

职业院校太阳能技术利用专业
光伏技术与应用专业技能方向系列教材

光伏电池制造工艺 及应用

中国半导体行业协会 IC 分会
太阳能光伏产业校企合作职教联盟 组 编
开昂教育股份有限公司

杨 旻 郑 军 总主编

职业院校太阳能综合利用专业
光伏技术与应用专业技能方向系列教材

光伏电池制造工艺及应用

Guangfu Dianchi Zhizao Gongyi Ji Yingyong

中国半导体行业协会 IC 分会
太阳能光伏产业校企合作职教联盟
开昂教育股份有限公司
组编

杨 旸 郑 军 总主编
郑 军 主 编
张鑫博 郑德荣 副主编



高等教育出版社·北京
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

内容提要

本书是职业院校太阳能技术利用专业光伏技术与应用专业技能方向系列教材之一,由中国半导体行业协会 IC 分会、太阳能光伏产业校企合作职教联盟、开昂教育股份有限公司组织编写。

本书介绍了太阳能电池、其生产制造流程及应用,主要包括认识太阳能电池、晶体硅太阳能电池制造、清洗制绒生产、制结生产、刻蚀生产、镀膜反射膜生产、丝网印刷电极生产、晶体硅太阳能电池的检测等。

通过本书封底所附学习卡,可登录网站(<http://sve.hep.com.cn>)上网学习及获取相关教学资源。学习卡兼有防伪功能,可查询图书真伪,详细说明见书末“郑重声明”页。

本书适合作为职业院校太阳能技术利用及相关专业教材,也可作为相关行业培训用书,还可供从事光伏技术的专业人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

光伏电池制造工艺及应用/郑军主编;中国半导体行业协会 IC 分会,太阳能光伏产业校企合作职教联盟,开昂教育股份有限公司组编. —北京:高等教育出版社, 2011. 11

职业院校太阳能技术利用专业 光伏技术与应用专业技能方向系列教材/杨旸,郑军总主编

ISBN 978 - 7 - 04 - 033396 - 1

I. ①光… II. ①郑…②中… III. ①光电池 - 生产工艺 - 高等职业教育 - 教材 IV. ①TM914

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 192911 号

策划编辑 李刚
责任校对 陈旭颖

责任编辑 陆明
责任印制 张泽业

封面设计 于涛

版式设计 王艳红

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100120
印 刷 北京机工印刷厂
开 本 787mm × 1092mm 1/16
印 张 15.25
字 数 330 千字
购书热线 010 - 58581118

咨询电话 400 - 810 - 0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
版 次 2011 年 11 月第 1 版
印 次 2011 年 11 月第 1 次印刷
定 价 26.90 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换
版权所有 侵权必究
物 料 号 33396 - 00

编 委 会

编 委 会 主 任：龙德毅 于燮康

副 主 任：杨 旻 陆 瑛 赵卫国 郑 军 王建华

梅伟芳 张利华

编委会成员名单(按拼音顺序)：

曹建林 陈必群 陈光华 陈建民 陈 涛 陈玉娟

程 周 迟 铮 崔慧林 戴裕崴 冯明潮 傅 亮

葛乐礼 谷朝众 顾力平 顾 强 郭群超 郭 崴

郝国强 贺建明 贺 炜 胡 钢 胡中豪 黄云龙

姜国峰 蒋俊祁 蓝 婷 李成敏 李尤举 廖东进

林 玲 刘海光 卢庆林 陆国平 马魁君 马 松

彭陈平 钱 澄 钱克政 秦凤龙 秦 舒 曲现民

宋锋兵 王春荣 王春瑞 王福荣 王建刚 王利国

王旭升 邬宪伟 吴丁良 吴洪光 吴 燕 徐洪泉

徐 华 徐 忆 许建明 杨建云 杨孝全 杨勇华

于 彪 曾 云 詹万平 赵 杰 张 虎 张世辉

张卫民 张鑫博 张滢清 张玉琴 赵建平 郑德荣

出版说明



随着全球能源形势趋紧,太阳能光伏作为一种可持续的能源替代方式,正在迅猛发展,并首先在太阳能资源丰富的国家,如德国和日本,得到了大面积的推广和应用。美国也大力发展太阳能、风能等可再生的清洁能源,并提出“领导 21 世纪清洁能源经济的国家将领导全球经济”。

