

选择性发射极多晶硅太阳能电池性能分析

章珍霞, 张逸新

(江南大学, 无锡 214122)

摘要: 研究了采用喷蜡蜡线掩膜和丝印银线结合制作太阳能电池选择性发射极印刷的特点, 并通过实验对比分析, 得出了选择性发射极太阳能电池相比常规电池: 短路电流高了 0.032 A, 开路电压提高了 0.003 V, 串联电阻降低了 0.16 m Ω , 填充因子提高了 0.02, 转换效率提高了 0.16 %。此外, SE 电池各电性能参数比常规电池的电性能参数更稳定。

关键词: 选择性发射极; 喷蜡技术; 太阳能电池

中图分类号: TS851⁺.2; TS807 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2012)15-0117-04

Performance Analysis of Selective Emitter Polycrystalline Silicon Solar Cells

ZHANG Zhen-xia, ZHANG Yi-xin

(Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

Abstract: Wax line and screen printing was applied to produce selective emitter. The characteristics of the selective emitter was studied and compared to conventional battery. The results showed that the short circuit current increases 0.032 A; the open voltage increases 0.003 V; series resistance reduces by 0.16 m Ω ; fill factor improves by 0.02; and conversion efficiency increases by 0.16 %. In addition, the electric performance parameters of selective emitter solar cells are more stable than that of the conventional battery.

Key words: selective emitter; spray wax printing; solar cells

已实现大规模商业生产的选择性发射极太阳能电池(以下简称 SE 电池)与常规工艺太阳能电池相比主要区别在于它在金属电极栅线下及其附近形成高掺杂深扩散区。选择性发射极主要有 2 个优势: 在金属电极和多晶硅片间容易形成欧姆接触, 从而减小电池的串联电阻; 由于在电池活性区进行的是低浓度浅扩散, 因此有利于提高太阳能电池对光生载流子的收集, 特别是能提高太阳能电池对短波光区域的光谱响应, 从而提高电池的短路电流和开路电压, 其次, 可以减小扩散死层对转化效率的影响^[1]。

经过多年的研究, 人们提出了很多种制作选择性发射极的方法, 一般正电极下方的方块电阻为 10~20 Ω/sq , 而非电极区域的方块电阻为 70~100 Ω/sq ^[2-3]。研究者已经提出了多种制备选择性发射极的方法^[4-5], 如光刻掩模、反腐蚀技术、加热源掩膜处理法、激光刻槽法、丝网印刷磷浆法等。M. Alemán, A. Fell^[6-7] 等人研究了用激光化学工艺

(LFC)制作选择性发射极, 由 Synova S. A. 研发的化学液体导向激光能够在高速下完成局部扩散, 且具有较高的精确度, 这种方法不需要掩膜, 也不用再高温下完成, 用 LFC 制作的选择性发射极电池最高转换效率能达到 20%。

选择性发射极能有效地提高电池的转换效率, 但是如何低成本制造是目前面临的另一个问题, 以上几种方法都较复杂, 且成本高, 甚至有的污染也较严重, 因此, 现在国内外研究的热点就是, 如何能够在较低成本的情况下实现选择性发射极太阳能电池的工业化生产^[8]。文中主要通过正常扩散后的硅片表面需要印刷正电极的区域喷制蜡线, 作为掩膜, 经过边缘刻蚀及正面刻蚀, 分别去除硅片边缘 P-N 结和刻浅蜡线没有覆盖区域的 P-N 结, 在硅片表面形成不同的方阻, 最后除去硅片表面的蜡线及磷硅玻璃层制成选择性发射极, 得到正电极下方的方块电阻为 $48 \pm 3 \Omega/\text{sq}$, 而非电极区域的方块电阻为 120~140 Ω/sq 。该方法

