

二次丝网印刷对产业化太阳能电池效率的影响

黄婷婷, 张逸新

(江南大学, 无锡 214122)

摘要: 在实际批量生产条件下, 根据 Denis Erath 等人提出的构想, 采用 325 目的丝网进行 2 次叠印(采用三母线电极分布), 将印刷得到的参数与采用 360 目丝网一次印刷得到的参数进行对比实验。分析结果表明, 采用二次印刷可获得更好的电极线高宽比, 填充因子 FF 变化不明显, 短路电流 J_{sc} 和开路电压 V_{oc} 获得一定的提升, 太阳能电池的转换效率则由 17.574% 增大至 18.032%。

关键词: 二次印刷; 线宽; 转换效率

中图分类号: TS851⁺.2; TS871⁺.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2012)17-0133-03

Influence of Twice Screen Printing on Conversion Efficiency of Industrial Solar Cell

HUANG Ting-ting, ZHANG Yi-xin

(Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

Abstract: According to the compose of Denis Erath etc, twice screen printing using 325 eye screen mesh and single screen printing using 360 eye screen mesh were carried out. The parameters were compared. The results showed that twice screen printing has better aspect ratio, insignificant filling factor, improved short-circuit current and open-circuit voltage, and increasing conversion efficiency from 17.6% to 18.0%.

Key words: twice printing; line width; conversion efficiency

增加太阳能电池的转换效率, 主要出发点在于通过最大化利用光能, 提高短路电流, 因此, 良好的电极接触, 对实现太阳能电池高转换效率至关重要。在批量生产多晶硅太阳能电池过程中, 当丝印上电极细栅线最细达 30 μm 时, 所获得转换效率达到 17.2%。

Denis Erath 等^[1]研究发现在晶体硅银电极印刷过程中, 放置加热头装置对硅片进行加热, 可得到更好的高宽比, 并提出了二次印刷的构思。Vikrant A 等^[2]提出采用不同掺杂浓度处理 C-Si 电池。在 4 cm $\times$ 4 cm 的硅片面积上, 串联电阻由普通丝印银电极的 40 m Ω 下降至 18 m Ω 。Minkyu Ju 等^[3]进行了一次印刷与二次印刷对比实验。电极梳形结构间距从 80 μm 减小至 30 μm , 所获得的 EFF 分别为 17.66% 和 18.06%。Jaap Hoornstra 等^[4]从网孔印刷的角度出发, 对比 1 次和 2 次网孔银电极印刷, 获得了更为稳定、更好的银线高宽比。

在批量生产情况下, 文中实验研究了采用二次印

刷减小太阳能电池电极线宽度, 即减小阴影覆盖面积, 提升电池片转换效率的幅度。

1 实验基础

Denis Erath 等人提出在太阳能电池金属化过程中, 采用二次印刷取代一次印刷, 从而减小阴影覆盖面积, 从而获得更高的太阳能电池转换效率^[5]。对于电极线印刷, 电池的转换效率可计算为:

$$\eta = \frac{J_{sc} \cdot V_{oc} \cdot FF}{\phi} \quad (1)$$

式中: J_{sc} 为短路电流; V_{oc} 为开路电压; FF 为填充因子; ϕ 表示辐照度。 J_{sc} , V_{oc} , FF 和 η 可以全面地描述太阳能电池的特性, 而其中 η 是最重要的参数。

Scheer 提出, 在太阳能电池电极丝印过程中, 印刷后得到的最小线宽为:

收稿日期: 2012-05-14

作者简介: 黄婷婷(1988—), 女, 湖南人, 江南大学硕士生, 主攻丝网印刷在硅基电池中的应用方面的研究。

$$w_{f_{\min}} = c \frac{(2c+d)\sqrt{2}}{d} \quad (2)$$

其中: c 表示丝网直径; d 表示丝网间距。

例如,在正常生产过程中,在网点扩大等因素^[6]的影响下,采用目数为 360、丝网间距为 $48 \sim 50 \mu\text{m}$ 的丝网进行一次印刷得到的 w_f 约为 $55 \mu\text{m}$ 。为了获得更小的 w_f ,可采用目数较少的丝网进行印刷。例如,采用目数为 325、丝网间距 $32 \sim 35 \mu\text{m}$ 的丝网进行一次印刷得到的 w_f 约为 $45 \mu\text{m}$ 。随着 w_f 的减小,电极线的 R_{sh} 极大地增大,从而导致 FF 减小,平均 R_{sh} 每增大 $1 \Omega \cdot \text{cm}^2$, FF 会下降 $4.5\% \sim 5.5\%$ 。由公式(1)可知, FF 的减小会引起 η 极大地减小。故在减小 w_f 的同时,可适当增大电极线高度,保持 FF 与一次印刷情况持平。采用二次印刷(见图 1),即可较好地减小 w_f 的同时,保持 FF 在较高水平。



