



新能源系列 —— 光伏应用专业规划教材

# 光伏电池制备工艺

GUANGFU  
DIANCHI  
ZHIBEI GONGYI

张存彪 黄建华 主编  
廖东进 副主编  
周水生 文其知 主审



化学工业出版社

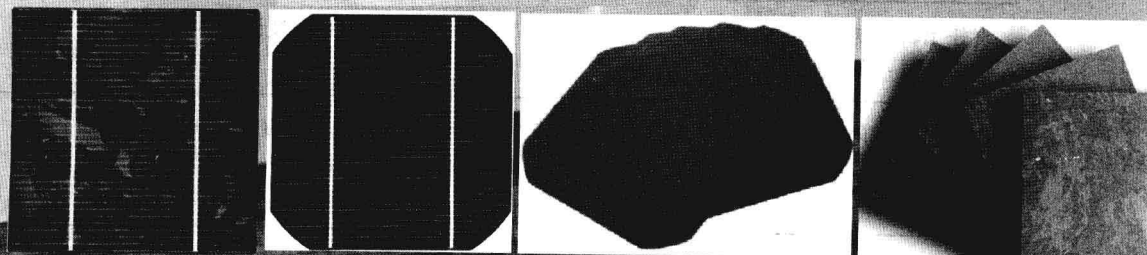


新能源系列 —— 光伏应用专业规划教材

GUANGFU  
DIANCHI  
ZHIBEI GONGYI

# 光伏电池制备工艺

张存彪 黄建华 主编  
廖东进 副主编  
周水生 文其知 主审



化学工业出版社

· 北京 ·

本书主要讲解了晶硅电池片制备工艺,主要包括硅片的分选、制绒、制结、去周边、去 PSG、镀膜、印刷电极、烧结、检测、事业部管理等。根据电池片生产工艺流程,采用任务驱动、项目训练的教学组织方法,以侧重实践操作技能为原则,注重实践与理论的紧密结合,以职业岗位能力为主线贯穿全书,突出应用性和实践性。

本书适合作为职业院校和成人教育专科层次的光伏专业核心课程教材,还可供相关企业人员参考学习。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

光伏电池制备工艺/张存彪,黄建华主编. —北京:  
化学工业出版社, 2012. 1  
(新能源系列)  
光伏应用专业规划教材  
ISBN 978-7-122-12907-9

I. 光… II. ①张… ②黄… III. 光电池-生产工艺-  
教材 IV. TM914

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 245232 号

---

责任编辑: 刘 哲 张建茹  
责任校对: 郑 捷

装帧设计: 韩 飞

---

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装: 三河市延风印装厂

787mm×1092mm 1/16 印张 10¼ 彩插 4 字数 250 千字 2012 年 2 月北京第 1 版第 1 次印刷

---

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

---

定 价: 24.00 元

版权所有 违者必究



# 前言

光伏电池制备工艺  
GUANGFU DIANCHI ZHIBEI GONGYI

据预测，光伏发电在 21 世纪会占据世界能源消费的重要地位，不但要替代部分常规能源，而且将成为世界能源供应的主体。目前世界光伏产业以 31.2% 的年平均增长率高速发展，位于全球能源发电市场增长率的首位，预计到 2040 年光伏发电将占世界发电总量的 20% 以上，到 2050 年光伏发电将成为全球重要的能源支柱产业。

光伏产业在飞速发展的同时，光伏人才培养相对落后，造成了越来越多的光伏企业人力资源紧张。人才培养的基础是课程，而教材对支撑课程质量举足轻重。光伏作为新兴产业，专业也基本为新开设的，缺乏相应的配套教材可借鉴参考。编者根据电池片制备工艺的理论知识，依托多家光伏企业，共同编写了《光伏电池制备工艺》。

光伏电池制备工艺是光伏类专业重要的技术核心课程，具有很强的实践性。本课程融入了多家电池片企业的实际生产工艺，通过本课程的学习，可以使学生掌握晶硅电池制备的基本知识、原理、操作工艺流程和设备运行等情况。

本书以晶硅电池片生产过程为导向，把整个生产工艺流程融入教学过程中，具有情景真实性、过程可操作性的特点。根据电池片生产工艺流程，采用任务驱动的方法，将晶硅电池片生产工艺流程（硅片分选、制绒、制结、去周边、去 PSG、镀膜、印刷电极、烧结等）分成十个项目进行设置，根据不同的项目设置不同的任务，分别讲解了各个项目的原理、工艺常见操作方法、典型操作工艺流程、设备运行与管理、常见问题及解决措施、作业指导书的制定等内容。

本书本着理论够用、侧重实践操作技能的原则，注重实践与理论的紧密结合，以职业岗位能力为主线贯穿全书，突出应用性和实践性。

本书由张存彪、黄建华担任主编，廖东进担任副主编，编写分工为：廖东进

编写项目一，黄建华、付瑶共同编写项目二和项目三，张培明编写项目四和项目五，王森涛编写项目六和项目八，张存彪、刘娜共同编写项目七和项目九，周雷编写项目十。在编写过程中得到了湖南神州光电能源有限公司、山西潞安太阳能科技有限责任公司等企业的大力支持与帮助，在此表示感谢。