在我国,包括半导体、太阳能光伏、LED、平板显示等在内的中国大半导体产业在过去十年取得了令世人瞩目的巨大成就,被誉为产业发展的“黄金十年”。2010 年大半导体产业经过金融危机后强劲复苏,市场增长速度领跑全球产业。2011 年更被业界看做是开启新一轮增长的起跑年,中国大半导体产业在“十二五”期间仍将迎来大发展。

据中国半导体行业协会等机构统计,2010 年,全球半导体制造设备同比增长幅度创纪录的达到 148%,其中中国半导体设备市场比 2009 年增长 287%,中国的 LED 产业产值规模 2009—2010 年增长了 45%,2011 年增长幅度将会进一步提高,到 2015 年中国大陆 LED 市场规模可望达到 5 000 亿元人民币。面对当前中国大半导体产业的强劲增长趋势,越来越多的地方政府开始推动建设和扩建新的半导体制造工厂、LED 生产工厂、太阳能材料、面板和太阳能组件工厂。移动互联网、物联网、新能源、汽车电子、LED 等新兴技术和产业,正成为半导体市场乃至中国经济的强劲驱动力。

2011 年日本大地震引发的核泄漏警醒了世界,德国已率先宣布放弃使用核能。为形成更为合理的能源结构,中国启动了金太阳和屋顶项目,工程发电装机容量合计已经达到 1 400 MW,预计到 2015 年,中国太阳能发电装机容量将达到 5 000 MW,将原计划中的太阳能装机容量扩大 5 倍,中国太阳能电池装机容量年增长率或将超过 40%。

在各国政府对新能源领域的不断重视下,以太阳能光伏应用为主的新能源产业还将继续发展与壮大,可以说未来 20 年这个产业仍将保持一个蓬勃的发展态势。近年来,中国的太阳能产业异军突起,光伏产能已位居全球第一,社会正迈向一个新的太阳能时

代,涌现了无锡尚德、常州天合和天威英利等一大批优秀的光伏企业。目前国内已有光伏制造企业上万家,在多晶硅、切片、电池片、封装等各环节,仍不断有新投资者源源不断进入。

我国太阳能光伏产业的爆炸式发展,使得太阳能光伏技能型人才一时显得相当短缺。由于太阳能光伏产业上游材料加工与下游应用跨区域分布的特点,全国范围内表现出对太阳能光伏人才全方位、多层次的渴求。根据有关数据推算,2011—2015年我国太阳能光伏产业技能型人才的缺口在300万左右。

由于产业转型和经济发展,新能源职业教育人才培养已到了刻不容缓的时候。鉴于目前职业教育太阳能光伏技术与应用专业建设刚刚起步,教材缺乏,由中国半导体行业协会IC分会、太阳能光伏产业校企合作职教联盟和开昂教育股份有限公司联合国内多家职业院校专家和教学骨干,针对目前该专业课程的教学内容和教学特点,重点从生产线工艺流程和设备操作技能出发,在深入太阳能光伏企业现场跟班操作,亲临太阳能光伏基地以及产品市场调研的基础上,组织编写了职业院校太阳能技术利用专业光伏技术与应用专业技能方向系列教材,第一批出版《光伏技术应用》、《光伏电池制造工艺及应用》、《光伏组件制造工艺及应用》、《光伏产品开发与生产工艺》、《光伏发电系统施工技术》共5本教材。

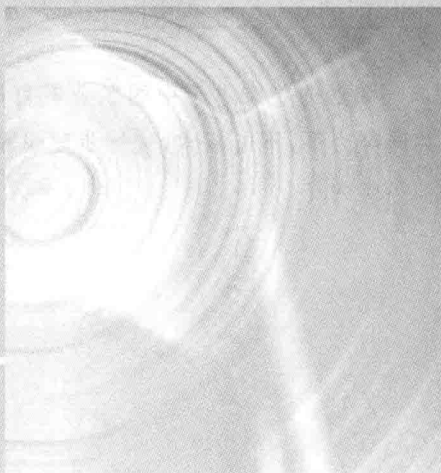
我们希望本系列教材能在一定程度上弥补职业院校太阳能技术利用专业教材的匮乏,并且推动该专业理实一体化教学的开展。在讲义阶段,本系列教材受到了开设太阳能光伏专业的江苏阜宁职教中心、安徽蚌埠机电技师学院、安徽职业技术学院等职业院校的肯定,提出了很多宝贵意见。

太阳能事业前景广阔,充满希望。本系列教材编委会愿与职教界同仁和业内专家通力合作,共同推进中国太阳能事业的发展!

