

文章编号: 1000-7032(2013)05-0634-05

激光在 PERC 晶硅电池中背面点接触电极制备中的应用

王仕建^{1,2}, 贾 锐^{1*}, 张希清²,
孙 昀¹, 孟彦龙¹, 丁武昌¹, 崔冬萌¹, 陈 晨¹, 任高全³

(1. 中国科学院微电子研究所 太阳能电池研究中心, 北京 100029;

2. 北京交通大学理学院 光电子技术研究所, 北京 100044; 3. 许昌开普电器检测研究院, 河南 许昌 461000)

摘要: 在经过 Al_2O_3 全钝化发射极钝化局部背接触 (PERC) 结构电池的背面实现良好的接触电极一直是制约着 PERC 高效电池向产业化推广的重要因素之一。本文采用 532 nm 激光烧蚀背面钝化介质层方法和传统的光刻工艺来实现背面电极的局部接触, 并对两种方法进行详细的比较与分析。对激光烧蚀和激光烧结两种不同的局部接触电极制备方式进行了对比, 发现激光烧蚀是更为适宜的工艺方式。相较于激光烧结, 以激光烧蚀方式制备的电池的串联面接触电阻从 $10.7 \Omega \cdot \text{cm}^2$ 降到 $1.24 \Omega \cdot \text{cm}^2$, 效率从 4.2% 提高到 10.7%。

关键词: 晶硅电池; Al_2O_3 ; 局部接触; 激光烧蚀; 激光烧结

中图分类号: TM914.4⁺ 文献标识码: A DOI: 10.3788/fgxb20133405.0634

Application of Laser Technique for Fabrication of Rear Dot-contact of PERC Crystalline Silicon Solar Cell

WANG Shi-jian^{1,2}, JIA Rui^{1*}, ZHANG Xi-qing², SUN Yun¹,
MENG Yang-long¹, DING Wu-chang¹, CUI Dong-meng¹, CHEN Chen¹, REN Gao-quan³

(1. Solar cell Research Centre, Institute of Microelectronics of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China;

2. Key Laboratory of Luminescence and Optical Information, Ministry of Education,

Institute of Optoelectronic Technology, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China;

3. China KETOP Lab, Xuchang 461000, China)

* Corresponding Author, E-mail: jiarui@ime.ac.cn

Abstract: One of the factors restricting the appliance of high-efficiency passivated emitter and rear cell (PERC)-type solar cell to the industrial silicon solar cell is that the formation of good ohmic contacts on the rear side of PERC-type solar cell passivated by Al_2O_3 film. This work focuses on the formation of rear local contacts instead of high efficiency by using laser ablation with 532 nm wavelength and conventional photolithographic technique. The results of the contact formed by these two methods are compared and analyzed. In addition, we compare and analyze the rear local contacts formed by laser ablation and laser firing using 532 nm line laser. The results suggest that the laser ablation can provide better contacts in the PERC-type solar cell. The contact resistance of the solar cell using laser ablation technique is reduced to $1.24 \Omega \cdot \text{cm}^2$ from $10.7 \Omega \cdot \text{cm}^2$ using laser firing method, and the efficiency is enhanced from 4.2% to 10.7%.

Key words: crystalline silicon solar cells; Al_2O_3 ; local contacts; laser ablation; laser fired contact

收稿日期: 2013-02-22; 修订日期: 2013-04-02

基金项目: 国家“973”计划(2009CB939703); 国家“863”计划(2012AA050304); 国家自然科学基金(51172268, 11104319, 11274346, 51202285); 基金重点 61234005; 北京市 Y2BK024001; 中科院 Y1YT064001, Y1YF034001, Y2YF014001 项目基金资助

作者简介: 王仕建(1986-), 男, 山东临沂人, 主要从事光电子材料与器件的研究。

E-mail: wangshijian1986@126.com

1 引 言

传统晶硅电池采用全 Al 背场的方式来对背表面进行钝化,在一定程度上降低了电池的制备工艺成本。但随着硅片的厚度越来越薄,全 Al 背场的弊端逐渐显现,如全 Al 背场电极制备过程中造成的硅片翘曲、Al-Si 合金层对电池红外波段反射能力差以及全 Al 背场电极的大面积电极接触造成电极复合较重等,这些问题制约了电池效率的进一步提升。为此,采用较高钝化质量的介质层对背面进行全钝化来替代全 Al 背场,并通过局部点接触的方式降低电极接触面积减小电极复合成为进一步改善电池效率的有效途径。

