

~~~~~  
**研究简报**  
~~~~~

$n\mu c\text{-Si:H/SiO}_x\text{/Ag}$ 隧道背面接触对 a-Si:H 太阳能电池性能的影响*

李海峰 熊华 刁宏伟 郑怀德 廖显伯

(中国科学院半导体研究所,北京,100083)

1990年10月5日收到,同年12月11日修改定稿

本文研究了用 $n\mu c\text{-Si:H/SiO}_x\text{/Ag}$ 结构取代 $n\mu c\text{-Si:H/Ag}$ 结构对 a-Si:H pin 型单结太阳能电池光伏参数的影响,观测到这种电池的填充因子和短路电流有所改善,文中对这些参数改善的机制作出了解释。

一、前 言

自八十年代初期以来, a-Si:H 异质结 pin 型太阳能电池的性能已获得了很大的改善,其中小面积 (1cm^2) 电池的效率已达到 12%。这些成就的取得是由于对 a-Si:H 电池制备工艺各个环节进行优化处理的结果,其中除生长好织构 SnO_2 膜,各单层 (p,i,n) 非晶硅膜以外,还包括解决好各个异质结界面的过渡衔接问题。

例如,对于电池的背面接触,即 n型 a-Si:H 或 $\mu c\text{-Si:H}$ 与金属电极的接触,除采用高反射率的 Ag 电极外,还采用了 ITO^[1,2] 或 ZnO 透明导电层或 TiO_2 介质层^[3,4]加以过渡,这对于提高电池的短路电流起着明显作用。

本文报道我们对 a-Si:H 电池背面接触研究的结果,我们在 n型 $\mu c\text{-Si:H}$ 与 Ag 电极之间增加了一层热蒸发的 SiO_x 薄层,构成了 MIS 隧道背表面接触,取得了改善电池的短路电流和填充因子的效果。

二、样 品 的 制 备

a-Si:H 电池样品是在一套不锈钢三室系统中用射频 (13.6MHz) 辉光放电法生长的。关于生长系统和电池的制备工艺我们在前面的文章^[5]中已作过报道。我们这次研究的电池样品具有两种结构,一种为 glass/ SnO_2 /p(a-SiC_x:H)/i(a-Si:H)/n($\mu c\text{-Si:H}$)/Ag,另一种结构除在 n $\mu c\text{-Si:H}$ 与 Ag 接触之间增加了一薄层 SiO_x 层外,与第一种结构相同。为了便于比较,这两种结构的样品的 pin 层生长条件是完全相同的。而且,直接进行数据对照的样品都是在同一炉中生长的。在生长完 pin 层后,第一种结构的样品在其

* 国家自然科学基金资助项目。

n 层表面上直接蒸上 Ag 电极, 而第二种结构的样品在蒸上 Ag 之前先在 n 层上蒸发一层厚度约为 $20-40 \text{ \AA}$ 的 SiO_x 层, 以形成 MIS 背面隧道接触。 SiO_x 和 Ag 的热蒸发是在一台分子泵抽气的蒸发系统中进行的, 本底真空度约 $1.33 \times 10^{-4} \text{ Pa}$ 。为了弄清 $\text{SiO}_x/\text{Ag/glass}$ 结构与 Ag/glass 结构对光的反射和散射作用的差别, 我们在两块完全相同的白玻璃上蒸发一层 Ag 层 ($>1000 \text{ \AA}$) 并在其中一片上再蒸上 SiO_x 绝缘层 (约 100 \AA) 然后测量它们在 $4000-8000 \text{ \AA}$ 光谱范围内的镜面反射和漫散射。

三、实验结果

1. 光在 Ag/glass 与 $\text{SiO}_x/\text{Ag/glass}$ 表面的反射

光在 Ag/glass 和 $\text{SiO}_x/\text{Ag/glass}$ 样品表面的镜面反射和漫反射测量是用 Hitachi 340 photometer 进行的。测量波长范围为 $4000-8000 \text{ \AA}$, 典型的结果如图 1 所示, 可以看出, 在这一波长范围, 两种结构样品的积分反射效果——镜面反射和漫散射的总和是很相近的, 如曲线 a(Ag/glass 样品) 和曲线 b($\text{SiO}_x/\text{Ag/glass}$ 样品) 所示。但两种结构样品的镜面反射却有明显差异, 而且随着波长 λ 的减小, 这种差别有增大的趋势。如图曲线 c(Ag/glass 样品) 和 d($\text{SiO}_x/\text{Ag/glass}$ 样品) 所示。 $\text{SiO}_x/\text{Ag/glass}$ 样品比 Ag/glass 样品的镜面反射要弱 5—6%, 换句话说, 前者的漫散射要增强同样的幅度。

