

 新能源科学与工程系列丛书

太阳能 科学与工程

主编 邱小林 周亦人

TAIYANGNENG
KEXUE GONGCHENG



江西高校出版社

新能源科学与工程系列丛书

TAIYANGNENG KEXUE GONGCHENG

太阳能科学与工程

主 编 邱小林 周亦人
副主编 赵忠银 裘 承 甘志凯
编 者 潘竞萍 蔡宝林 陈宁宁

图书馆
章



江西高校出版社

图书在版编目(CIP)数据

太阳能科学与工程/邱小林,周亦人主编. —南昌:江西
高校出版社,2015.7

ISBN 978-7-5493-3592-3

I. ①太... II. ①邱... ②周... III. ①太阳能-
系统工程 IV. ①TK511

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015) 第 167969 号

出版发行	江西高校出版社
社 址	江西省南昌市洪都北大道 96 号
邮 政 编 码	330046
总编室电话	(0791)88504319
销 售 电 话	(0791)88513417
网 址	www.juacp.com
印 刷	南昌市光华印刷有限责任公司
照 排	江西太元科技有限公司照排部
经 销	各地新华书店
开 本	787mm×1092mm 1/16
印 张	彩插:0.25 内文:18
字 数	460 千字
版 次	2015 年 7 月第 1 版第 1 次印刷
书 号	ISBN 978-7-5493-3592-3
定 价	34.00 元

赣版权登字-07-2015-573

版权所有 侵权必究



本书主编邱小林（右）与国家月球探测一期工程首席科学家、中国科学院院士欧阳自远合影



多晶硅铸锭炉



家用太阳能离网发电系统



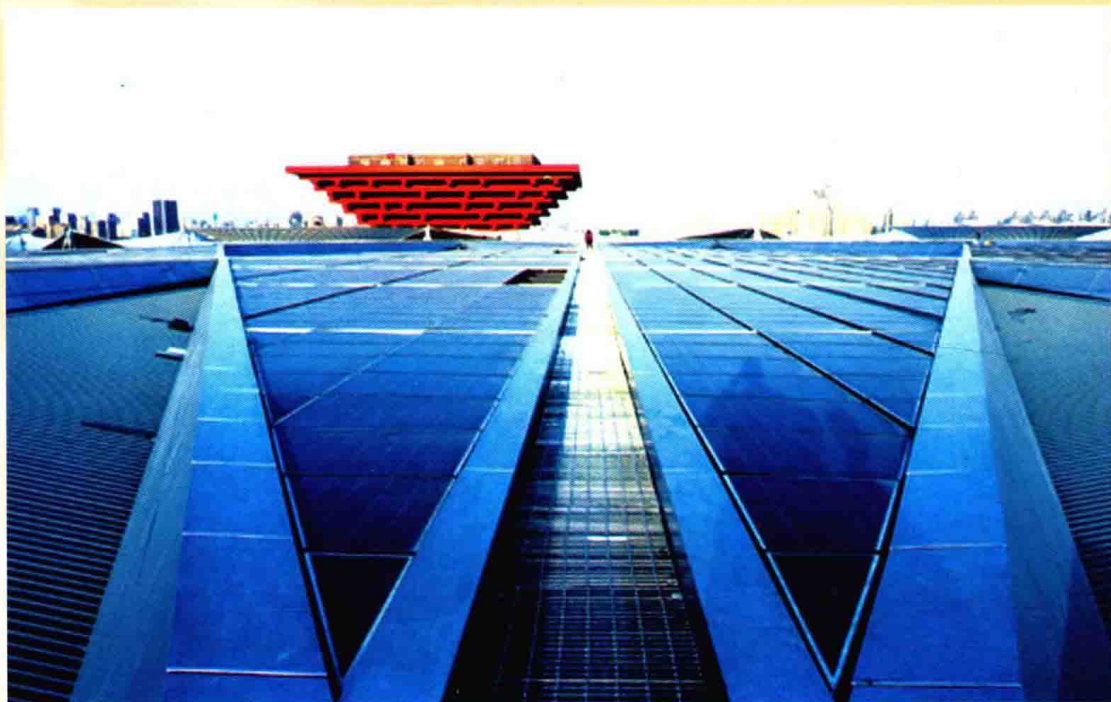
离网式太阳能移动基站系统



家用太阳能并网发电系统



太阳能光伏车棚系统



上海世博园区最佳城市实践区屋顶光伏电站项目



太阳能应用系统



前言

太阳能是一种重要的、有效的、可再生清洁能源,其储量巨大,取之不尽,用之不竭,没有环境污染,充满了诱人的前景。广义上讲,太阳能的利用包括间接利用和直接利用。间接利用是指光合作用、风能、潮汐和海洋温差发电等;而直接利用则主要分为两方面,即光热效应和光电效应。光热效应是将太阳能的能量积聚起来,转换成热能,如正在我国城乡广泛推广的太阳能热水器、太阳能灶等,这也包括将太阳能转换成热能后,利用热能发电。光电效应则是将太阳能通过太阳电池,转换成电能,这种光电转换主要借助于半导体器件的光生伏特效应进行,应用于空间站、人造卫星以及边远地区的供电、输油输气管路的保护等方面,并且已经建成太阳能电站并网发电。

