

基于 IBC 太阳能电池的二氧化硅掩膜研究*

李力, 姜辰明, 黄铭, 沈辉
(中山大学太阳能系统研究所, 广东广州 510006)

摘要: 在叉指状背接触太阳能电池(IBC 电池)的制作过程中, 一种办法是以二氧化硅作为掩膜阻挡磷扩散进入已经扩硼的区域, 在有二氧化硅保护的区域, p^+ 区保持不变, 在没有二氧化硅保护的地方磷扩散进入形成 n^+ 背表面场, 从而实现在不同区域的不同扩散。该文是研究在不同的温度下热氧化得到的二氧化硅氧化层的厚度, 厚度从 0 nm 到 124 nm, 然后通过测量磷扩散前后方阻变化和 ECV 图像, 研究不同厚度下的二氧化硅掩膜对磷扩散的阻挡作用。同时, 还测量了在不同情况下硅片的少数寿命, 以确定一个最佳的热氧化二氧化硅工艺, 为 IBC 电池工艺的后续研究提供参考。

关键词: IBC 太阳能电池; 二氧化硅掩膜; 方阻; 少数寿命; ECV

中图分类号: TK51 **文献标志码:** A **文章编号:** 0529-6579(2014)05-0029-04

Study of Silicon Dioxide Masking Layer in IBC Solar Cell

LI Li, JIANG Chenming, HUANG Ming, SHEN Hui

(Institute for Solar Energy Systems, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510006, China)

Abstract: In the fabrication process of interdigitated back contact (IBC) solar cell, one is using SiO_2 as a masking layer after boron diffusion and then diffusing phosphorus is used to form local back surface field (LBSF). Under the protection of SiO_2 , the p-type emitter would stay unchanged and the area without SiO_2 will become n^+ LBSF. A gap covered with SiO_2 separates the emitter and LBSF. Thickness of thermal oxidation SiO_2 in different temperatures, from 0 nm to 124 nm, is investigated. Sheet resistance, minority carrier lifetime and diffusion profile by ECV before and after phosphorus diffusion are measured to see the effect of different silicon dioxide masking layers. With all these factors taken into consideration, the best thermal oxidation technique is determined for the following process of the IBC solar cell.

Key words: IBC solar cell; SiO_2 mask; sheet resistance; minority carrier lifetime; ECV

IBC 太阳能电池是一种高效的 n 型电池^[1-2], 在 p 型电池发展遇到瓶颈的今天, 未来效率超过 20% 的电池必然能逐步扩大市场份额, 在光伏中占有一席之地^[3-5]。在 IBC 电池的制作过程中, 如图 1 所示, 其中一种常用的工艺是先进行硼扩散然后把不需要的区域腐蚀掉, 再氧化一层二氧化硅掩膜并进行部分区域腐蚀^[6-7], 最后进行磷扩散, 在扩散硼的区域上有二氧化硅掩膜的保护作用, p^+ 区域保持不变, 在需要扩散磷的区域没有二氧化硅掩膜的

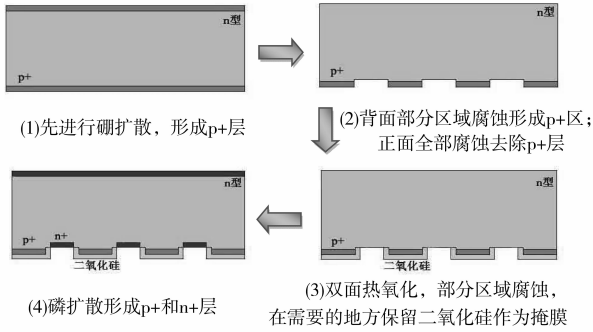
保护而形成一个 n^+ 层, 同时在 p^+ 区和 n^+ 区之间的区域, 还存在着一个覆盖着二氧化硅的间隙, 起到电极隔离的作用。本文研究的就是这层氧化膜的工艺。

通过热氧化的方式在硅衬底表面成长一层二氧化硅。因为磷原子在二氧化硅中的扩散系数很小, 所以氧化层可以作为磷扩散时的阻挡掩膜, 防止磷原子进入 p^+ 发射极区, 从而达到选择性扩散的目的。

* 收稿日期: 2013-10-11

基金项目: 粤港关键领域重点突破资助项目(2011Z3)

