传统能源所带来的环境污染问题也急需解决,发展清洁能源是中国走可持续发展之路的必然选择。太阳能作为人类取之不尽的清洁能源,势必将在未来中国经济发展中起到举足轻重的作用。

世界光伏产业在过去十年间以每年 30% ~ 40% 的速度飞速发展,2012 年底,世界各地光伏累计装机量为 98.5GW,刷新了史上的最高纪录,当年新增装机容量为 31GW,相比上一年的 27.9GW,涨幅达 11%。光伏产业是我国重点发展的战略性新兴产业,在国家金太阳示范工程的引导下,2011 年国内光伏装机量为 2.5GW,2012 年为 7GW,2013 年为 10GW,据专家预计,到 2050 年,我国太阳能发电将在整个能源结构中占到 20% ~ 50% 的比例。由于光伏产业的快速发展,训练有素的光伏产业技术工人和从事光伏发电系统系统设计、施工的专业技术人才大量短缺。职业教育与行业发展紧密相关,对大规模培养造就高级技术技能型人才、贯彻人才强国战略、提升自主创新能力和产业竞争力、促进产业转型升级以及促进就业,都具有重要意义。然而,各职业院校的光伏专业开办时间不长,光伏专业配套的教材仍较少。

本教材是与光伏应用技术专业、光伏产品检测技术专业和光伏技术相关专业相结合的新能源类教材,在市场上相类似的教材种类较少。同时,本教材对高等院校光伏相关专业学生的学习有较大的帮助,更适应这个层次学生对知识和技能的学习,不会出现过于简单偏操作和难于理解偏理论的现象,具有较强的教学实施性。

本教材采用模块划分、任务分解的结构体系来组织编写,按照知识内容和生产流程分为光伏组件设计,晶硅太阳能电池分选测试与激光切片,电池片的焊接,光伏组件的叠层铺设与中测工艺,光伏组件层压工艺,修边、装边框、安装接线盒和清洗工艺,光伏组件的检测 7 个模块。每个模块被划分为若干任务,同时每个任务包含任务目标、任务描述、任务实施、相关知识、可练习项目,让学生能够按照任务驱动法系统而全面地学习知识和技能,同时使学生在学习岗位技能的同时,可以根据实际情况选学知识,提高理论知识水平(结合了高职学生的特点)和技术改革能力,为培养具有一定创新和工艺技术改造

进能力的高端技术技能型人才奠定基础。

本教材由胡昌吉、段春艳、林涛、董娴编写。本书的编写得到了广东爱康太阳能科技有限公司、东莞南玻太阳能科技有限公司、佛山市中天星新型材料有限公司等单位的大力支持与帮助，在此表示衷心的感谢！

由于编者水平有限，书中的错误和不足之处在所难免，恳请读者批评指正，提出宝贵意见，以便我们在重印和修订中及时改正。

编 者

2014年5月

模块 1 光伏组件设计	1
任务 1.1 认识光伏组件	1
1.1.1 任务目标	1
1.1.2 任务描述	1
1.1.3 任务实施	1
1.1.4 相关知识	4
1.1.5 可练习项目	7
任务 1.2 光伏组件的设计	7
1.2.1 任务目标	7
1.2.2 任务描述	7
1.2.3 任务实施	7
1.2.4 相关知识	20
1.2.5 可练习项目	26
模块 2 晶硅太阳能电池分选测试与激光划片	28
任务 2.1 认识太阳能电池	28
2.1.1 任务目标	28
2.1.2 任务描述	28
2.1.3 任务实施	28
2.1.4 相关知识	39
2.1.5 可练习项目	41
任务 2.2 太阳能电池的外观检查	41
2.2.1 任务目标	41
2.2.2 任务描述	41
2.2.3 任务实施	41
2.2.4 相关知识	47
2.2.5 可练习项目	51
任务 2.3 太阳能电池的电性能检测工艺	52
2.3.1 任务目标	52
2.3.2 任务描述	52
2.3.3 任务实施	52
2.3.4 相关知识: 标准条件下太阳能电池的电性能测试	58