实践教学是高等工科院校学生培养过程中重要的教学环节,它对学生理解、掌握与巩固所学理论知识,提高学生动手能力和创造性思维能力起着关键的作用。为适应当前高等院校教学改革和人才培养的需要,全面提高学生的实践能力,根据学院实验设备及学生的需求特编写了《太阳能科学与工程》教程,本书分为三篇:第一篇,光伏系统概述,主要从半导体材料的发展、构成及太阳电池板的制备工艺、检测等方面讲述半导体。第二篇,光伏系统技术,主要对光伏系统整个构成设备及并网、离网系统应用进行介绍等。第三篇,实验指导,主要从太阳电池板的材料加工、出厂检测、特性检测及太阳能应用等方面进行全面细致的介绍与讲解。

本书由南昌理工学院邱小林教授、周亦人高级工程师担任主编,负责组织编写、统稿、审稿,其中第一篇由邱小林、赵忠银、裘承编写,第二篇由周亦人、赵忠银、甘志凯编写,第三篇由潘竞萍、蔡宝林、陈宁宁编写。



本书在编写过程中得到了南昌理工学院新能源与环境工程学院领导的大力支持,在此深表谢意;同时也参考了部分院校的教材、文献,吸收了部分杂志、书籍及实验仪器厂商提供的内容,得助不菲,不胜感谢。

由于作者知识面和水平有限,书中难免会存在一定疏漏、错误及不当之处。恳请读者批评指正,谢谢!

编著者
2015 年 4 月



目 录

CONTENTS

第一篇 光伏系统概述

第一章 光伏产业发展及防雷技术 /3

1.1 光伏革命发展 /3

1.1.1 光伏产业发展阶段 /3

1.1.2 中国太阳能产业发展历史 /4

1.1.3 光伏产业未来 /5

1.1.4 我国光伏产业的发展前景 /6

1.1.5 光伏产业优点与缺点 /6

1.1.6 光伏产业应用领域 /7

1.2 光伏系统与部件 /7

1.3 防雷技术 /8

1.3.1 雷击形式 /8

1.3.2 雷电的特点 /9

1.3.3 雷电预警和避雷常识 /9

1.3.4 防雷工程性措施及法规要求 /9



第二章 太阳能资源 /11

- 2.1 太阳能资源 /11
- 2.2 太阳能量的衰减 /11
- 2.3 地表面太阳能量的分布 /12
- 2.4 直达日射、散乱日射与全天日射 /14
- 2.5 日射诸量 /15
- 2.6 太阳光频谱 /16
- 2.7 各种太阳电池的分光感度特性 /16
- 2.8 日射量的分布 /17
- 2.9 太阳辐射 /19
 - 2.9.1 太阳辐射几何学 /19
 - 2.9.2 照射在倾斜阵列上的光强 /21
 - 2.9.3 月平均日辐射量和其他参数 /21
 - 2.9.4 晴朗指数 /22
 - 2.9.5 倾斜面上的天空散射辐射 /22

第三章 电工基础知识 /24

- 3.1 电路 /24
 - 3.1.1 电路的组成和作用 /24
 - 3.1.2 电路图 /24
 - 3.1.3 电路的三种状态 /25
- 3.2 电路基本物理量 /25
 - 3.2.1 电量 /25
 - 3.2.2 电流 /25
 - 3.2.3 电压 /26
 - 3.2.4 电动势、电源 /27
 - 3.2.5 电阻 /27
 - 3.2.6 电功、电功率 /28
 - 3.2.7 电流的热效应 /29
- 3.3 欧姆定律 /30
 - 3.3.1 部分电路的欧姆定律 /30
 - 3.3.2 全电路欧姆定律 /30
- 3.4 电阻的串联、并联电路和混联 /32