作者简介: 李力(1988年生), 男; 研究方向: 太阳能电池材料与工艺; 通讯作者: 沈辉; E-mail: shenhui1956@163.com

图 1 二氧化硅掩膜制作 IBC 电池 p^+ , n^+ 层的过程Fig. 1 Process to form p^+ , n^+ layer in IBC solar cell using silicon dioxide mask

1 实验

热氧化的基本原理是在 $900 \sim 1\,200\text{ }^\circ\text{C}$ 的高温下, 利用硅与氧化剂之间的氧化反应, 在硅衬底上生长出一层二氧化硅薄膜^[8]。氧化剂可以是纯 O_2 (干氧化)、水蒸汽 (水汽氧化) 或氧和水蒸汽的混合物 (湿氧化)^[9-10]。本论文是采用干氧氧化的方式生长二氧化硅层, 这是因为相比于其它两种氧化方式, 虽然干氧化时二氧化硅的生长速率是最慢的, 但这种方式生长出来的二氧化硅层更致密, 要起到扩散阻挡掩膜的作用, 二氧化硅层需要一定的致密性, 所以选择致密性更好的干氧化。

为了确定氧化的时间及温度, 本实验设计了不同厚度的氧化层阻挡磷扩散, 实验流程如图 2 所示。



图 2 实验流程

Fig. 2 Experimental process

本实使用的硅片为 $125\text{ mm} \times 125\text{ mm}$ 的 n 型 CZ 片, 厚度为 $190\text{ }\mu\text{m}$, 电阻率为 $1.9\text{ }\Omega \cdot \text{cm}$ 。实验分为七组, 第一组没有氧化, 作为实验参照组, 其余六组分别在 $900, 930, 960, 990, 1\,020$ 和 $1\,050\text{ }^\circ\text{C}$ 下氧化 90 min 。

2 数据分析

氧化结束后, 进行二氧化硅层厚度的测量与少数寿命的测量。结果见表 1。

表 1 在不同氧化温度下得到的二氧化硅层厚度与少数寿命

Table 1 Thickness of SiO_2 and minority carrier lifetime after different temperature of oxidation

组别	氧化温度/ $^\circ\text{C}$	氧化层厚度/ nm	少数寿命/ μs
第二组	900	46	199
第三组	930	60	93
第四组	960	76	90
第五组	990	89	99
第六组	1 020	108	87
第七组	1 050	124	91

由图 3 可以看出, 氧化层的厚度和氧化温度基本呈线性增加, 温度越高, 厚度越大。但是硅片的少数寿命随着温度升高呈下降的趋势, 当温度超过 $930\text{ }^\circ\text{C}$ 之后, 少数寿命迅速下降到一个比较低的值, 说明了高温对硅片是有不利影响的^[11]。考虑到杂质的渗入, 硅片损伤等问题, 我们需要保证在能够阻挡磷原子扩散进入的条件下, 尽量选择更低的氧化温度, 以减少杂质进入和硅片损伤。

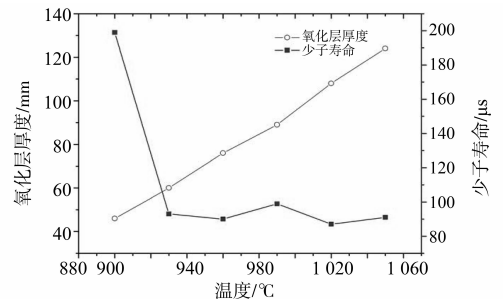


图 3 在不同氧化温度下得到的二氧化硅层厚度与少数寿命

Fig. 3 Thickness of SiO_2 and minority carrier lifetime after different temperature of oxidation

然后把七组硅片 (包括之前没有氧化的第一组硅片和经过氧化的六组硅片) 放入同一扩散炉内进行磷扩散。扩散工艺使用的是常规的磷扩散工艺。

经过扩散之后, 用 HF 洗掉表面的氧化层和磷硅玻璃 (PSG), 通过四探针测试仪测试硅片的表面方阻^[12], 与没有氧化没有扩散的裸片的方阻进行比较, 见表 2。

