

# N 型硅太阳能电池片

## 背景

理论分析，无论是硼掺杂的 P 型硅片还是磷掺杂的 N 型硅片都可以用来制备太阳能电池，但是目前国际上通行的是在 P 型单晶硅片上以丝网印刷方法制造的硅太阳能电池，主要原因是在 P 型硅片上制备 N<sup>+</sup>发射结比 N 型硅片上形成 P<sup>+</sup>结更容易实现产业化。

近年来，随着电池制备技术的发展，原来困扰 N 型硅太阳能电池的技术难题逐渐被攻克，而且目前主流的 P 型硅太阳能电池效率已经可以稳定在 18% 以上，要想在不增加成本的情况下进一步提高已非常困难，而 N 型硅的少数载流子比 P 型硅高得多。一般 N 型硅的少子寿命在 100 $\mu$ s 以上，N 型硅衬底有利于提高太阳能电池的光电效率，其工艺和效率的提升空间很大，因此近来受到很高的关注。目前 N 型硅太阳能电池效率的最高纪录为 23.4%，采用 PERL 结构，在 1  $\Omega \cdot \text{cm}$  FZ 硅片上获得。

P 型硅太阳能电池成本较低，衰减率较高，25 年后衰减率可达到 15% 至 20%，P 型硅衬底的“硼氧对”引起效率衰减问题，采用 N 型硅衬底则没有这个问题。

N 型硅太阳能电池有多种结构，除了了可以把发射结做在正面、背面、双面外，还可以做成 SE、EWT、PERL、MWT 和 HIT 等结构。目前，除了美国 SunPower 公司和日本 SANYO 公司外，具有 N 型硅太阳能电池产业化生产能力的公司并不多，目前国内报道的只有英利、中电、宁波杉杉尤利卡这三家公司。

## 工艺

本文主要介绍铝背场 N 型硅电池片和 HIT 电池片的工艺。

### 1. 铝背场 N 型硅电池片

随着太阳电池材料及电池制造水平的不断提高，太阳电池的少子寿命也在不断增加，当少子的扩散长度与硅片厚度相当或超过硅片厚度时，被表面复合速率对太阳电池输出特性的影响就非常明显。为提高电池光电转换效率，必须降低电池背表面复合速率，提高电池长波光谱响应。研究指出，进行铝背电极制备，在完成电池金属化的同时，电极制备过程中形成的铝背场能有效降低电池的背表面复合速率。在烧结过程中形成的铝硅合金出于对长波有高

的反射，电池的长波光谱响应也因此能得到增强。此外，有报道指出，进行磷铝共吸杂，硅基体的吸杂效果比磷，铝单独吸杂效果更优。对于当前主要采用 SiNx:H 作为减发射膜的晶体硅太阳能电池，进行铝背电极制备后，SiNx:H 薄膜对电池基体的体钝化作用也可得到加强。因此，除完成载流子收集并与外界负载形成回路外，进行铝背电极制备，电池转换效率也将得到一定改善。

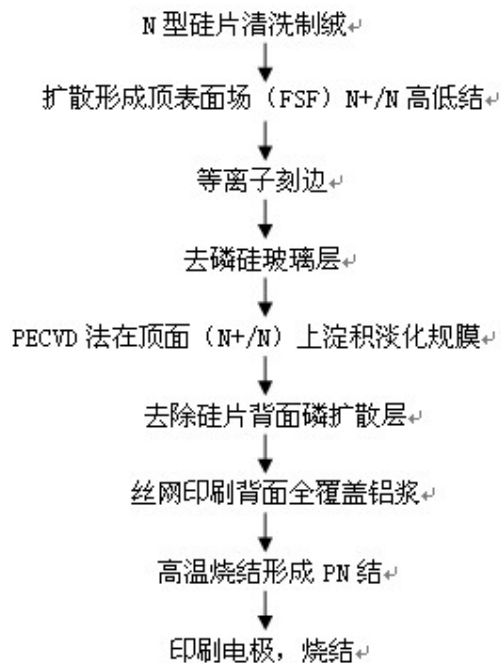
采用丝网印刷，硅太阳能电池铝背电极制备一般包括四个步骤：丝网印刷沉积铝浆；在铝硅合金化以上温度进行烧结；外延再生长形成 n<sup>+</sup>背场；冷却最终固化。