收稿日期: 2012-04-14

作者简介: 章珍霞(1988—), 女, 浙江人, 江南大学硕士生, 主攻喷墨印刷在太阳能电池制造中的应用。

类似于反腐蚀技术法,但是相对于反腐蚀技术法,此法成本低,污染小,更适合大规模商业生产,文中也对 SE 电池与常规电池各个电性能参数作出了对比。

1 实验

Schmid 公司研发了一套用于工业生产 SE 电池的设备,通过在正常扩散后的硅片表面需要印刷正电极的区域喷制蜡线,作为掩膜,经过边缘刻蚀及正面刻蚀,分别去除硅片边缘 P-N 结和在硅片表面形成不同的方阻,最后清洗蜡线以及硅片表面的 P-Si 玻璃,即可形成选择性发射极。喷墨成像技术分为压电晶体振荡、热气泡、静电吸引等多种成像方法^[9],schmid 喷蜡印刷机喷头输出原理与压电式喷墨印刷机相似,都是依靠压电器件形变将液化的蜡滴喷射出来印刷蜡线。与上述几种选择性发射极制作工艺相比,这种方式有效地降低了制作成本和制作复杂度,且污染小,这种方法也可以依据实际需要印刷不同的图形,喷蜡后的太阳能电池片及蜡线实际线宽分别见图 1 和 2,蜡线的理论宽度为 300 μm ,实际印刷后蜡

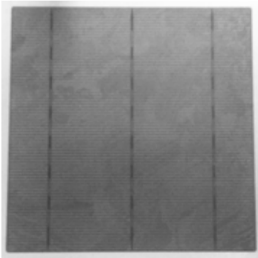


图 1 喷蜡后的太阳能电池片
Fig. 1 Solar cells after wax printing

线宽度为 320~360 μm 。在印刷过程中,蜡线容易出现虚印现象及发生偏移,若偏移严重则会造成多晶硅片的转换效率下降,甚至导致失效片,这可以通过增大印刷分辨率及增大喷头的温度解决。

实验采用江西赛维的多晶硅片,规格为 156 mm $\times$

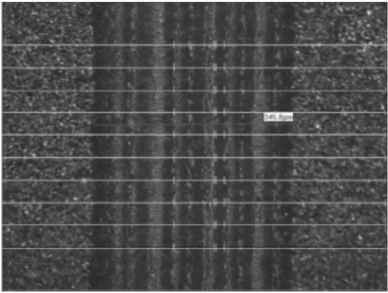


图 2 蜡线实际线宽
Fig. 2 Actual wax line width

156 mm,厚度为 180~220 μm ,电阻率 1~3 $\Omega \cdot \text{cm}$ 。周围环境温度为 21 $^{\circ}\text{C}$,实验分为两大部分。

1) 由于常规工艺中,扩散后方阻对转换效率有较大的影响,因此做了 4 组对比试验,分别为当方阻是 55,60,65,70 对应的转换效率,具体实验数据见表 1。从表 1 可以得出当扩散方阻为 60 Ω 时,转换效率最高,同时也可以看出扩散方阻对电池的开路电压,短路电流,串联电阻影响较大;当方阻为 55 Ω 时,电池活性区域对短波光区域响应较弱,因此短路电流较小;当方阻为 65 Ω 时,金属银线与硅片的接触电阻明显较大;当方阻为 70~75 Ω 时,接触电阻更大。

2) 分别用常规工艺及 SE 工艺制成 1 000 pcs 多晶硅太阳能电池片,常规工艺中扩散后方阻为 60 Ω ,2 组实验在同一条生产线上完成,2 种工艺生产流程对比见表 2。

在丝网印刷阶段,常规电池片和 SE 电池片的印刷流程及参数控制相同。首先印刷电池的背电极,然后印刷电池的背电场,最后印刷电池的正电极。背电极和背电场的印刷对电池效率影响较小,通常只有当背电场印刷厚度太薄时,在烧结后容易出现铝包,影响电池的外观。通过降低烧结温度,降低印刷压力,降低铝浆的粘度等可以解决铝包问题。电池的正电极印刷对电池的转换效率有重大影响,主要表现在以下几方面。