表 2 不同组别的硅片的方阻值

Table 2 Sheet resistance in different group

组别	温度	硅片 1	硅片 2	硅片 3	平均值
		Ω/\square	Ω/\square	Ω/\square	Ω/\square
1	扩散前	107	108.8	109	108.2
	扩散后	20.3	20.1	20.1	20.2
2	900 °C	85	79.5	90.6	85.1
3	930 °C	107.6	108.1	91.3	102.3
4	960 °C	107.9	106.6	107.2	107.2
5	990 °C	107.5	108.2	108.1	107.9
6	1 020 °C	109.3	107.4	110.2	109
7	1 050 °C	110	110.6	109.4	110

没有氧化的硅片经过扩散后，方阻达到了 20.2 Ω/\square ，而经过 900 °C 氧化之后的第二组硅片方阻迅速上升到 85.1 Ω/\square ，说明了二氧化硅对磷扩散是有比较好的阻挡作用的，但是阻挡不完全。第二组和第三组的，方阻升高了，但是依然低于扩散前的值，说明有部分磷原子的进入。第四组开始，其方阻值接近扩散前的方阻，通过方阻不好判定是否有磷原子的扩散进入。当温度继续升高，方阻会稍稍有点提高，是因为磷原子已经不能扩散进入硅片，而硅片中本来掺杂的磷原子在氧化过程中进入了二氧化硅，导致硅表面的磷原子浓度（实验用的是 n 型硅）会有一点降低。

因为从方阻比较难判断出磷原子是否有扩散进入，我们用电化学电容电压（ECV）法测量不同组别、不同温度工艺下的磷原子掺杂浓度^[13-14]。如图 4。

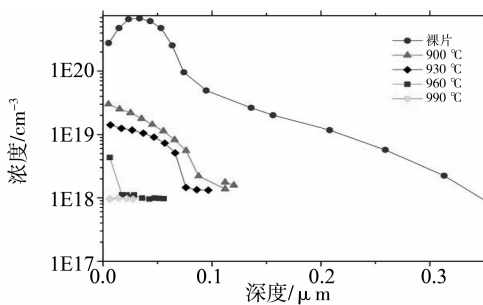


图 4 不同组别的硅片的磷原子浓度与深度关系图

Fig. 4 Diffusion profile in different groups

对于裸片的扩散，表面掺杂浓度很高，结也比较深。当氧化的温度越高，氧化层厚度越厚，掺杂浓度就越低，结深也越浅。当氧化温度为 960 °C 的时候，表面的磷原子浓度迅速降低，结深也已经小于 0.1 μm ，但是由于还存在磷原子的进入，不能

达到完全阻挡的要求。氧化温度为 990 °C 或者更高的时候，由于表面磷原子浓度已经很接近硅片内部的磷原子浓度，可以完全阻挡常规工艺下磷原子的扩散进入。

3 结 论

本文研究的是 IBC 太阳能电池制备工艺中的干氧氧化制备二氧化硅掩膜。在不同的温度下热氧化可以得到不同的氧化层厚度，基本呈线性关系。而少子寿命在 930 °C 左右迅速下降，当温度继续上升的时候，少子寿命基本维持不变。为了表征其对磷扩散的阻挡左右，我们测量了方阻和在不同深度下的磷原子浓度。方阻随温度升高，氧化层变厚呈现出上升的趋势，当温度达到 960 °C 后，方阻变化不明显。用 ECV 法测量在不同深度下的磷原子浓度可以更准备的进行表征。从测量结果可以看出，当热氧化温度达到 960 °C 的时候，其表面还有部分的磷原子进入，但是浓度比较低。当热氧化温度达到 990 °C 的时候，表面磷原子浓度已经达到衬底浓度，可以完全阻挡常规工艺下磷原子的扩散进入。

