

浅析银铜双金属一步法制备的黑硅多晶硅太阳电池的性能

徐义胜^{*}, 何保杨, 单 伟, 何 胜, 周盛永, 黄海燕, 陆 川

(海宁正泰新能源科技有限公司, 海宁 314400)

摘 要: 为了研究银铜双金属一步法黑硅技术, 对采用该方法处理后的黑硅多晶硅硅片进行测试, 并以产线工艺为基础制备黑硅多晶硅太阳电池; 使用测试仪等研究了黑硅多晶硅硅片的显微组织、界面结构、宏观形貌, 以及黑硅多晶硅太阳电池的量子响应、电性能参数与光衰性能。结果表明, 黑硅多晶硅太阳电池的电性能有显著提升, 尤其是短路电流提升了 221 mA, 这主要是由于黑硅多晶硅太阳电池的短波段量子响应有显著改善; 同时, 黑硅多晶硅太阳电池的光衰特性优于常规多晶硅太阳电池。

关键词: 多晶硅; 减反射; 银铜双金属; 黑硅; 转换效率

中图分类号: TM914.4^{†1} **文献标志码:** A

0 引言

近年随着光伏行业的持续发展, 高效太阳电池所占的市场份额呈逐年扩大的趋势。高效太阳电池的一个关键技术点就是要增加太阳光的吸收率, 以便增加电子、空穴收集几率^[1]。

由于黑硅太阳电池具有高太阳光吸收率的优点, 这些年在光伏行业得到越来越广泛的应用, 尤其以具有成本及效率双重优势的湿法黑硅太阳电池为代表^[2]。黑硅太阳电池是通过刻蚀法对硅片表面进行再次改进, 从而形成纳米级结构。由于这种纳米级结构可以在一个相当大的光谱范围(250~2500 nm)内提升光的吸收率, 因此可以显著增加光的整体吸收率^[3]。

现今市场上常见的湿法黑硅技术采用的是银单金属多步黑硅制绒方法, 该方法存在工艺步骤多、槽体多不易控制、产能低、空间要求高与灵活性不佳等不足之处^[4]。基于此, 北京普扬科技有限公司通过与中国科学院物理研究所合作, 开创性地开发出了银铜双金属一步法黑硅技术。该

技术可以在控制纵向刻蚀的同时, 通过特殊手段控制横向刻蚀, 仅需一次刻蚀便可得到合适高宽比的硅片表面微观结构; 同时该技术也适合于现有太阳电池工艺流程, 具有工艺简单、槽体少等优点, 能够大幅降低生产成本^[5-7]。

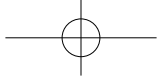
本文以北京普扬科技有限公司采用银铜双金属一步法制备的黑硅多晶硅硅片为基础, 以浙江正泰太阳能科技有限公司的太阳电池产线为载体, 制备出黑硅多晶硅太阳电池, 并对制备出的黑硅多晶硅太阳电池与常规多晶硅太阳电池进行了性能对比实验研究。

1 实验过程

黑硅多晶硅硅片(下文简称“实验组硅片”)与采用了常规制绒工艺的多晶硅硅片(下文简称“对比组硅片”)的片源均为p型、尺寸均为157 mm×157 mm、电阻率均为1~3 Ω·cm。已完成黑硅制绒的实验组硅片经产线预清洗处理后, 从扩散工序开始采用常规多晶硅太阳电池的后续

收稿日期: 2019-05-29

通信作者: 徐义胜(1986—), 男, 硕士, 主要从事太阳电池方面的研究。yisheng.xu@Astronergy.com



制备流程, 流程如图1所示。对比组硅片则全程按照产线中常规多晶硅太阳能电池的流程制备。其中, 实验组硅片的扩散方阻为 $95\ \Omega/\square$, 对比组硅片的扩散方阻为 $85\ \Omega/\square$ 。