图 1 线宽与线高

Fig. 1 Line width and line height

如图 1 所示,分别表示一次印刷和二次印刷的油墨横截面示意图, S_1 , S_2 , S_3 表示电极线横截面积。当存在 $S_3 \approx S_2 + S_1$ 时,可使得 FF 在 2 种印刷条件下保持较大。

文中采用的生产工艺包含有选择性发射极^[7]的制作,以此获得电极的良好欧姆接触。先对整体硅片进行 POCl_3 重掺杂,采用喷墨印刷机进行喷蜡,掩盖电极印刷区域,再通过刻蚀将非电极覆盖区域的重掺杂区域腐蚀为轻掺杂程度,形成选择性发射极结构。

2 实验

采用 $156 \text{ mm} \times 156 \text{ mm}$ 的多晶硅片(见图 2),将原始硅片拆封,使用碱性腐蚀法(NaOH)清洗硅片,在表面形“金字塔”形绒面。在 842°C 的温度下采用 POCl_3 进行磷扩散形成发射极,采用四探针测试法测得方块电阻为 $45 \sim 55 \text{ m}\Omega$ 。在扩散后的硅片表面采用 schmid 喷蜡机依照丝网印图形喷制蜡层,之后将硅片湿法刻蚀,去磷硅玻璃,形成选择性发射极结构。经过 PECVD(等离子增强化学气相沉积)在硅片表面

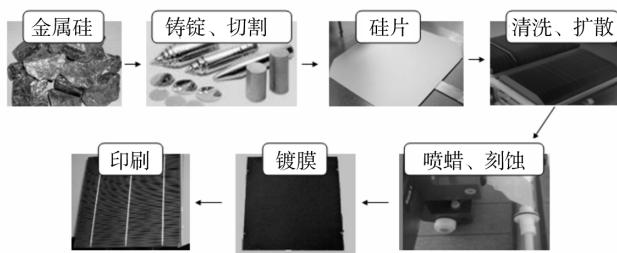


图 2 多晶硅电池片生产流程

Fig. 2 Production flow of multicrystalline silicon wafer

形成一层约厚的淡蓝色减反射氮化硅膜,将得到的硅片放置好等待丝网实验。

对比组随机抽取 PECVD 镀膜后硅片 2000 pcs,采用 360 目金阳网版进行一次丝网印刷(三栅),印刷速度为 220 mm/s ,印刷压力为 $66 \sim 74 \text{ N}$,刮板角度为 $80 \sim 90^\circ\text{C}$ 。实验组随机抽取 PECVD 镀膜后硅片 2000 pcs,采用 325 目金阳网版进行两次丝网印刷(三栅),印刷速度为 220 mm/s ,印刷压力为 $66 \sim 74 \text{ N}$,刮板角度为 $80 \sim 90^\circ\text{C}$ 。印刷后的硅片经过烧结,在模拟大气质量 AM1.5 的条件下测量其 $I-V$ 特性参数。

3 结果与讨论

对比组 A 和实验组 B 分别采用 2000 pcs 硅片,除去碎片及返工片(占硅片总数约 1.8%),经丝网印刷后,得到各组的 $I-V$ 特性参数。当采用一次印刷进行批量生产,所获得的短路电流 J_{sc} 为 8.7556 mA/cm^2 ,填充因子 FF 为 77.99% ,开路电压 V_{oc} 为 626.2 mV ,转换效率 η 为 17.574% 。采用二次印刷进行批量生产,阴影面积的减小,使得短路电流有了较大的增长,短路电流 J_{sc} 为 8.7797 mA/cm^2 。除此之外,填充因子 FF 稍微减小为 76.89% ,说明串联电阻存在稍微的增大,开路电压 V_{oc} 增大至 649.3 mV ,所获得的转换效率 η 增大至 18.012% 。见表 1。

表 1 组 A 和组 B 参数统计值

Tab. 1 Statistical parameter values of group A and B

类型	转换效率 $\eta/\%$	填充因子 $FF/\%$	开路电压 V_{oc}/V	短路电流 J_{sc} $/(\text{mA} \cdot \text{cm}^{-2})$
一次印刷	17.574	77.99	0.6262	8.7556
二次印刷	18.012	76.89	0.6493	8.7797