通过原子层沉积系统(ALD)生长的 Al_2O_3 对 P 和 N 型硅(c-Si)表面能起到显著的钝化效果^[1-2],以其为钝化层的晶硅电池的效率已达到 23.2%^[3]。 Al_2O_3 自身带有负电荷,对 P 型硅(c-Si)的场钝化效果优于热生长的 SiO_x 的钝化效果^[4]。 Al_2O_3 用于背面全钝化的 PERC 结构电池是未来一个很重要的发展方向。目前已报道多种背面点接触的实现方式,如光刻^[5]、喷墨打印^[7]、激光烧蚀^[8]等。其中光刻是实验室中较为常用且比较成熟的一种实现点接触的方式,但是其工艺的复杂性以及对环境的污染限制了其在大规模工业生产中的应用^[6]。喷墨打印技术需要先制备掩膜再腐蚀掉介质层,整个工艺需要三步;而激光烧蚀技术仅需要一步就可以在介质层上形成接触窗口。随着硅片厚度的不断减薄,激光烧蚀技术具有的无接触加工、方便快捷、精确度高等特点,在大规模电池生产中愈加显现出优势。Peter Engelhart 等^[8]发现,激光烧蚀不会对介质层的钝化效果产生任何的影响,并且对电池的少子寿命、开路电压、填充因子等电池性能造成的损伤也可忽略不计。I Sánchez-Aniorte 等^[9]通过对少子寿命的分析发现,选择不同波长的激光对发射极饱和电流的影响微乎其微。

到目前为止,激光技术在太阳能电池加工上的应用已有 20 多年的历史。激光烧蚀技术应用在 PERC 结构电池上获得的效率已逾 20%^[6]。本文采用 532 nm 激光器制备了基于 Al_2O_3 钝化的晶硅电池,对激光烧蚀和激光烧结两种不同的局部接触电极制备方式进行对比,发现激光烧蚀是更为适宜的工艺方式。相较于

激光烧结,以激光烧蚀方式制备的电池的串联面接触电阻从 $10.7 \Omega \cdot cm^2$ 降到 $1.24 \Omega \cdot cm^2$,效率从 4.2% 提高到 10.7%。

2 实 验

实验采用双面抛光的直径为 5.08 cm (2 in) 的 P 型 $\langle 100 \rangle$ Cz 硅晶圆片作为衬底,面接触电阻为 $10 \Omega \cdot cm$ 。晶圆衬底为同一批次,以保证实验中比对样品的一致性。所有样品经过标准 RCA 清洗。

首先任选两个样品,一个不做任何处理,另一个通过原子层沉积(ALD)系统生长一定厚度的 Al_2O_3 ,再在相应的惰性气体中做退火处理。然后分别对样品做少子寿命测试。

按照常规的倒金字塔制绒工艺进行绒面制备。样品在清洗之后采用 $POCl_3$ 单面扩散制备发射区,发射区方块电阻为 $40 \sim 80 \Omega/\square$ 。对扩散样品去磷硅玻璃之后,放入 Beneq TSF-100 原子层沉积系统中,采用热反应的方式进行 Al_2O_3 钝化层沉积,反应前驱物为三甲基铝(TMA)和去离子水。然后,通过等离子增强化学气相沉积系统(PECVD)在 Al_2O_3 上面沉积一定厚度的 SiN_x 作为保护层,再在前表面沉积 SiN_x 作为发射区钝化层及减反层。

接下来将样品分为 A、B、C 3 组。首先,以传统光刻方式制备背面点接触区,将其作为参比样品 A。背面点接触区为 $50 \mu m \times 50 \mu m$ 的正方形,区域间距为 $250 \mu m$ 。样品 B 采用激光烧蚀方法在背面形成局部接触窗口,样品 C 暂无处理。将 A、B、C 3 组样品通过丝印的方式制备前表面 Ag 栅线电极以及背面 Al 电极,最后共烧形成电

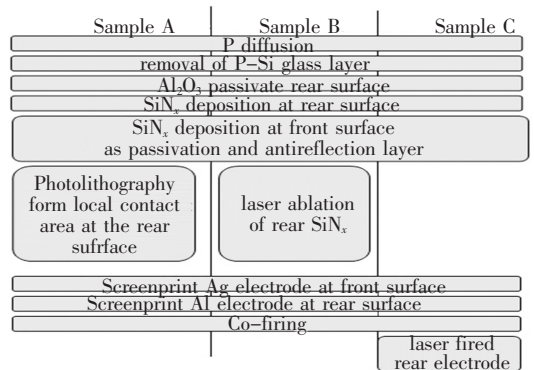


图 1 样品的制备工艺流程

Fig. 1 Fabrication process of the samples

极接触。在形成栅线接触之后,通过激光烧结的方式在样品 C 的背面形成局部接触点。具体操作步骤及样品结构如图 1 和图 2 所示。

实验中采用的激光器为 532 nm Nd: YVO₃脉

冲激光器,功率为 16.9 W,频率为 100 kHz,脉冲宽度为 30 ns。采用日本 3A 级太阳光模拟器及 Keithley 2400 电流计测试太阳能电池的 *I-V* 特性。