目 录

2.3.5 可练习项目	64
任务 2.4 太阳能电池的激光划片工艺	65
2.4.1 任务目标	65
2.4.2 任务描述	65
2.4.3 任务实施	65
2.4.4 相关知识	75
2.4.5 可练习项目	75
模块 3 电池片的焊接	76
任务 3.1 认识涂锡焊带和助焊剂	76
3.1.1 任务目标	76
3.1.2 任务描述	76
3.1.3 任务实施	76
3.1.4 相关知识	81
3.1.5 可练习项目	81
任务 3.2 焊接设备	82
3.2.1 任务目标	82
3.2.2 任务描述	82
3.2.3 任务实施	82
3.2.4 相关知识	83
3.2.5 可练习项目	85
任务 3.3 焊接工艺	85
3.3.1 任务目标	85
3.3.2 任务描述	85
3.3.3 任务实施	85
3.3.4 相关知识	88
3.3.5 可练习项目	91
模块 4 光伏组件的叠层铺设与中测工艺	92
任务 4.1 认识光伏组件的封装材料	92
4.1.1 任务目标	92
4.1.2 任务描述	92
4.1.3 任务实施	92
4.1.4 相关知识	109
4.1.5 可练习项目	113
任务 4.2 叠层铺设工艺及中测工艺	113
4.2.1 任务目标	113
4.2.2 任务描述	113
4.2.3 任务实施	114
4.2.4 可练习项目	118

模块5 光伏组件层压工艺	119
任务5.1 层压设备	119
5.1.1 任务目标	119
5.1.2 任务描述	119
5.1.3 任务实施	119
5.1.4 相关知识	124
5.1.5 可练习项目	125
任务5.2 层压工艺	125
5.2.1 任务目标	125
5.2.2 任务描述	125
5.2.3 任务实施	125
5.2.4 相关知识	128
5.2.5 可练习项目	140
模块6 修边、装边框、安装接线盒和清洗工艺	141
任务6.1 认识铝合金边框和装边框设备	141
6.1.1 任务目标	141
6.1.2 任务描述	141
6.1.3 任务实施	141
6.1.4 相关知识——铝合金边框的表面氧化处理	145
6.1.5 可练习项目	146
任务6.2 修边和装边框工艺	146
6.2.1 任务目标	146
6.2.2 任务描述	147
6.2.3 任务实施	147
6.2.4 可练习项目	148
任务6.3 认识接线盒和安装接线盒	148
6.3.1 任务目标	148
6.3.2 任务描述	148
6.3.3 任务实施	148
6.3.4 相关知识	154
6.3.5 可练习项目	163
任务6.4 清洗工艺	163
6.4.1 任务目标	163
6.4.2 任务描述	163
6.4.3 任务实施	164
6.4.4 相关知识	164
6.4.5 可练习项目	166
模块7 光伏组件的检测	167
任务7.1 光伏组件检测设备	167

目 录

7.1.1	任务目标	167
7.1.2	任务描述	167
7.1.3	任务实施	167
7.1.4	可练习项目	181
任务 7.2	光伏组件检测技术	182
7.2.1	任务目标	182
7.2.2	任务描述	182
7.2.3	任务实施	182
7.2.4	相关知识	186
7.2.5	可练习项目	188
综合实训项目		189
参考文献		191

模块 1

光伏组件设计

任务 1.1 认识光伏组件

1.1.1 任务目标

了解光伏组件的定义；了解光伏组件的基本要求与分类；掌握光伏组件的基本构成；了解光伏组件的工作原理以及应用领域。

1.1.2 任务描述

光伏组件是具有封装及内部连接的、能够提供直流输出的、最小的、不可分割的太阳能电池的组合装置。本任务主要是让学生了解光伏组件的基本要求与分类、基本构成，了解光伏组件的工作原理以及应用领域，为以后学习光伏组件设计与生产工艺任务打下基础。

