

# 钨在硅和氮化钛上的激光化学汽相沉积实验研究

周一敏 孙迭篪 李富铭  
(复旦大学物理系, 上海)

杜元成 王 海  
(复旦大学电子工程系, 上海)

1989年7月25日收到

本文介绍了用激光化学汽相沉积的方法在 Si 和 TiN 基板上沉积钨的实验研究。沉积过程由反射率探测法实时监测, 实验结果表明: 钨的沉积速率依赖于 WF<sub>6</sub> 和 H<sub>2</sub> 的比例、压力、激光功率和基板的物理性质。实验得到了 3 μm 宽的钨膜。

主题词 激光化学汽相沉积, 钨, 硅, 氮化钛

## 一、引言

激光化学汽相沉积 (LCVD) 由于能够在低温和微米范围内制备各种金属、半导体、绝缘介质的薄膜, 并与计算机配合, 可以实现所谓的“直接书写”。这对于超大规模集成电路和光电子器件工艺具有潜在的应用价值。因此, 在最近几年里这方面研究发展迅速, 已用 LCVD 方法制备了铝、钨、铂、锌、镉、硅、二氧化硅、砷化镓等薄膜<sup>[1]</sup>, 并成功地制作了原型电路<sup>[2]</sup>。本文介绍了用氩离子激光与 WF<sub>6</sub> 和 H<sub>2</sub> 的混合气体相互作用, 在硅和氮化钛基板上沉积钨膜的实验及结果。

## 二、实验

实验装置如图 1 所示。反应室是一个由不锈钢制成的真空室, 在反应气体引入前反应室烘烤并抽真空, 再用高纯氮和高纯氢反复清洗, 然后由一个配气系统按不同比例和压力将 WF<sub>6</sub> 和 N<sub>2</sub> 的混合气体引入真空室。激光束通过一个分束镜, 一部分用作激光功率监测, 另一部分进入一个由显微镜改装的光学系统, 并由物镜聚焦到基板表面。从基板表面反射的光由目镜出射, 由光电二极管接收, 记录仪记录沉积过程中反射率变化, 作为实时监测, 根据实验曲线和基板光学常数, 推算出沉积速率<sup>[3]</sup>。

实验中使用的基板为 Si(110) 和 TiN-SO<sub>2</sub>-Si, TiN 薄膜用大面积电子束快速处理制成<sup>[4]</sup>, 厚度为 1000 Å 左右, 按常规工艺清洗后放入反应室。用一卤化物灯在基片背后

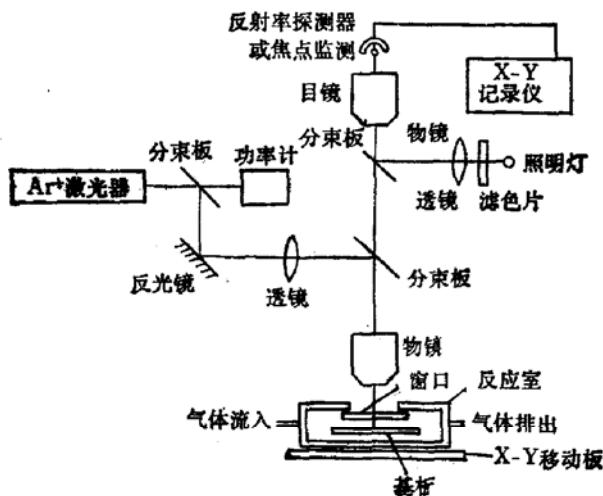


图 1 实验装置

烘烤，并可改变其温度。实验研究了不同衬底材料，混合气体的比例和压力、激光功率和衬底温度与沉积速率的关系。

### 三、实验结果

#### 1. 衬底材料的影响

由于不同衬底材料对激光存在不同的吸收，激光在衬底表面感生的温度上升速率有较大的差别。Si 和 TiN 对可见氩离子激光的反射率分别为 37% 和 22%<sup>[5,6]</sup>，因而 TiN 对激光的吸收大于 Si，导致表面温度上升快，化学反应的速度快，钨的沉积速率大。根据实时监测的反射率变化曲线和 Si、TiN 的光学常数，推算得到钨在 Si 基板上的沉积速率为 400 Å/秒，TiN 基板上的沉积速率为 1000 Å/秒。

#### 2. WF<sub>6</sub> 和 H<sub>2</sub> 的比例和压力的影响

实验中对不同的 WF<sub>6</sub> 和 H<sub>2</sub> 的比例和相同比例下，不同压力对钨的沉积速率的影响。在图 2 中给出了在相同激光功率下，两种不同比例混合气体，在硅基板上钨的沉积速率与压力的变化关系。由图看出，随着气压的增加，沉积速率增加较快，这是由于气压增加等于增加了参与化学反应的分子数。但气压增加到一定值，沉积速率趋于饱和，这可以理解为由于气压增加到一定程度，表面反应的有效位置减小所致。图中还反映了 WF<sub>6</sub> 和 H<sub>2</sub> 的比例 1:3 时比 1:5 时的沉积速率大，这可以从反应过程得到解释，根据文献[7,8,9]，可知在硅表面的反应分为二步进行： $3\text{Si} + 2\text{WF}_6 \rightarrow 2\text{W}\downarrow + 3\text{SiF}_4$  和  $\text{WF}_6 + 3\text{H}_2 \rightarrow \text{W}\downarrow + 6\text{HF}$ ，因此硅表面的沉积速率由前一个反应决定，WF<sub>6</sub> 的含量高对反应有利。