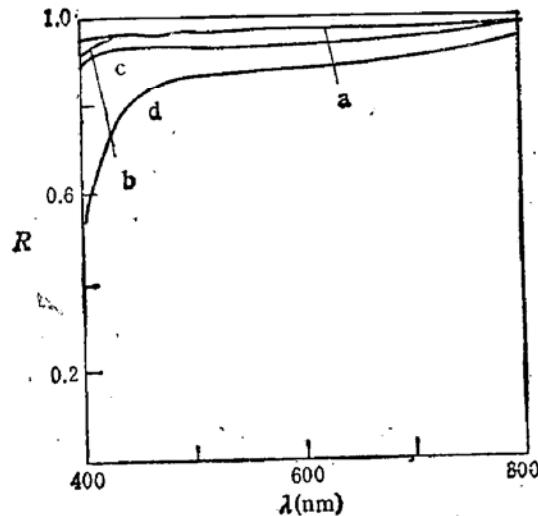


图 1 Ag/glass 样品(曲线 a,c)和 $\text{SiO}_x/\text{Ag/glass}$ 样品(曲线 b,d)表面积分反射率和镜面反射率

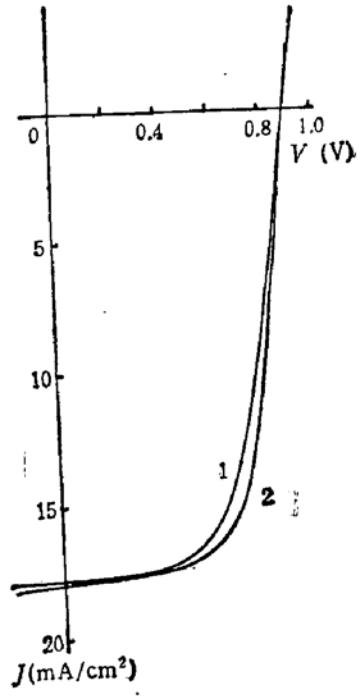


图 2 两种背面接触 ($n\mu\text{c-Si:H/Ag}$ 和 $n\mu\text{c-Si:H/SiO}_x/\text{Ag}$) 电池在光照下的 $J-V$ 曲线

2. 太阳能电池的 $J-V$ 特性曲线

我们在室温下测试了两种不同背面接触的 pin 型 a-Si:H 单结电池在光照下的 $J-V$ 特性曲线, 典型结果如图 2 所示。图中曲线 1,2 分别表示第一组 ($n\mu\text{c-Si:H/Ag}$) 和

第二组样品 (n_{μc}-Si:H/SiO_x/Ag) 的 J-V 曲线。照光光源是 TM-500c₂ 型太阳能模拟器,(符合国际 A 级标准的 AM1.5 光源)光强为 100mW/cm², 这一组样品的性能参数如表 1 所示。

表 1 图 2 所示的样品的光伏特性参数

背面接触	面积	V _{oc} (mV)	J _{sc} (mA/cm ²)	F.F	η	R _s (Ω/cm ²)
n _{μc} -Si:H/Ag	1cm ²	880	17.8	0.611	9.59%	10
n _{μc} -Si:H/SiO _x /Ag	1cm ²	880	18.0	0.662	10.5%	5.5

可以看出,两种背面接触电池的开路电压 V_{oc} 基本相同,短路电流 I_{sc} 略有增加,串联电阻 R_s 和填充因子有明显改善。对六组对照样品的测试结果表明,电池的短路电流和填充因子分别平均提高了约 2.4% 和 4.9%。

四、讨 论

1. 从表 1 所列举的数据可以看出,同 μc-Si:H/Ag 接触相比较, μc-Si:H/SiO_x/Ag 结构使电池的短路电流 J_{sc} 略有改善。这里 J_{sc} 提高的机制是与 μc-Si/TiO₂/Ag 结构类似的,而与 μc-Si/ITO/Ag 结构有所不同。由于 ITO 层是一种宽带隙简并化 n 型半导体材料,具有很高的电导率,如把它置于 n 型 μc-Si 与 Ag 之间,它将不会妨碍 Ag 电极对到达 n 层的光生电子的收集,所以 ITO 层的厚度可以按照薄膜光学相干增强条件的要求达数百埃量级,使从 ITO/Ag 结构表面进入 a-Si:H 的反射光得到相干增强。而 SiO_x 层象 TiO₂ 层一样是绝缘介质,只有当其厚度很薄 (20—40 Å) 时凭借隧道效应才能使到达 n 层的光生电子得以通过,所以,它的厚度并不满足反射光相干增强条件。此时短路电流的增加是因为热蒸发 SiO_x 薄层的粗糙表面增强了表面的漫散射 (图 1),从而增加了反射光在 a-Si:H 层中通过的光程,改善了电池对弱吸收的长波长光子的吸收。

