

局部背接触结构单晶 Si 太阳电池的研究^{* *}

励旭东^{*}, 何少琪

(北京市太阳能研究所, 北京 100083)

摘要:报道了采用局部背接触结构的激光刻槽埋栅太阳电池的研究结果。模拟分析了局部背接触结构的作用, 设计了合理的电池结构。通过工艺优化, 得到了转换效率达到 17.28% (大气质量 $AM = 1.5 G$, $V_{oc} = 650.4$ mV, $J_{sc} = 33.15$ mA/cm², $FF = 0.8014$, 电池面积为 4 cm²) 的太阳电池。

关键词:激光刻槽埋栅太阳电池; 局部背接触结构

中图分类号: TM914.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005-0086(2007)02-0184-03

Buried Contact Solar Cells with Localized Rear Contacts

LI Xu-dong^{*}, HE Shao-qi

(Beijing Solar Energy Research Institute, Beijing 100083, China)

Abstract: The research results about the single crystalline silicon buried contact solar cells (BCSC) with localized rear contacts are reported in this paper. On the basis of simulation and calculation, proper cell structure was designed. With the optimized processes, the conversion efficiency of 17.28% ($V_{oc} = 650.4$ mV, $J_{sc} = 33.15$ mA/cm², $FF = 0.8014$, $AM = 1.5 G$) has been achieved on 4 cm² solar cell.

Key words: laser-grooved buried contact solar cells; localized rear contacts structure

1 引言

在少数载流子寿命大大提高和有发射区钝化的基础上, 发生在晶体 Si 太阳电池背表面的复合和背表面对光的内反射作用成为影响光电转换效率的关键。常规晶体 Si 太阳电池采用所谓“全 Al 背场”结构。尽管这种结构有很多优点, 但由于烧结形成的 Al-Si 合金背表面在减少复合和背反射效果方面的局限, 特别是 Al-Si 合金区本身即高复合区, 限制了电池效率的进一步提高。

在此背景下, 局部背接触结构^[1,2]开始应用于高效 Si 太阳电池。局部背接触结构的特点是: 背面电极接触只占整个背表面的很小部分, 其余部分则覆以钝化层; 钝化层上蒸镀金属作背反射面。本文研究了采用局部背接触结构的激光刻槽埋栅太阳电池。刻槽埋栅电池特别适用于聚光系统等对电池效率要求较高的领域^[3-5], 一般的刻槽埋栅电池采用全 Al 背场结构。本文将类似 PERC 电池^[1]的局部背接触结构移植到刻槽埋栅电池中, 以进一步提高电池效率。

