

## 6 英寸高效 n-PERT 太阳能电池工艺路线

端伟元<sup>1</sup>, 袁声召<sup>1</sup>, 盛<sup>1</sup>, 陈奕峰<sup>1</sup>, 杨阳<sup>1</sup>, Pietro P. Altermatt<sup>1</sup>,  
冯志强<sup>1,2</sup>, Pierre J. Verlinden<sup>1</sup>

(1. 光伏科学与技术国家重点实验室, 常州天合光能有限公司, 常州新北区光伏产业园, 江苏 213001;

2 江苏省光伏科学与工程协同创新中心, 常州大学, 常州, 213164)

### 1 研究背景与内容

N型晶体硅电池由于其具有较高的少子寿命和无光致衰减等优势, 具有很大的效率提升空间和潜力, 是高效电池技术路线的必然选择。特别是 n-PERT(Passivated Emitter Rear Totally-diffused, 钝化发射结全背场扩散) 太阳能电池近年来效率提升迅速, 越来越得到业界的广泛关注。N-PERT 太阳能电池的结构特点是背表面扩散全覆盖以降低电池的背面接触电阻和复合速率。2014年, Fraunhofer ISE 报道了在  $2 \times 2 \text{ cm}^2$  的面积上利用离子注入得到了 22.7% 的 n-PERT 太阳能电池转换效率<sup>[1]</sup>。随后, 比利时 IMEC 也宣布了 6 英寸硅片上制备了效率达 22.5% 的 n-PERT 背结太阳能电池<sup>[2]</sup>。本文主要从高效 n-PERT 太阳能电池角度出发, 介绍了电池的工艺路线, 并通过 SENTAURUS 模拟给出了电池的优化方向。

本文研究内容主要有:

1) 采用扩散工艺制备电池发射结和背场, 结合正面电镀技术, 在 5 英寸硅片上着重对电池正面硼扩散进行了优化。

2) 在 6 英寸硅片上进一步对栅线数及背面接触孔间距进行了优化, 制作出效率达 22.4% 的高效 n-PERT 太阳能电池; 利

用 SENTAURUS 模拟对 n-PERT 电池进行功率损失分析, 指出了电池效率进一步提升的优化方向。

### 2 高效 n-PERT 太阳能电池制备工艺

#### 2.1 工艺流程简述

本文所介绍的 n-PERT 太阳能电池具有正面结结构, 如图 1a 所示。首先在 5 英寸硅片上对电池工艺进行了开发, 随后将该高效工艺转移到了 6 英寸硅片上。

电池的主要制作流程包括: 双面制绒, 硼扩散, 单面去 BSG、抛光, 磷扩散, 热氧化, 正、背面钝化, 正、背面激光开膜, 金属化等。电池的正面金属化采用了电镀技术, 电镀金属包括 Ni、Cu、Ag 三层, 其截面 SEM 图片如图 1b 所示。Ni 层是接触层及阻挡层, Cu 层是主要的导电层, Ag 层主要用于外部接触及可靠性保护。由于电镀 Ni 层可以和较低的硼扩散表面浓度 ( $\sim 1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ ) 形成较好的欧姆接触<sup>[3]</sup>, 且电镀栅线较丝印栅线可以制备得更窄、没有浆料烧结带来的开压损失, 故采用电镀技术可以有效地降低表面复合并减少栅线遮光, 对电池的开压及电流均有提升作用。