本书由山西潞安太阳能科技有限责任公司周水生总经理、湖南理工职业技术学院文其知副教授担任主审，两位在审稿过程中提出了许多宝贵意见和建议，在此表示衷心的感谢。在教材中引用了一些资料，在此对有关专家学者和单位一并表示感谢！

由于编者水平有限，书中难免有不妥之处，恳请各位读者和专家给予评判指正。

**编者**

**2011年11月**

# 目 录

光伏电池制备工艺  
GUANGFU DIANCHI ZHIBEI GONGYI

<b>项目一</b>	<b>光伏电池制备的准备</b>	<b>1</b>
任务一	光伏电池发电原理	1
任务二	晶硅电池产业链工艺流程	3
任务三	硅片分检标准	4
任务四	Fortix 分选机的使用与维护	7
任务五	制定分检工艺作业指导书	16
小结		16
思考题		16
<b>项目二</b>	<b>制绒工艺</b>	<b>17</b>
任务一	制绒工艺的目的与原理	17
任务二	单晶制绒操作工艺	19
任务三	多晶制绒操作工艺	22
任务四	制绒不良片案例分析	25
任务五	制定单晶硅、多晶硅制绒工艺作业指导书	26
小结		26
思考题		27
<b>项目三</b>	<b>扩散工艺</b>	<b>28</b>
任务一	扩散工艺的目的与原理	28
任务二	扩散工艺流程	29
任务三	石英管的拆装与清洗	35
任务四	扩散工艺要求及常见问题分析	37
任务五	扩散炉的使用与维护	43
任务六	制定扩散工艺作业指导书	47
小结		48
思考题		48
<b>项目四</b>	<b>腐蚀周边（刻蚀）工艺</b>	<b>49</b>
任务一	腐蚀周边（刻蚀）工艺的目的与原理	49

任务二	干法刻蚀操作工艺 .....	52
任务三	湿法刻蚀的操作工艺 .....	53
任务四	制定腐蚀周边工艺指导书 .....	55
小结	.....	55
思考题	.....	55
<b>项目五</b>	<b>去 PSG 工艺</b> .....	<b>56</b>
任务一	去 PSG 工艺的目的与原理 .....	56
任务二	去 PSG 工艺流程及注意事项 .....	56
任务三	去 PSG 工艺中的材料与设备仪器 .....	58
任务四	制定去 PSG 工艺作业指导书 .....	60
小结	.....	60
思考题	.....	60
<b>项目六</b>	<b>镀膜工艺</b> .....	<b>61</b>
任务一	减反射膜的目的与工作原理 .....	61
任务二	PECVD 镀膜工作原理 .....	63
任务三	PECVD 镀膜的操作工艺流程 .....	64
任务四	PECVD 镀膜设备的维护与管理 .....	68
任务五	PECVD 常见问题及处理方法 .....	72
任务六	制定 PECVD 镀膜作业指导书 .....	75
小结	.....	76
思考题	.....	76
<b>项目七</b>	<b>丝网印刷工艺</b> .....	<b>77</b>
任务一	丝网印刷的目的与原理 .....	77
任务二	丝网印刷工艺流程 .....	78
任务三	丝网印刷工艺参数 .....	84
任务四	丝网印刷的设备维护 .....	92
任务五	丝网印刷工艺中常见问题及解决方法 .....	93
任务六	制定丝网印刷工艺作业指导书 .....	105
小结	.....	106
思考题	.....	106
<b>项目八</b>	<b>烧结工艺</b> .....	<b>107</b>
任务一	烧结的目的与原理 .....	107
任务二	烧结工艺操作流程 .....	110
任务三	烧结设备的使用与维护 .....	111
任务四	常见烧结工艺问题及解决方案 .....	117

任务五	制定烧结工艺作业指导书	122
小结		122
思考题		122
<b>项目九</b>	<b>检测分级</b>	<b>123</b>
任务一	检测分级的目的和原理	123
任务二	检测分级的工艺流程	125
任务三	电池片检测分级管理	130
任务四	检测设备使用与管理	136
任务五	制定检测工序作业指导书	138
小结		138
思考题		138
<b>项目十</b>	<b>电池片事业部管理</b>	<b>139</b>
任务一	建立电池片车间产品工艺流程	139
任务二	7S管理	149
任务三	制定电池管理总表	152
小结		152
思考题		152
	<b>参考文献</b>	<b>153</b>



# 项目 一

## 光伏电池制备的准备

### [ 项目要求 ]

1. 了解光伏电池发电原理。
2. 了解晶硅电池制作工艺流程。
3. 掌握硅片分检的标准。
4. 掌握硅片分选机的操作工艺流程。
5. 掌握电池制备原材料的使用。

### [ 项目实施 ]

#### 任务一 光伏电池发电原理

光伏电池是一种对光有响应并能将光能转换成电能的器件。光伏能量转换包括电荷产生、电荷分离和电荷输运三个过程。电荷分离或光伏行为就是在光照下存在光生电流或光生电动势。能产生光伏效应的材料有许多种，如单晶硅、多晶硅、非晶硅、砷化镓、铜硒钢等半导体材料，它们的发电原理基本相同。