图1 黑硅多晶硅太阳能电池制备流程

Fig. 1 Preparation process of black silicon multi-crystalline silicon solar cell

依据上述流程制备出黑硅多晶硅太阳能电池(下文简称“实验组电池”), 并利用对比组硅片制备出常规多晶硅太阳能电池(下文简称“对比组电池”); 然后对实验组硅片、对比组硅片、实验组电池及对比组电池的性能进行测试。采用D8反射率测试仪测试实验组硅片与对比组硅

片的反射率, 利用Hitachi公司的S-4800扫描电镜进行实验组硅片表面形貌与结构测试, 使用Berger公司的*I-V*测试仪测试实验组电池与对比组电池的电性能参数, 利用PV Measurements公司的QEX7量子效率测试仪检测电池外量子效率(EQE), 使用思弗瑞公司型号为ZLL-6072C的太阳能电池光衰设备测试电池的光致衰减率。

2 结果与讨论

2.1 反射率

硅片制绒后的反射率是检测硅片品质的重要指标。因此, 选取实验组硅片与对比组硅片各5片进行反射率测试, 结果如表1所示。

由表1可知, 实验组硅片的平均反射率为

表1 2类硅片的反射率

Table 1 Reflectivities of 2 kinds of silicon

组别	1# 硅片	2# 硅片	3# 硅片	4# 硅片	5# 硅片	平均值
实验组硅片的反射率/%	18.0	18.7	17.8	17.5	18.5	18.1
对比组硅片的反射率/%	25.1	25.3	25.4	25.0	24.9	25.1

18.1%, 对比组硅片的平均反射率为25.1%, 两者相差7%。采用银铜双金属一步法黑硅技术可使硅片生成一定光谱范围内的反射率, 考虑到需要在短路电流提升与开路电压降低之间取得平衡, 因此, 最佳的硅片反射率为18.1%左右。

2.2 硅片表面形貌结构

图2为实验组硅片表面形貌图。由图可知, 制绒后实验组硅片表面会产生众多不规则尺寸的孔洞。图3为放大后的孔洞形貌, 由图可知,

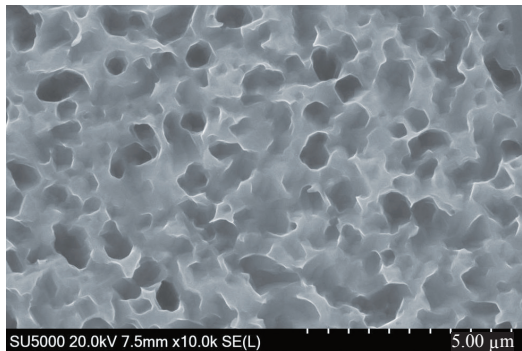


图2 实验组硅片表面形貌

Fig. 2 Surface morphology of the experimental group silicon

硅片表面已形成纳米级结构。随机选择表面2处位置测试表面孔洞的宽度与深度, 其中一处的宽度为580 nm, 深度为314 nm; 另一处的宽度为635 nm, 深度为316 nm。

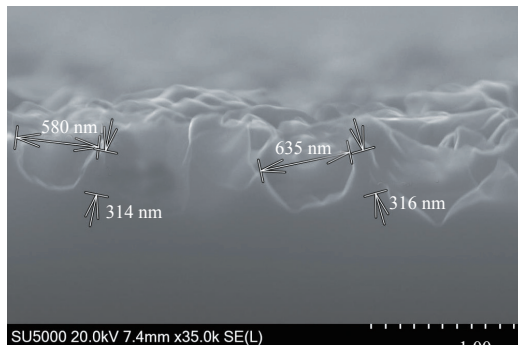


图3 实验组硅片表面孔洞微观结构

Fig. 3 Microstructure of the experimental group silicon

对实验组硅片表面进行元素能谱分析, 结果显示, 其表面仅有硅、碳2种元素, 如图4所示。可以看出, 实验组硅片表面的清洗效果较为彻底, 并无银、铜等金属离子残留; 而能谱中的碳元素残留可能是由于制程中的污染导致^[8]。