2 模拟和电池结构设计

2.1 局部背接触结构的作用

激光刻槽埋栅太阳电池结构如图 1 示。为阐明局部背接触结构对太阳电池的作用, 首先采用 PCID 软件进行了

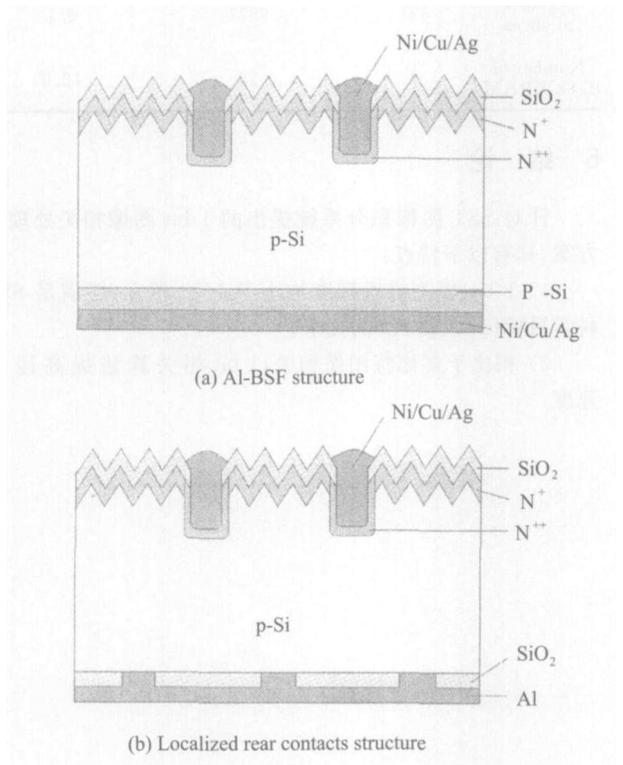


图 1 激光刻槽埋栅太阳电池结构示意图

Fig. 1 Sketches of laser-grooved buried contact solar cell

* 收稿日期: 2006-03-28

* E-mail: solarat@sina.com

模拟,模拟参数见表 1。

表 1 PCID 模拟时的基本参数
Tab.1 Parameters of PCID simulation

Wafer resistivity/ $\Omega \cdot \text{cm}$	0.2
Wafer thickness/ μm	300
Bulk lifetime/ μs	100
Average front reflection/ %	5
Surface doping of emitter/ cm^{-3}	4.7×10^{18}
Junction depth of emitter/ μm	1.0
Emitter profile distribution	Gaussian
Front surface recombination velocity/ $(\text{cm} \cdot \text{s}^{-1})$	1000

模拟了不同电池厚度情况下电池效率与背表面复合速度 (SRV) 的关系,如图 2 示。在电池正表面有良好钝化、少子体寿命较高的情况下,背表面的复合成为贡献暗电流,限制电流效率提高的主要机制。电池的厚度越薄,则这种影响越大。模拟显示,对厚 $200 \mu\text{m}$ 、少子体寿命为 $100 \mu\text{s}$ 的电池,将背表面复合从 $10^5 \text{ cm}^2/\text{s}$ 降至 $10^2 \text{ cm}^2/\text{s}$,可将效率从 20.4 % 提高至 22.1 %。

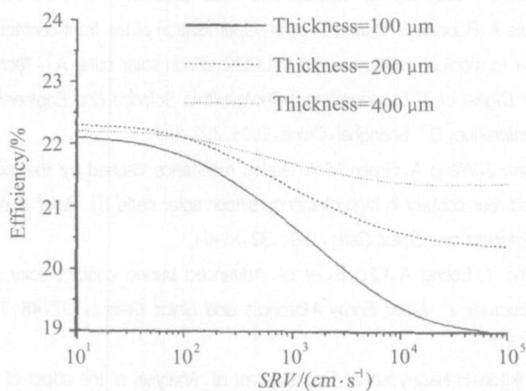


图 2 不同电池厚度下,背表面 SRV 对电池效率的影响
Fig.2 Influence of rear SRV on cell's efficiency

背反射面可以增加电池对红外光的响应。假定背反射面可将 95 % 的光反射回电池体内,背反射面对效率的影响如图 3

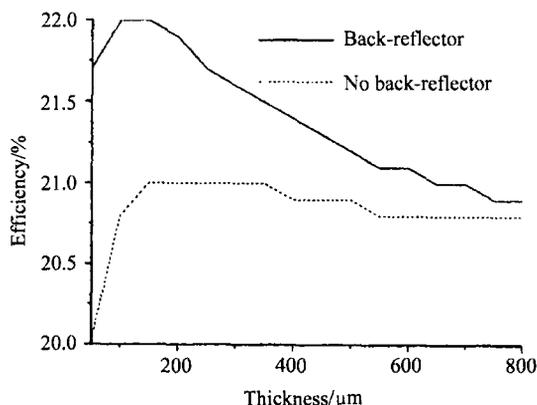


图 3 不同电池厚度时,背反射面的作用
Fig.3 Effect of back-reflector on cell's efficiency

示。由图可见,良好的背反射面对厚达 $800 \mu\text{m}$ 的电池有一定作用。在电池厚度小于 $300 \mu\text{m}$ 时,这种作用更加明显。

由这些模拟结果可以看出,局部背接触结构对提高电池效率有明显的作用。随着 Si 切片技术的发展,厚度 $200 \mu\text{m}$ 以下的 Si 片开始大量应用,对局部背接触结构的研究和应用就愈加重要。