P 型半导体和 N 型半导体结合形成 PN 结，由于浓度梯度导致多数载流子的扩散，留下不能移动的正电中心和负电中心，所带电荷组成了空间电荷区，形成内建电场，内建电场又会导致载流子的反向漂移，直到扩散的趋势和漂移的趋势可以相抗衡，载流子不再移动，空间电荷区保持一定的范围，PN 结处于热平衡状态。

太阳光的照射会打破 PN 结的热平衡状态，能量大于禁带宽度的光子发生本征吸收，在 PN 结的两边产生电子-空穴对，见图 1-1。在光激发下多数载流子浓度一般变化很小，而少数载流子浓度却变化很大，因此主要分析光生少数载流子的运动。P 型半导体中少数载流子指的是电子，N 型半导体中少数载流子指的是空穴。

由于 PN 结势垒区中存在较强的内建电场（自 N 区指向 P 区），光生电子和空穴受到内建电场的作用而分离，P 区的电子穿过 PN 结进入 N 区；N 区的空穴进入 P 区，使 P 端电势升高，N 端电势降低，于是 PN 结两端形成了光生电动势，这就是 PN 结的光生伏特效应。由于光照产生的载流子各自向相反方向运动，从而在 PN 结内部形成自 N 区向 P 区的光生电流  $I_l$ ，见图 1-2(b)。由于光照在 PN 结两端产生光生电动势，光生电场的方向

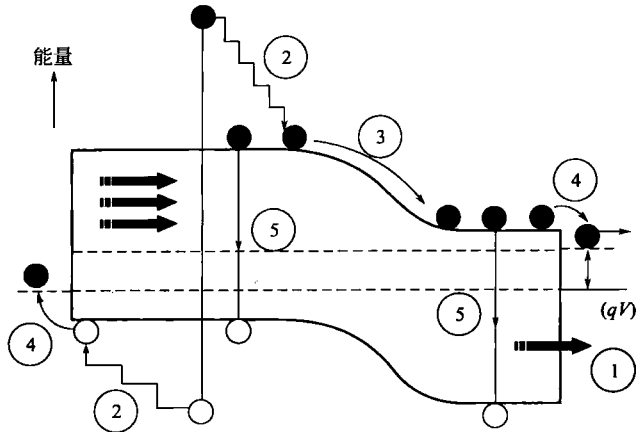


图 1-1 标准单结光伏电池能量损失过程

① 低于禁带宽度的光子没有被吸收；② 晶格热化损失；③ 结损失；④ 接触损失；⑤ 复合损失

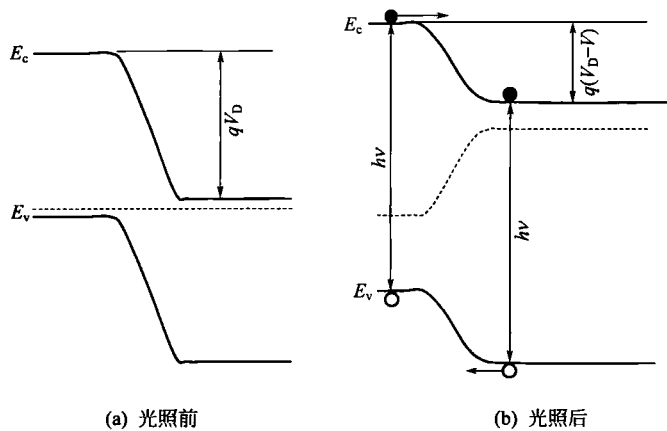


图 1-2 PN 结光照前, 后的能带图

是从 P 型半导体指向 N 型半导体, 与内建电场的方向相反, 如同在 PN 结上加了正向偏压, 使得内建电场的强度减小, 势垒高度降低, 引起 N 区电子和 P 区空穴向对方注入, 形成从 P 型半导体到 N 型半导体的正向电流。正向电流的方向与光生电流的方向相反, 会抵消 PN 结产生的光生电流, 使得提供给外电路的电流减小, 是光伏电池的不利因素, 所以又把正向电流称为暗电流。在 PN 结开路情况下, 光生电流和正向电流相等, PN 结两端建立起稳定的电势差  $V_{oc}$ , 这就是光伏电池的开路电压。如将 PN 结与外电路接通, 只要光照不停止, 就会有源源不断的电流通过电路, PN 结起了电源的作用。这就是光伏电池的基本原理。

由上可知, 光伏电池工作时必须具备下述条件: 首先, 必须有光的照射, 可以是单色光、太阳光或模拟太阳光等; 其次, 光子注入到半导体内后, 激发出电子-空穴对, 这些电子和空穴应该有足够长的寿命, 在分离之前不会复合消失; 第三, 必须有一个静电场, 电子-空穴在静电场的作用下分离, 电子集中在一边, 空穴集中在另一边; 第四, 被分离的电子和空穴由电极收集, 输出到光伏电池外, 形成电流。光伏电池工作原理如图 1-3 所示。