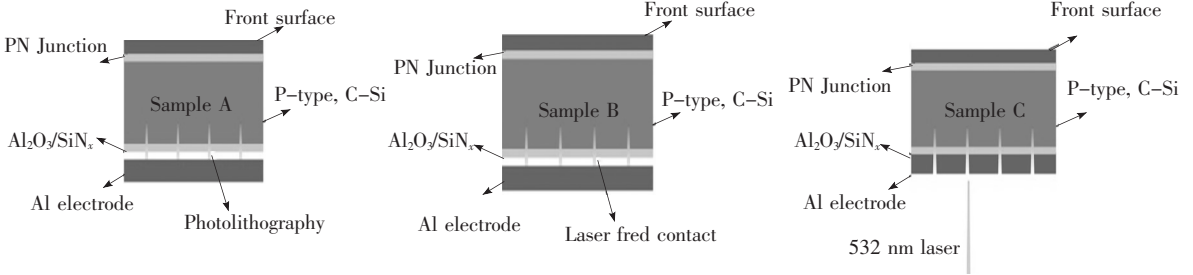


图 2 样品的剖面示意图

Fig. 2 Cross sectional schemes of the samples

3 结果与讨论

2.1 Al₂O₃ 钝化对少子寿命的影响

图 3 为少子寿命测试结果,可以看出 Al₂O₃ 钝化处理使少子寿命得到了显著提高。Al₂O₃ 钝化硅片的平均少子寿命为 254.64 μs,而未处理硅片只有 3.827 μs。Al₂O₃ 自身带有一定的负电荷,并且在生长过程中有 H 的参与,所以在硅片表面起到了场钝化和化学钝化的作用。

总面积的比例为 3% (图 4(b))。C 组样品采用背面局部激光烧结的方式来制备电池接触窗口,电极接触面积占电池背表面总面积的 0.4%,烧结区域的形貌如图 4(c) 所示。激光烧结与烧蚀采用的 532 nm 激光的参数相同,用以比较两种方式制备的电池性能的优劣。

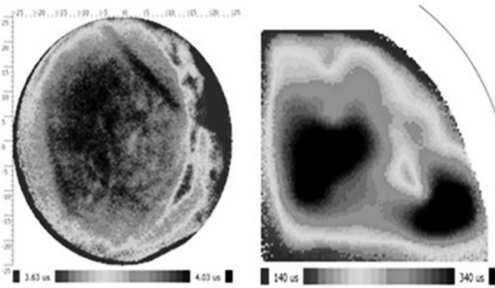


图 3 未处理(a)和 Al₂O₃ 钝化处理后(b)的硅片的少子寿命测试图

Fig. 3 Minority carrier lifetimes in wafers without (a) and with (b) Al₂O₃ passivation samples

2.2 不同结构电池的综合分析比较

由于 200 nm SiN_x 的阻挡,大面积的 Al 电极与电池衬底不存在任何的电接触,光生电流通过背面 SiN_x 上的电极接触窗口进行收集。A 组样品的接触窗口为 50 μm × 50 μm 的正方形,窗口间距为 250 μm,电极接触面积占电池背表面总面积的比例为 4% (图 4(a))。B 组样品采用激光烧蚀 SiN_x 层形成接触窗口,烧蚀区域直径为 80 μm,间距为 400 μm,电极接触面积占电池背表面

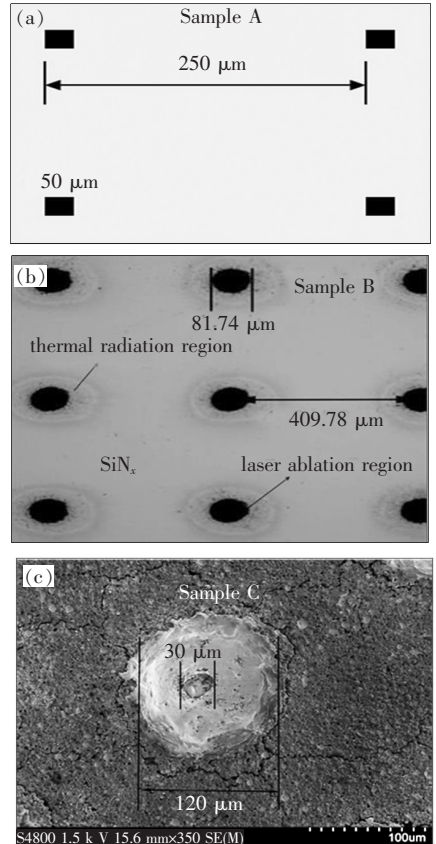


图 4 A (a)、B (b)、C(c) 3 组样品的背面点接触图像。

Fig. 4 Rear locally contact images of Sample A(a), B (b), and C(c).