表 1 不同方阻对应的电性能参数

Tab. 1 Electric performance parameters corresponding to each square resistance

方阻 / Ω	开路电压 U_{oc}/V	短路电流 I_{sc}/A	串联电阻 $R_s/\text{m}\Omega$	填充因子 FF/%	转换效率 /%	漏电,低效 JO/pcs	总量 /pcs
55	0.616 37	8.453 47	3.06	77.77	16.65	14	662
60	0.620 83	8.536 97	3.01	77.74	16.94	5	819
65	0.619 94	8.580 04	3.47	77.22	16.88	8	686
70~75	0.623	8.53	4.3	76.9	16.78	15	604

表 2 SE 工艺和常规工艺生产流程对比

Tab.2 Comparison between SE process and traditional production process

SE 工艺		常规工艺	
制绒	以 1 : 2 : 6 的比例混合 HF, HNO ₃ , H ₂ O 溶液对硅片表面进行腐蚀, 硅片表面形成反射率范围是 21% ~ 24%	制绒	与 SE 工艺相同
扩散	大氮流量设置为 11 L/min, 小氮流量为 1 300 mL/min, 扩散温度为 836 °C, 得到扩散后方阻为 48 ± 3 Ω/sq	扩散	大氮流量设置为 12 L/min, 小氮流量为 1 050 mL/min, 扩散温度为 830 °C, 得到扩散后方阻为 60 ± 3 Ω/sq
印刷蜡线	蜡的粘度 15 cp, 密度 0.8 × 10 ³ kg/m ³ , 表面张力为 32 mN/m, 喷头的温度设定为 90 °C		
边缘刻蚀及正面刻蚀	以 1 : 8 : 13 的比例混合 HFmHNO ₃ , H ₂ O 溶液对硅片边缘及正面进行刻蚀, 刻后活性区域方阻 120 ± 10 Ω, 减薄量 0.28 ± 0.02 g	边缘刻蚀	以 1 : 8 : 13 的比例混合 HF, HNO ₃ , H ₂ O 溶液对硅片边缘进行腐蚀, 减薄量 0.18 ± 0.02 g
等离子体化学气相沉积 (PECVD)	进行双层镀膜工艺, 第 1 层膜氨气流量为 6.5 L/min, 甲烷流量为 1 400 mL/min, 镀膜时间为 150 s; 第 2 层膜氨气流量为 7.00 L/min, 甲烷流量为 550 mL/min, 镀膜时间为 480 s, 得到膜厚为 82 ± 2 nm	等离子体化学气相沉积 (PECVD)	与 SE 工艺相同
丝网印刷背电极、背电场及正电极	采用良品网版, 80 线, 线宽 45 μm, 印刷速度为 220 mm/s, 印刷压力为 66 ~ 70 N	丝网印刷背电极、背电场及正电极	与 SE 工艺相同

- 1) 印刷压力太小, 印刷速度太大时, 容易出现虚印, 这会造成串联电阻增大。
- 2) 印刷压力太大, 容易造成崩网; 批量生产时, 印刷速度太小时, 则会影响产量, 实验中印刷速度为 220 mm/s, 印刷压力为 66 ~ 70 N。
- 3) 实验中刮条的角度为 85° ~ 90°。角度不当时, 会造成印刷不均匀, 金属银线中会出现结点, 造成电池串联电阻增大。
- 4) 浆料粘度过大, 搅拌时间不足时, 易造成断栅、虚印, 若浆料粘度低, 则可塑性低, 那么烧结后浆料容易出现坍塌, 金属银线中会出现结点。
- 5) 生产过程中, 网板的质量对印刷质量有非常明显的影响, 网版膜厚不一, 图文开口部分边缘不整齐, 不清晰, 有毛刺状, 或者网版有压痕, 都容易造成印刷结点, 其次网版质量差, 张力太小或不均匀, 感光胶膜制作不良等则易造成虚印。金属银线的高宽在很大程度上决定于网板网线的高宽, 实验使用网板网线线宽为 45 ~ 48 μm, 线高为 14 ~ 15 μm。