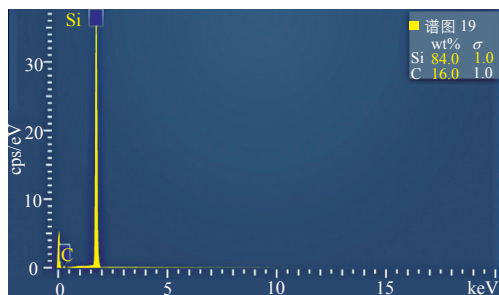
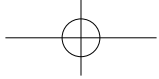
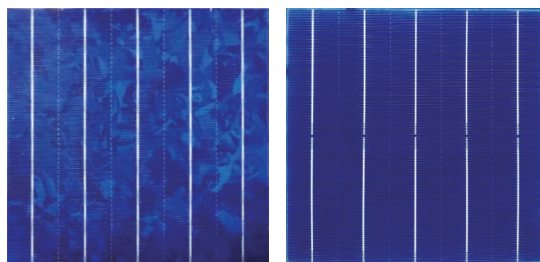


图 4 实验组硅片表面能谱分析

Fig. 4 EDS of surface of the experimental group silicon

2.3 电池的实物形貌

实验组电池与对比组电池的实物图如图 5 所示。实验组电池的表面色差十分明显，可能是由于银铜双金属一步法黑硅技术加大了实验组硅片表面不同晶相之间的反射率差异^[7]。



a. 实验组电池实物图

b. 对比组电池实物图

图 5 实验组电池与对比组电池的实物图对比

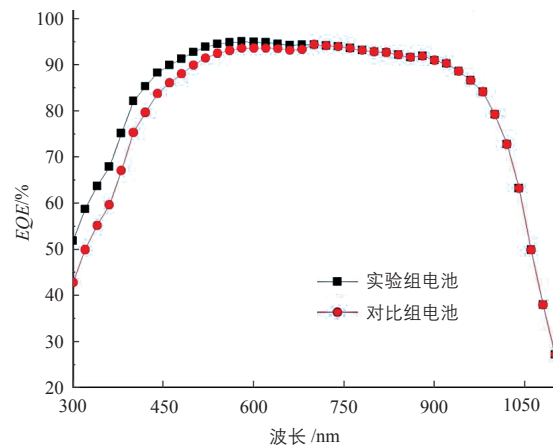
Fig. 5 Comparison of physical pictures between the experimental group solar cell and the contrast group solar cell

2.4 电池的量子响应

实验组电池与对比组电池的 EQE 曲线如图 6 所示。由于实验组硅片表面存在纳米级结构，其反射率更低，因而可以吸收更多的光。量子响应结果显示，实验组电池的短波段 EQE 更优。

2.5 电性能参数

从实验组电池与对比组电池分别选取 371 片电池，对 2 种电池的开路电压 V_{oc} 、短路电流 I_{sc} 、填充因子 FF 、效率 η 进行测试，然后取平均值，电

图 6 实验组电池与对比组电池的 EQE 曲线对比Fig. 6 Comparison of EQE curves between the experimental group solar cell and the contrast group solar cell

性能结果如表 2 所示。由表可知，与对比组电池相比，实验组电池的 η 提高了 0.27%； I_{sc} 提升了 221 mA；而 V_{oc} 降低了 3.3 mV。

表 2 2 种电池的电性能参数

Table 2 Electrical performance parameters of 2 kinds of solar cells

类型	V_{oc}/mV	I_{sc}/mA	$FF/\%$	$\eta/\%$
实验组电池	634.4	9279	80.53	19.29
对比组电池	637.7	9058	81.18	19.02

该电性能测试结果与硅片表面形貌及电池量子响应测试结果相匹配。由于实验组硅片表面特殊的纳米级结构，实验组电池的短波段 EQE 更佳，与对比组电池相比，其 I_{sc} 数值更大。同时由于实验组硅片所形成的纳米级结构导致其比表面积较对比组硅片增大 5 倍，相应的表面复合率也会增加，使实验组电池的 V_{oc} 对比组电池的^[4]。

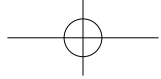
2.6 电池的光致衰减

实验组和对组电池各取 10 片，分别测试其初始效率、光致衰减 4 h 后与 24 h 后的效率，以及 4 h 后和 12 h 后的光致衰减率，结果如表 3 所示。