1.1.3 任务实施

1.1.3.1 不同类型光伏组件的观察

为了获得对光伏组件的直接印象，以便更好地理解光伏组件的定义，首先来观察两种不同类型的光伏组件(图 1-1-1、图 1-1-2)，对比一下它们的产品技术参数，看看有哪些不同。它们的外形结构的差异在哪里？是否还有其他区别？

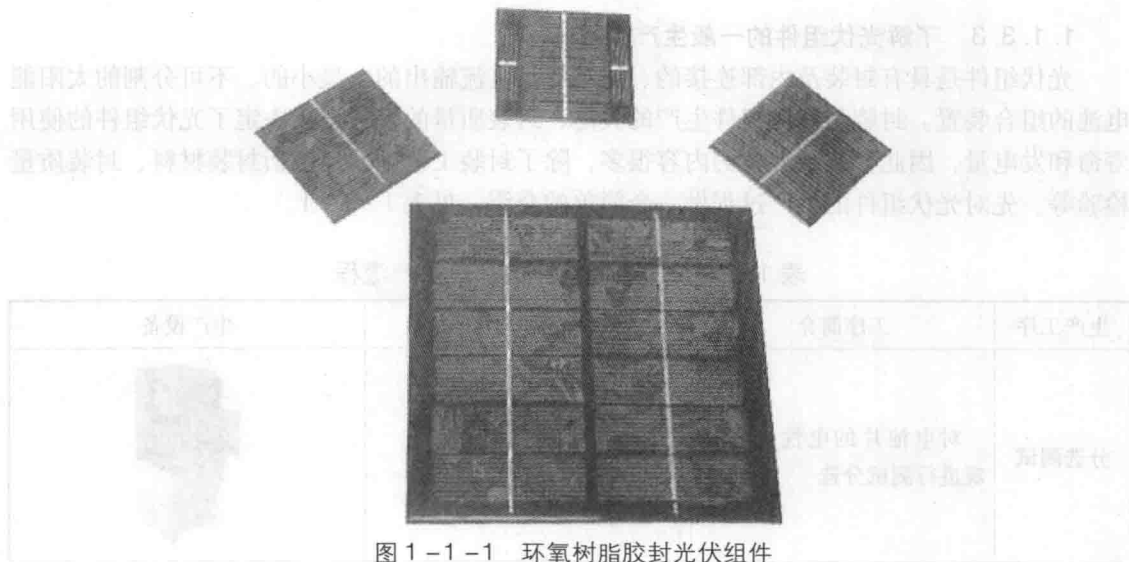


图 1-1-1 环氧树脂胶封光伏组件

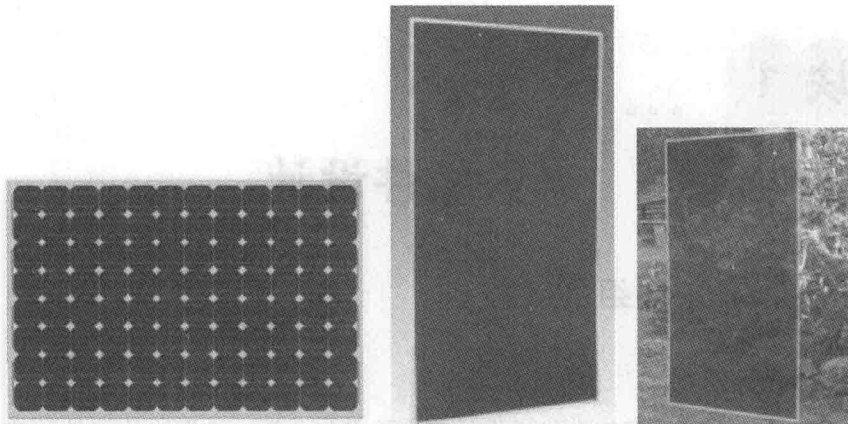


图 1-1-2 层压封装光伏组件

1.1.3.2 光伏组件模型观察

仅从光伏组件实物看，很难看清光伏组件的结构。这里通过一个常见的层压封装光伏组件结构示意图来展示其类似于三明治的结构，如图 1-1-3 所示。太阳能电池片夹在面板玻璃和 TPT 背板的中间，并通过 EVA 胶密封和粘接到面板玻璃、TPT 背板上。TPT 背板上还粘接了接线盒。面板玻璃和 TPT 背板的边沿安装了边框，并用硅胶密封。