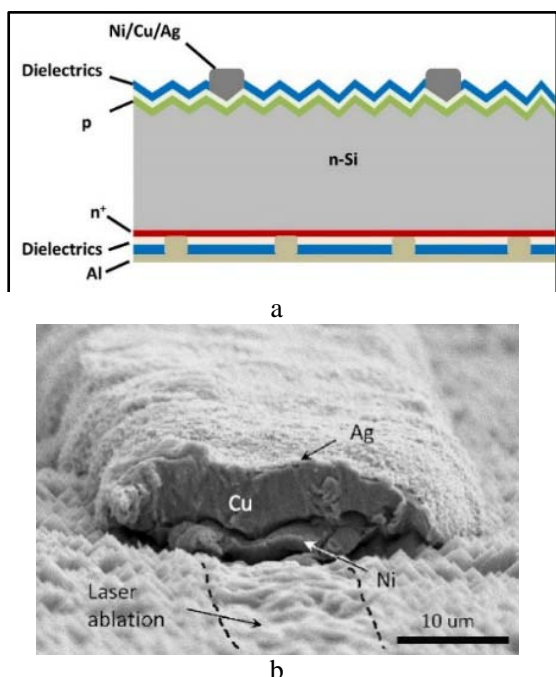


图 1 N-PERT 太阳能电池(a)截面示意图 (b)电镀栅线截面 SEM 图

## 2.2 正面硼扩散优化

在硼扩散过程中，通过调节气体流量及推进时间，获得了两组扩散曲线 A 和 B。表 1 给出了两组发射结的具体参数，其中 A 和 B 具有相近的表面掺杂浓度，但 A 相对于 B 有更高的方阻、更浅的结深。文中的  $J_0$  值均是由双面制绒、扩散的对称结构测试得出。表 2 展示了利用这两组扩散曲线所制备的 n-PERT 太阳能电池结果，该结果由 Fraunhofer ISE CalLab 测试得出。两组电池的  $V_{oc}$  均超过了 683 mV,  $R_s$  均低于  $0.5 \Omega \cdot \text{cm}^2$ , 表明两组硼扩散表面都得到了良好的钝化，且电池表面接触良好，A 和 B 的方阻均不会影响载流子的横向传输。电池相似的  $V_{oc}$  值主要是由于相近的钝化区和金属接触区的总的  $J_0$ 。图 2a 展示了利用 EDNA 和高斯线型模拟的硼扩散面总的  $J_0$  随着方阻、结深和表面浓度的变化曲线。可以看出，当表面金属接触区占比

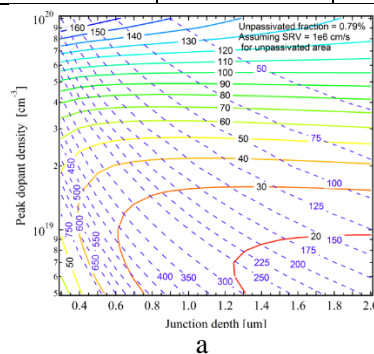
为 0.79% 时，不同扩散曲线下总的  $J_0$  在  $0.8 \sim 2 \mu\text{m}$  的结深范围内没有明显的变化。A 比 B 效率高的主要因素是因为 A 有更高的  $J_{sc}$ 。IQE 的结果表明，由于 A 具有更浅的发射结，A 的短波响应明显优于 B，如图 2(b)所示。虽然 A 的方阻几乎是 B 的两倍，从而导致了其 FF 略低，但在此项结果中，A 的电流增益占据了主导，从而使采用 A 扩散曲线的电池效率更高。

表 1 不同发射结参数

	A	B
Ns ( $\text{cm}^{-3}$ )	1.06E19	1.08E19
Junction depth ( $\mu\text{m}$ )	1.1	2.0
Rsheet ( $\Omega/\square$ )	93	54
$J_0$ _passivated ( $\text{fA}/\text{cm}^2$ )	28.0	32.7
$J_0$ _unpassivated ( $\text{fA}/\text{cm}^2$ )	3000	2500

表 2 不同发射结制备的电池 IV 结果

	A	B
$V_{oc}$ (mV)	683.7	683.0
$J_{sc}$ ( $\text{mA}/\text{cm}^2$ )	40.34	39.89
FF (%)	80.77	80.92
Eff. (%)	22.28	22.05
$R_s$ ( $\Omega \cdot \text{cm}^2$ )	0.45	0.41