中国半导体行业协会

2011年6月

序



能源产业,尤其是快速发展的新能源产业在金融危机中崛起,已成为强劲的经济支柱。开发“绿色能源”是解决能源危机的重要途径。太阳能、地热能、风能、海洋能、核能以及生物能在全世界能源结构中的比重已达到 15%~20%,许多国家都在下大力气研究和开发利用“绿色能源”的新技术、新工艺,并且取得了相当可观的成果。而太阳能光伏发电具有安全可靠、无噪声、无污染、制约少、故障率低、维护简便等优点,在新能源应用中最具发展前景和空间。

我国光伏产业起步于 20 世纪 80 年代末期,90 年代进入稳步探索发展期,进入 21 世纪出现爆发式增长。据统计,从 2002 年至今,中国太阳能电池产量猛增了 100 多倍。至 2008 年,我国太阳能电池产量约占世界总产量的三分之一,到 2010 年,已连续 3 年成为世界第一大太阳能电池生产国。

太阳能光伏产业是一个人才、技术高度密集的产业。近几年,随着新能源产业的高速发展,高素质人才成为企业最迫切的需求。太阳能光伏产业的发展,要求队伍建设必须面向产业和企业实际,以培养高层次、高水平、高素质的企业经营管理人才、专业技术人才和高技能人才为重点,逐步构建起与做大、做强产业相适应的多层次、多渠道、多形式的人才培养体系。

中国职业教育技术学会校企合作工作委员会将促进校企合作,共建适应市场发展的新专业,坚持校企合作、工学结合的原则,与中国半导体行业协会 IC 分会、太阳能光伏产业校企合作职教联盟、国内知名光伏企业、天津市、浙江省、江苏省部分职业院校的专家、工程技术人员、专业教师共同合作,编写了这套紧贴太阳能光伏企业工艺内容和生产过程的教材。教材力求紧紧围绕技能型人才培养目标来设计学生的知识、能力、素质结构,突出教材的针对性、实用性,体现职业性和创新性。相信这套教材在推动新专业建设、提高技能型人才培养质量的过程中,能够发挥出积极作用。

希望这些有志于中国职业教育事业的改革者的努力会结出硕果,在企业和院校的共同努力下,不断探索,进一步建设精品教材,打造精品专业。

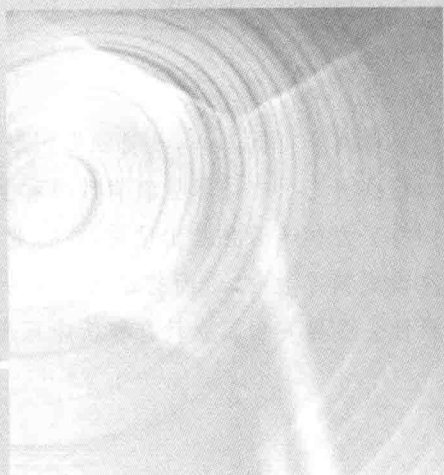
是为序!

龙德毅^①

2011年6月

^① 中国职业技术教育学会副会长,太阳能光伏产业校企合作联盟(集团)理事长

序



能源和环境问题是 21 世纪人类面临的重大问题。大力发展可再生能源,优化能源结构是我国能源可持续发展的当务之急。太阳能是目前所找到的最清洁、最直接、同时也是最具可行性的替代能源。根据预测,到 2030 年,我国的能源缺口将达到 50%,而要填补这个缺口很大一部分需要依靠太阳能。20 至 30 年之后,世界上依靠太阳能来发电的比例将占到 70% 以上。中国具有极为丰富的太阳能资源,为大规模开展太阳能利用提供了得天独厚的条件。

我国光伏产业起步于 20 世纪 80 年代末期,90 年代进入稳步探索发展期,进入 21 世纪出现爆发式增长。据统计,从 2002 年至今,中国太阳能电池产量猛增了 100 多倍。至 2008 年,我国太阳能电池产量约占世界总产量的三分之一,到 2010 年,已连续 3 年成为世界第一大太阳能电池生产国。