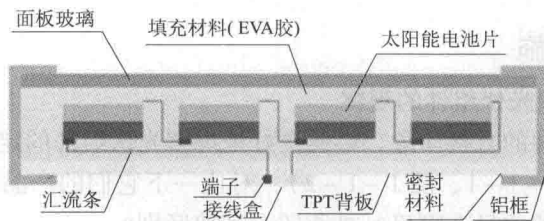




图 1-1-3 层压封装光伏组件结构示意图

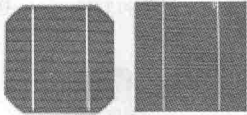


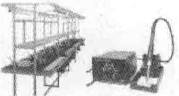

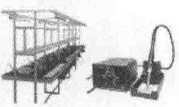




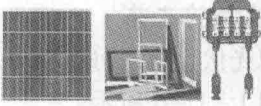
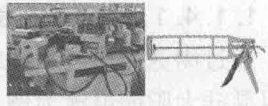


1.1.3.3 了解光伏组件的一般生产流程

光伏组件是具有封装及内部连接的、能够提供直流输出的、最小的、不可分割的太阳能电池的组合装置。封装是光伏组件生产的关键，封装质量的好坏直接决定了光伏组件的使用寿命和发电量，因此，封装涉及的内容很多，除了封装工艺外，还包括封装材料、封装质量检验等。先对光伏组件的生产过程做一个简单的介绍，见表 1-1-1。

表 1-1-1 光伏组件的一般生产流程

生产工序	工序简介	原材料	生产设备
分选测试	对电池片的电性能和外观进行测试分选		

续表

生产工序	工序简介	原材料	生产设备
激光划片	将电池片切割成所需尺寸规格		
单焊	在电池片正面主栅线上焊接两条焊带		
串焊	将单片焊接好的电池片串联焊接起来		
叠层铺设	将串焊好的电池串,与面板玻璃和切割好的 EVA、背板按照一定的层次铺设好,焊好汇流带和引出电极		
层压	将叠层铺设好的组件放入层压机进行封装		
装框、装接线盒	将层压好的组件安装铝合金边框和接线盒		
最终测试	对光伏组件的电性能进行测试		

