

a-Si:H 的低温电导及其 Staebler-Wronski 效应的研究*

周江淮 孔光临

(中国科学院半导体研究所)

1986年3月5日收到

本文报道了对光照后不掺杂辉光放电 a-Si:H 中跳跃电导变化情况的研究结果, 首次发现, 经长时间强光照射后, 虽然 a-Si:H 的高温扩展态电导明显减小, 但其低温跳跃电导却几乎不变, 并在此实验结果的基础上对 S-W 效应的产生机制进行了讨论。

一、引言

a-Si:H 薄膜经过长时间强光照射后, 其暗电导和光电导都发生变化, 150°C 以上热退火可使其恢复。这种光致变化效应称为 Staebler-Wronski 效应 (SWE)^[1]。为了弄清 S-W 效应的产生机制, 人们已经开展了大量的研究工作, 提出了多种解释 S-W 效应的模型。但是, 已有的有关光致电导变化的研究工作, 几乎都局限在较高的温区, 这时扩展态电导起着主要作用, 而对低温电导的研究却很少。本文首次报道了对光照后不掺杂辉光放电 a-Si:H 低温跳跃电导的变化情况研究的结果, 并在我们的实验结果基础上, 对 S-W 效应的产生机制进行了讨论。

二、实验条件

a-Si:H 薄膜用辉光放电分解 SiH₄ 的方法淀积在石英或蓝宝石衬底上, 淀积温度为 200°C—350°C, 生长速率约为 1—2 Å/s, 膜厚 2—2.5 μm。实验中采用了两种电极结构: 梳状下共面电极(图 1(a))和上下电极(图 1(b)), 以降低样品电阻。两下共面电极之间的距离为 10 μm。实验中所用的样品都是经过挑选的、具有良好欧姆接触的样品。我们测量了样品退火态和光照态的从 100K 到 430K 温度范围内的电导率温度曲线, 其中, 样品在 200°C 真空退火一小时后为退火态(A 态), 用强度为 200mW/cm² 的“白光”(波长 6000—9000 Å) 照射三小时为光照态

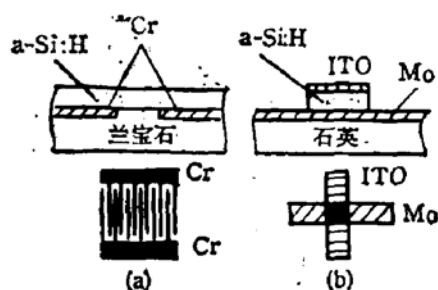


图1 样品结构示意图

* 中国科学院科学基金资助的课题。

(B 态).

三、实验结果及讨论

对图 1 所示的两种电极结构的样品, 我们得到了类似的电导率温度依赖关系. 样品退火态 (A 态) 和光照态 (B 态) 电导率温度曲线如图 2 所示. 可见, 随着温度从高温向低温变化, 样品的电导从扩展态电导过渡到跳跃电导, 前者是热激活到导带迁移率边以上的电子的电导, 表现出一个较大的、几乎不随温度变化的电导激活能; 而后者是 Fermi 能级附近局域态中电子的变程跳跃电导^[2], 表现为一个较小的, 随着温度降低而减小的激活能. 在高温区 ($>250\text{K}$), 光照后样品的电导率显著地降低, 电导激活能增大, 这种现象已为人们普遍观察到. 对样品光学带隙的测量结果表明, 光照没有改变 a-Si:H 的光学带隙, 所以, 激活能的增大是由于 Fermi 能级下移所致. 但是在低温区 ($<250\text{K}$), 从图 2 可以清楚地看出, 样品的跳跃电导光照后却几乎不变: A 态和 B 态的电导率温度曲线几乎重合. 由于非晶半导体的跳跃电导主要是由 Fermi 能级处的隙态密度 $N(E_F)$ 决定, 上面的实验结果说明光照态和退火态 Fermi 能级处的隙态密度基本相等.