太阳能光伏产业的快速发展与技能型人才短缺的矛盾日趋突出。新能源分布式的特点,表现出对人才多方位、多层次的需求。根据国家未来 5 年太阳能光伏产业的规划和发展趋势预测,我国太阳能光伏产业技能人才的缺口非常大。但目前我国光伏教育还比较滞后,很少有学校设置与光伏相关的专业。面对我国光伏产业人才培养起步较晚和光伏产业的高速发展情况,人才匮乏十分突出。因此,加快光伏产业的人才建设,改变人才紧缺的状况迫在眉睫。

中国半导体行业协会集成电路分会与中国职业教育技术学会校企合作工作委员会立足产业前沿,面向教育、面向未来,积极搭建太阳能光伏产业校企合作职业教育联盟平台,组织太阳能光伏行业专家和企业工程师、职业院校相关专业教学骨干共同编写了这套太阳能光伏实用型系列教材。教材突出与产业、企业、岗位的对接。结合行业和企业标准及技术规范,专业教学指导性强。以工作任务为主线,深入浅出、层次分明、图文并茂、实用性强且内容新颖,强调“做中学,做中教”,体现了操作技能培养为主的职业教

育特色。

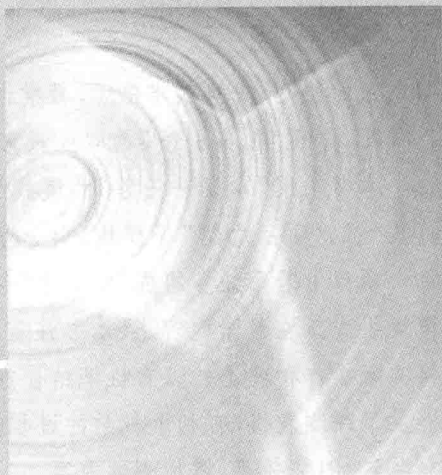
教育兴则国家兴,教育强则国家强,职业教育更是现代新兴产业发展的内驱动。我为这些有志于中国职业教育改革和新能源产业发展倾注心血的同仁倍感欣喜。希望他们的努力和辛劳会结出硕果,在行业协会、企业和院校共同努力下,不断探索,进一步建设成精品教材,进而打造出精品专业,为新能源产业人才培养探索出有效机制;也希望社会各界关心职业教育和新能源产业发展的同仁给予大力的支持和帮助。



2011年9月17日

① 中国科学院院士,华东师范大学信息学院院长

前 言



光伏产业是一个潜力无限的新兴产业,在追求低碳社会的今天,社会越来越重视清洁的可再生能源——太阳能,光伏技术和光伏产业已越来越受到世界各国的重视。

当前,国内系统介绍光伏技术的教材还比较缺乏,并且现有教材主要为科普类或理论性很强的专业研究书籍。为了更好地使职业教育与社会实际用工需求、工作技术要求相接轨,推动光伏产业的发展,探索职业教育教学的新方法,提升太阳能光伏技术与应用专业学生的操作技能和综合素质,中国半导体行业协会 IC 分会、太阳能光伏产业校企合作职教联盟、开昂教育股份有限公司组织编写了职业院校太阳能技术利用专业光伏技术与应用专业技能方向系列教材。编写时,在内容的安排和深度的把握上,结合实际,传授必备的理论知识,讲解专业领域的应用实例。

本书内容充实,重点介绍了光伏发电系统施工技术。本书的编写有如下几个特色:

1. 紧跟行业发展,体现新兴专业特色

太阳能光伏技术与应用专业是职业院校新兴专业,本书编者曾经到光伏技术相关企业的一线岗位参与企业生产和管理。在编写过程中,综合了企业生产一线技术人员和管理人员的经验,参考了企业操作规程,参照了企业质量管理和验收标准、各工作岗位工艺和要求,并请企业工程技术人员、行业专家进行了审核,以保证符合光伏企业和太阳能利用行业标准和技术规范。