3.4.1	电阻的串联电路	/32
3.4.2	电阻的并联电路	/33
3.4.3	电阻混联	/34
3.5	电工测量基本知识	/36
3.5.1	万用表的外形及基本组成	/36
3.5.2	万用表的使用步骤	/38
3.5.3	万用表的使用注意事项	/39
3.6	隔离开关	/39
3.6.1	隔离开关的定义及作用	/39
3.6.2	隔离开关的分类及型号	/40
3.7	熔断器	/40
3.7.1	熔断器的定义及作用	/40
3.7.2	熔断器的分类及型号	/41
第四章 半导体硅材料 /43		
4.1	半导体材料	/43
4.1.1	半导体材料的发展	/43
4.1.2	半导体材料的组成	/43
4.1.3	半导体材料的光学性质	/44
4.2	本征半导体和杂质半导体	/45
4.2.1	本征半导体	/45
4.2.2	杂质半导体	/46
4.3	半导体晶体的能带结构	/47
4.3.1	晶体的固体结构	/47
4.3.2	导体、绝缘体和半导体	/51
4.4	半导体硅材料	/56
4.4.1	硅的应用	/56
4.4.2	提高多晶硅产品质量的措施	/56
4.4.3	提高原料纯度	/57
4.4.4	强化精馏效果	/57
4.4.5	氢还原过程的改进及发展趋势	/57
4.4.6	加强分析,提高灵敏度	/57
4.5	硅的物理化学性质	/58



- 4.5.1 硅的物理性质 /58
- 4.5.2 硅的化学性质 /59
- 4.6 半导体硅材料的制备 /59
 - 4.6.1 冶金级硅(工业硅)的制备 /59
 - 4.6.2 多晶硅的制备 /59
 - 4.6.3 单晶硅的制备 /60
- 4.7 半导体硅材料的加工 /60
- 4.8 半导体硅材料的主要性能参数 /61
 - 4.8.1 导电类型 /61
 - 4.8.2 晶体结构 /61
 - 4.8.3 电阻率 /62
 - 4.8.4 少子寿命 /62
- 4.9 多晶硅工艺 /63
 - 4.9.1 氢气制备与净化工序 /63
 - 4.9.2 氯化氢合成工序 /63
 - 4.9.3 三氯氢硅合成工序 /63
 - 4.9.4 合成气干法分离工序 /64
 - 4.9.5 氢硅烷分离提纯工序 /64
 - 4.9.6 三氯氢硅氢还原工序 /64
 - 4.9.7 还原尾气干法分离工序 /65
 - 4.9.8 四氯化硅氢化工序 /65
 - 4.9.9 氯化气干法分离工序 /66
 - 4.9.10 硅芯制备工序 /66
 - 4.9.11 产品整理工序 /66
- 4.10 硅太阳能电池板 /66

第五章 太阳电池 /69

- 5.1 太阳电池的特点 /69
- 5.2 太阳电池的发电原理及构造 /70
- 5.3 太阳电池的种类 /72
 - 5.3.1 单晶硅太阳电池 /72
 - 5.3.2 多晶硅太阳电池 /73
 - 5.3.3 多结晶薄膜太阳电池 /73



- 5.3.4 化合物太阳电池 /74
- 5.3.5 有机太阳电池 /75
- 5.3.6 薄膜太阳电池 /75
- 5.3.7 透明太阳电池 /76
- 5.3.8 混合型太阳电池(HIT 电池) /77
- 5.3.9 球状太阳电池 /77
- 5.3.10 层积型太阳电池 /78
- 5.4 太阳电池的特性 /78
 - 5.4.1 太阳电池的输入输出特性 /78
 - 5.4.2 太阳电池的分光感度特性 /82
 - 5.4.3 太阳电池的照度特性 /83
 - 5.4.4 太阳电池的温度特性 /84
- 5.5 太阳电池的制造方法 /84
 - 5.5.1 单晶硅太阳电池的制造方法 /84
 - 5.5.2 多晶硅太阳电池的制造方法 /85
 - 5.5.3 非晶硅太阳电池的制造方法 /86
 - 5.5.4 化合物半导体太阳电池的制造方法 /86
- 5.6 太阳电池组件 /86
 - 5.6.1 太阳电池芯片、组件 /86
 - 5.6.2 太阳电池组件及其构造 /87
 - 5.6.3 背面衬底型组件 /87
 - 5.6.4 表面衬底型组件 /87
 - 5.6.5 填充型组件 /88
 - 5.6.6 衬底一体表面衬底组件 /88
- 5.7 太阳电池组件的种类 /89
 - 5.7.1 一般的直流出力型太阳电池组件 /89
 - 5.7.2 建材一体型太阳电池组件 /89
 - 5.7.3 采光型太阳电池组件 /94
 - 5.7.4 新型太阳电池组件 /96
- 5.8 建材一体型太阳电池组件的应用 /97
 - 5.8.1 太阳能光伏系统在住宅方面的应用 /97
 - 5.8.2 太阳能光伏系统在公共设施方面的应用 /99