PERC结构的电池背面采用全钝化、局部接触方式来替代全Al背场电极,一方面可以采用钝化质量更好的介质膜降低背表面的复合速率,另一方面还可以减小金属电极与背表面的接触面积,最终使开路电压得到改善。经测试得知,A组样品开路电压的平均值为541.1 mV,B组为547.8 mV,C组为551.8 mV。随着接触区域面积的增大,电池的开路电压有一定程度的降低。为了进一步说明两者之间开路电压存在差距的原因,我们对两种电池接触窗口进行了剖面SEM扫描,如图5所示。从图(5)可以看到,采用两种方法制备的接触窗口在经过烧结之后都能使Al与硅衬底形成良好的接触。在窗口位置,Al在高温烧结后与硅形成合金并不断向衬底扩散。相对而言,由于光刻工艺形成的接触窗口具有规整的边界并且表面的 SiN_x 能够彻底清除,因此烧结后,Al与Si可以形成形貌较好的共晶层并且在Si衬底中延伸的深度达到了35 μm 。采用激光烧蚀制备的窗口虽然也能形成良好的接触,但是Al-Si共晶层的深度仅有6 μm ,这就从另一个方面造成了Al与Si之间的接触面积要小于样品A。Al在Si中形成较浅共晶层可能是由于激光没有将 SiN_x 完全烧蚀,因此在Al烧结过程中形成了一定的阻挡。从剖面SEM图上可以明显看到,虽然两种不同电极制备方式占据背表面总面积的比例相差不多,但是样品A与硅衬底之间的实际接触面积要大很多,这也是较高电极复合导致开路电压降低的另一个重要的因素,管尽样品A的电机接触面本身就比样品B要多1%。

C组样品通过激光烧结的方式利用激光产生的高温将Al与Si衬底之间的 SiN_x 烧穿,并形成接触。在烧结过程中,激光能量不仅被介质层吸收,硅衬底也要吸收一部分的能量^[5],不过更多的激光能量还是被Al所吸收从而减小激光对硅衬底的损伤。从图4(c)中可以看出,经过烧结后的Al电极形成直径约120 μm 的凹坑,大量的Al在激光烧结过程中熔融汽化导致仅在底部直径30 μm 的区域形成Al烧结区域。样品B、C的点间距和接触区尺寸在设计上是一致的,但是由于在激光烧结的过程中热传导效应最终造成了外貌上这种较大的差别。虽然烧结点之间的间隔同为400 μm ,但激光烧结形成的接触区域的面积却仅占背面总面积的0.4%。激光烧结形成的接触

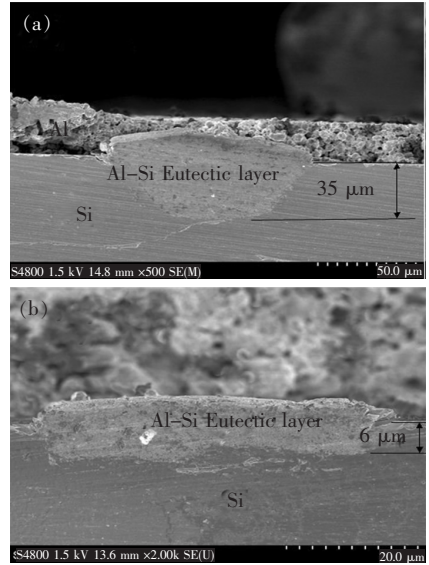


图5 A组(a)、B组(b)电池烧结后局部接触区域剖面的SEM图。

Fig. 5 Cross sectional SEM images of the contacts of sample A(a) and B(b) after sinter process

区域直径仅为30 μm ,这样虽然器件最终的开路电压较高,但也导致了较高的串阻。B、C两组电池的烧结温度、方式以及时间等工艺的不同也可能是造成两者电阻差异的一个因素,这些工艺的优化还有待进一步的研究。