2.2 背面结构的设计

局部背接触电池采用常规激光刻槽埋栅电池的正面结构和 PERC 电池的背面结构。

2.2.1 材料电阻率的选择

电池背面接触采用 Al/Si 直接接触而不经高温过程。由于没有 P^+ 区的存在,接触电阻成为需要考虑的一个问题。当衬底电阻率为 $0.1 \Omega \cdot \text{cm}$ 时,Al/Si 接触电阻率为 $5.4 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$;而对 $0.5 \Omega \cdot \text{cm}$ 的衬底,则上升到 $1.1 \times 10^{-3} \Omega \cdot \text{cm}$ 。另外,电池基区和局部背接触设计引起的串联电阻为^[6]

$$R_{\text{series}} = R_b + R_s = w_b + S^2 / a \quad (1)$$

其中: R_b 和 R_s 分别为电池基区和背面接触区带来的串联电阻; w_b 为基区电阻率; w_b 为基区厚度; S 为接触点间距; a 为方形接触点边长。由于采用了大间距设计, S^2/a 的值很大,也要求衬底电阻率低。因此,采用 $0.2 \Omega \cdot \text{cm}$ 的衬底。

2.2.2 背面电极图形设计

一般意义上讲,在整个背表面中,电极面积比越小,则背表面复合越少。然而,由于“边缘效应”,在相同电极面积比的情况下,小间距、小触点图形带来的复合要多一些。考虑到上述因素,背表面的暗电流可以表示为^[7]

$$J_0 = J_{100} f [1 + 0.88 / r + S^2 / 8r^2] \quad (2)$$

其中: J_{100} 为背表面全部电极覆盖时的暗电流; f 为电极面积占整个背表面积的比例; w_b 为电池厚度; r 为触点半径。按照式(2),在 f 相同的情况下,选择大间距、大触点的图形设计带来的暗电流较小。

采用局部背接触结构后,由于背电极面积缩减带来的功率损失 f_{1b} 为^[11]

$$f_{1b} = \frac{J_{mp}}{8 V_{mp}} S^2 [\ln(S/a) - 0.75] \quad (3)$$

其中: J_{mp} 、 V_{mp} 分别为最大功率点的电流密度和电压。显然,大间距的设计增加了功率损失,但采用低电阻率衬底可以减小其负面影响。

综合以上考虑,选择间距为 $2 \text{ mm} \times 2 \text{ mm}$ 、大面积接触点 ($200 \mu\text{m} \times 200 \mu\text{m}$) 的背面电极图形。由于电极面积仅占整个表面积的 1 %,由背表面贡献的暗电流 J_0 仅占背表面全部被覆盖时的 5 %,大大减少了复合的影响。同时,由于采用了 $0.22 \Omega \cdot \text{cm}$ 的衬底,局部接触引起的功率损失仅为 0.7 %。根据模拟,理想情况下,背面复合减少带来的增益为 5 ~ 10 %,背反射对光的内反射作用带来的增益为 3 ~ 4 %,完全可以弥补上述损失。

3 电池制备工艺

电池制作的基本工艺过程为:

干 O_2 氧化 ($1 \times 10^2 \text{ nm}$) 稀释 HF 溶液去除正表面氧化层 NaOH 溶液表面织构化 POCl_3 液态源扩散形成发

射区 干 O₂ 氧化(370 nm) 激光刻槽 清洗槽内沉积物 二次扩散 光刻背面接触点 背面真空蒸镀 Al Forming Gas 处理 电极制作 (化学镀 ,Ni/ Cu/ Ag) 减薄氧化层。

值得注意的是 Forming Gas 处理过程。背表面氧化层的钝化作用对局部背接触电池非常重要。Forming Gas (4% H₂ + 96% N₂) 中的 H⁺ 可以穿过 SiO₂ 层迁移到 Si/SiO₂ 界面,饱和界面态,减少界面态,因此可以提高 SiO₂ 层的钝化效果^[8]。另外,Forming Gas 处理还有改善欧姆接触的作用。

4 结果与讨论

4.1 不同背电极图形的比较

局部接触引起的功率损失主要引起电池最大功率点的改变,即使填充因子 FF 降低。比较了 3 种局部背接触电池的 FF,见表 2。显然,即使是电极面积仅占 0.5% 的大间距电极图形设计,也不会导致明显的功率损失,说明这种设计是合理的。