参考文献：

- [1] KERSCHAUER E V, BEAUCARNE G. Back-contact solar cells: a review [J]. Progress in Photovoltaics: Research and Applications, 2006, 14(2): 107 - 123.
- [2] 杨灼坚, 沈辉. n 型晶体硅太阳能电池最新研究进展的分析与评估 [J]. 材料导报, 2010, 24(15): 126 - 130.
- [3] 邵俊刚, 廖华, 黄小龙, 等. N 型硅——高效太阳能电池的希望 [J]. 太阳能, 2010, 5: 27 - 30.
- [4] PETER J, DAVID D S, HSIN-C L. Generation 3: Improved performance at lower cost [C]//Hawaii: Proceedings of the 35th IEEE PVSC, 2010: 275 - 278.
- [5] 段春艳, 沈辉. 等离子体太阳能电池的研究进展 [J]. 中山大学学报: 自然科学版, 2011, 50(3): 35 - 41.
- [6] 樊丽梅, 文九巴, 赵胜利, 等. 化学蚀刻单晶硅及其表面形貌研究 [J]. 表面技术, 2007, 36(1): 19 - 21.
- [7] 黄绍春, 江永清, 叶嗣荣, 等. 干氧 SiO₂ 的氢氟酸缓冲腐蚀研究 [J]. 桂林电子科技大学学报, 2006, 26(5): 363 - 365.
- [8] 平间恒, 王秀春. 硅的氧化及二氧化硅 [J]. 微电子学, 1981(5): 37 - 42.
- [9] 徐新忠, 阮刚. 干氧中 Si 快速初始氧化的一种新模型 [J]. 应用科学学报, 1988, 6(2): 109 - 116.
- [10] 刘英清, 杨显清. 高压水汽氧化 [J]. 微电子学, 1982, 3: 1.

根据解析结果, 利用 Matlab 计算得到混凝土圆柱体内部的热应力。通过以上方法及分析得知:

1) 圆柱体表面温度表达为幂为正的指数函数时, 拟合的温度场精度较好。

2) 轴对称稳定温度场的热应力求解中, 应由准确的外部温度试验值出发求解; 受热温度由 100 °C 变为 120 °C 时, 混凝土圆柱体应力分布的形状没有改变, 内部的应力值处于同一个数量级, 应力范围增大了 0.4 倍左右。

参考文献:

- [1] 吕运冰, 肖金生, 张开银. 功能梯度材料圆筒的定常温度分布及热应力[J]. 武汉交通科技大学学报, 1997, 21(2):158-163.
- [2] DING H J, WANG H M, CHEN W Q. A theoretical solution of cylindrically isotropic cylindrical tube for axisymmetric plane strain dynamic thermoelastic problem[J]. ACTA Mechanica Solida Sinica, 2001, 14(4):357-363.
- [3] 绍珠山. 有限长 FGM 圆筒的热/机应力的解析解[J]. 应用力学学报, 2006, 23(1):80-84.
- [4] LUCCIONI B M, FIGUEROA M I, DANESI R F. Ther-

mo-mechanic model for concrete exposed to elevated temperature[J]. Engineering Structures, 2003, 25(6):729-742.

- [5] 李艺, 赵文, 梁磊, 等. 贮存核废料用混杂纤维混凝土弯曲性能试验研究[J]. 中山大学学报: 自然科学版, 2009, 48(6):143-146.
- [6] 严宗达, 王洪礼. 热应力[M]. 三河: 高等教育出版社, 1993:1-238.
- [7] 李维特, 黄保海, 毕仲波. 热应力理论分析及应用[M]. 北京: 中国电力出版社, 2004:89-99.
- [8] 车向凯. 工程技术中常用的数学方法[M]. 沈阳: 东北大学出版社, 1998:109-272.
- [9] MARTA C, ABDELHAFID K, GEORGE C, et al. Effects and interactions of temperature and stress-level related damage on permeability of concrete [J]. Cement and Concrete Research, 2007, 37(1):79-88.
- [10] 吴波, 马忠诚, 欧进萍. 高温后混凝土变形特性及本构关系的试验研究[J]. 建筑结构学报, 1999, 20(5):42-49.
- [11] 李丽, 胡海涛. 钢筋混凝土结构高温性能研究综述[J]. 青岛建筑工程学院学报, 2004, 25(3):33-38.
- [12] 王沫然. MATLAB 与科学计算[M]. 北京: 电子工业出版社, 2003:26-166.

(上接第 31 页)

- [11] 王丽, 陈阿青, 王晓忠, 等. 扩散温度和时间对晶体硅太阳能电池性能的影响[J]. 电子元件与材料, 2012, 31(4):62-65.
- [12] 谢卿, 高华, 杨乐. 硅太阳能电池扩散方阻均匀性研究[J]. 光电技术应用, 2012, 27(3):50.
- [13] 李晓云, 牛萍娟, 郭维廉. 电化学 C-V 法测量化合物半

导体载流子浓度的研究进展[J]. 微纳电子技术, 2007(2):106-109.

- [14] PARKER E H C, BASARAN E, PARRY C P, et al. Electrochemical capacitance-voltage depth profiling of heavily boron-doped silicon [J]. Journal of Crystal Growth, 1995, 157(1):109-112.