表1为3组样品的性能比较。从平均性能上来看,虽然A组的平均开路电压略低,但是串联电阻要比其他两种电池低很多,这样A组样品中性能最好的电池填充因子可以达到72.7%,远大于C组样品。对于B组样品而言,在获得相对较低串阻的情况下结合比A组样品略高的开路电压,其最优样品的效率可以达到10.7%,是3个样品中效率最高的电池。B组最优样品的填充因子与A组最优样品相接近,不仅在于其串联电阻相对较低,而且还在于较高的开路电压,这样综合起来就获得了72.1%的填充因子,最终使效率得到了一定的改善。

由于条件和技术等一些条件的限制和差别,本文制备的电池的效率不是很高,但本文的主要目的是对比不同工艺之间的差异性,从而确定相对较优的电池制备方案。上述实验结果表明,532 nm激光烧蚀工艺用来制备背面钝化局部点接触电池具有与光刻工艺相近的性能,部分电池的性能甚至更优,证明532 nm激光烧蚀介质层工艺在制备高效率晶硅电池方面具有可行性。相对而言,

表 1 A、B、C 3 组样品的开路电压、短路电流密度、串联面接触电阻、填充因子和效率

Table 1 V_{oc} , J_{sc} , R_s , fill factor and efficiency of sample A, B, C

		开路电压 V_{oc}/mV	短路电流密度 $J_{sc}/(\text{mA} \cdot \text{cm}^{-2})$	串联面接触电阻 $R_s/(\Omega \cdot \text{cm}^2)$	填充因子/ %	效率/ %
A	平均性能	541.4	25.3	0.895	67.9	9.35
	最优性能	544	25.5	0.4	72.7	10.1
B	平均性能	547.8	25.7	3.18	58.2	8.2
	最优性能	546.2	27.2	1.24	72.1	10.7
C	平均性能	551.8	22.9	11.6	32.2	4.2
	最优性能	550.2	23	10.7	32.9	4.2

激光烧蚀方式获得的背面钝化局部接触电池的性能较差,说明激光烧蚀是实现局部电极接触的更适宜方式。

4 结 论

采用 532 nm 激光在 PERC 结构电池的背面

实现了良好的接触电极,电池的性能可以与传统光刻工艺制备的电池的性能相比拟,证明激光烧蚀介质层工艺在制备高效率晶硅电池方面具有可行性。与激光烧蚀工艺相比,激光烧蚀制得的电池的性能要远好于激光烧蚀,说明激光烧蚀是实现电池背面局部电极接触的更适宜方式。

参 考 文 献:

- [1] Hoex B, Schmidt J, Pohl P, *et al.* Silicon surface passivation by atomic layer deposited Al_2O_3 [J]. *J. Appl. Phys.*, 2008, 104(4):044903-1-12.
- [2] Hoex B, Gielis J J H, Van de Sanden M C M, *et al.* On the c-Si surface passivation mechanism by the negative-chargedielectric Al_2O_3 [J]. *J. Appl. Phys.*, 2008, 104(11):113703-1-7.
- [3] Benick J, Hoex B, Van de Sanden M C M, *et al.* High efficiency n-type Si solar cells on Al_2O_3 -passivated boron emitters [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 2008, 92(25):253504-1-3.
- [4] Hoex B, Schmidt J, Bock R, *et al.* Excellent passivation of highly doped p-type Si surfaces by the negativecharge-dielectric Al_2O_3 [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 2007, 91(11):112107-1-3.
- [5] Zhao J H, Wang A H, Green M A. 24.5% efficiency silicon PERT cells on MCZ substrates and 24.7% efficiency PERL cells on FZ substrates [J]. *Progress in Photovoltaics*, 1999, 7(6):471-474.
- [6] Hermann S, Dezhdar T, Harder N P, *et al.* Impact of surface topography and laser pulse duration for laser ablation of solar cell front side passivating SiNx layers [J]. *J. Appl. Phys.*, 2010, 108(11):114514-1-8.
- [7] Mingirulli N, Keding R, Specht J, *et al.* Hot-melt inkjet as masking technology for back-contacted cells [C]// The 34th IEEE PVSC, Philadelphia: IEEE, 2009:1064-1068.
- [8] Engelhart P, Harder N P, Horstmann T, *et al.* Laser ablation of passivating SiNx layers for locally contacting emitters of high-efficiency solar cells [C]// The 4th WCPEC, Waikoloa: IEEE, 2006:1024-1027.
- [9] Sánchez-Aniorte I, Colina M, Perales F, *et al.* Optimization of laser fired contact processes in c-Si solar cells [J]. *Physics Procedia*, 2010, 5:285-292.