

## 激光化学气相沉积非晶硅

袁加勇 陈钰清 陈曾济 赵方毅 王颖

(浙江大学光仪系, 310027)

**提要:** 本文报道了  $\text{CO}_2$  激光化学气相沉积非晶硅的实验研究。实验结果表明, 非晶硅的沉积速率与气室气压和基片温度密切相关。用各种手段测试了样品的性质, 证实沉积得到的薄膜确是非晶硅, 而且具有良好的光电导性。

**关键词:** 激光, 沉积, 非晶硅

### Laser chemical vapor deposition of amorphous silicon

Yuan Jiayong, Chen Yuying, Chen Zhengji, Zhao Fangyi, Wang Ying

(Department of Optical Engineering, Zhejiang University, Hangzhou)

**Abstract:** Experimental results on amorphous silicon growth by  $\text{CO}_2$  laser chemical vapor deposition are reported. Experimental results show that the deposition rate of silicon film strongly depends on silane pressure and substrate temperature. The samples are detected by different methods and the film amorphousness are verified with good photoconductivity.

**Key words:** laser, deposition, amorphous silicon

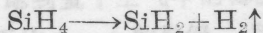
### 引言

激光化学气相沉积(LCVD)是激光应用于常规化学气相沉积(CVD)的一项新技术, 这一新技术的特点是用激光束照射气室内的反应气体, 诱发其化学分解、反应生成物沉积在固态基片上<sup>[1]</sup>。本文所述的研究工作使用  $\text{CO}_2$  激光器作为激发光源, 密封在气室内的反应气体是硅烷( $\text{SiH}_4$ ), 激光束透过窗口进入气室后以平行于基片表面的方向并以十分接近基片的方位穿过气室(见图1)。处于基片表面附近的反应气体受激光引发发生分解反应, 反应生成物最后以非晶硅薄膜形式沉积在基片上。

采用不同的激光照射方式和基片放置形式, 可沉积出不同类型的非晶硅薄膜。若平行照射, 能沉积出大面积的非晶硅薄膜, 可用来制备太阳能电池; 若把激光束加以聚焦并垂直照射基片, 可以沉积出微小尺寸的非晶硅薄膜, 用来制造大规模集成电路或其它微电子器件。因此, 激光化学气相沉积技术将在微电子技术和能源科学中呈现广泛的应用前景。

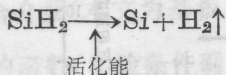
激光化学气相沉积非晶硅包括三个过程: (1) 硅烷气体分子吸收激光后发生分解反应; (2) 反应生成物向基片表面扩散; (3) 基片吸附生成物后产生表面反应并形成非晶硅薄膜。

在我们使用的实验装置里(见图1所示), 激光束平行于基片表面穿过气室, 在激光束照射到的区域里气体的温度最高, 因此在基片表面附近的局部区域里的硅烷分子首先分解:



产生了高浓度的  $\text{SiH}_2$  分子, 同时向四周扩散。这种气相分解反应导致在气室内部形成  $\text{SiH}_2$  的非平衡浓度分布。由于基片表面(正面)离开气体分离源(即激光束附近的局部区域)十分接近, 扩散到基片正面的反应生成物  $\text{SiH}_2$  浓度很高, 因此基片上很容易发生表面反应<sup>[2]</sup>。

$\text{SiH}_2$  分子扩散到基片表面发生物理吸附反应, 被吸附分子受到被加热基片提供的活化能的激发而发生脱氢反应:



并生成硅薄膜。

上述分析表明要沉积出硅薄膜必须满足两个条件: (1) 基片附近局部区域里分解反应生成物  $\text{SiH}_2$  的浓度必须达到某一浓度值, 才可能沉积出硅薄膜; (2) 基片温度必须达到某一温度值(称为活化温度)后才可能沉积出硅薄膜。

## 实 验

激光化学气相沉积非晶硅的实验装置如图 1 所示。图中 1 为激光束, 2 为用不锈钢制的气室, 3 为红外窗口, 4 为玻璃基片, 5 为加热基片用的电热丝, 基片温度用热电偶测量。利用该装置我们进行了激光化学气相沉积硅的实验, 激光源为 CW  $\text{CO}_2$  激光器, 输出功率为 50 W, 激光束直径为 8 mm。实验中使用的基片为微晶玻璃薄片, 尺寸为  $20 \times 30 \text{ mm}^2$ , 基片加热温度的变化范围为  $250 \sim 500^\circ\text{C}$ 。不锈钢密封气室内硅烷气体的压强变化范围为  $6 \sim 10 \text{ Torr}$ 。在上述实验条件下, 沉积出了硅薄膜, 膜层面积为  $12 \times 20 \text{ mm}^2$ 。薄膜的厚度用乌氏干涉仪测量, 测量在一定沉积时间  $T$  内沉积出来的薄膜厚度  $D$ , 就可以计算出沉积速率  $R = D/T$ 。我们选用的沉积时间  $T$  为 30 min, 用乌氏干涉仪测量得到的薄膜厚度  $D$  的平均值为 300 nm, 由此可得到平均沉积速率  $R$  为  $10 \text{ nm/min}$ 。

实验表明在气压为 8 Torr, 基片温度为  $380^\circ\text{C}$  的实验条件下(激光功率为 50 W), 能得到良好的硅薄膜并具有较高的沉积速率。图 2 所示的照片就是在上述实验条件下所得到的薄膜样品的外观形貌照片。