采用二次印刷可获得较高地电池转换效率,但与

此同时,对于精细丝网印刷精度的要求^[8]也大幅度的提升,在第1次印刷结束后,必须待油墨加热干燥后方可进行第2次叠印,防止由于第1次印刷电极线受压力往外扩张,造成线宽增大。另外,在2次丝网印刷之前必须采用定位系统进行准确定位,确保叠印的精确性,见图3、图4,采用zate 3D显微镜(使用的放大倍数为 $\times 100$)观察电极线的结构。

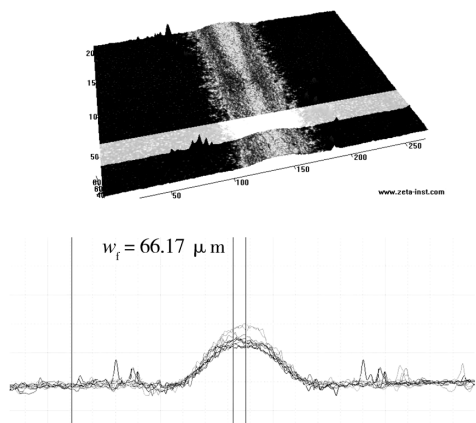


图3 一次印刷细栅

Fig. 3 Fingers by single printing

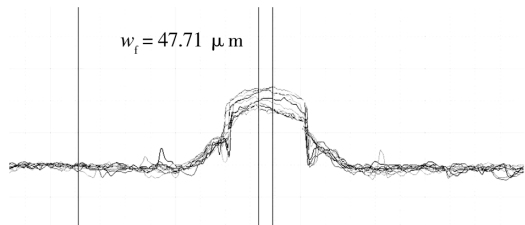


图4 二次印刷细栅

Fig. 4 Fingers by twice printing

一次印刷电极线俯视图和电极线截面见图3,测得电极线的宽度为 $w_f = 66.17 \mu\text{m}$ 。二次印刷电极线俯视图和电极线截面见图4,可以很清楚地看出二次印刷线宽较一次印刷窄,测得电极线的宽度为 $w_f = 47.71 \mu\text{m}$ 。比较2个截面图,可知不仅在线宽上,高度上两者之间也存在较大区别。当电极线的串联电阻固定不变时,电极线的高度和宽度之间存在一定的关系, $R = \rho \times l/s$ 。从图3和图4中可以明显看出,二次印刷的电极线高度较为明显增大,宽度较为明显变窄,实现了较高的高宽比,减小了阴影部分面积,实现了二次印刷的意义。

4 结论

在其余条件均相同的条件下,采用2次丝网印刷工艺,与一次印刷相比较,获得了短路电流和开路电压0.02的提升,填充因子降低了0.1%,电池转换效率提升了0.5%。

参考文献:

- [1] DENIS Erath, ALEKSANDER Filipovic. Advanced Screen Printing Technique for High Definition Front Side Metallization of Crystalline Silicon Solar Cells[J]. Solar Energy Materials and Solar Cells, 2010(94): 57—61.
- [2] VIKRANT A Chaudhari, CHETAN Solanki S. A Novel Two Step Metallization of Ni/Cu for Low Concentrator C-Si Solar Cells[J]. Solar Energy Materials & Solar Cells, 2010(94): 2094—2101.
- [3] MINKYU Ju, KYUNGSOO Lee, et al. Double Screen Printed Metallization of Crystalline Silicon Solar Cells as Low as 30 nm Metal Line Width for Mass Production[J]. Solar Energy Materials & Solar Cells, 2012(100): 204—208.
- [4] JAAP Hoornstra, HUGO de Moor. Improved Front Side Metallization on Silicon Solar Cells with Stencil Printing [DB/OL]. <http://www.ecn.nl/docs/library/report/2000/rx00016.pdf>, 2000.
- [5] ANSGAR Mette. New Concepts for Front Side Metallization of Industrial Silicon Solar Cells[M]. University at Freiburg Freiburg: Ansgar Mette, 2007.
- [6] 李俊锋. 网印中图像的扩大变形及补偿[J]. 包装工程, 2009, 30(2): 99—101.
- LI Jun-feng. Image Deformation and Compensation in Screen Printing [J]. Package Engineering, 2009, 30(2): 99—101.
- [7] HILALI M M, ROHATGI A, et al. Rohatgi. A Review and Understanding of Screen-printed Contacts and Selective-emitter Formation. In The 14th Workshop on Crystalline Silicon Solar Cells and Modules[C]. USA: National Renewable Energy Laboratory, 2004.
- [8] 李婧伟. 基于印制电路板精细丝网印刷过程的数学模型研究[J]. 包装工程, 2008, 29(2): 94—97.
- LI Jing-wei. Study of the Mathematical Model for Fine Screen Printing Process of Print Circuit Board[J]. Package Engineering, 2008, 29(2): 94—97.