表 3 2 种电池的光致衰减数据

Table 3 LID data of 2 kinds of solar cells

组别	初始效率 /%	光致衰减 4 h 后效率 /%	光致衰减 24 h 后效率 /%	4 h 后光致 衰减率 /%	24 h 后光致 衰减率 /%
实验组电池	19.27	19.28	19.23	-0.01	0.21
对比组电池	18.96	18.84	18.78	0.63	0.95



由表可知，实验组电池的光致衰减率优于对比组电池。

3 结论

本文对采用银铜双金属一步法制备的黑硅多晶硅硅片与采用了常规制绒工艺的多晶硅硅片的性能，以及由2类硅片制备的2类太阳能电池的电性能进行了对比实验，得到以下结论：相同硅片源条件下，黑硅多晶硅太阳能电池的转换效率比常规多晶硅太阳能电池提升0.27%；黑硅多晶硅太阳能电池的短波响应有显著改善，短路电流提升了221 mA，同时其光致衰减结果也优于常规多晶硅太阳能电池。银铜双金属一步法黑硅技术成本更低，本实验结果表明了此方法具有一定的优势。

[参考文献]

- [1] BULTMAN J, CESAR I, GEERLIGS B, et al. Methods of emitter formation for crystalline silicon solar cells[J].

Photovoltaics international journal, 2010, 8: 69 – 80.

- [2] 蒋晔, 沈鸿烈, 岳之浩, 等. 黑硅与黑硅太阳能电池的研究进展[J]. 人工晶体学报, 2012, 41: 254 – 259, 269.
- [3] HSU C H, WU J R, LU Y T, et al. Fabrication and characteristics of black silicon for solar cell applications: An overview[J]. Materials science in semiconductor processing, 2014, 25: 2 – 17.
- [4] 韩长安, 邹帅, 李建江, 等. 高效多晶黑硅电池的产线技术[J]. 太阳能学报, 2013, 34(12): 2164 – 2169.
- [5] PENG K Q, HU J J, YAN Y J, et al. Fabrication of single-crystalline silicon nanowires by scratching a silicon surface with catalytic metal particles[J]. Advanced functional materials, 2006, 16: 387 – 394.
- [6] WU J T, LIU Y P, CHEN Q S, et al. The orientation and optical properties of inverted-pyramid-like structures on multi-crystalline silicon textured by Cu-assisted chemical etching[J]. Solar energy, 2018, 171: 675 – 680.
- [7] WANG S D, CHEN T W. Texturization of diamond-wire-sawn multi-crystalline silicon wafer using Cu, Ag, or Ag/Cu as a metal catalyst[J]. Applied surface science, 2018, 444: 530 – 541.
- [8] 曹宝成, 于新好, 马谨, 等. 清洗后硅片表面的电子结构[J]. 固体电子学研究与进展, 2002, 22(4): 496 – 499.

ANALYSIS OF THE PERFORMANCE OF BLACK SILICON MULTI-CRYSTALLINE SILICON SOLAR CELLS WITH Ag-Cu BIMETAL ONE-STEP PROCESS

Xu Yisheng, He Baoyang, Shan Wei, He Sheng, Zhou Shengyong, Huang Haiyan, Lu Chuan
(Chint New Energy Technology Haining CO., Ltd., Haining 314400, China)

Abstract: One Ag-Cu bimetal one-step process technique was carried out on industrial production. Black silicon multi-crystalline silicon solar cell was prepared. The parameters such as microstructure, interfacial structure, surface structure, quantum response, electrical characteristics and *LID* were investigated by tests. The results show that the electric properties of black silicon solar cells are improved. The short circuit current has an increase of 221 mA, which is mainly due to the enhancement of blue spectral response. Meanwhile, the *LID* for the black silicon multi-crystalline solar cells is also better than normal multi-crystalline silicon solar cells.

Keywords: multi-crystalline silicon; anti-reflection; Ag-Cu bimetal; black silicon; conversion efficiency