

1

电池片的检测

【项目导读】

通过分级检测，将性能相近的电池片进行分类包装，合格的电池片出厂，将不合格的电池片进行回收再处理。本项目规定了单晶硅、多晶硅电池片来料的检验方法，通过检验确保单晶硅、多晶硅电池片的各项性能指标符合要求。通过学习对太阳能电池片的外观检测和电性能检测，学生应能正确校准和使用太阳能电池片分选仪。

任务 1.1 认识太阳能电池片

【任务目标】

掌握太阳能电池的分类、组成结构和发电原理。

【任务描述】

太阳能电池是光伏组件的核心部件，其性能的好坏直接影响到光伏组件的性能。本任务主要是让学生掌握太阳能电池的分类、组成结构及发电原理。

【相关知识】

1.1.1 基本特性

太阳能电池的基本特性有太阳能电池的极性、太阳能电池的性能参数、太阳能电池的伏

安特性三个方面。

1. 太阳能电池的极性

硅太阳能电池一般被制成 P+/N 型结构或 N+/P 型结构，P+和 N+表示太阳能电池正面光照层半导体材料的导电类型；N 和 P 表示太阳能电池背面衬底半导体材料的导电类型。太阳能电池的电性能与制造电池所用半导体材料的特性有关。

2. 太阳能电池的性能参数

太阳能电池的性能参数由开路电压、短路电流、最大输出功率、填充因子、转换效率等组成。这些参数是衡量太阳能电池性能好坏的标志。

3. 太阳能电池的伏安特性

P-N 结太阳能电池包含一个形成于表面的浅 P-N 结、一个条状及指状的正面欧姆接触、一个涵盖整个背部表面的背面欧姆接触以及一层在正面的抗反射层。当电池暴露于太阳光谱时，能量小于禁带宽度 E_g 的光子对电池输出并无贡献。能量大于禁带宽度 E_g 的光子才会对电池输出贡献能量 E_g ，大于 E_g 的能量则会以热的形式消耗掉。因此，在太阳能电池的设计和制造过程中，必须考虑这部分热量对电池稳定性、寿命等的影响。

1.1.2 电池材料

太阳能电池的材料种类非常多，有非晶硅、多晶硅、CdTe、CuInxGa_(1-x)Se₂ 等半导体材料，或三五族、二六族的元素链结的材料，简单地说，凡光照后能产生电能的，就是太阳能电池寻找的材料。

电动车太阳能充电站主要是透过不同的制程和方法，测试对光的反应和吸收，做到能隙结合宽广，让短波长或长波长都可以全盘吸收的革命性突破，来降低材料的成本。

太阳能电池形式上分有基板式或是薄膜式，基板在制程上可分拉单晶式的，或相溶后冷却结成多晶的块材，薄膜式可和建筑物有较佳结合，如有曲度或可挠式、折叠型，材料上较常用非晶硅。另外还有一种有机或纳米材料，它仍属于前瞻研发。因此，也就出现了不同时代的太阳能电池：第一代为基板硅晶（Silicon Based）、第二代为薄膜（Thin Film）、第三代为新观念研发（New Concept）、第四代为复合薄膜材料。

第一代太阳能电池发展最长久，技术也最成熟，可分为单晶硅（Monocrystalline Silicon）、多晶硅（Polycrystalline Silicon）、非晶硅（Amorphous Silicon）。以应用来说，以前两者——单晶硅与多晶硅为大宗。

第二代薄膜太阳能电池以薄膜制程来制造电池。种类可分为碲化镉（Cadmium Telluride, CdTe）、铜铟硒化物（Copper Indium Selenide, CIS）、铜铟镓硒化物（Copper Indium Gallium Selenide, CIGS）、砷化镓（Gallium Arsenide, GaAs）。

第三代电池与前代电池最大的不同是制程中引入了有机物和纳米科技。种类有光化学太阳能电池、染料光敏化太阳能电池、高分子太阳能电池、纳米结晶太阳能电池。

第四代太阳能电池则是针对电池吸收光的薄膜做出多层结构。

某种电池制造技术并非仅能制造一种类型的电池，例如在多晶硅制程中，既可制造出硅晶板类型，也可以制造出薄膜类型。

1.1.3 光伏发电系统构成

太阳能发电分为光热发电和光伏发电。通常说的太阳能发电指的是太阳能光伏发电，简称“光电”。光伏发电是利用半导体界面的光生伏特效应而将光能直接转变为电能的一种技术。这种技术的关键元件是太阳能电池。太阳能电池经过串联后进行封装保护可形成大面积的太阳能电池组件，再配合上功率控制器等部件就形成了光伏发电装置。

太阳能发电系统由太阳能电池组件、太阳能控制器、蓄电池（组）等组成，如图 1-1-1 所示。

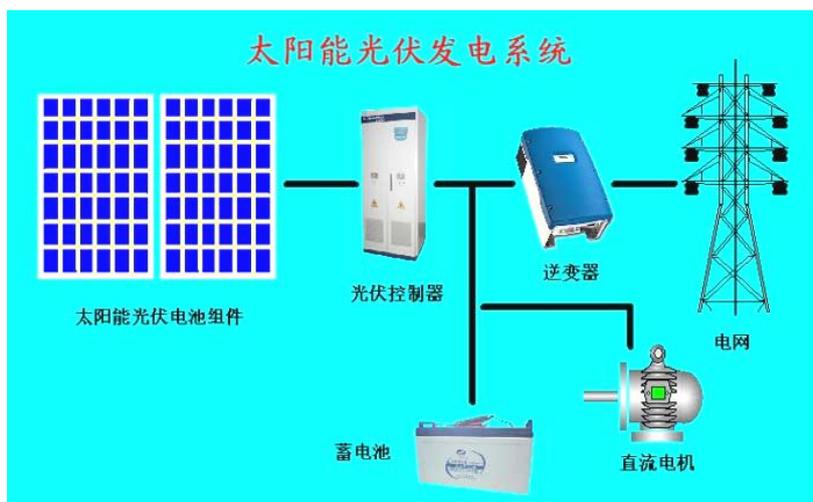


图 1-1-1 光伏发电系统组成

若输出电源为交流 220 V 或 110 V，则需要配置逆变器。各部分的作用分别为：

(1) 太阳能电池板：太阳能电池板是太阳能发电系统中的核心部分，也是太阳能发电系统中价值最高的部分。其作用是将太阳的辐射能转换为电能，或送往蓄电池中存储起来，或推动负载工作。太阳能电池板的质量和成本将直接决定整个系统的质量和成本。