1.1.3.4 认识光伏组件在光伏发电系统中的作用以及不同的应用领域

光伏组件是光伏发电系统中的核心部件,无论是独立光伏发电系统还是并网光伏发电系统,都必须由光伏组件来提供电能,如图 1-1-4、图 1-1-5 所示。

不同类型的光伏组件有着不同的应用。环氧树脂胶封的多晶硅太阳能电池组件,由于其

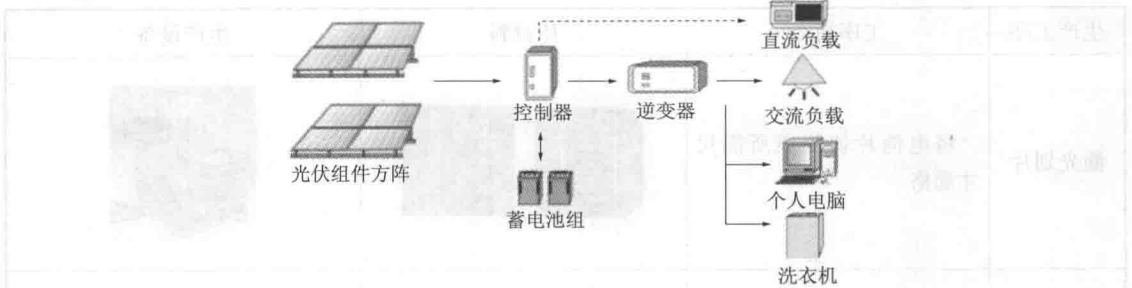


图 1-1-4 独立光伏发电系统



图 1-1-5 并网光伏发电系统

功率较低，通常只有几瓦，此外，环氧树脂的环境耐候性较差，因此它主要用于太阳能草坪灯、礼品玩具等。层压封装的光伏组件，功率多在 240W 左右，且 EVA 的环境耐候性较好，因此层压组件多用于大型的地面光伏电站。真空玻璃封装光伏组件或非晶硅薄膜太阳能电池组件有一定的透光性，多用于光伏建筑的幕墙、门窗等(光伏建筑一体化，BIPV)。

1.1.4 相关知识

光伏组件是太阳能电池的组合装置，故有必要对太阳能电池的生产工艺和工作原理有个清晰的认识，而关于具体的生产工艺请大家参考段春艳、卢东亮等老师编写的教材《太阳能电池原理与生产工艺》。此外，也可以在假期到周边的太阳能电池生产企业(如广东爱康太阳能科技有限公司等)当实习生，以便直观地了解太阳能电池的生产工艺。

1.1.4.1 晶硅太阳能电池的生产工艺

通过浏览光伏展示厅或参观光伏企业，可以简单地了解太阳能电池的整个生产流程，这里以晶硅太阳能电池为例，如图 1-1-6 所示。

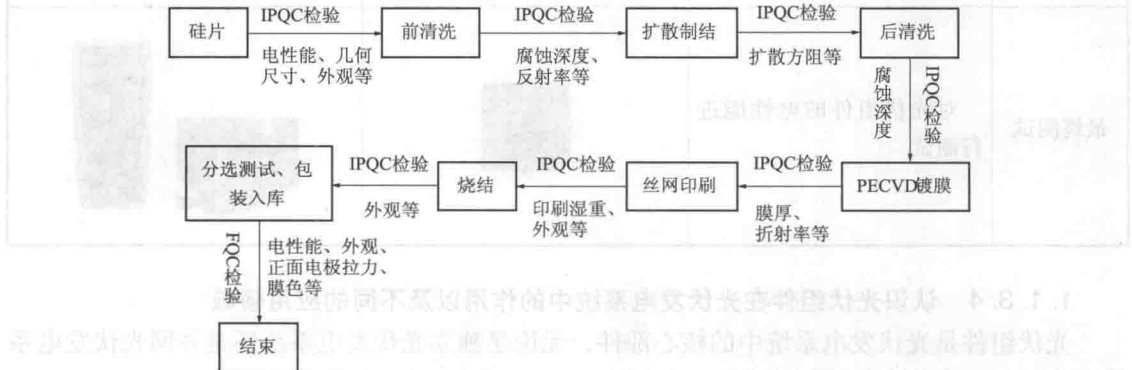


图 1-1-6 晶硅太阳能电池的制造与检验流程

1.1.4.2 薄膜太阳能电池的生产工艺

对于薄膜太阳能电池，其生产工艺与晶体硅太阳能电池有很大的不同，人们通常采用各种薄膜沉积技术来制备太阳能电池，如 PECVD(等离子体增强化学气相沉积)、RTCVD(快速热化学气相沉积)、磁控溅射、热蒸发等。图 1-1-7 所示为 GIGS 薄膜太阳能电池的生产流程图，薄膜沉积采用共蒸发技术，衬底为玻璃，通过电极材料的溅射沉积和激光刻槽来实现接触、互联和集成。