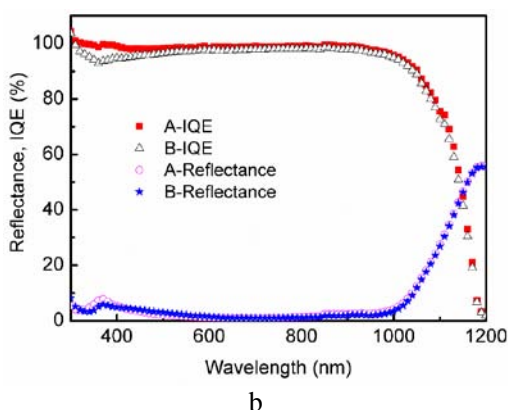


图2 N-PERT 太阳电池(a)正面总  $J_0$  与扩散方阻、表面浓度、结深之间的模拟关系 (b)IQE 及反射率曲线

### 2.3 6 英寸 n-PERT 太阳电池结果及功率损失分析

基于以上的工艺开发, 进一步对 n-PERT 电池的正面栅线数及背面接触孔间距进行了优化匹配。在解决了电镀过程中的边缘隔离问题后, 将采用 A 扩散曲线的高效 n-PERT 太阳电池工艺转移到了 6 英寸硅片上, 最终获得了 22.4% 的转换效率, 如图 3a 所示。为了进一步提升电池效率, 采用半导体器件模拟软件 SENTAURUS 对所获得的最高效率的 n-PERT 电池进行了功率损失分析, 如图 3b 所示。可以看出发射结的复合损失占据了主要部分, 仍然有很大的提升空间。

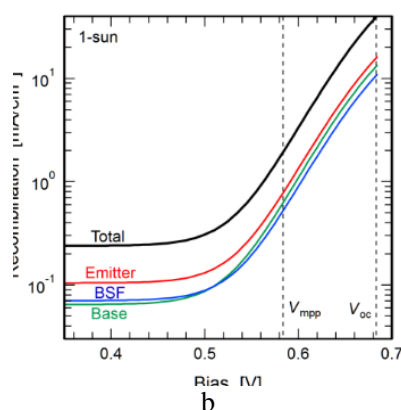
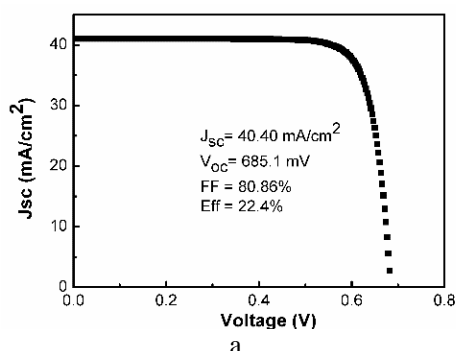


图3 6 英寸 n-PERT 太阳电池(a)IV 曲线 (b)功率损失

### 3 结语

本文采用实验与模拟相结合的方法, 提出了高效 n-PERT 太阳电池工艺路线。通过对扩散工艺的开发和优化, 结合电镀技术, 金属化的优化, 最终在 6 英寸硅片上制作出了效率达 22.4% 的高效 n-PERT 太阳电池。此外, 采用 SENTAURUS 模拟对 n-PERT 太阳电池进行功率损失分析, 结果表明发射结的复合损失需进一步降低, 以获得更高转换效率。

### 参考文献

- [1] J. Benick, B. Steinhauser, R. Muller, J. Bartsch, M. Kamp, A. Mondon, S. Glunz, 40th IEEE PV Specialists Conference (2014) 3637.
- [2] [http://www.pvtech.org/news/intersolar\\_2015\\_imec\\_tops\\_n\\_pert\\_cell\\_efficiency\\_of\\_22.5](http://www.pvtech.org/news/intersolar_2015_imec_tops_n_pert_cell_efficiency_of_22.5).
- [3] J. Bartsch, A. Mondon, M. Kamp, A. Kraft, Proc.27th EU PVSEC (2012) 604.

邮箱: weiyuanduansimit@gmail.com