(2) 太阳能控制器：太阳能控制器的作用是控制整个系统的工作状态，并对蓄电池起到过充电保护、过放电保护的作用。在温差较大的地方，合格的控制器还应具备温度补偿的功能。其他附加功能如光控开关、时控开关等都应当是控制器的可选项。

(3) 蓄电池：一般为铅酸电池，小微型系统中也可用镍氢电池、镍镉电池或锂电池。其作用是在有光照时将太阳能电池板所发出的电能储存起来，到需要的时候再释放出来。

(4) 逆变器：在很多场合，都需要提供 220V AC、110V AC 的交流电源。由于太阳能的直接输出一般都是 12V DC、24V DC、48V DC，为能向 220V AC 的电器提供电能，需要将太阳能发电系统所发出的直流电能转换成交流电能，因此需要使用 DC-AC 逆变器。在某些场合，

需要使用多种电压的负载时，也要用到 DC-DC 逆变器，如将 24V DC 的电转换成 5V DC 的电（注意此处不是简单的降压）。

【任务实施】

1.1.4 电池片的分类

太阳能电池按结晶状态可分为结晶系薄膜式和非结晶系薄膜式两大类，而前者又分为单结晶形和多结晶形。根据所用材料的不同，太阳能电池还可分为：硅太阳能电池、多元化合物薄膜太阳能电池、聚合物多层修饰电极型太阳能电池、纳米晶太阳能电池、有机太阳能电池、塑料太阳能电池，其中硅太阳能电池是发展最成熟的，在应用中居主导地位。

1. 硅太阳能电池

硅太阳能电池分为单晶硅太阳能电池、多晶硅薄膜太阳能电池和非晶硅薄膜太阳能电池三种。工业上生产的硅电池片规格一般为单晶硅（直径为 125mm 或 156mm）、多晶硅（直径为 125mm 和 156mm）四种。其中，单晶硅电池片一般有倒角和绒面，多晶硅片表面表面常伴有冰花状花纹，单晶硅片表面则是细小的颗粒。另外，单晶硅片一般呈现黑色，多晶硅片偏蓝色。

单晶硅太阳能电池转换效率最高，技术也最为成熟。单晶硅太阳能电池在实验室里最高的转换效率为 25%，规模生产时效率为 20%，在大规模应用和工业生产中仍占据主导地位，但由于单晶硅成本价格高，大幅度降低其成本很困难，为了节省硅材料，我们发展了多晶硅薄膜和非晶硅薄膜作为单晶硅太阳能电池的替代产品。

多晶硅薄膜太阳能电池与单晶硅太阳能电池比较，成本低廉，而且效率高于非晶硅薄膜太阳能电池，其实验室最高转换效率为 20%，工业规模生产的转换效率为 18%。因此，多晶硅薄膜太阳能电池不久将会在太阳能电池市场上占据主导地位。

非晶硅薄膜太阳能电池成本低、重量轻、转换效率较高，便于大规模生产，有极大的潜力。但受制于其材料引发的光电效率衰退效应，它的稳定性不高，直接影响了其实际应用。如果能进一步解决稳定性问题及提高转换率问题，那么，非晶硅太阳能电池无疑是太阳能电池的主要发展产品之一。

2. 多晶体薄膜电池

多晶体薄膜电池中硫化镉、碲化镉多晶薄膜电池的效率较非晶硅薄膜太阳能电池效率高，成本较单晶硅电池低，并且易于大规模生产，但由于镉有剧毒，会对环境造成严重的污染，因此，它并不是晶体硅太阳能电池最理想的替代产品。

砷化镓（GaAs）III-V 化合物电池的转换效率可达 28%，GaAs 化合物材料具有十分理想的光学带隙以及较高的吸收效率，抗辐照能力强，对热不敏感，适合于制造高效单结电池，但是 GaAs 材料的价格不菲，因而在很大程度上限制了用 GaAs 电池的普及。

铜铟硒薄膜电池（简称“CIS”）适合光电转换，不存在光致衰退问题，转换效率和多晶硅电池一样，具有价格低廉、性能良好和工艺简单等优点，它将成为今后发展太阳能电池的一

个重要方向。唯一的问题是材料的来源，由于镉和硒都是比较稀有的元素，因此，这类电池的发展又必然受到限制。

3. 有机聚合物电池

以有机聚合物代替无机材料是刚刚开始的一个太阳能电池制造的研究方向。由于有机材料具有柔性好、制作容易、材料来源广泛、成本低等优势，从而对大规模利用太阳能，提供廉价电能具有重要意义。但以有机材料制备太阳能电池的研究仅仅刚开始，不论是使用寿命，还是电池效率都不能和无机材料特别是硅电池相比。能否发展成为具有实用意义的产品，还有待于进一步研究探索。