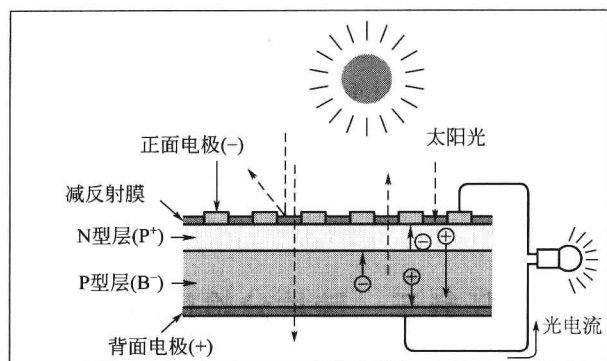


图 1-3 光伏电池工作原理图

## 任务二 晶硅电池产业链工艺流程

在光伏产业中，光伏电池材料有很多种类，如单晶硅、多晶硅、非晶硅、砷化镓、铜铟硒、铜铟镓硒等半导体材料。日常生活中应用最多的是晶硅电池，这得益于硅的一些特殊性质。

硅是地球上储存最丰富的元素之一，在地壳中的丰度为 27.7%。在常温下化学性质稳定，是具有灰色金属光泽的固体，晶态硅的熔点为 1414℃，沸点为 2355℃，原子序数为 14，相对原子质量为 28.085，密度为 2.322.34g/cm<sup>3</sup>，莫氏硬度为 7。

硅以大量的硅酸盐矿石和石英矿的形式存在于自然界。人们脚下的泥土、石头和砂子，使用的砖、瓦、水泥、玻璃和陶瓷等，这些日常生活中经常遇到的物质，都是硅的化合物。由于硅易与氧结合，自然界中没有游离态的硅存在。

晶硅光伏电池是近 15 年来形成产业化最快的。生产过程大致可分为以下几个过程（如图 1-4 所示）。

- ① 工业硅的冶炼 由硅矿石与碳在电弧炉中加热，发生还原反应，生成冶金级硅。
- ② 太阳能级硅的提纯 通过物理提纯或化学提纯工艺，将冶金级硅提纯至太阳能级硅。
- ③ 拉制单晶硅棒或铸锭多晶硅锭 通过直拉法或定向凝固等工艺，将太阳能级硅拉制成单晶硅棒或铸锭成多晶硅锭。

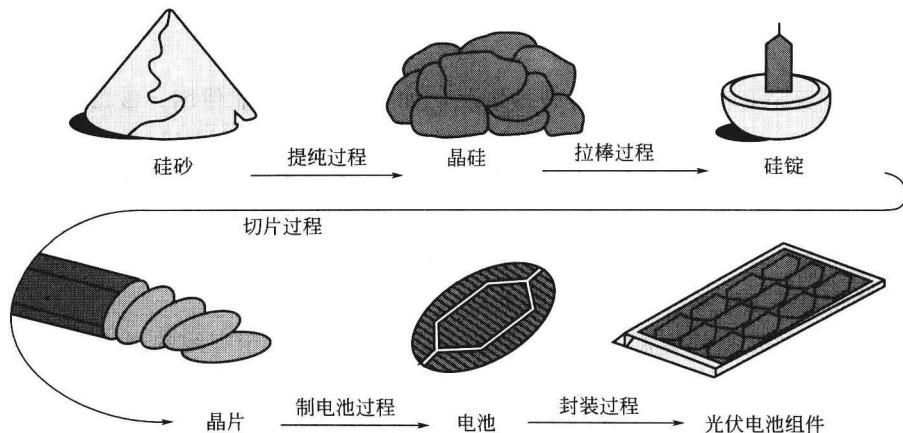


图 1-4 晶硅光伏电池产业链



- ④ 硅片加工 将硅棒或硅锭通过开方、切片、清洗等工艺，切割至所需的尺寸。
- ⑤ 电池制备 将硅片通过制绒、制结、去周边层、去 PSG、镀膜、印刷电极、烧结、检测等工艺制备成电池片，这也是本教材重点所讲解的内容。
- ⑥ 组件制备工艺 将电池片通过激光划片、焊接、敷设、层压、组框等工艺，制备成电池组件。

### 任务三 硅片分检标准

硅片分检主要从以下三个方面进行：尺寸、外观、性能，在本教材中以 156mm×156mm 的硅片为例。

#### 1. 尺寸

尺寸主要从边长、倒角、对角线、厚度等几个方面进行衡量。

- ① 边长 常见 156mm×156mm 的单晶硅片、多晶硅片的边宽要求为  $156\text{mm}\pm 0.5\text{mm}$ 。
- ② 倒角 倒角指晶片边缘通过研磨或腐蚀整形加工成一定角度，以消除晶片边缘尖锐状态，避免在后序加工中造成边缘损失，可防止晶片边缘破裂，防止热应力集中，并增加薄膜层在晶片边缘的平坦度。  
常见 156mm×156mm 多晶硅片倒角的要求为  $0.5\sim 2\text{mm}$ 、 $45^\circ\pm 10^\circ$ ，单晶硅片的要求为  $90^\circ\pm 3^\circ$ 。

