

# 硅系太阳能电池表面钝化技术比较

王涛, 王正志

(国防科技大学 自动化学院, 长沙 410073)

摘要: 通过对硅片的少数载流子有效寿命、硅太阳能电池的反射损失和光谱响应这三个方面的研究, 比较了目前主要的硅太阳能电池表面钝化技术, 对这些钝化技术的优缺点进行了分析和评价。从上述三个方面的比较可以看出,  $RTO/SiN_x$  堆叠钝化技术在提高硅太阳能电池性能上是最优的, 具有良好的应用前景。

关键词: 钝化; 少数载流子有效寿命; 光谱响应

中图分类号: TN305.5 文献标识码: A 文章编号: 1003-353X(2006)07-0506-03

## Comparison of Surface Passivation Schemes for Silicon Solar Cells

WANG Tao, WANG Zheng-zhi

(Automation College, National University of Defence Technology, Changsha 410073, China)

Abstract: The main surface passivation methods for silicon solar cells at present were compared according to effective lifetime of minority carrier in Si wafers, reflection losses and spectral response of silicon solar cells. The advantages and disadvantages of these surface passivation technologies are analysed and estimated. The comparisons revealed that  $RTO/SiN_x$  stacks was the optimal passivation method for improving performance of silicon solar cells with wonderful future in applications.

Key words: passivation; effective lifetime of minority carrier; spectral response

## 1 引言

目前, 制造高效率、低成本的硅太阳能电池是光伏能源领域的主要研究热点, 低的表面复合是达到高效率的先决条件之一<sup>[1]</sup>, 减少硅片厚度是一种降低硅太阳能电池成本的有效途径<sup>[2]</sup>。无论是降低表面复合, 还是减少硅片厚度, 表面钝化处理都是必不可少的。这是由于下面两个原因: 第一, 对硅太阳能电池的表面进行较好的钝化, 可以去掉悬挂键和降低表面态, 这是降低表面复合的一种重要方法<sup>[3]</sup>。第二, 为了在减少硅片厚度的同时保持硅太阳能电池的性能不变甚至提高, 要求这种薄的硅片具有很低的表面复合速度<sup>[2]</sup>, 传统的方法是使用 Al 金属作为背面场 (BSF) 来降低背表面复合速度<sup>[4]</sup>, 但是, 标准的 Al 背面场的应用会导致厚度小于 150  $\mu m$  的硅片弯曲, 会降低能量的产出<sup>[2]</sup>, 这就需要

一种表面钝化方法。硅太阳能电池的表面钝化技术包括传统热氧化法 (CTO), 快速热氧化法 (RTO), 等离子体增强化学气相沉积 (PECVD)  $SiN_x$  和  $SiO_2/SiN_x$  堆叠钝化等。下面主要分析这些钝化技术的效果和优缺点。

## 2 对少数载流子有效寿命 $\tau_{eff}$ 的影响

### 2.1 硅片的表面复合

硅太阳能电池是一种半导体器件, 所以, 有关半导体的复合理论对硅太阳能电池同样成立。根据复合过程发生的位置, 可以把复合分为体内复合和表面复合<sup>[5]</sup>。表面复合是指半导体表面发生的复合过程<sup>[5]</sup>。硅片中的少数载流子寿命值在很大程度上受到硅片表面状态的影响<sup>[5]</sup>, 这主要是由于以下三个原因: (i) 从体内延伸到表面的晶格结构在表面中断, 表面原子出现悬空键, 排列到最边缘的硅原

子的电子不能组成共价键,从而出现了表面能级,称为表面态,表面态中靠近禁带中心的能级是有效的表面复合中心<sup>[6]</sup>; (ii) 硅片的切割过程会在表面留下切割损伤,造成很多缺陷和晶格畸变,这将增加更多的复合中心<sup>[6]</sup>; (iii) 表面几乎总是吸附着一些带正、负电荷的外来杂质,也会成为复合中心<sup>[6]</sup>。

## 2.2 少数载流子的有效寿命 $\tau_{eff}$

实际测得的少数载流子寿命应是体内寿命  $\tau_v$  和表面寿命  $\tau_s$  的综合结果,称为有效寿命  $\tau_{eff}$ 。它们

之间的计算关系是  $\frac{1}{\tau_{eff}} = \frac{1}{\tau_v} + \frac{1}{\tau_s}$ <sup>[6]</sup>。由上式可以看出,表面寿命  $\tau_s$  越大,有效寿命  $\tau_{eff}$  越大。硅片的少数载流子有效寿命  $\tau_{eff}$  是衡量硅太阳能电池表面钝化效果的一个数量指标。通过提高  $\tau_{eff}$  可以提高电池的短路电流密度和开路电压,这样可以进一步提高电池转换效率。Ji Youn Lee 和 S.W. Glunz<sup>[1]</sup> 在磷扩散和无磷扩散的p型硅片表面实验了8种不同的钝化方案<sup>[1]</sup>,以  $\tau_{eff}$  作为衡量指标,实验结果如图1。