1.1.5 电池片组成结构

电池片的正面电极为负极，电极材料为丝网印刷用银浆；背面电极为正极，电极材料为丝网印刷用银浆或银铝浆。多晶硅电池片结构如图 1-1-2 所示。

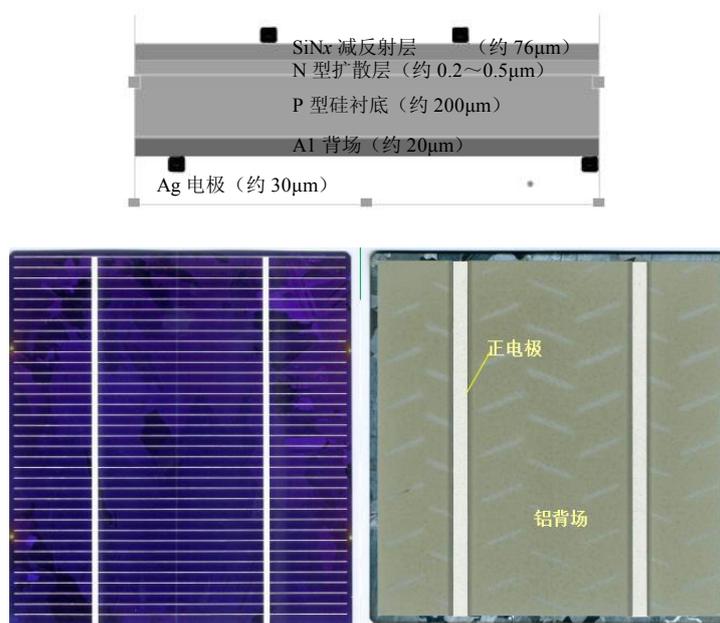


图 1-1-2 多晶硅电池片结构图

1.1.6 光伏发电原理

光生伏特效应：假设光线照射在太阳能电池上并且光在界面层被接纳，具有足够能量的光子可以在 P 型硅和 N 型硅中将电子从共价键中激起，致使发电子一空穴对。界面层临近的电子和空穴在复合之前，将经由空间电荷的电场结果被相互分别。电子向带正电的 N 区运动，空穴向带负电的 P 区运动。经由界面层的电荷分别在 P 区和 N 区之间发一个向外的可

测试的电压。此时可在硅片的两边加上电极并接入电压表。对晶体硅太阳能电池来说，开路电压的典型数值为 $0.5\sim 0.6\text{V}$ 。经由光照在界面层发作的电子—空穴对越多，电流越大。界面层接纳的光能越多，界面层即电池面积越大，在太阳能电池中组成的电流也越大。太阳能电池的基本原理如图 1-1-3 所示。

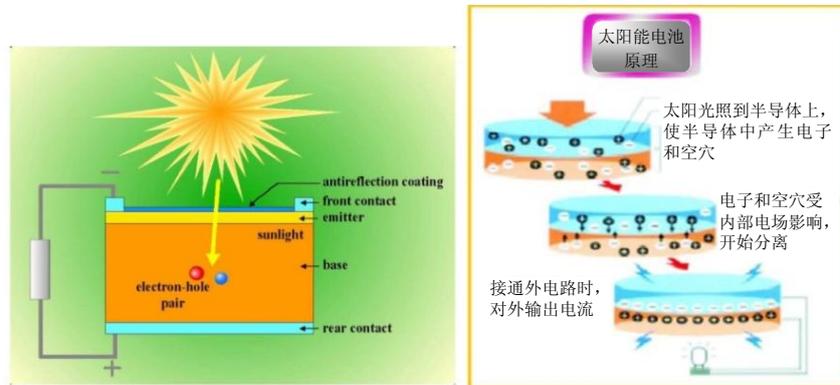


图 1-1-3 太阳能电池基本原理

太阳光照在半导体 P-N 结上，形成新的空穴—电子对，在 P-N 结电场的作用下，空穴由 N 区流向 P 区，电子由 P 区流向 N 区，接通电路后就形成电流。这就是光电效应太阳能电池的工作原理。

太阳能发电方式有两种：一种是光—热—电转换方式，另一种是光—电直接转换方式。

光—热—电转换方式通过利用太阳辐射产生的热能发电，一般是由太阳能集热器将所吸收的热能转换成工质的蒸气，再驱动汽轮机发电。前一个过程是光—热转换过程；后一个过程是热—动再转换成电过程，与普通的火力发电一样。太阳能热发电的缺点是效率很低而成本很高，估计它的投资至少要比普通火电站贵 $5\sim 10$ 倍。

光—电直接转换方式是利用光电效应，将太阳辐射能直接转换成电能，光—电转换的基本装置就是太阳能电池。太阳能电池是一种由于光生伏特效应而将太阳光能直接转化为电能的器件，是一个半导体光电二极管，当太阳光照到光电二极管上时，光电二极管就会把太阳的光能变成电能，产生电流。许多个电池串联或并联起来就可以成为有比较大的输出功率的太阳能电池方阵了。太阳能电池是一种大有前途的新型电源，具有永久性、清洁性和灵活性三大优点。太阳能电池寿命长，只要太阳存在，太阳能电池就可以一次投资而长期使用，与火力发电相比，太阳能电池不会引起环境污染。

1.1.7 太阳能电池片生产

1. 硅片检测

硅片是太阳能电池片的载体，硅片质量的好坏直接决定了太阳能电池片转换效率的高低，

因此需要对来料硅片进行检测。该工序主要用来对硅片的一些技术参数进行在线测量,这些参数主要包括硅片表面平整度、少子寿命 ($>10\mu\text{s}$)、电阻率、P/N 型和微裂纹等。检测设备分自动上下料、硅片传输、系统整合部分和四个检测模块。其中,光伏硅片检测仪对硅片表面平整度进行检测,同时检测硅片的尺寸和对角线等外观参数;微裂纹检测模块用来检测硅片的内部微裂纹;另外还有两个检测模块,其中一个在线测试模块主要测试硅片体电阻率和硅片类型,另一个模块用于检测硅片的少子寿命。在进行少子寿命和电阻率检测之前,需要先对硅片的对角线、微裂纹进行检测,并自动剔除破损硅片。硅片检测设备能够自动装片和卸片,并且能够将不合格品放到固定位置,从而提高检测精度和效率。