③ 对角线 常见 156mm×156mm 的单晶硅片与多晶硅片的对角线要求为  $200\text{mm}\pm 0.3\text{mm}$ 。

④ 厚度 常见 156mm×156mm 的单晶硅片、多晶硅片的厚度为  $200\mu\text{m}$ ，厚度范围为  $200\mu\text{m}\pm 20\mu\text{m}$ 。

#### 注意

① 尺寸分选的目的在于检测硅块开方、倒角和切片中出现的缺陷，以避免出现尺寸偏大或偏小。

- ② 采用抽检的方式或进行检测，每一支晶棒、硅块抽 5~10 片进行检测。
- ③ 测量工具：游标卡尺、同心刻度模板、非接触厚度测试仪。

#### 2. 外观

① 破片 主要是观察硅片是否有破损情况，如有破损则不能使用。破损的硅片如图 1-5 所示（见书后彩页）。

② 线痕 硅块在多线切割时，在硅片表面留下一系列条状、凸纹和凹纹交替形状的不规则线痕。常见的线痕主要有断线焊线后线痕、密集线痕、普通线痕、凹痕、凸痕、凹凸痕、亮线、台阶等。在 156mm×156mm 的硅片中，线痕的要求是  $\leq 10\mu\text{m}$ 。常见的线痕问题及晶片线痕要求如图 1-6 所示（见书后彩页）。

硅片上有明显的发亮的线痕，将该类线痕称之为亮线。对于亮线的规格要求，只考虑亮线的粗糙度，不考虑亮线的条数。规格  $\leq 10\mu\text{m}$ 。

③ 裂纹 有裂纹的硅片，主要是裂纹易延伸到晶片表面，造成晶片的解理或断裂，也可能没有穿过晶片的整个厚度，但造成晶片的破片。常见有裂纹的晶片如图 1-7 所示（见书

后彩页)。

④ 缺角 缺角主要是由于倒角、切片、清洗等工艺过程中所造成。常见的缺角不良品如图 1-8 所示 (见书后彩页)。

⑤ 翘曲度 翘曲度主要指的是硅片中心面与基准面最大、最小距离的差值。翘曲度过大的硅片在组件层压工艺中易碎片。硅片翘曲度的要求一般为 $<50\mu\text{m}$ 。有翘曲度的硅片及翘曲度的测量工具如图 1-9 所示 (见书后彩页)。

⑥ 弯曲度 弯曲度是硅片中心面明显凹凸形变的一种变量,弯曲度过大的硅片在组件层压工艺中易碎片。对于 $156\text{mm}\times 156\text{mm}$ 硅片的要求一般为 $\leq 75\mu\text{m}$ 。弯曲的硅片与检测工具如图 1-10 所示 (见书后彩页)。

⑦ 针孔 材料在长晶时,混有微小的金属杂质,这些杂质在长晶过程中进入晶体,切片后在制绒阶段杂质被腐蚀掉,出现针孔。对于硅片的要求应该无针孔。不良品如图 1-11 所示 (见书后彩页)。

⑧ 微晶 微晶是指每颗晶粒是由几千个或几万个晶胞并置而成的晶体,从一个晶轴的方向来说这种晶体只重复了约几十个周期。对于多晶硅片、单晶硅片微晶,常常表现为微晶脱落,对于硅片的要求为微晶脱落不能超过两处。图 1-12 所示 (见书后彩页)是具有微晶现象的多晶硅片,此图中的微晶面积 $>2\text{cm}^2$ ,晶粒数超过了 10 个,1cm 长度上的晶粒数超过了 10 个。

⑨ 缺口 缺口一般在硅片的边缘与倒角处,常见的为上下贯穿边缘的缺损,如图 1-13 所示 (见书后彩页)。

⑩ 崩边 崩边一般为晶片表面或边缘非有意地造成脱落材料的区域,由传送或放置样品等操作所引起的,崩边的尺寸由样品外形的正投影上所测量的最大径向深度和圆周弦长确定。对于常见 $156\text{mm}\times 156\text{mm}$ 的硅片,崩边的要求为:崩边个数 $\leq 2$ 个,深度 $\leq 0.3\text{mm}$ ,长度 $\leq 0.5\text{mm}$ 。常见有崩边的硅片如图 1-14 所示 (见书后彩页)。

⑪ 污物 污物一般为半导体晶片上的尘埃、晶片表面的污染物;且不能用预检查溶剂清洗去除。对于晶片的要求为无污物。常见有污物的晶片如图 1-15 所示 (见书后彩页),图 1-15 脏污片的杂质主要是氮化硅和碳化硅,图 1-15(b)脏污片的杂质主要是水痕等,图中的脏污片均是不合格的晶片。

### 注意

- ① 外观缺陷检查目的在于检查硅片在切片和清洗过程中是否造成外观缺陷。
- ② 硅片采用全部检测的方式进行检验。
- ③ 常用测量工具是十倍放大镜、塞尺、线痕表面深度测试仪。