SiO_x 膜和 TiO₂ 膜相比较,还具有透明度高和制备工艺简单的优点,其他一些介质膜,如在半导体工艺中普遍应用的 SiN_x 膜等,也是值得一试的介质薄膜。

2. 我们观察到 n_{μc}-Si:H/SiO_x/Ag 隧道背面接触还具有降低电池串联电阻和提高电池填充因子的作用,这一作用乍看起来是令人惊奇的。因为 MIS 结构通常在太阳能电池器件中起着建立或增强势垒电场的作用。而这里观察到的是一种相反的效应,即 MIS 结构改善了欧姆接触特性。从理论上说, MIS 结构是可能引起这样截然相反的效应的,这要取决于半导体材料的类型,金属与半导体层功函数的高低,以及绝缘层电荷与界面态电荷的符号和能量分布等因素,在晶态半导体中已有 MIS 结构可以改善欧姆接触特性的例证。例如, J.F.Stephen^[6] 曾经指出, Al/SiO_x/(n)Si 结构就不是一种 MIS 太阳能电池,这种材料系统对 n 型 Si 构成了一种简单而有用的欧姆接触,因为 Al 的功函数低 (4.28eV), 热生长 SiO_x 层具有正的绝缘层电荷,在 n 型硅的表面形成了积累层。这里 n_{μc}-Si:H/SiO_x/Ag 结构的情形与之相似, Ag 是一种低功函数 (4.26eV) 的金属,热蒸发 SiO_x 与非晶硅之间的界面也是以正电荷为特征的。经我们用 MIS 结构测定,其

界面正电荷密度达 $6-7 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$, 它们也将吸引电子到 $n\mu\text{c-Si:H}$ 层表面, 形成积累层, 或至少使接触势垒高度降低(如果原 MS 结构存在势垒^[7]), 起着改善欧姆接触的作用, 从而减少电池的串联电阻和提高电池的填充因子。从 Fujimoto 等人发表的数据看, 他们用 sus/TiO₂/Ag 取代 sus/Ag 结构似乎也使 F.F 有所改善^[3], (从 0.658 提高到 0.662), 但他们对此并未加以说明和解释。

五、结语

$n\mu\text{c-Si:H/SiO}_x/\text{Ag}$ 背面隧道接触具有改善电池对长波光的吸收, 提高电池短路电流的作用, 同时也改善了电池背面电极的欧姆接触特性, 从而减少了背面电极的接触电阻损失, 提高了电池的填充因子。

参 考 文 献

- [1] H. W. Oeckman, C. R. Wronski, H. Witzke and E. Yablonovitch, *Appl. Phys. Lett.*, 42, 968 (1983).
- [2] S. Guha, *MRS Symposia Proc.*, 115, 92. (1989).
- [3] V. Dalal. Semiannual Subcontact Report (SERI, 1987).
- [4] K. Fujimoto, H. Kawai, S. Nonomura, H. Okamoto and Y. Hamakawa, *J. Non-Crystal. Solids*, 59-60, 1147 (1983).
- [5] 廖显伯, 熊华, 李海峰, 刁宏伟, 郑怀德, 半导体学报, 11, 478(1990).
- [6] S. J. Fonash, *Solar Cell Device Physics* (Academic press, 1981) P. 271.
- [7] C. R. Wronski and D. E. Carlson, *Solid State Commun.*, 23, 421(1977); F. Sanchez Sinencio and Richard Williams, *J. Appl. Phys.*, 54, 2757 (1983).

Effects of tunneling back contact of $n\mu\text{c-Si:H/SiO}_x/\text{Ag}$ on Performances of a-Si:H Solar Cells

Li Haifeng Xiong Hua Diao Hongwei Zheng Huaide and Liao Xianbo
(Institute of Semiconductors, Academia Sinica, Beijing, 100083)

Abstract

The effects of using $n\mu\text{c-Si:H/SiO}_x/\text{Ag}$ (a MIS structure) instead of $n\mu\text{c-Si:H/Ag}$ (a ms structure) as the back contact in a-Si:H pin single junction solar cells on the photovoltaic parameters have been investigated. The short circuit current and fill factor of the solar cell are improved, and the reasons for the improvements are discussed.