2. 表面制绒

单晶硅绒面的制备是利用硅的各向异性进行腐蚀,在每平方厘米硅表面形成几百万个四面方锥体,即金字塔结构。由于入射光在表面的多次反射和折射,增加了光的吸收,提高了电池的短路电流和转换效率。硅的各向异性腐蚀液通常为热的碱性溶液,可用的碱有氢氧化钠、氢氧化钾、氢氧化锂和乙二胺等。大多使用廉价的浓度约为 1% 的氢氧化钠稀溶液来制备绒面硅,腐蚀温度为 $70^{\circ}\text{C}\sim 85^{\circ}\text{C}$ 。为了获得均匀的绒面,还应在溶液中酌量添加醇类(如乙醇和异丙醇等)作为络合剂,以加快硅的腐蚀。制备绒面前,硅片须先进行初步表面腐蚀,用碱性或酸性腐蚀液蚀去约 $20\sim 25\mu\text{m}$,在腐蚀绒面后,进行一般的化学清洗。经过表面准备的硅片都不宜在水中久存,以防沾污,应尽快扩散制结。

3. 扩散制结

太阳能电池需要一个大面积的 PN 结以实现光能到电能的转换,而扩散炉即为制造太阳能电池 PN 结的专用设备。管式扩散炉主要由石英舟的上下载部分、废气室、炉体部分和气柜部分等四大部分组成。扩散一般用三氯氧磷液态源作为扩散源。把 P 型硅片放在管式扩散炉的石英容器内,在 $850^{\circ}\text{C}\sim 900^{\circ}\text{C}$ 高温下使用氮气将三氯氧磷带入石英容器,通过三氯氧磷和硅片进行反应,得到磷原子。经过一定时间,磷原子从四周进入硅片的表面层,并且通过硅原子之间的空隙向硅片内部渗透扩散,形成了 N 型半导体和 P 型半导体的交界面,也就是 PN 结。这种方法制出的 PN 结均匀性好,方块电阻的不均匀性小于百分之十,少子寿命可大于 10ms。制造 PN 结是太阳电池生产最基本也最关键的工序。因为正是 PN 结的形成,才使电子和空穴在流动后不再回到原处,这样就形成了电流,用导线将电流引出,就产生了直流电。

4. 去磷硅玻璃

该工艺用于太阳能电池片生产制造过程中,通过化学腐蚀法,即把硅片放在氢氟酸溶液中浸泡,使其产生化学反应生成可溶性的六氟硅酸络合物,以去除扩散制结后在硅片表面形成的一层磷硅玻璃。在扩散过程中, POCl_3 与 O_2 反应生成 P_2O_5 淀积在硅片表面。 P_2O_5 与 Si 反应又生成 SiO_2 和磷原子,这样就在硅片表面形成一层含有磷元素的 SiO_2 ,称之为磷硅玻璃。去磷硅玻璃的设备一般由本体、清洗槽、伺服驱动系统、机械臂、电气控制系统和自动配酸系统等部分组成,主要动力源有氢氟酸、氮气、压缩空气、纯水、热排风和废水。氢氟酸能够溶解二氧化硅是因为氢氟酸与二氧化硅反应生成易挥发的四氟化硅气体。若氢氟酸过量,反应生

成的四氟化硅会进一步与氢氟酸反应生成可溶性的六氟硅酸络合物。

5. 等离子刻蚀

由于在扩散过程中，即使采用背靠背扩散，硅片的所有表面包括边缘都将不可避免地扩散上磷。PN结的正面所收集到的光生电子会沿着边缘扩散，经有磷的区域流到PN结的背面，而造成短路。因此，必须对太阳能电池周边的掺杂硅进行刻蚀，以去除电池边缘的PN结。通常采用等离子刻蚀技术完成这一工艺。等离子刻蚀是在低压状态下进行的，反应气体 CF_4 的母体分子在射频功率的激发下，产生电离并形成等离子体。等离子体是由带电的电子和离子组成，反应腔体中的气体在电子的撞击下，除了转变成离子外，还能吸收能量并形成大量的活性基团。活性反应基团由于扩散或者在电场作用下到达 SiO_2 表面，在那里与被刻蚀材料表面发生化学反应，并形成挥发性的反应生成物从而脱离被刻蚀物质表面，被真空系统抽出腔体。

6. 镀减反射膜

抛光硅表面的反射率为35%，为了减少表面反射，提高电池的转换效率，需要沉积一层氮化硅减反射膜。现在工业生产中常采用PECVD设备制备减反射膜。PECVD即等离子增强型化学气相沉积。它的技术原理是利用低温等离子体作能量源，将样品置于低气压下辉光放电的阴极上，利用辉光放电使样品升温到预定的温度，然后通入适量的反应气体 SiH_4 和 NH_3 ，气体经一系列化学反应和等离子体反应，在样品表面形成固态薄膜，即氮化硅薄膜。一般情况下，使用这种等离子增强型化学气相沉积的方法沉积的薄膜厚度在70nm左右。这样厚度的薄膜具有光学的功能性。利用薄膜干涉原理，可以使光的反射大为减少，电池的短路电流和输出就有很大增加，效率也会有相当大的提高。

7. 丝网印刷

太阳能电池经过制绒、扩散及PECVD等工序后，已经制成PN结，可以在光照下产生电流，为了将产生的电流导出，需要在电池表面上制作正、负两个电极。制造电极的方法很多，而丝网印刷是目前制作太阳能电池电极最普遍的一种生产工艺。丝网印刷是采用压印的方式将预定的图形印刷在基板上，所需设备由电池背面银铝浆印刷、电池背面铝浆印刷和电池正面银浆印刷三部分组成。其工作原理为：利用丝网图形部分的网孔透过浆料，用刮刀在丝网的浆料部位施加一定压力，同时朝丝网另一端移动。油墨在移动中被刮刀从图形部分的网孔中挤压到基板上。由于浆料的黏性作用，印迹固着在一定范围内，印刷中刮板始终与丝网印版和基板呈线性接触，接触线随刮刀移动而移动，从而完成印刷行程。