## 3. 硅片性能测试

① 电阻率测试 电阻率为荷电载体通过材料受阻程度的一种量度,是用来表示各种物质电阻特性的物理量,符号为 $\rho$ ,单位为 $\Omega\cdot\text{cm}$ 。 $156\text{mm}\times 156\text{mm}$ 硅片的电阻率规格为 $0.5\sim 3\Omega\cdot\text{cm}$ 。检测如图 1-16 所示。

② 导电类型 半导体导电类型根据掺杂剂的选择与掺杂剂的量不同,导致半导体材料中的多数载流子可能是空穴或者电子,空穴为主的是 P 型,电子为主的是 N 型。目前光伏电池应用的硅片为 P 型,测试工具为电阻率测试仪,如图 1-17 所示。

③ TTV TTV 为总厚度偏差,即晶片厚度的最大值和最小值的差,晶片总厚度偏差的要求为 $\leq 30\mu\text{m}$ 。常用测量工具为测厚仪,如图 1-18 所示。

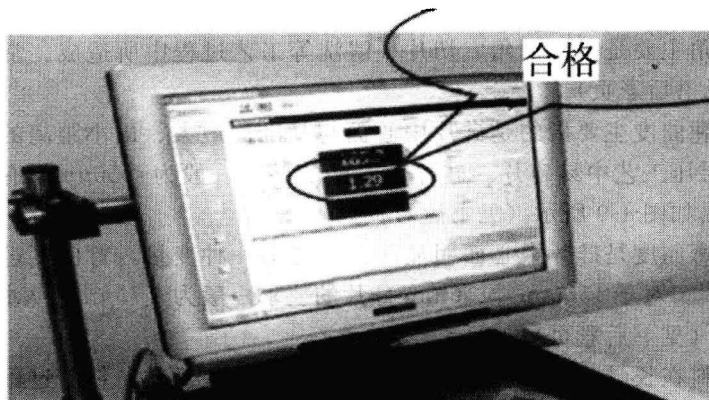


图 1-16 正在检测晶片的电阻率

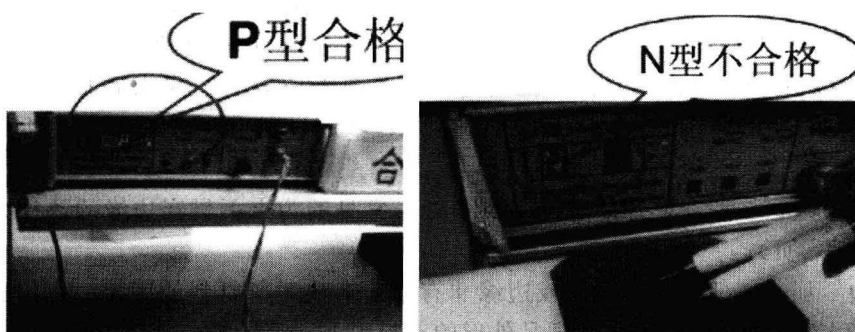


图 1-17 电阻率测试仪

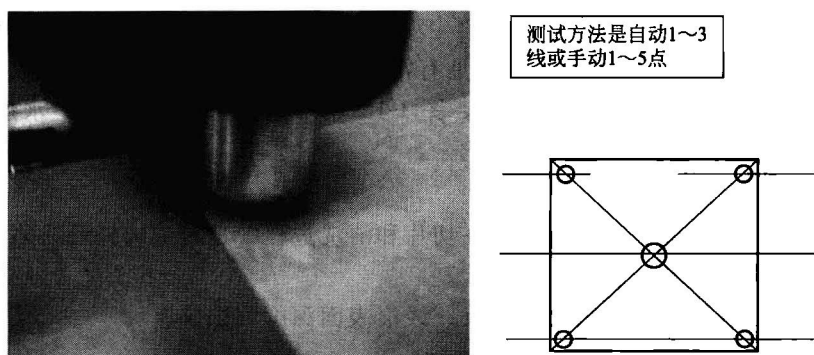


图 1-18 测厚仪及测量方法

④ 少子寿命 少子寿命指的是晶体中非平衡载流子由产生到复合存在的平均时间间隔，它等于非平衡少数载流子浓度衰减到起始值的  $1/e$  ( $e=2.718$ ) 所需的时间。对于单晶硅片和多晶硅片，少子寿命的要求不同，多晶 $\geq 2\mu\text{s}$ ，单晶 $\geq 10\mu\text{s}$ 。常用检测工具为少子寿命测试仪，如图 1-19 所示。