我们对实验得到的薄膜样品进行了一系列性能测试。用分析电镜(AEM)拍摄样品的表面形态, 其照片如图 2 所示, 电镜放大倍数为 50 万倍。

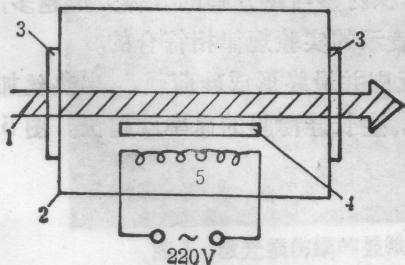


图 1 实验装置原理图

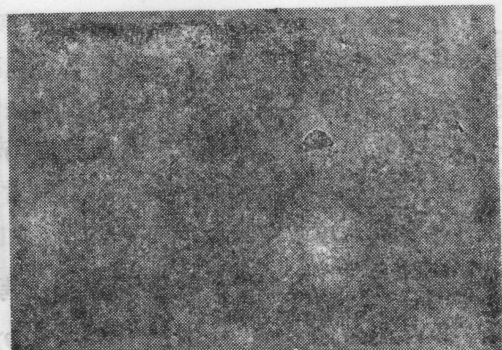


图 2 非晶硅薄膜的表面形貌照片(50 万倍)

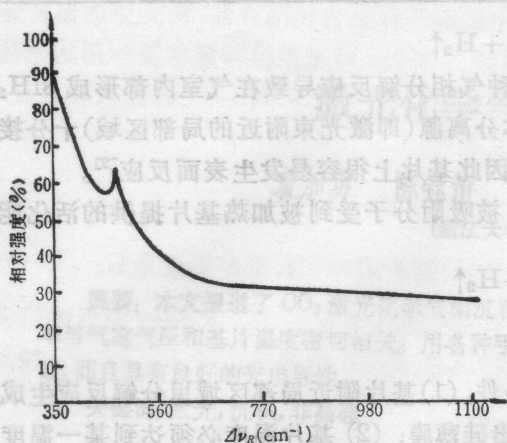


图3 硅薄膜样品的喇曼光谱

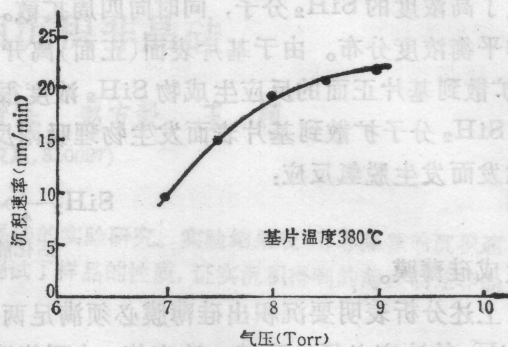


图4 沉积速率随气室气压的变化

从硅薄膜的表面形貌照片可以看出,实验得到的非晶硅薄膜是均匀的,测量表明,薄膜的微观颗粒线度约为4~5 nm,与非晶硅颗粒线度的一般数据相符合。

用激光喇曼光谱仪测量了样品的喇曼光谱,其测量结果如图3所示。由图可知硅薄膜的喇曼频移为 $480\text{ cm}^{-1}$ ,这一数值与非晶硅喇曼频移的典型数据相符合,也就证实了我们得到的薄膜物质确为非晶硅。

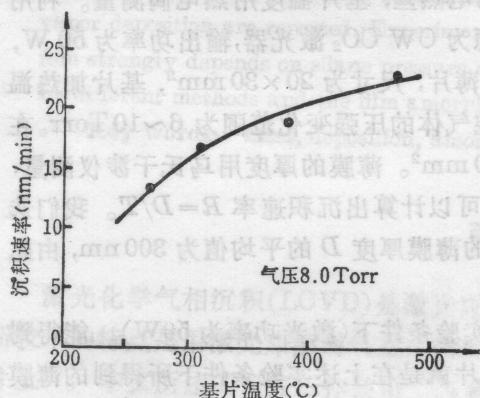


图5 沉积速率随基片温度的变化

在实验中我们分别改变气室内气体的气压和基片的加热温度并测量沉积速率随气压和基片温度的变化。图4表示沉积速率随气压的变化曲线,从图可见,在一定范围内沉积速率随气压增加而增加。

图5表示沉积速率随基片温度变化的实验曲线。从图可知,在一定范围内,沉积速率随温度增加而增加。

我们也测量了样品的光电特性,用微电流测试测量样品在光照条件下(照度为 $1.5 \times 10^5\text{ Lux}$ )硅薄膜的亮电导 $\sigma_p$ 和无光照条件下的暗电导 $\sigma_D$ ,测到的结果是:亮电导 $\sigma_p$ 为 $1.8 \times 10^{-5}(\Omega \cdot \text{cm}^{-1})$ ,暗电导 $\sigma_D$ 为 $1.7 \times 10^{-9}(\Omega \cdot \text{cm}^{-1})$ ,两者之比 $\sigma_p/\sigma_D$ 为 $10^4$ (测试样品膜层厚度约为200nm)。

从前面的叙述可知:在激光化学气相沉积中,由激光束引发的气体分解反应和基片上发生的表面反应是两个主要过程。气体的气压越高,单位体积内参与热分解的气体分子越多,分解反应的生成物也越多,沉积速率就越大,这是同图4所表示的实验规律相符合的。

热分解反应的生成物被吸附到基片上,产生表面反应并最终形成硅薄膜。电热丝加热基片,提供了表面反应所需的活化能,因而基片温度越高,生长硅薄膜的速率就越快。图5所示的实验规律与上述结论是一致的。

### 参 考 文 献

- 1 R. Bienchi et al., *J. Appl. Phys.*, **53**(9), 6479(1982)
- 2 A. Longenay et al., *J. Am. Chem. Soc.*, **103**, 6813(1981)