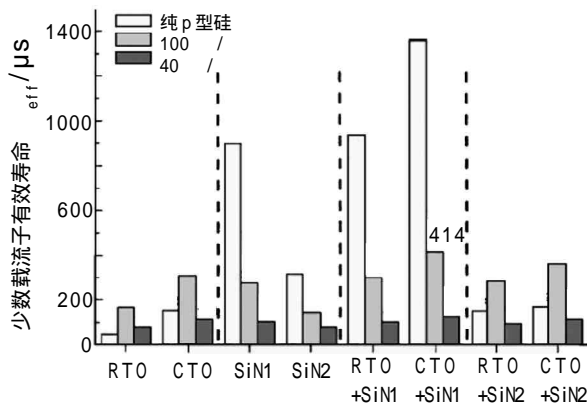


图1 使用8种不同的表面钝化方案得到的  $\tau_{eff}$  比较

图1中的SiN1和SiN2表示在两种不同步骤下实现的PECVD  $SiN_x$ 。从图1中可以看出,在薄层电阻为100  $\Omega$  的发射极上,使用CTO/SiN1进行钝化得到的  $\tau_{eff}$  是最大的(414  $\mu s$ ),而且无论是使用RTO/ $SiN_x$ ,还是CTO/ $SiN_x$ 进行表面钝化,在100  $\Omega$  的发射极上获得的  $\tau_{eff}$  要比其它钝化技术下的  $\tau_{eff}$  值高。需要注意的是, $SiO_2$ 是通过CTO或者RTO制备的。CTO是一种传统的热氧化法,它

主要是用来对高效率太阳电池前后表面的钝化<sup>[7-8]</sup>。它的处理温度比较高,并且过程时间比较长<sup>[1]</sup>。而RTO是一种快速热氧化法,它的处理时间短,处理温度低<sup>[9]</sup>,制造硅太阳电池消耗的能量小,是低成本的处理技术。所以,对于发射极薄层电阻为100  $\Omega$  和40  $\Omega$  的硅片来说,尽管CTO/SiN1和CTO/SiN2钝化下的  $\tau_{eff}$  比RTO/SiN1和RTO/SiN2钝化下的  $\tau_{eff}$  高,但是也要考虑到CTO/ $SiN_x$ 的处理成本要高于RTO/ $SiN_x$ 。

## 3 反射损失

硅太阳电池表面淀积的钝化薄膜不仅可以减小表面复合损失,而且应该使太阳电池具有很小的反射系数。Ji Youn Lee 和 S.W. Glunz<sup>[1]</sup> 在p型硅片上制造太阳电池,根据不同的钝化技术和是否应用绒面处理,把电池分为四组,见表1。

表1 不同结构的硅太阳电池

电池编号	No2_3	No8_2	Ref1	Ref2
基区电阻率 / $\Omega \cdot cm$	0.5	0.5	0.5	0.5
表面	平面	绒面	平面	绒面
前表面钝化	RTO/ $SiN_2$	RTO/ $SiN_2$	CTO	CTO
后表面钝化	RTO/ $SiN_1$	RTO/ $SiN_1$	CTO	CTO
栅极蚀刻	等离子体	等离子体	湿化学法	湿化学法

因为RTO/ $SiN_2$ 层的反射率最低,仅为13%。所以,把它作为电池的前表面钝化层。波长在390~1200nm时,上述四组电池的反射系数-波长关系曲线如图2<sup>[1]</sup>。

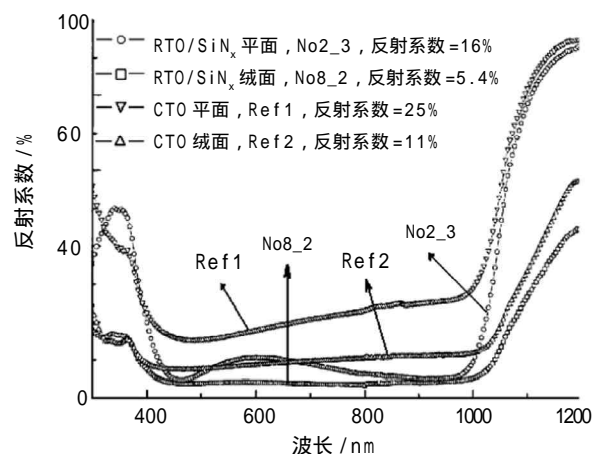


图2 四种不同类型太阳电池的反射系数

从图2中可以看到,反射系数最小的是编号为No8\_2的电池,仅为5.4%。这个电池的前后表面

分别使用 RT0/SiN<sub>2</sub> 和 RT0/SiN<sub>1</sub> 进行钝化, 所以, 把 RT0/SiN<sub>2</sub> 作为硅太阳电池的前表面钝化层是较好的。