#### 注意

- ① 硅片性能检测的目的在于检测硅片的内在性能指标，以满足电池片的需求。
- ② 采用全部检测的方式进行检验。



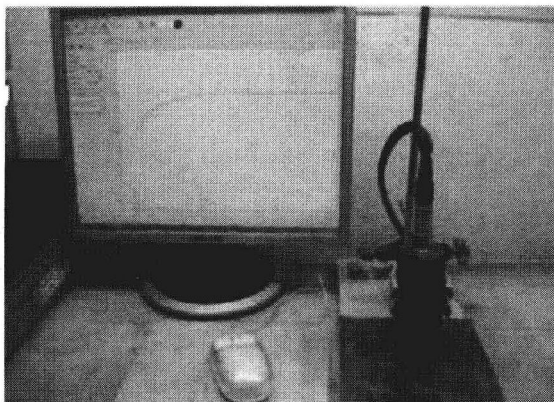


图 1-19 少子寿命测试仪

## 任务四 Fortix 分选机的使用与维护

Fortix 分选机主要用来对来料硅片的尺寸、厚度、表面粘污、TTV、少子寿命等参数进行检测。具体流程如下。

### 1. 开机

首先将总电源打开，如图 1-20 所示。

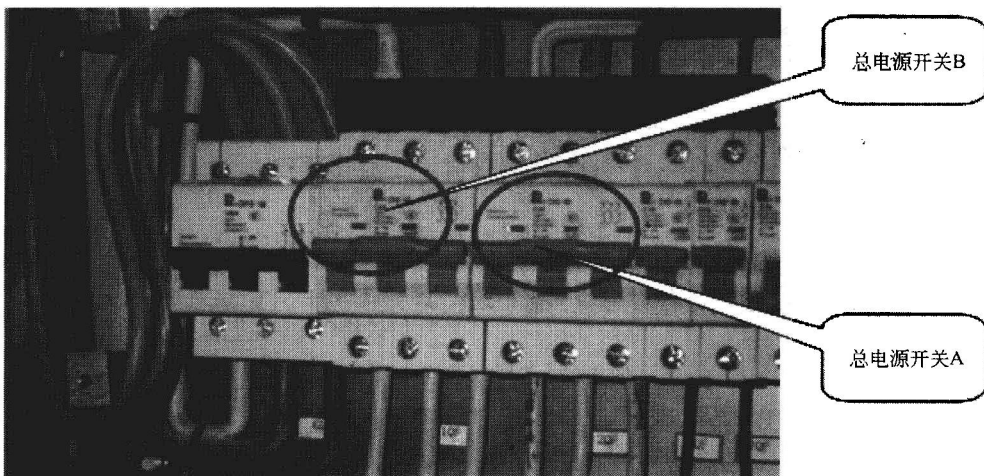


图 1-20 机器电源开关

随后将 Fortix 机台电源 (Main Power) 打开，如图 1-21 所示。

将 Semilab 主机和 Fortix 主机的 UPS 电源分别打开，如图 1-22 所示。

将 Inteckplus 开机 (红色圆圈处钥匙旋转，打开盖子后按下里面的黑色电源开关)，如图 1-23 所示。待 UPS 处于 On Line 状态时，将 Fortix 和 Semilab 开机。

按 Semilab 键盘上 Ctrl 两次，是切换键，可以进行少子寿命模组和厚度电阻率 TTV 模组之间的切换。

将 Inteckplus 开机 (红色圆圈处钥匙旋转，打开盖子后按下里面黑色电源开关)，如图 1-24 所示。



图 1-21 Fortix 机台电源

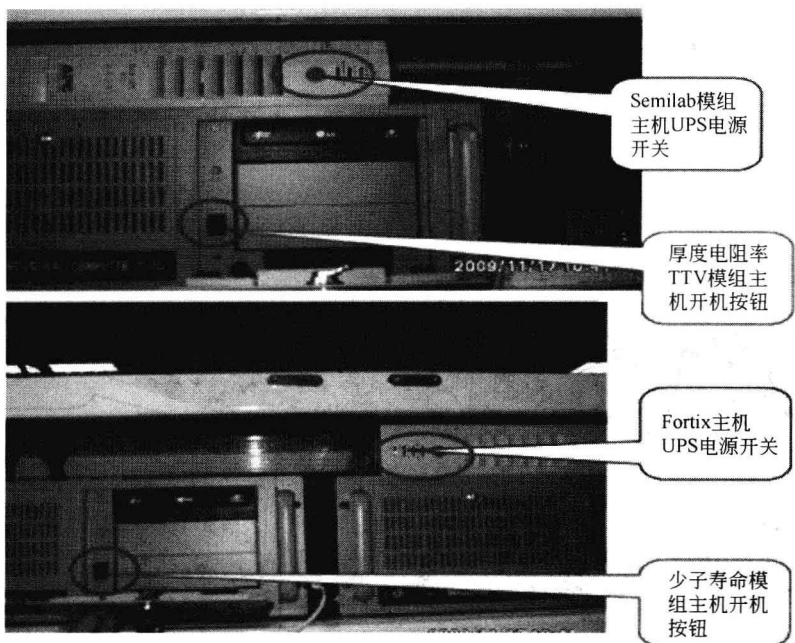


图 1-22 Fortix 机台电源

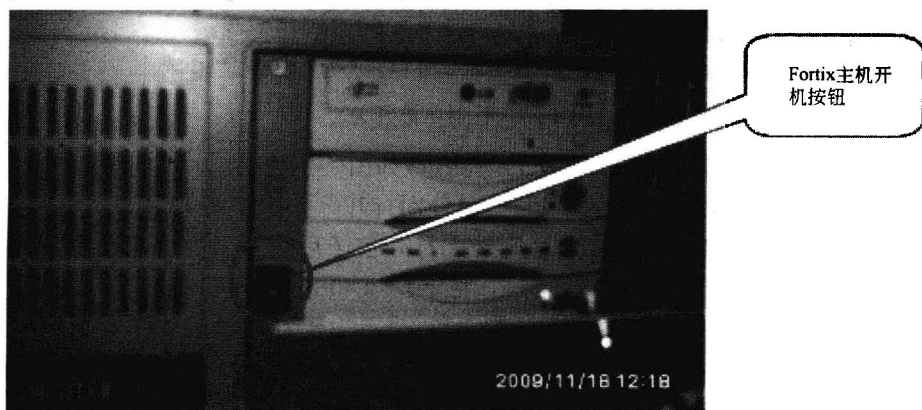


图 1-23 Inteckplus 开机 (一)