2. 立足教学研究,符合相关职业技能鉴定标准

本书立足职业教育精品课程——“太阳能光伏技术应用”,依据太阳能电池制造工职业技能鉴定规范编写。本书是太阳能电池制造工职业技能鉴定指定培训教材。

3. 按照生产流程设计教学单元

本书按照光伏电池的制造生产流程:认识太阳电池→晶体硅太阳能电池制造→清洗制绒生产→制结生产→刻蚀生产→镀膜反射膜生产→丝网印刷电极生产→晶体硅太

阳电池的检测,安排教学单元,教学过程完整并且符合生产实际。

4. 体现“任务引领”的职业教育教学特色,注重生产工艺

本书采用“项目—任务”的模式组织教学内容。在项目部分安排了“项目目标”、“项目描述”、“项目总结”等模块,引导学生明确项目目的,了解项目情况、总结项目过程。每个项目由若干任务组成,任务由“任务目标”、“任务描述”、“任务实施”、“任务小结”等模块组成。在教学内容上,本书注重学生对各生产环节工艺的学习。通过项目和任务,将实际操作和理论知识有机地结合在一起,实现理实一体化教学,在“任务小结”模块中提供了评测表格,有利于教学的过程性评价。

5. 图文并茂,增加测试内容

根据中职学生年龄特点和课程内容的特点,本书将繁琐的知识、原理和生产流程等用图表形式呈现出来,并加入了大量的实物图,图文并茂便于学生理解。本书书后配套综合练习,以方便学生学习和自我测试。

完成本书所需要的学时为 102 学时(每周 6 学时 × 17 周),各单元的学时安排建议见下表:

项目	建议学时	合计学时
项目 1 认识太阳能电池	8	102
项目 2 晶硅太阳能电池制造	8	
项目 3 清洗制绒生产	16	
项目 4 制结生产	18	
项目 5 刻蚀生产	12	
项目 6 镀膜反射膜生产	14	
项目 7 丝网印刷电极生产	14	
项目 8 晶硅太阳能电池的检测	12	

本书配套学习卡,可登录网站(<http://sve.hep.com.cn>)获取相关教学资源。学习卡兼有防伪功能,可查询图书真伪,详细说明见书末“郑重声明”页。

本书由中国半导体行业协会 IC 分会、太阳能光伏产业校企合作职教联盟、开昂教育股份有限公司组织编写,由美国斯坦福大学电子工程学博士、国家“千人计划”特聘专家、开昂新能源集团公司董事长杨旻,国家级光伏实训基地负责人、衢州中等专业学校郑军担任总主编,郑军担任主编,衢州中等专业学校张鑫博和郑德荣担任副主编。

本书由晶澳(扬州)太阳能科技有限公司宋锋兵、王利国主审,他们认真地审核了书稿,提出了很多宝贵的意见和建议。此外,在编写过程中,本书还得到了衢州中等专业学校、浙江乐叶光伏有限公司、横店东磁太阳能有限公司、常州天合光能公司、丰球光

伏科技股份有限公司的领导和技术人员的大力协助和指导,在此一并表示衷心感谢。在本书的编写过程中,编者参阅了大量的论著与文献,主要部分已列入了参考文献中,在此也对参考文献的作者表示衷心的感谢。

由于编者能力有限,不足之处在所难免,诚望广大读者提出宝贵意见,以便进一步修改完善。编者联系邮箱: qzzzzj@126.com。

编 者

2011年6月

郑重声明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其为人将承担相应的民事责任和行政责任；构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人进行严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话 (010)58581897 58582371 58581879

反盗版举报传真 (010)82086060

反盗版举报邮箱 dd@hep.com.cn

通信地址 北京市西城区德外大街4号 高等教育出版社法务部

邮政编码 100120

短信防伪说明

本图书采用出版物短信防伪系统，用户购书后刮开封底防伪密码涂层，将16位防伪密码发送短信至106695881280，免费查询所购图书真伪，同时您将有有机会参加鼓励使用正版图书的抽奖活动，赢取各类奖项，详情请查询中国扫黄打非网(<http://www.shdf.gov.cn>)。

反盗版短信举报

编辑短信“JB,图书名称,出版社,购买地点”发送至10669588128

短信防伪客服电话

(010)58582300

学习卡账号使用说明

本书所附防伪标兼有学习卡功能，登录“<http://sve.hep.com.cn>”或“<http://sv.hep.com.cn>”进入高等教育出版社中职网站，可了解中职教学动态、教材信息等；按如下方法注册后，可进行网上学习及教学资源下载：