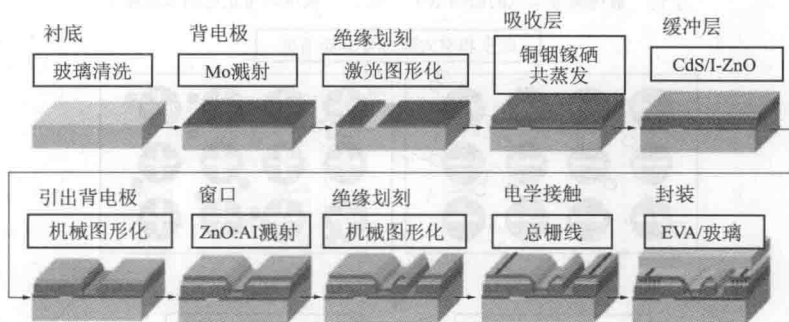


图 1-1-7 GIGS 薄膜太阳能电池的生产流程

1.1.4.3 太阳能电池的工作原理

前面提到光伏组件是太阳能电池的组合装置，那什么是太阳能电池？太阳能电池是一种把光能转换成电能的半导体器件，其工作原理的基础是半导体 PN 结的光生伏特效应。

半导体中的导电载流子是电子或空穴，相关概念可以在任何一本半导体物理的课本中找到。在纯净的硅半导体晶体中，自由电子和空穴的数目相等。如果在硅晶体中掺入能够俘获电子的硼、铝、镓或铟等杂质元素，就构成了 P 型半导体；如果在硅晶体中掺入能够释放电子的磷、砷或锑等杂质元素，就构成了 N 型半导体。若把这两种半导体结合在一起，电子或空穴将发生扩散运动，从高浓度区向低浓度区移动，从而在交界处形成 PN 结，并在结的两边形成势垒电场，使得电子或空穴的扩散运动达到平衡状态。当太阳光照射 PN 结时，半导体内的原子由于获得了光能而释放电子，产生电子-空穴对，在势垒电场的作用下，电子被驱向 N 型区，空穴被驱向 P 型区，从而在 PN 结的附近形成与势垒电场方向相反的光生电场。光生电场的一部分抵消势垒电场，其余使得 N 型区与 P 型区之间的薄层产生了电动势，即光生伏特电动势，当接通外电路时便有电能输出。这就是 PN 结接触型单晶硅太阳能电池发电的基本原理。若把几十个、数百个太阳能电池单体串联、并联起来，组成太阳能电池组件，在太阳光的照射下，便可获得输出功率相当可观的电能。