表 2 不同背电极图形的比较

Tab.2 Influence of different rear contact configurations on FF of solar cells

Contact dot area/ $\mu\text{m} \times \mu\text{m}$	Space between two dots/ $\text{mm} \times \text{mm}$	Contact ratio/ %	FF
100 \times 100	2 \times 1	0.5	0.8001
200 \times 200	2 \times 2	1.0	0.8036
20 \times 20	0.2 \times 0.2	1.0	0.8107
All-covered		100	0.80 ~ 0.82

4.2 电池性能的测试和分析

电池测试条件为:大气质量 AM = 1.5 G 光谱,24 。测试系统采用 Oriel 公司太阳模拟器,经过了二极标准电池的标定。4 cm² 局部背接触激光刻槽电池获得了 17.28% 效率 (V_{oc} = 650.4 mV, J_{sc} = 33.15 mA/cm², FF = 0.8014),见图 4。在我们制作的同类电池中,V_{oc}最高达到

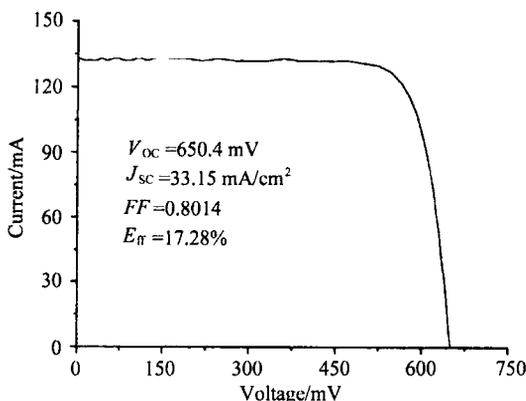


图 4 电池的 I-V 特性曲线

Fig.4 I-V curve and performance of the best solar cell

659 mV,FF 超过 0.81。高的 FF 显示背电极图形的设计是成功的。而高 V_{oc}与采用了低电阻率的 Si 材料有关,也说明电池具有良好的表面钝化。

电池存在的主要问题是短路电流较低。原因是采用低电阻 Si 片后,材料少子扩散长度较短,导致短路电流下降。这一问题可以通过减薄 Si 片厚度解决。另一原因是电池表面的减反射层尚待优化。采用 Si₃N₄ 或 MgF₂/ ZnS 双层减反射层可以解决这一问题。

参考文献:

- [1] Green M A,Blakers A,Zhao J ,et al. Characterization of 23-percent efficient silicon solar cells[J]. IEEE Transactions on Electron Devices,1990 ,37 :331-336.
- [2] Gunz S,Schneiderlochner E,Kray D ,et al.Laser-fired contact silicon solar cells on p and n substrates[A]. 19th European Photovoltaic Solar Energy Conference[C]. Paris ;France ,2004. 408-411.
- [3] Wenham S R,Buried-contact silicon solar cells[J]. Progress in Photovoltaics : Research and Applications ,1993 ,1 :3-10.
- [4] Wenham S R,Hnsberg C B,Green M A. Buried contact silicon solar cells[J]. Solar Energy Matrials and Solar Cells ,1994 ,34 :101-110.
- [5] Cole A,Roberts S,Bruton T ,et al. Optimisation of the front contact for low to medium concentrations in LCBC silicon solar cells[A]. Technical Digest of 15th International Photovoltaic Science and Engineering Conference[C]. Shanghai ,China ,2005. 397-399.
- [6] Zhao J ,Wang A ,Green M A. Series resistance caused by the localized rear contact in high efficiency silicon solar cells[J]. Solar Energy Materials and Solar Cells ,1994 ,32 :89-94.
- [7] Cho Y,Ebong A,Cho E ,et al. Advanced buried contact solar cell structure[J]. Solar Enrgy Materials and Solar Cells ,1997 ,48 :173-177.
- [8] H Ikeda ,H Nagayoshi ,Y Onozawa ,et al. Analysis of the effect of hydrogen radical annealing for SiO₂ passivation[J]. Solar Energy Materials and Solar Cells ,1997 ,48 :109-115.

作者简介:

励旭东 (1972 -) ,男 ,博士 ,主要从事硅基材料太阳能电池的研究。