#### 4 光谱响应

光谱响应表示不同波长的光子产生电子-空穴对的能力。定量地说, 太阳电池的光谱响应就是当某一波长的光照射在电池表面上时, 每一光子平均所能收集到的载流子数<sup>[10]</sup>。太阳电池的光谱响应又分为绝对光谱响应和相对光谱响应<sup>[11]</sup>。各种波长的单位辐射光能或对应的光子入射到太阳电池上, 将产生不同的短路电流, 按波长的分布求得其对应的短路电流变化曲线称为太阳电池的绝对光谱响应<sup>[11]</sup>。如果每一波长以一定等量的辐射光能或等光子数入射到太阳电池上, 所产生的短路电流与其中最大短路电流比较, 按波长的分布求得其比值变化曲线, 这就是该太阳电池的相对光谱响应<sup>[11]</sup>。但是, 无论是绝对还是相对光谱响应, 光谱响应曲线峰值越高, 越平坦, 对应电池的短路电流密度就越大, 效率也越高。

上述四种电池的光谱响应曲线如图 3 所示。

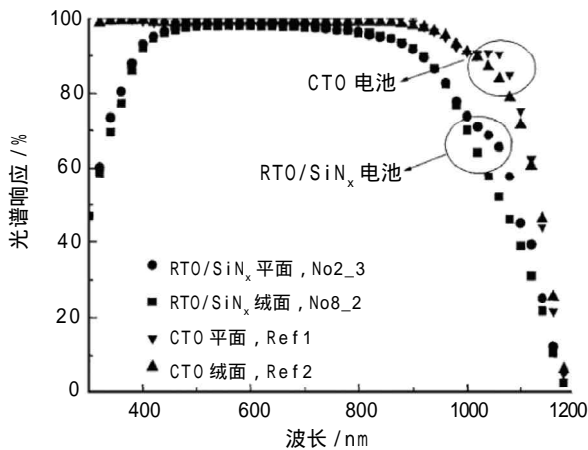


图3 四种不同类型太阳电池的光谱响应曲线

RT0/SiN<sub>x</sub> 钝化的电池的光谱响应曲线在波长为 400~900nm 的范围内是比较平坦的, 并且光谱响应曲线的值与 CTO 钝化的电池几乎相同。一般来说, 表面复合速度对光谱响应的影响极大, 表面复合速度低, 光谱响应的值就大<sup>[10]</sup>。所以, RT0/SiN<sub>x</sub> 钝化层可以有效降低表面复合速度, 提高了电池的光谱响应。

#### 5 结论

无论是减少硅片厚度以降低硅太阳电池生产成本, 还是提高硅片少数载流子寿命、降低表面复合以提高电池效率, 钝化技术都是很好的选择。在众多的表面钝化技术中, RT0/SiN<sub>x</sub> 堆叠钝化方法具有低温度和时间短的优点, 而且钝化效果优异, 在光伏能源领域中具有良好的应用前景。

#### 参考文献:

- [1] LEE J Y, GLUNZ S W. Investigation of various surface passivation schemes for silicon solar cells[J]. Solar Energy Materials & Solar Cells, 2006, 90: 82 - 92.
- [2] BRODY J, ROHATGI A. Comparison of dielectric surface passivation of monocrystalline and multicrystalline silicon[C]// IEEE Photovoltaic Specialist Conf. New Orleans, LA, 2002: 243 - 246.
- [3] 吴瑜之. 晶体硅太阳能电池选择性扩散及表面钝化研究[D]. 云南师范大学, 2002: 34.
- [4] NARASIMHA S, ROHATGI A. Optimized Al back surface field techniques for Si solar cells[C]// 26th Photovoltaic Specialist Conf. Anaheim, CA, 1997: 63 - 66.
- [5] 刘恩科, 朱秉升, 罗晋生, 等. 半导体物理学[M]. 北京: 国防工业出版社, 2004: 120 - 128.
- [6] 赵富鑫, 魏彦章. 太阳电池及其应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 1985: 45.
- [7] KNOBLOCH J, GLUNZ S W, D.BIRO, et al. Solar cells with efficiencies above 21% processed from Czochralski grown silicon[C]// Proc of the 25th IEEE Photovoltaic Specialist Conf. Washington, DC, 1996: 405 - 408.
- [8] ZHAO J, WANG A, CAMPBELL P, et al. 22.7% efficient PERL silicon solar cell module with a textured front surface[C]// Proc of the 26th IEEE Photovoltaic Specialist Con. Anaheim, CA, 1997: 1133 - 1136.
- [9] MOSCHNER J D, DOSHI P, RUBY D S, et al. Comparison of front and back surface passivation schemes for silicon solar cell[C]// 2nd World Conf and Exhibition on Photovoltaic Solar Energy Conversion. Ispra, Italy, 1998: 189 - 191.
- [10] 安其霖, 曹国琛, 李国欣, 等. 太阳电池原理与工艺[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1984: 18 - 22.
- [11] 黄锡坚. 硅太阳电池及其应用[M]. 北京: 中国铁道出版社, 1985: 50.

(收稿日期: 2006-02-20)

#### 作者简介:

王 涛 (1982 - ), 男, 山东人, 国防科技大学自动化学院在读硕士生研究生, 研究方向为太阳能光伏技术 -- 硅太阳电池研究;  
王正志 (1956 - ), 男, 上海人, 国防科技大学教授, 博士生导师, 专长半导体物理学, 研究方向为太阳电池。