2 结果与讨论

在 2 种工艺电池片的 17 档(效率为 16.9% ~

17.1%)中随机各选取 24 pcs 片子, 用 3D 显微镜分别测得 2 种工艺电池片的副栅线的高宽比, SE 工艺电池片平均高宽比为 0.245, 常规工艺电池片平均高宽比为 0.242, 可以看出 SE 工艺电池片高宽比优于常规工艺电池片, 但是相差并不大。图 3 和图 4 为其中效率最高的电

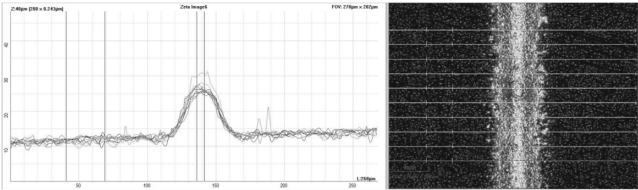


图 3 SE 电池片金属电极的高和宽
Fig. 3 Height and width of metal electrode of SE battery

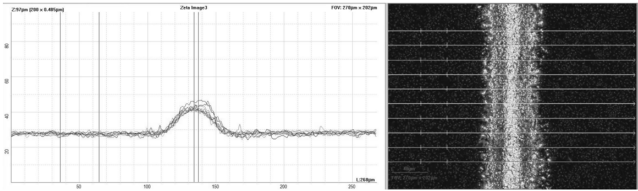


图 4 常规工艺电池片金属银线的高和宽
Fig. 4 Height and width of metal electrode
by traditional process

池片金属电极的 3D 图形。

制得的 SE 电池及常规电池中效率最高的电池片在标准测试条件下(光照强度为 $1\,000\text{ W/m}^2$, 光谱分布为 AM1.5 G, 电池温度为 $25\text{ }^\circ\text{C}$)测得的 U-V 电性能曲线见图 5, 可以看出 SE 电池的短路电流及开路

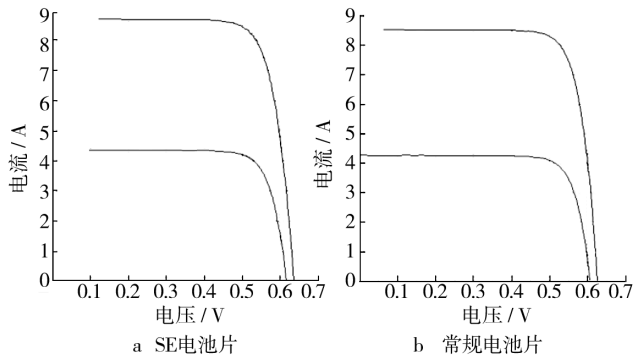


图 5 电池片 U-V 电性能曲线

Fig. 5 The U-V performance curve of battery

电压相比于常规电池片都有所增大。这是因为 SE 电池的金属电极与硅片之间的接触电阻小, 导致串阻减小, 进而在一定程度上提高了电池的短路电流, 且电池活性区进行的是低浓度浅扩散, 因此提高了电池对短波光区域的光谱响应, 从而提高电池的短路电流和开路电压。

对比 $1\,000\text{ pcs}$ SE 工艺电池片和 $1\,000\text{ pcs}$ 常规工艺电池片的平均电性能参数, 得出当采用常规工艺进行批量生产, 所获得的短路电流 I_{sc} 为 8.566 mA , 串联电阻 R_s 为 $3.25\text{ m}\Omega$, 开路电压 U_{oc} 为 0.623 V , 转换效率为 17.1% 。采用 SE 工艺进行批量生产, 短路电流 I_{sc} 为 8.598 A , 串联电阻 R_s 降低为 $3.09\text{ m}\Omega$, 开路电压 U_{oc} 增大至 0.626 V , 所获得的转换效率 η 增大至 17.26% , 具体数据见表 3。