(1) 在中职网站首页选择相关专业课程教学资源网，点击后进入。

(2) 在专业课程教学资源网页面上“我的学习中心”中，使用个人邮箱注册账号，并完成注册验证。

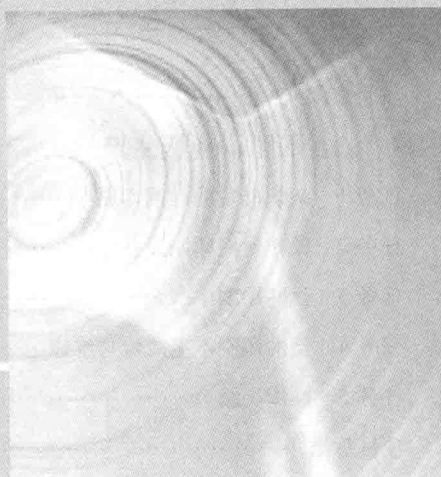
(3) 注册成功后，邮箱地址即为登录账号。

学生：登录后点击“学生充值”，用本书封底上的防伪明码和密码进行充值，可在一定时间内获得相应课程学习权限与积分。学生可上网学习、下载资源和提问等。

中职教师：通过收集5个防伪明码和密码，登录后点击“申请教师”→“升级成为中职课程教师”，填写相关信息，升级成为教师会员，可在一定时间内获得授课教案、教学演示文稿、教学素材等相关教学资源。

使用本学习卡账号如有任何问题，请发邮件至：“4a_admin_zz@pub.hep.cn”。

目 录



项目 1 认识太阳能电池 1	项目 4 制结生产 71
任务 1 认识晶体硅太阳能电池 2	任务 1 硅片的扩散制结 72
任务 2 认识薄膜太阳能电池 5	任务 2 认识方块电阻 75
任务 3 认识其他太阳能电池 9	任务 3 操作扩散炉 78
项目总结 15	任务 4 三氯氧磷液态源扩散生产 85
项目 2 晶体硅太阳能电池制造 17	任务 5 测试扩散方块电阻 91
任务 1 认识制造晶体硅太阳 电池的原材料 18	任务 6 三氯氧磷液态源换源 93
任务 2 认识晶体硅太阳能电池制造 设备 26	任务 7 清洗石英舟 101
任务 3 晶体硅太阳能电池制造流程 32	项目总结 106
项目总结 36	项目 5 刻蚀生产 107
项目 3 清洗制绒生产 37	任务 1 认识硅片的刻蚀 108
任务 1 认识硅片清洗制绒 38	任务 2 等离子刻蚀生产 110
任务 2 单晶硅清洗制绒流程 42	任务 3 去 PSG 生产 117
任务 3 操作清洗制绒机 48	任务 4 操作 SCHMID 清洗机 125
任务 4 清洗制绒生产 54	任务 5 RENA 二次清洗作业 133
任务 5 操作甩干机 61	项目总结 138
任务 6 使用 D8 积分反射仪检测 硅片 64	项目 6 镀减反射膜生产 139
项目总结 69	任务 1 制备减反射膜 140
	任务 2 操作管式 PECVD 设备 145
	任务 3 管式 PECVD 镀膜生产 150
	任务 4 管式 PECVD 插片、卸片 159

项目总结	163	任务 1 晶体硅太阳能电池性能测试	
项目 7 丝网印刷电极生产	165	概述	198
任务 1 认识硅片的丝网印刷	166	任务 2 操作测试分选机	201
任务 2 操作丝网印刷设备	172	任务 3 测试晶体硅太阳能电池	208
任务 3 丝网印刷生产	178	任务 4 晶体硅太阳能电池外观等级	
任务 4 丝网印刷常见故障与维修	183	划分	213
任务 5 操作烧结炉	190	项目总结	216
项目总结	195	综合练习	217
项目 8 晶体硅太阳能电池的检测	197	参考文献	225

项目 1

认识太阳能电池

GUANGFU



项目目标

1. 掌握晶体硅太阳能电池的基本结构。
2. 了解薄膜太阳能电池的优点。
3. 认识其他类型太阳能电池。



项目描述

由于全球气候变暖、空气污染问题以及资源日趋短缺,作为新能源的太阳能发电已引起广泛关注。太阳能电池将太阳能转换成电能,通过本项目的学习使同学们掌握太阳能电池的基本类型及特点。