第二篇 光伏系统技术

第六章 光伏电池组件 /105

6.1 太阳电池芯片、组件及阵列 /105

6.1.1 太阳电池芯片 /105

6.1.2 太阳电池组件 /105

6.1.3 太阳电池阵列 /105

6.1.4 太阳电池阵列的电路构成 /106

6.1.5 太阳电池组件的串、并联 /107

6.1.6 太阳电池方阵——防反充(防逆流)和旁路二极管 /108

6.2 太阳电池组件及方阵的设计方法 /108

6.2.1 太阳能光伏系统设计的诸因素 /108

6.2.2 太阳能光伏系统设计调查 /109

6.2.3 太阳能光伏系统设置的用途、负载情况 /109

6.2.4 系统的类型、构成的选定 /109

6.3 设置场所的选定 /112

6.4 太阳电池的方位角、倾斜角的选定 /113

6.4.1 太阳电池的方位角的选择 /113

6.4.2 太阳电池的倾斜角的选定 /113

6.4.3 设置的面积 /113

6.4.4 太阳电池阵列的设计 /113

6.4.5 太阳能光伏系统的设计步骤 /113

6.5 太阳电池方阵安装角度计算 /114

6.6 太阳电池方阵基本计算 /115

6.7 太阳电池方阵的安装与安装要求 /118

6.7.1 太阳电池方阵安装要求 /118

6.7.2 太阳电池方阵安装 /118

第七章 蓄电池 /120

7.1 常见蓄电池的分类 /120

7.1.1 原电池(一次电池)的组成 /120

7.1.2 蓄电池(二次电池)的组成 /121

7.2 电池制造工艺 /123



7.3 蓄电池工作原理 /123

7.4 蓄电池容量 /123

7.4.1 蓄电池容量定义 /124

7.4.2 蓄电池组容量设计 /124

7.4.3 蓄电池的主要参数 /125

第八章 控制器 /128

8.1 太阳能光伏控制器的概述 /128

8.2 光伏控制器的分类及电路原理 /128

8.2.1 光伏控制器的分类 /128

8.2.2 光伏控制电路 /129

8.3 光伏控制器的主要特点及功能 /132

8.3.1 光伏控制器的主要特点 /132

8.3.2 光伏控制器的功能 /133

8.3.3 光伏控制器的主要参数 /133

第九章 逆变器 /135

9.1 逆变器的功能及组成 /135

9.2 逆变器的分类 /135

9.2.1 按应用范围分类 /135

9.2.2 按输出波形分类 /136

9.3 逆变器的工作原理 /137

9.4 逆变器的特点 /140

9.5 逆变电源常见问题 /140

9.6 太阳能光伏系统的逆变器 /140

9.7 逆变器的绝缘方式 /147

9.8 其他设备 /149

9.9 光伏离网逆变器 /151

9.9.1 离网独立型逆变器的电路原理分类 /151

9.9.2 离网逆变器的主要性能和特点 /151

9.9.3 选用离网式太阳能逆变器的注意事项 /152

第十章 光伏系统 /154

10.1 太阳能光伏系统概要 /154

10.2 独立系统 /156



- 10.2.1 独立系统的用途 /156
- 10.2.2 独立系统的构成及种类 /156
- 10.3 并网系统 /157
 - 10.3.1 有逆潮流并网系统 /158
 - 10.3.2 无逆潮流并网系统 /158
 - 10.3.3 切换式并网系统 /158
 - 10.3.4 自立运行切换型太阳能光伏系统(防灾型) /159
 - 10.3.5 直、交流并网型太阳能光伏系统概论 /159
 - 10.3.6 地域并网型太阳能光伏系统 /159
- 10.4 混合系统 /161
 - 10.4.1 光-热混合太阳能光伏系统 /161
 - 10.4.2 太阳能光伏、燃料电池系统 /162
- 10.5 小规模新能源电力系统 /163
- 10.6 太阳能光伏系统的特点 /163
- 10.7 太阳能光伏系统的基本构成 /164
- 第十一章 综合设计 /166
 - 11.1 独立型太阳能光伏系统的设计 /166
 - 11.2 独立型太阳能发电系统设计应用以南昌地区为例 /167
- 第十二章 太阳能自动跟踪 /172
 - 12.1 逐日系统原理分析 /172
 - 12.2 太阳光跟踪定位传感器原理 /176

第三篇 实验指导

- 实验一 铸锭炉 /181
- 实验二 红外探伤测试 /200
- 实验三 硅单晶少子寿命及测试 /204
- 实验四 四探针测试仪测量薄层的电阻率 /208
- 实验五 太阳电池组件测试 /212
- 实验六 太阳电池板 $I-U$ 特性测试 /218
- 实验七 太阳电池板最大输出功率计算 /219
- 实验八 太阳电池板转换效率测量 /220
- 实验九 太阳电池板 $P-U$ 特性测试 /221