SE 电池与常规电池的短路电流、串联电阻、开路电压、电池效率、填充因子数据散点图的对比(左边是 SE 电池电性能参数,

右边是常规电池电性能参数)见图 6, 从趋势曲线可以看出 SE 电池各电性能参数比常规电池的电性能参数要稍稳定。

表 3 2 种工艺电池片的电性能参数平均值

Tab.3 Average value of electric performance parameters of two kind of batteries

	转换效率	开路电压	短路电流	串联电阻	填充因子
	$\eta/\%$	U_{oc}/V	I_{sc}/A	$R_s/\text{m}\Omega$	FF/%
SE 工艺	17.26	0.626	8.598	3.09	77.97
常规工艺	17.1	0.623	8.566	3.25	77.95

3 结论

研究表明 SE 电池的短路电流比常规电池短路电流高 0.032 A/m^2 , 开路电压提高 0.003 V , 串联电阻降低 $0.16\text{ m}\Omega$, 填充因子提高 0.02 和转换效率提高了 0.16% 。此外, SE 电池各电性能参数比常规电池的电性能参数要稍稳定。

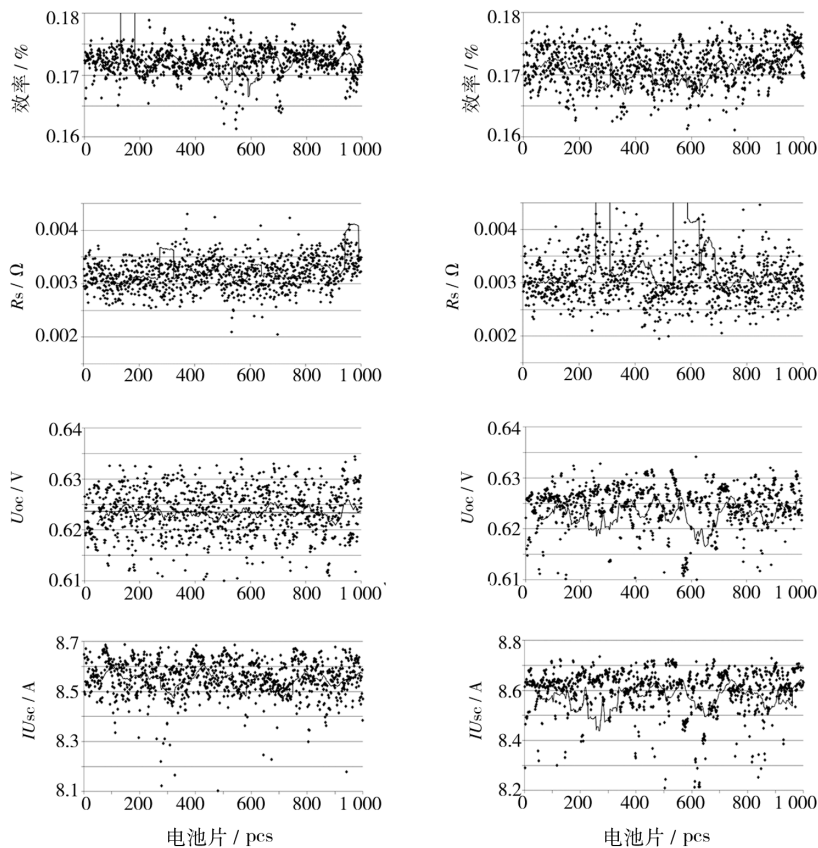


图 6 SE 电池与常规电池电性能参数对比

Fig. 6 The comparison of electric performance parameters of two kinds of battery

(下转第 145 页)