8. 快速烧结

经过丝网印刷后的硅片不能直接使用，需经烧结炉快速烧结，将有机树脂黏合剂燃烧掉，剩下几乎纯粹的，由于玻璃质作用而密合在硅片上的银电极。当银电极和晶体硅在温度达到共晶温度时，晶体硅原子以一定的比例融入到熔融的银电极材料中去，从而形成上下电极的欧姆接触，提高电池片的开路电压和填充因子两个关键参数，使其具有电阻特性，以提高电池片的转换效率。烧结过程分为预烧结、烧结、降温冷却三个阶段。预烧结阶段的目的是使浆料中的高分子黏合剂分解、燃烧掉，此阶段温度慢慢上升；烧结阶段中烧结体内完成各种物理化学反

应，形成电阻膜结构，使电池片真正具有电阻特性，该阶段温度达到峰值；降温冷却阶段中玻璃冷却硬化并凝固，使电阻膜结构固定地黏附于基板上。

【任务训练】

1. 通过调研，了解目前太阳能电池的发展情况，提交调研报告。
2. 通过调研，了解高效太阳能电池的组件封装技术，提交调研报告。

任务 1.2 太阳能电池的外观检测

【任务目标】

掌握太阳能电池的外观检验标准和外观检查方法。

【任务描述】

太阳能电池的外观除了影响光伏组件的外观外，也会影响光伏组件的使用性能和转换效率。本任务主要是让学生掌握太阳能电池的外观检验标准和外观检查方法。

【相关知识】

1.2.1 外观检验项目和标准

外观检验就是按照相关的质量检验标准（包括合同、合约、设计文件、技术标准、检验方法）对原材料进行外观检测，包括采用仪器设备检验或通过检验人员的感官来判断、检验。除了目测外，利用金相显微镜也是常见的检验方法。作为例子，这里给出单晶硅和多晶硅电池片外观检验项目和标准，如表 1-2-1 所示。

表 1-2-1 单晶硅和多晶硅电池片外观检验项目和标准

序号	检验项目	检验标准
1	裂纹片、碎片、穿孔片	如存在，判定为不符合标准
2	V 形缺口/缺角	如存在，判定为不符合标准
3	崩边	深度小于 0.5mm，长度小于 1mm，数目不超过 2 个
4	弯曲度	以塞尺测量电池片的弯曲度，125mm×125mm 电池片的弯曲度不超过 0.75mm；156mm×156mm 电池片的弯曲度不超过 1.5mm
5	正面色彩及其均匀性	在日常光照情况下，在电池片上方正对电池片观测时电池片呈蓝色；与电池片表面成 35°角观察，电池片呈褐、紫、蓝三色，目视颜色均匀

续表

序号	检验项目	检验标准
6	色差/色斑/水痕	同一批次电池片的颜色应该一致。同一片电池上因这些元素导致的色彩不均匀面积应小于 2cm^2 ，无明显色差、水痕、手印
7	正面次栅线	断线少于或等于 3 条，每条长度小于 3mm，不能允许有两个平行断线存在
8	正面栅线结点	少于 3 处，每处长度和宽度均小于 0.5mm
9	电池片正面漏浆	肉眼观测应小于 2 处，总面积小于 1.5mm^2
10	正面主栅线漏印缺损	不能多于 1 处，面积小于 2.2mm^2
11	正面印刷图案偏离	四周印刷外围到硅片边沿距离不大于 0.5mm
12	电池片正面划伤	电池片表面无划伤，但对于在制作过程中采用激光刻蚀工艺的电池片的边沿刻蚀线除外
13	背面铝印刷的均匀性	均匀，无明显不良现象
14	由于烧结炉传送带结构等因素导致的背面铝缺损	鼓包高度不大于 0.2mm，且总面积须不大于 1.0mm^2
15	背面印刷图案偏离	背面印刷外围到硅片边沿距离不大于 0.5mm
16	背面银铝电极缺损	断线不能多于 1 处，且长度不大于 5.0mm

1.2.2 异常情况处理方式

发现异常情况应该怎样去做？首先该做什么？其次再做什么？何为异常？

只要是连续出现或者间断出现次数较多的异于正常的生产情况都属于异常（偏好或偏差）。

当我们发现这些情况时应该怎样做呢？

- 首先要先判断异常情况是属于哪个制程？然后通知相关制程人员。
- 若确信自己可以找相关制程人员沟通，提出改善现状要求，并且能够跟踪改善结果，可以自己处理好那是非常好，如果做不到或通知后不起效果找领班去处理。
- 我们大家都要养成一个好习惯，那就是善于发现问题，试着去解决，这样你会学到很多东西。