铝背极对硅太阳能电池性能改善主要体现在：

1. 降低电池背表面复合速率，
2. 对硅片进行有效吸杂处理
3. 改善电极与硅片的欧姆接触
4. 增加电池的长坡光谱响应。

基于铝背场 N 型硅电池片的这些优势，宁波杉杉尤利卡太阳能科技发展有限公司利用丝网印刷工艺，制备出的 N 型晶体硅太阳能电池的光电转换率达到了 16.5%，实现了 N 型硅电池的规模生产，解决了生产 N 型硅太阳能电池规模生产中的转换效率。

主要工艺流程如下：



该工艺能够实现从 P 型硅太阳能电池片向 N 型硅太阳能电池片制造工艺的产业化转移。唯一不同的区别在于用磷扩散步骤制作表面电场 (FSF) 取代发射极，且在共烧结工序形成

铝背场。该工艺成本低，因此受到普遍关注。

## 2. HIT 异质结 N 型硅电池片

晶体硅太阳能电池能量转换效率虽高，但造价昂贵；而薄膜硅基太阳能电池造价低廉，制备工艺简单，适合大面积生产，但内在的 Staebler-Wronski 效应（a-Si:H 的光致亚稳变化）使其稳定性差。而非晶硅/单晶硅异质结太阳电池既利用了低温的薄膜沉积工艺，又发挥了晶体硅高迁移率的优势，同时制备工艺简单，具有实现高效率、轻重量、低成本硅太阳能电池的发展目标和产业化前景。

1994 年，日本 SANYO 公司采用织构化的 N 型 CZ 单晶硅衬底(c-Si(n))作吸收材料，通过 PECVD（等离子体增强化学气相沉积法，Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition）在其上低温沉积 p 型非晶硅(a-Si(p))发射极，发明了效率 20% 的硅异质结太阳电池。由于这种电池在吸收区和发射极之间插入了一层很薄的本征非晶硅层来钝化异质结的界面，因此称为带有本征薄膜的异质结电池（HIT，hetero-junction with intrinsic thin-layer）。HIT 太阳电池利用非晶硅工艺简单和晶硅转化效率高的优势，可实现优势互补，获得高的光电转换效率且成本低廉。

### o HIT 工艺步骤

(1) 衬底清洗：采用半导体清洗工艺进行衬底的表面初清洗，用 3% 的氢氟酸除去硅片表面的二氧化硅层，再将衬底放在去离子水中用超声波清洗，用去离子水冲洗数次，氮气吹干；

(2) 制备本征非晶硅层：采用热丝化学汽相沉积（CVD，hot filament chemical vapor deposition）工艺制备本征非晶硅层 i-a-Si，提供高温的热丝是采用直径为 0.7mm 的钨丝，钨丝温度用光学高温计测量，加热器与样品的温度分别由两个热电偶测定，用电子温度控制器控制温度，或者在沉积前后用一挡板将衬底与钨丝隔开，反应气体被高温钨丝分解形成大量活性硅氢基元，硅氢基元再扩散到衬底表面，在衬底表面反应生长而成薄膜；

(3) 采用热丝化学汽相沉积工艺，在本征非晶硅薄膜上再沉积一层厚 10~30nm 的发射层，该发射层的导电性与衬底的导电性相反，即构成 p+a-Si/i-a-Si/n-c-Si 及 n+-a-Si/i-a-Si/p-c-Si 结构的太阳电池原形；

(4) 正背面电极的形成，用溅射工艺在电池的正面沉积一层厚 80nm 的 ITO 透明导电薄膜（氧化铟锡，Indium-Tin Oxide），再在 ITO 薄膜上用掩膜、真空热蒸发沉积银金属栅线，

电池的背面也采用真空热蒸发沉积铝金属背电极；

(5)真空热退火工艺，在电极完成以后，进行真空热退火。

这种方法制造的薄膜具有光照稳定性，在 AM1.5，100mW/cm<sup>2</sup> 标准光强下，获得的硅薄膜的光电导增益可达 10<sup>6</sup>，基于此薄膜的非晶硅和晶硅异质结太阳电池的效率达 12.5%。