相关示意图如图 1-1-8 ~ 图 1-1-11 所示。

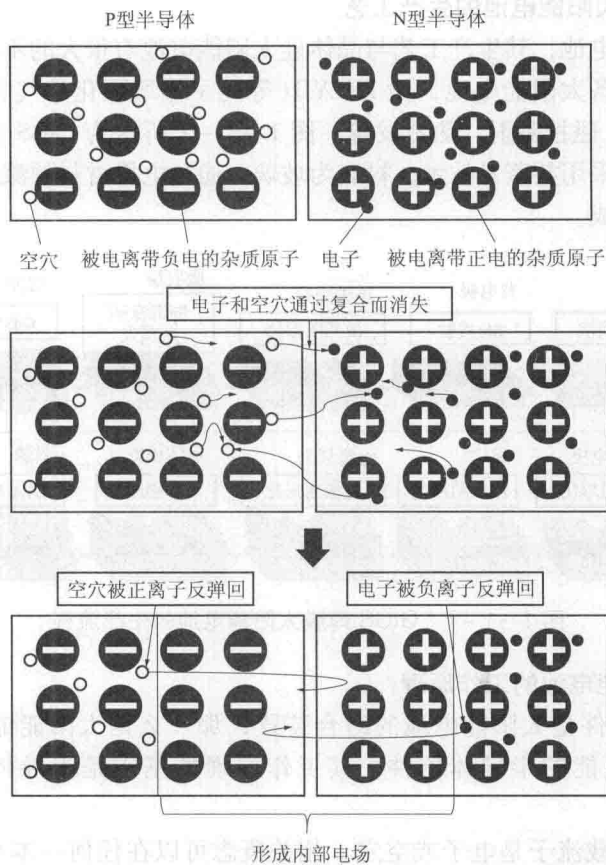


图 1-1-8 PN 结形成的物理图像

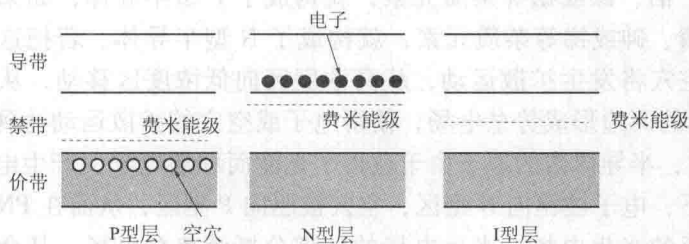


图 1-1-9 半导体的能带图

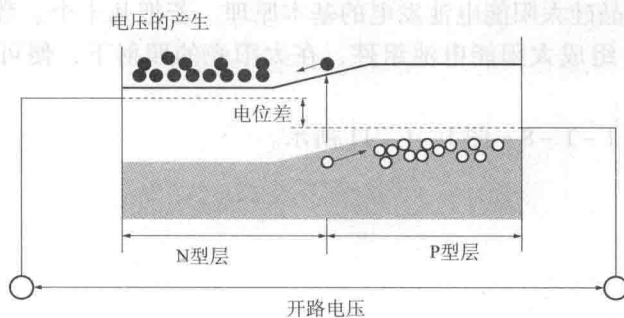


图 1-1-10 开路情况 PN 结的能带图

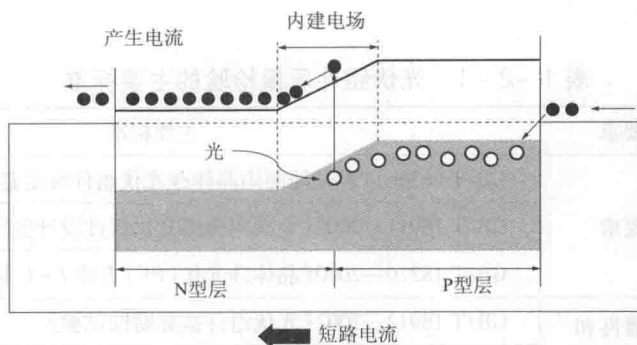


图 1-1-11 短路情况下 PN 结的能带图

1.1.5 可练习项目

(1) 通过调研, 查找资料, 对比不同类型光伏组件的技术参数, 并通过对光伏组件模型观察, 画出不同类型光伏组件的结构图。

(2) 查找相关资料, 了解光伏组件封装工艺的发展。

(3) 发挥想象, 发掘光伏发电系统可能的应用领域或场合, 提出创意。

(4) 常见的晶硅太阳能电池采用的是 P 型的硅衬底, 请根据太阳能电池和光伏组件的工作原理, 判断光伏组件的正负极输出端子, 并用万用表验证相关想法。

任务 1.2 光伏组件的设计

1.2.1 任务目标

了解光伏组件的设计要点; 掌握光伏组件的设计方法。

1.2.2 任务描述

为满足实际使用要求, 须将若干单片太阳能电池按电性能分类进行串并联连接, 然后经过封装, 组合成可以独立提供直流电输出的电源使用的光伏组件。光伏组件的设计就是要根据其应用时的电性能要求、使用环境的要求以及市场对性价比的要求, 对采用何种类型太阳能电池、封装材料、封装工艺等进行选择。本任务主要是让学生了解并掌握光伏组件的设计要点和设计方法。

1.2.3 任务实施

1.2.3.1 了解光伏组件检验标准

为什么要了解光伏组件检验标准? 它和光伏组件设计的关系是什么? 先来阅读一个光伏组件检验标准。GB/T 9535—1998《地面用晶体硅光伏组件设定鉴定和定型》要求地面应用的太阳能电池组件有良好的电绝缘性, 有足够的机械强度, 成本较低, 组合引起的效率损失小, 组件的寿命长, 而且所用材料、零部件及其结构的使用寿命一致。如何才能判断光伏组件能达到这些要求呢? 这是光伏组件检验标准要解决的问题。