（1）色差片是怎样产生的？

这与化学气相沉积时间有关，时间长会发白，时间短会发黄。

（2）光面片是怎样产生的？

首先是因为片子本身就是光面片，其次是在腐蚀中加入 NaOH 量过多而造成的。

（3）对外形片如何处理？

单测单包（前道丝印也要单独挑出，选择合适的网板印刷）。

（4）绒面色斑是怎么来的？

一方面是硅片的表面存在一定的脏污在制绒时没能清洗干净，另一方面是我们的工艺卫生不到位，手指印、吸盘印、化学品没有处理干净。

(5) 对未烧透的片子如何理解？

硅片与硅片之间存在一定的厚度差，如果薄片中间夹着厚片就会烧不透，烧结的温度低了。

(6) 如何导致隐裂片？如何判断？

基本上是原材料的问题，另外是片子在扩散高温反应后内部分子发生碰撞。在多晶片里，有些隐裂片裂痕不是很长，可以按文件要求作需切角。

(7) 如何判断氧化的电池片？

如果没有将电池片烘干，可根据其氧化后的颜色（氧化后为黄色）判断。

(8) 如何知道漏浆发生在哪一道？

以浆料的颜色来判，第二道与第三道的浆料是不变的，分别是铝浆和银浆，颜色分别为灰色、白色。第一道有可能是银浆或银铝浆，银铝浆是灰白色，另外，要看漏浆的位置。

(9) 对断线未超过 2mm 的电池片，为什么判定标准不一致？

首先按照文件判定是否超过要求的条数，如果没有，按断线的明显程度及位置再进行判定。

【任务实施】

1.2.3 认识金相显微镜

1. 金相显微镜的结构及作用

太阳能电池检查显微镜（55C-DCB 型显微镜如图 1-2-1 所示）可对太阳能电池生产过程中每个环节产生的表面缺陷进行细微的检查和测量。它不仅检查太阳能电池表面颜色色差、绒面色斑、亮斑、裂纹、穿孔、崩边、掉角、缺口、印刷偏移，主、副栅线及背电极的断线、缺损、扭曲、变色等缺陷，还可对杂质、残留物成分进行分析。杂质包括：颗粒、有机杂质、无机杂质、金属离子、硅粉粉尘等。造成磨片后的硅片易发生变花、发蓝、发黑等现象，太阳能电池检查显微镜同时可以测量太阳能电池片裂纹长度，崩边长度角度，印刷位移角度偏差，主、副栅线及背电极的宽度、均匀度，栅线间距离及副栅线到电池边的距离，栅线、断线长度，断线缺损和变色的面积等。金相显微镜系统配置了优质无限远光路系统的三目透反射金相显微镜 XJ-55C、500 万高清晰数字摄像头及图像测量管理软件，可对太阳能电池板图像进行检查、拍照、测量、编辑和保存输出等多种操作。金相显微镜是太阳能电池硅片检查的理想仪器。

金相显微镜的性能特点：

- (1) 显微镜采用了最为先进的无限远光路设计，使成像更清晰。
- (2) 配置了落射照明装置、视场光阑和孔径光阑，同时配有偏光装置。
- (3) 可以测量太阳能电池片裂纹长度、崩边长度角度、印刷位移角度偏差。

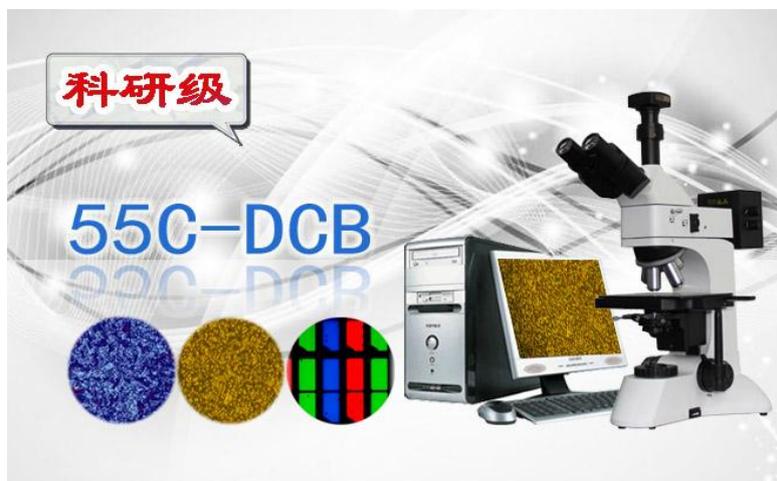


图 1-2-1 太阳能电池检查显微镜 55C-DCB

(4) 可以测量主、副栅线及背电极的宽度、均匀度，栅线间距离及副栅线到电池边的距离，栅线、断线长度，断线缺损和变色的面积。

(5) 可以检查太阳能电池表面颜色色差、绒面色斑、亮斑、裂纹、穿孔、崩边、掉角、缺口、印刷偏移，主、副栅线及背电极的断线、缺损、扭曲、变色等现象。

(6) 可对杂质、残留物成分进行分析。杂质包括：颗粒、有机杂质、无机杂质、金属离子、硅粉粉尘等。

2. 显微镜规格参数

金相显微镜系统配置如表 1-2-2 所示。金相显微镜技术参数如表 1-2-3 所示。

表 1-2-2 金相显微镜系统配置

序号	配置名称	主要规格参数
1	三目透反射金相显微镜 XJ-55C	50×~800×
2	500 万高清数字摄像头 PZ-500M	500 万像素
3	摄像接口 MCL	1×或者 0.5×
4	图像测量管理软件	具有单张或定时采集图像、录像、显示比例尺、测量、图像拼接、融合等功能，并可以连接多媒体、打印、E-mail 等多种输出方式
5	联想台式机（选购）	Windows XP、Windows 7 系统，内存 1G 以上，独立显卡的大小在 512M 以上，PCI 插槽
6	佳能打印机（选购）	彩色激光打印机

表 1-2-3 金相显微镜技术参数

序号	名称	技术参数
1	平场目镜	大视野 WF10× (φ22mm)
2	长距平场物镜	无限远 PLL5×/0.12、10×/0.25、20×/0.40、40×/0.60、80×/0.80
3	总放大倍数	50×~800×
4	观察头	三日, 铰链式, 30°倾斜, 可 360°旋转
5	转换器	五孔 (内向式滚珠内定位)
6	粗调调焦范围	粗微动同轴调焦, 带锁紧和限位装置, 微动格值: 2μm
7	载物台	双层机械移动式 (尺寸: 210mm×140mm, 移动范围: 75mm×50mm)
8	光瞳距离	53~75mm
9	滤色片	蓝、磨砂
10	聚光镜	N.A.1.25 阿贝聚光镜, 带可变光栏, 可上下升降
11	落射照明系统	6V 30W 卤素灯, 亮度可调
		内置视场光栏、孔径光栏、滤色片 (黄、蓝、绿, 磨砂玻璃) 转换装置, 推拉式起偏振器
12	透射照明系统	6V 30W 卤素灯, 亮度可调
13	仪器重量	净重 10.0 公斤, 毛重 12.0 公斤
14	仪器尺寸	仪器尺寸: 26×46×55 (cm), 包装尺寸: 28×35×65 (cm)