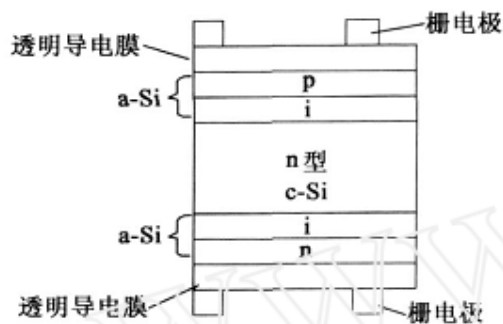


图 1 HIT 电池结构示意图

## Ø HIT 工艺优点

### 1. 低温工艺：

在较低温度下(<250℃) 制造，从而避免采用传统的高温(>900℃) 扩散工艺来获得 PN 结，减少了热负载。不仅节约能源，而且低温环境使得非晶硅(a-Si) 薄膜掺杂、禁带宽度和厚度得以较精确控制，工艺上易于优化器件特性。

### 2. 高效率：

HIT 电池独有的带本征薄层的异质结结构，在 PN 结成结的同时完成了单晶硅的表面钝化，大大降低了表面、界面漏电流，提高了电池效率。由于非晶硅对光的吸收性比晶体硅强得多，同时晶态 Si 表面得到了可靠钝化，提高了载流子寿命，降低了界面态对光生载流子的俘获，从而可以提高太阳能电池的转换效率。

### 3. 高稳定性：

没有光衰变效应。HIT 电池的温度稳定性好，与单晶硅电池的-0.5%/℃的温度系数相比，HIT 电池的温度系数可达到-0.25%/℃。

### 4. 低成本

HIT 太阳能电池的厚度薄，可以节省硅材料；低温工艺可以减少能量的消耗，并且允许采用“低品质”的廉价硅衬底，有效降低了电池的成本。电池光电转换效率达到 18%以上，硅片厚度 100 微米左右，与常规的单晶硅、多晶硅太阳能电池相比具有很大竞争优势。

因此非晶硅薄膜/晶态 Si 异质结在制造大面积、高效率、低重量、低价格和稳定性好的

太阳能电池方面具有巨大的潜力。

#### o 产业化水平

目前仅日本三洋一家公司具有规模化生产，多国科学家正在开展广泛的研究。我国深圳能联电子代理销售日本三洋 HIT 电池，江苏林洋拟开发“氢化非晶硅薄膜异质结太阳电池”作为公司的储备产品。国内尚无生产 HIT 电池的企业。

#### o 电池效率

截止 2009 年 7 月，日本三洋的最高转换效率为 23.0%，开路电压为 0.729V，短路电流为  $39.5\text{mA} \cdot \text{cm}^{-2}$ 。

#### Sanyo 发布的 HIT 电池 最高效率及参数

Efficiency and parameters of HIT by Sanyo since 2003

时间	$\eta$ / %	$V_{oc}$ / V	$I_{sc}$ / ( $\text{mA} \cdot \text{cm}^{-2}$ )	FF	$S$ / $\text{cm}^2$
2009-5	23.0	0.729	39.5	0.800	100.4
2007-7	22.3	0.725	39.2	0.791	100.5
2006-4	21.8	0.718	38.4	0.790	100.4
2004-12	21.5	0.712	38.3	0.787	100.3
2003	21.3	0.717	38.6	0.770	100.0

$\eta$  为实验室转换效率； $V_{oc}$  为开路电压； $I_{sc}$  为短路电流；FF 为填充因子；S 为面积

#### o 成本

HIT 太阳能电池的厚度薄，不仅可以节省硅材料，低温工艺也可以减少能量的消耗，并且允许采用“低品质”的廉价硅衬底，有效降低了电池的成本。

目前尚无规模产业化生产。

#### o 技术提高

美国可再生能源国家实验室等各国科学家正在积极开展 HIT 结构电池的实验室研究。普遍认为严格控制 a-Si: H/c-Si 界面质量，降低缺陷态密度是实现高效 HIT 电池的关键点。事实上，从 HIT 电池发展历史可以看出，HIT 电池效率达到目前的高度，不仅仅是优良界面钝化的结果，还包括其他一些技术上的精益求精，以及通过优化光陷降低反射率、降低非晶硅发射极的光吸收、提高透明导电膜的电导率、降低金属栅的接触电阻等。

## 结束语

N 型硅片的高少数载流子寿命以及对金属杂质有更大的容忍度等优点,越来越受到人们的青睐。光伏科技日新月异,因此,N 型硅太阳能电池片将会成为新一代高效电池。