- in the Equipment Manufacturing Industry Based on Core Competence Theory[J]. Modern Manufacturing Engineering, 2009(3):25-29.
- [12] 廖静林,江劲勇,路桂娥,等. 废弃火炸药的处理与再利用研究[J]. 装备环境工程, 2010,7(4):108-111.
LIAO Jing-lin, JIANG Jing-yong, LU Gui-e. Research of Obsolete Explosive and Propellant Utilization and Recycle[J]. Equipment Environmental Engineering, 2010, 7(4):108-111.
- [13] KOPTE S, RENNER M, WILKE P. The Cost of Disarmament, Dismantlement of Weapons and the Disposal of Military Surplus[R]. Nonproliferation Review, 1997.
- [14] 苏恺伦,郑建明. 电路板环境应力筛选方法效能分析[J]. 装备环境工程, 2010,7(6):157-159.
SU Kai-lun, ZHENG Jian-ming. Effect Analysis of Environmental Stress Screening Method of PCB [J]. Equipment Environmental Engineering, 2010,7(6):157-159.
- [15] 郭小亮,杨宏伟,倪明仿,等. 退役报废装备资源再生利用研究[J]. 资源再生, 2009(10):35-37.
GUO Xiao-liang, YANG Hong-wei, NI Ming-fang, et al. Research on the Regeneration of Equipment Resource out of Service or Scrap[J]. Renewable Resources, 2009(10):35-37.
- [16] 甘信华,刘峰. 汽车制造企业的逆向物流能力影响因素的结构分析[J]. 包装工程, 2011,32(3):112-115.
GAN Xin-hua, LIU Feng. Structural Analysis of Influencing Factors of Automobile Manufacturing Enterprise Reverse Logistics Capability[J]. Packaging Engineering, 2011,32(3):112-115.
- [17] 何波. 国内废旧电子产品逆向物流运作模式研究[D]. 武汉:武汉理工大学, 2008.
HE Bo. Study on Reverse Logistics Mode of Domestic Useless Electronic Products[D]. Wuhan: Wuhan Institute of Technology, 2008.
- [18] 杨德礼,于江. 供应链管理下节点企业与第三方物流间协同合作的量化研究[J]. 中国软科学, 2003(3):51-55.
YANG De-li, YU Jiang. Quantitative Research of the Cooperation Between Node Enterprises and Third-Party Under the Supply Chain Management[J]. China Soft Science, 2003(3):51-55.

(上接第 120 页)

参考文献:

- [1] PIROZZI L, ARABITO G, ARTUSO F. Selective Emitters in Buried Contact Silicon Solar Cells: Some Low Cost Solutions[J]. Solar Energy Materials & Solar Cells, 2001,65(9):287-295.
- [2] EBONG A, ROHATGI A, ZHANG W, et al. Understanding the Role of Glass Frit in the Front Ag Paste for High Sheet Resistance Emitters[C]. 22nd European Photovoltaic Solar Energy Conference, Milan, Italy, 2007.
- [3] KHADILKAR C, KIM S, PHAM T, et al. Characterization of Silver Front Contact in a Silicon Solar Cell[C]. Technical Digest of the International PVSEC-14, Bangkok, Thailand, 2004.
- [4] Edvárd Bálint KUTHI. Crystalline Silicon Solar Cells with Selective Emitter and the Self-doping Contact[J]. Solar Energy Materials and Solar Cells, 2004(6):21-31.
- [5] SZLUFCHIK J, DUERUNCKX F, HORZEL J, et al. Advanced Concepts of Industrial Technologies of Crystalline Silicon Solar Cells [J]. Opto-electronics Review, 2000,8(4):299-306.
- [6] ALEMÁN M, FELL A, HOPMAN S, et al. Laser-doped Silicon Solar Cells by Laser Chemical Processing (LCP) exceeding 20% Efficiency Homer Antoniadis[C]. 33rd IEEE Photovoltaic Specialist Conference, 2008:12-16.
- [7] GALL S, MONNA R. Experimental and Analytical Study of Saturation Current Density of Laser-doped Phosphorus Emitters for Silicon Solar Cells[J]. Solar Energy Materials & Solar Cells, 2011(95):2536-2539.
- [8] 屈盛. 丝网印刷制作选择性发射极太阳电池的研究[D]. 昆明:云南师范大学, 2005.
QU Sheng. The Study of Selective Emitter Star Cells Manufactured by Screen Printing[D]. Kunming: Yunnan Normal University, 2005.
- [9] 石利琴. 影响喷墨印刷质量的关键因素分析[J]. 包装工程, 2005,26():44-46.
SHI Li-qin. Analysis of the Key Factors Influencing on the Ink-jet Printing Quality [J]. Packaging Engineering, 2005,26()44-46.