3. 金相显微镜的使用方法

金相显微镜是一种精密的光学仪器, 必须细心谨慎使用。初次操作显微镜之前, 应首先熟悉其构造特点及主要部件的相互位置和作用, 然后按照显微镜的使用规程进行操作。

在使用 55C-DCB 型金相显微镜时, 应按下列步骤进行:

(1) 根据放大倍数选用所需的物镜和目镜, 将其分别安装在物镜和目镜筒内, 并使转换器转至固定位置 (由定位器定位)。

(2) 转动载物台, 使物镜位于载物台中心孔的中央, 然后把金相试样的观察面朝下倒置在载物台上。

(3) 将显微镜的电源插头插在变压器上, 通过低压 (6~8V) 变压器接通电源。

(4) 转动粗调手轮, 使载物台渐渐上升以调节焦距, 当视场亮度增强时再改用微调手轮进行调节, 直至物象调整到最清晰程度为止。

(5) 适当调节孔径光栏和视场光栏, 以获得最佳质量的物象。

(6) 如果使用油浸系物镜, 则可在物镜的前透镜上滴一点松柏油, 也可以将松柏油直接滴再试样的表面上。油镜头用完后应立即用棉花蘸取二甲苯溶液擦净, 再用镜头纸擦干。

4. 金相显微镜注意事项

在使用金相显微镜时，应注意以下事项：

(1) 金相试样要干净，不得残留酒精和浸蚀液，以免腐蚀显微镜的镜头，更不能用手指去触摸镜头。若镜头中落有灰尘，可以用镜头纸擦拭。

(2) 操作时必须特别细心，不得有粗暴和剧烈的动作，光学系统不允许自行拆卸。

(3) 在更换物镜或调焦时，要防止物镜受碰撞损坏。

(4) 在旋转粗调或微调手轮时，动作要缓慢，当碰到某种障碍时应立即停下来，进行检查，不得用力强行转动，否则将会损坏机件。

【任务训练】

1. 采用金相显微镜观察太阳能电池的表面特征并描述看到的情况。
2. 实际操作金相显微镜观察太阳能电池的正面栅线的高度和宽度。

任务 1.3 太阳能电池的电性能检测

【任务目标】

掌握太阳能电池在标准测试条件下电性能的检测方法；掌握太阳能电池分选测试仪的使用方法和规程；掌握太阳能电池测试分选的作业标准。

【任务描述】

太阳能电池的电性能差异会影响到光伏组件的电性能。本任务主要是让学生掌握太阳能电池电性能的检测方法、检测设备，掌握太阳能电池测试分选的工作标准。

【相关知识】

1.3.1 认识和使用太阳能电池分选测试仪

1. 设备描述

太阳能电池单片测试仪通过模拟太阳光谱光源，对电池片的相关电参数进行测量，根据测量结果将电池片进行分类。它具备独有的校正装置，可输入补偿参数，进行自动/手动温度补偿和光强度补偿，具备自动测温与温度修正功能，主要用于单晶硅和多晶硅太阳能电池的电性能参数的分选和结果记录。

(1) 设备组成部件简介。

太阳模拟器：模拟正午太阳光，照射待测电池片，通过测试电路获取待测电池片的性能指标。

太阳模拟器包括：

控制电路：实现氙灯闪灯控制及电容充电/放电控制。

电容充电电路：实现对超级电容的充电和过压保护，在程序控制下稳定电容电压。

氙灯高压电路：产生近 9kV 的高压，点亮氙灯。

电子负载：连接待测电池片、标准电池和温度探头，获取待测电池片的电压、电流，通过标准电池获取光强。

信号：通过温度探头获取测试环境温度，并将数据提供给采集卡做分析、处理。

控制电路：提供人机界面和控制接口、操作界面，可进行参数设定。

(2) 主要技术指标。

开路电压 (U_{OC})：在光照下，电池片没有接负载时的电压。

短路电流 (I_{SC})：在光照下，电池片短路时的输出电流。

最大功率 (P_{max})：在光照下，电池片所能输出的最大功率。

最大功率下的电压 (U_m) / 电流 (I_m)。

填充因子 FF: $P_{max} (U_{OC} \times I_{SC})$ ，体现电池的输出功率随负载的变动特性。

效率 Eff: 在光照下，电池片的工作效率。

等效串联电阻：太阳能电池片内部的等效串联电阻会影响其正向伏安特性和短路电流，另外串联电阻的增大会使太阳能电池的填充因子和光电转换效率降低。

(3) 太阳能电池分选测试仪主要技术参数如表 1-3-1 所示。

表 1-3-1 太阳能电池分选测试仪 (SMT-A) 参数

名称	参数
光源	1500W 大功率脉冲氙灯，氙灯寿命 10 万次 (进口)
光谱范围	100mW/cm ² (调节范围 70~120mW/cm ²)
辐照强度	范围符合 IEC 60904-9 光谱辐照度分布要求 (AM1.5)
辐照	≤ ±2% (A 级)
辐照不稳定性	≤ ±2% (A 级)
测试结果一致性	≤ ±0.5% (A 级)
数据采集	I-U、P-U 曲线超过 8000 个数据采集点
单次闪光时间	0~100ms 连续可调，步进 1ms
有效测试面积	2000mm×1200mm
测试速度	6 秒/片
有效测试范围	20~300W
测量电压范围	0~150V (分辨率为 1mV)，量程：1/16384
测量电流范围	200mA~20A (分辨率为 1mA)，量程：1/16384