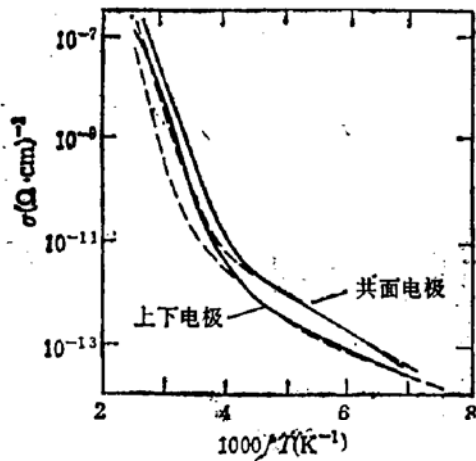


图 2 a-Si:H 薄膜退火态和光照态的电导率温度依赖关系
——退火态 ——光照态

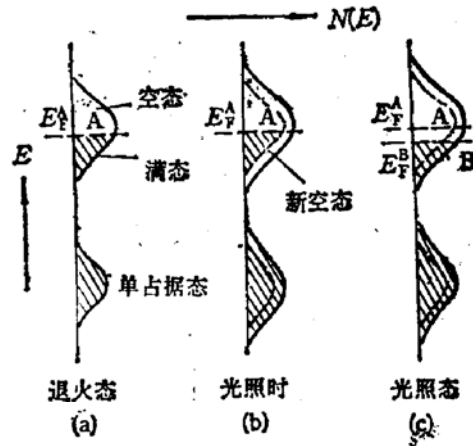


图 3 不掺杂 a-Si:H 的隙态密度分布

目前, 一种较为普遍接受的观点是: S-W 效应是由于光照使 a-Si:H 中的悬键增加所致. 考虑到我们的样品是偏 N 型的, 可以得到图 3(a) 所示的隙态密度分布, 这时, 退火态 Fermi 能级 E_F^A 位于带隙中央以上. 假设光照时隙态密度是均匀增加的 (这意味着新产生的悬键与原来的具有相同的性质), 那么光照将在退火态 Fermi 能级以下产生新的空状态 (如图 3(b) 所示), 这样, 原来位于较高能态上的电子将去填充那些新产生的具有较低能量的空态, 从而导致 Fermi 能级下降 (如图 3(c) 所示). 由于占据在光照态 Fermi 能级以下的双占据态中的总电子数 (图 3(c) 中阴影部分的面积) 应当等于占据在退火态 Fermi 能级以下双占据态中的总电子数 (图 3(b) 中阴影部分的面积), 根据我们前面的假设, 可以得到 $E_F^B B - E_F^A A$, 即 $N(E_F^B) = N(E_F^A)$, 因此光照前后样品的跳跃电

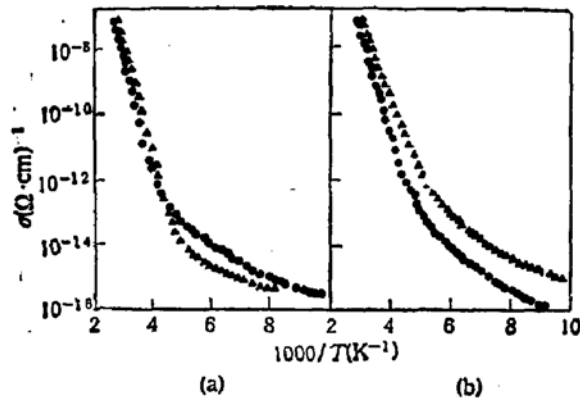


图4 a-Si:H 电导率的光致变化
▲退火态 ●光照态

导相等。

在个别样品中,我们还观察到了光照后跳跃电导增大的现象(如图4(a)所示)。但应当注意,此样品的扩展态电导及其激活能光照后几乎不变。这很可能是因为初始 Fermi 能级已经比较接近带隙中央,因而光照后 Fermi 能级不再移动,但 Fermi 能级处隙态密度增加。然而,在有些共面电极样品中却观察到了光照后低温电导像高温电导一样显著下降,且激活能增大的现象(如图4(b)所示)。我们认为这有两种可能性。在前面的讨论中,我们假设了光生悬键态是均匀增加的,但有时也可能不是这样。如果光生悬键态集中于初始 Fermi 能级以下某处,但不靠近 Fermi 能级,那么光照后 Fermi 能级仍然下降,但 Fermi 能级处的隙态密度就可能降低。另一种可能性是表面或界面效应。有人证实^[3,4],在不掺杂 a-Si:H 的自由表面和薄膜与衬底的界面处通常会形成一个电子积累层。当体电阻在低温下变得比较高时,这个电子积累层就会成为样品电流的主要通道,因为能带的弯曲使得电子在这一层中具有比在体内更低的激活能。光照导致 Fermi 能级下降,使表面或界面处的能带弯曲程度减小,因而光照后激活能增大,电导率降低。

中国科学院物理所张殿琳副研究员对实验工作给予了多方面的指导,并对文章初稿提出了宝贵的意见,在此表示衷心感谢。

参 考 文 献

- [1] D. L. Staebler and C. R. Wronski, *Appl. Phys. Lett.*, **31**, 292(1977).
- [2] N. F. Matt, *J. Non-cryst. Solids*, **1**, 1(1968). *Phil. Mag.*, **19**, 835(1969).
- [3] I. Solomon and T. Dietl, *J. de Phys.*, **39**, 1241(1978).
- [4] M. Yamaguchi and H. Fritzsche, *J. Appl. Phys.*, **56**, 2303(1984).

Investigations of Low-Temperature Conductivity and the Staebler-Wronski Effect in a-Si:H

Zhou Jianghuai and Kong Guanglin

(Institute of Semiconductors, Academia Sinica)

Abstract

The measurements of the effect of light soaking on the conductivity (SWE) in undoped GD a-Si:H films have been done over a wide temperature range from 100 K to 430 K. It is found for the first time that the hopping conductivity remains almost unchanged after prolonged exposure of the samples to white light (200 mW/cm^2), although the extended state conductivity decreases dramatically as generally observed. A discussion of the creation mechanism of the SWE is given on the basis of the results.