

## 太阳能电池片生产工艺一览

太阳能电池片的生产工艺流程分为硅片检测——表面制绒——扩散制结——去磷硅玻璃——等离子刻蚀——镀减反射膜——丝网印刷——快速烧结等。具体介绍如下：

### 一、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不平整度、少子寿命、电阻率、P/N型和微裂纹等。该组设备分自动上下料、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不平整度进行检测，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组，其中一个在线测试模组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。

### 二、表面制绒

单晶硅绒面的制备是利用硅的各向异性腐蚀，在每平方厘米硅表面形成几百万个四面方锥体也即金字塔结构。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用热的碱性溶液，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70-85℃。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20~25μm，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。

### 三、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—900摄氏度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是最关键的工序。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，就是直流电。

#### 四、去磷硅玻璃

该工艺用于太阳能电池片生产制造过程中，通过化学腐蚀法也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络合物六氟硅酸，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， $\text{POCl}_3$  与  $\text{O}_2$  反应生成  $\text{P}_2\text{O}_5$  淀积在硅片表面。 $\text{P}_2\text{O}_5$  与  $\text{Si}$  反应又生成  $\text{SiO}_2$  和磷原子，这样就在硅片表面形成一层含有磷元素的  $\text{SiO}_2$ ，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络合物六氟硅酸。

#### 五、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，反应气体  $\text{CF}_4$  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  $\text{SiO}_2$  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脱离被刻蚀物质表面，被真空系统抽出腔体。

#### 六、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，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  $\text{SiH}_4$  和  $\text{NH}_3$ ，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，效率也有相当的提高。

#### 七、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，该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片上。由于浆料的粘性作用使印迹固着在一定范围内，印刷中刮板始终与丝网印版和基片呈线性接触，接触线随刮刀移动而移动，从而完成印刷行程

## 八、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，将有机树脂粘合剂燃烧掉，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。烧结炉分为预烧结、烧结、降温冷却三个阶段。预烧结阶段目的是使浆料中的高分子粘合剂分解、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，使其真正具有电阻特性，该阶段温度达到峰值；降温冷却阶段，玻璃冷却硬化并凝固，使电阻膜结构固定地粘附于基片上。

## 九、外围设备

在电池片生产过程中，还需要供电、动力、给水、排水、暖通、真空、特汽等外围设施。消防和环保设备对于保证安全和持续发展也显得尤为重要。一条年产 50MW 能力的太阳能电池片生产线，仅工艺和动力设备用电功率就在 1800KW 左右。工艺纯水的用量在每小时 15 吨左右，水质要求达到中国电子级水 GB/T11446.1-1997 中 EW-1 级技术标准。工艺冷却水用量也在每小时 15 吨左右，水质中微粒粒径不宜大于 10 微米，供水温度宜在 15-20℃。真空排气量在 300M<sup>3</sup>/H 左右。同时，还需要大约氮气储罐 20 立方米，氧气储罐 10 立方米。考虑到特殊气体如硅烷的安全因素，还需要单独设置一个特气间，以绝对保证生产安全。另外，硅烷燃烧塔、污水处理站等也是电池片生产的必备设施。