续表

名称	参数
测试参数	I_{SC} 、 U_{OC} 、 P_{max} 、 U_m 、 I_m 、FF、Eff、 T_{amb} 、 R_s 、 R_{sh} 、 I_r
测试条件校正	自动校正

2. 电池片的测试

(1) 电池片测试前，需在测试室内放置 24h 以上，然后才能进行测试。

(2) 测试环境温度和湿度要求：温度为 $(25\pm 3)^\circ\text{C}$ ，湿度为 20%~6%，测试时保证门窗关闭，无尘。

【任务实施】

1.3.2 单片测试仪（以武汉三工单片测试仪为例）

太阳能电池分选机（太阳能单片测试仪）专门用于太阳能单晶硅和多晶硅单体电池片的分选筛选，如图 1-3-1 所示。



图 1-3-1 太阳能电池测试仪示意图

1. 技术特点

武汉三工单片测试仪的技术特点包括以下几个方面：

(1) 恒定光强：在测试区间保证光强恒定，确保测试数据真实可靠。闪灯脉宽为 0~100ms，连续可调，步进 1ms，适应不同的电池片测量。

(2) 数字化控制保证测试精度：硬件参数可编程控制，简化设备调试和维护。

(3) 采用 2M×4 路高速同步采集卡，具有更多还原测试曲线细节，可准确反映被测电池片的实际工作情况。

(4) 采用红外测温，可真实反映电池片的温度变化，并自动完成温度补偿。

(5) 自动控制：在整个测试区间实时侦测电池片和主要单元电路的工作状态，并提供软/硬件保护，保证设备的可靠运行。

2. 技术参数

武汉三工单片测试仪的技术参数如表 1-3-2 所示。

表 1-3-2 武汉三工单片测试仪的技术参数

项目	SCT-B	SCT-A	SCT-AAA
光强范围	100mW/cm ² (调节范围为 70~120mW/cm ²)		
光谱	范围符合 IEC 60904-9 光谱辐照度分部要求 (AM1.5)		
辐照度均匀性	±3%	±2%	±2%
辐照度稳定性	±3%	±2%	±2%
测试重复精度	±1%	±5%	
闪光时长	0~100ms 连续可调, 步进 1ms		
数据采集	I-U、P-U 曲线超过 8000 个数据采集点		
测试系统	Windows XP		
测试面积	200mm×200mm		
测试速度	3 秒/片		
测量温度范围	0~50℃ (分辨率为 0.1℃), 采用红外线测温, 直接测量电池片温度		
有效测试范围	0.1~5W		
测量电压范围	0~0.8V (分辨率为 1mV) 量程为 1/16384		
测量电流范围	200mA~20A (分辨率为 1mA) 量程为 1/16384		
测试参数	I_{SC} 、 U_{OC} 、 P_{max} 、 U_m 、 I_m 、FF、Eff、 T_{amb} 、 R_s 、 R_{sh}		
测量条件校正	自动校正		
工作时间	设备可持续工作 12h 以上		
电源	单相 220V/50Hz/2kW		

3. 工作过程

单片测试仪的工作过程如下：在电池片被夹持机构可靠夹持的同时，脉冲氙灯闪光一次，发出光谱和光强都接近于太阳光的光线射向电池片，电池片产生的电流、电压等测试数据通过电子负载及信号放大器和 A/D 转换电路等被送到计算机，计算机对这些数据进行采集、处理、储存，并将测试数据和光伏特性曲线显示出来，或通过打印机打印出来。

4. 操作要点

以武汉三工设备为例，单片测试仪的测试步骤如下：

(1) 接待测电池的尺寸，调整电池片与测试台底板的中心位置一致，并锁定定位尺，在

测试台上固定好标准电池，调整好测试电极板的位置和间距。

(2) 将电脑电源打开，启动运行测试程序，点击“数据采集及测量”下拉菜单上的“数据卡校验”按钮，进行采集卡校验，并短接电池板检测线的正负极（红黑线头）。此步操作用来自动设置数据采集通道的“零电压”点。

(3) 关闭上述校验窗口，打开“设备设置/硬件设置”，分别在硬件设置对话框的电流和电压通道中选择合适的测试挡位；在温度通道各数值栏填入标准单体电池片的电流及电压温度系数、串联电阻、曲线修正系数的数值和串、并联电池数，然后确认并退出设置。

(4) 在 $100\text{mW}/\text{cm}^2$ 的光强条件下测试标准单体电池，并根据所检测的数据与标准电池的额定数据的误差，分别对开路电压 (U_{OC})、短路电流 (I_{SC})、最大功率时电流 (I_m) 及最大工作时电压 (U_m) 进行校正。具体的就是分别在硬件设置通道对电流、电压修正系数进行修改，直至测试结果与额定数据之间的误差小于 $\pm 2\%$ 。

1.3.3 标准条件下太阳能电池的电性能测试

太阳能电池产生电能的大小不仅与其转换效率有关，还与太阳辐照度和太阳能电池的面积有关。为了使不同的太阳能电池之间的输出功率具备可比性，必须在相同的标准条件下去测试太阳能电池。国际通用的标准测试条件包括：

- (1) 太阳辐照度： $1000\text{W}/\text{m}^2$ 。
- (2) 太阳光谱：AM1.5。
- (3) 测试温度： $(25\pm 2)^\circ\text{C}$ 。

【任务训练】

1. 采用标定好的单晶硅太阳能电池片对太阳能电池分选测试仪进行校准，并对 $125\text{mm}\times 125\text{mm}$ 单晶硅太阳能电池片的电性能进行测试。
2. 采用标定好的多晶硅太阳能电池片对太阳能电池分选测试仪进行校准，并对 $156\text{mm}\times 156\text{mm}$ 多晶硅太阳能电池进行测试。
3. 自行搭建太阳能电池的测试平台，对太阳能电池进行 $I-U$ 特性曲线的测量。
4. 设计实验，测量太阳能电池的温度系数。