目前, 光伏组件相关标准涉及光伏组件性能、质量可靠性和环境耐候性、安全性能等。这些标准都是在设计和生产光伏组件过程中的重要参考依据。光伏组件质量检验的主要标准

见表 1-2-1。

表 1-2-1 光伏组件质量检验的主要标准

产品类别	产品要求	主要标准
光伏组件	性能要求	GB/T 9535—1998《地面用晶体硅光伏组件设定鉴定和定型》
		GB/T 18911—2002《地面用薄膜光伏组件设计鉴定和定型》
		GB/T 18210—2000《晶体硅光伏(PV)方阵 I-U 特性的现场测量》
	质量可靠性和环境耐候性要求	GB/T 18912—2002《光伏组件盐雾腐蚀试验》
		GB/T 19394—2003《光伏(PV)组件紫外试验》
安全要求	GB/T 20047.1—2006《光伏(PV)组件安全鉴定第1部分：结构要求》	

由于我国的光伏产品市场长期在国外，尤其是欧美市场，因此，必须关注欧美市场关于光伏组件的标准，最典型的标准包括欧盟的 IEC 61215 质量检测标准和美国的 UL 1703 质量检测标准。这两套标准的最大差异是评估目的不同。

以 UL 1703 为代表的认证主要侧重于评估光伏产品在正常的安装、使用和维护过程中是否存在对相关人员及周边环境的危险，如电击、火灾等。而 IEC 61215 和 IEC 61646 则主要侧重于评估光伏组件在长期户外使用过程中的性能稳定性和可靠性，与 UL 1703 标准的评估重点不同。为此，IEC 61730-1 和 IEC 61730-2（光伏组件的安全认证）吸收了 UL 1703、IEC 61215 和 IEC 61646 的大部分内容，从而兼顾了光伏组件安全和性能的要求。

1.2.3.2 光伏组件的设计要点

光伏组件标准是其设计和生产的重要参考依据，这里重点介绍光伏组件的电性能设计。

1. 物理电学性能

光伏组件的物理电学性能要求包括组件的功率大小、尺寸、承载、安装等，且需要满足 IEC 61215 和 IEC 61730 或 UL 1703 等标准。不合理或考虑不周的设计都会使生产出来的光伏组件因失配效应、热斑效应等因素，产生不必要的功率损失，从而达不到设计要求。

光伏组件是由太阳能电池片根据工作电压和输出功率的要求串并联起来的，如图 1-2-1 所示，然后通过专门的材料将太阳能电池封装起来的产品。因此，太阳能电池的串并联方式对组件的电性能将产生重大影响。下面简单分析一下太阳能电池串并联的情况对电性能的影响。

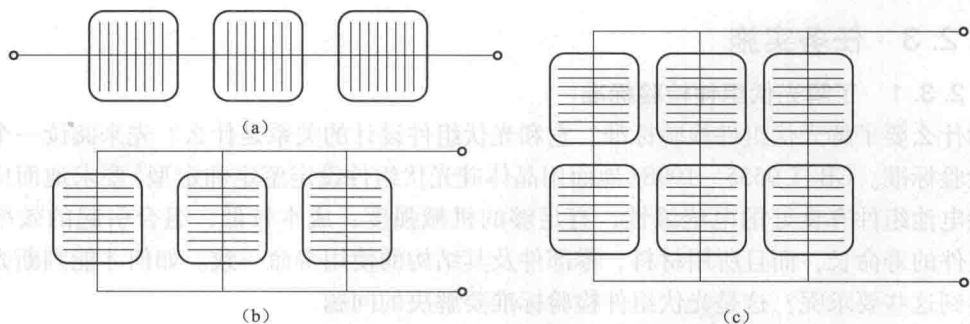


图 1-2-1 太阳能电池的串并联形式