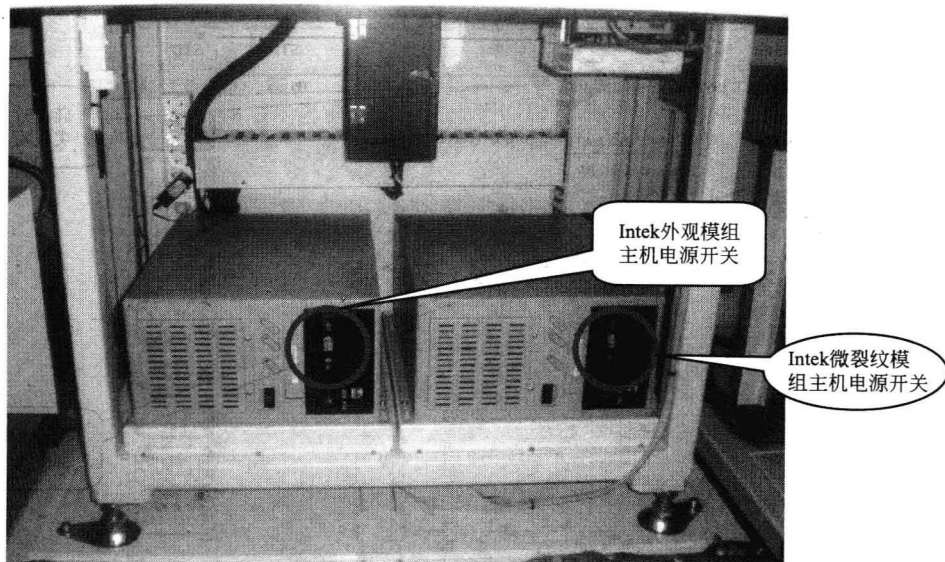


图 1-24 Inteckplus 开机 (二)

Intek: 单击桌面上 Isolar 和 Host 快捷方式, 进入 Vision1 (尺寸、油污、崩边)。按两下 Ctrl 键, 就切换到 Vision2 (微裂纹) 以及 Vision3。

三台电脑软件全部开启后, 首先要 Handler Initialize, 然后单击右上角处 Vision 2、Vision 3 使其显示绿色, 如不能正常显示绿色, 表示 Vision2、Vision 3 未开机或者软件未打开, 最后进行 host 数据保存操作步骤, 如图 1-25 所示。

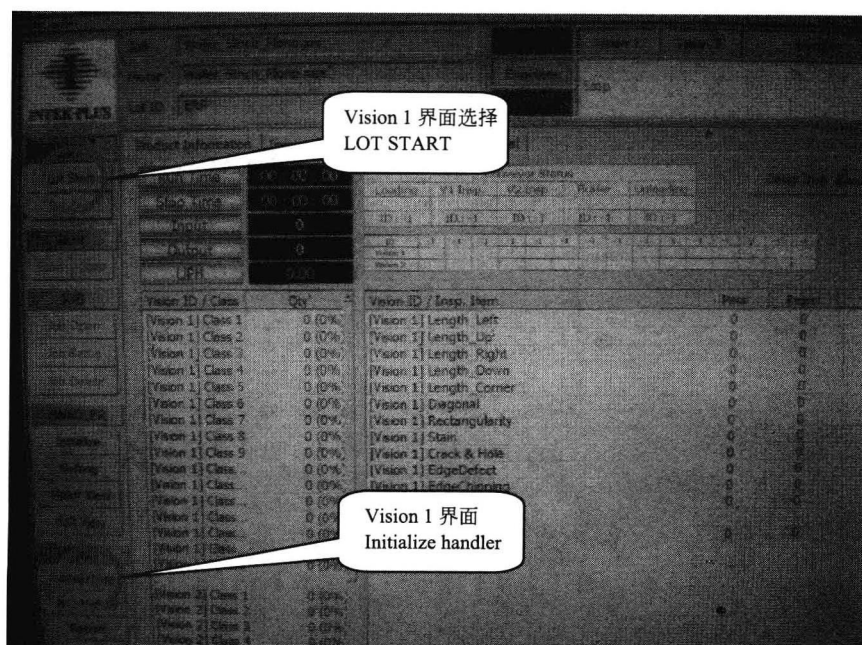


图 1-25 host 数据

## 2. FORTIX 主机操作

① 开机后打开 FXA 软件, 进入 MMI 界面, 如图 1-26 所示。