#### 3. 激光功率的影响

图 3 给出了硅、氮化钛和钨表面的沉积速率与激光功率的变化关系，它们反映了一个共同趋势，激光功率从小增大，沉积速率增加较快，到了一定功率值后沉积速率反而下降。由于氩离子激光的波长为可见光，对 WF<sub>6</sub> 不存在光分解过程，激光在化学反应过程中只是在基板表面提供了一个热源，不同的激光功率反映了基板表面不同的温度，温度升高一

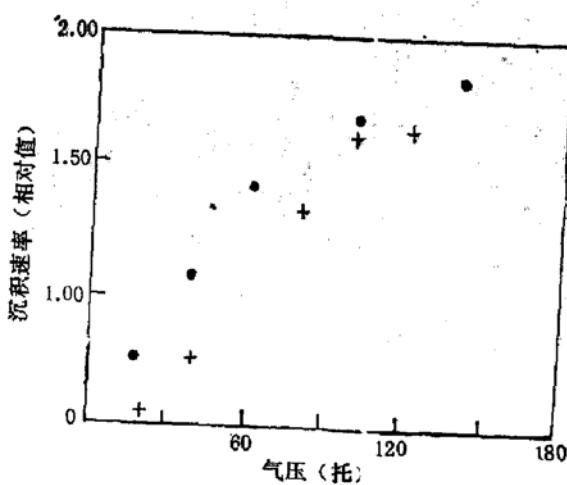


图 2 沉积速率与反应气体比例和压力的关系

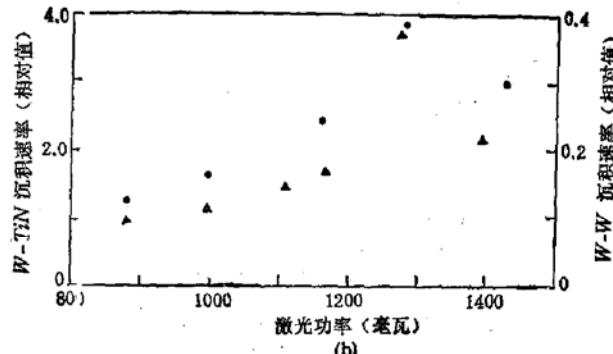
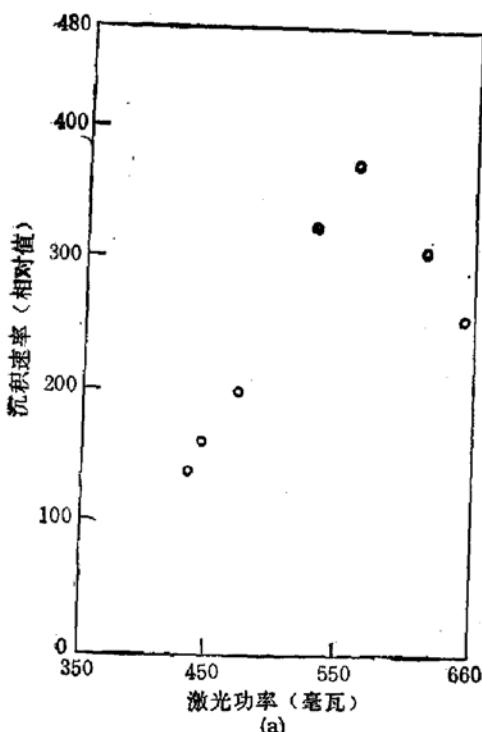
衬底：硅 激光功率 576mW ●  $\text{WF}_6:\text{H}_2$  1:3, +  $\text{WF}_6:\text{H}_2$  1:5

图 3 沉积速率与激光功率的关系

(a) 衬底：硅,  $\text{WF}_6:\text{H}_2$  8 托:40 托 (b) ● 衬底 TiN, ▲ W,  $\text{WF}_6:\text{H}_2$  80 托:40 托

方面增加了化学反应速率, 对沉积有利, 另一方面温度的上升必然引起表面吸附分子的减少, 对沉积起了延缓作用, 并增加分子向高温区扩散的困难。因而激光功率过高, 沉积速率反而下降。

激光功率对沉积的薄膜线条宽度也有较大影响, 在反应室随工作台扫描时得到了钨的薄膜线条用扫描电镜分析表明, 钨膜宽度与激光功率和扫描速度有关, 在相同扫描速度下, 激光功率高时, 线宽变宽。例如在  $625\mu\text{m}/\text{秒}$  扫描速度时, 激光功率分别为 825mW、922mW 和 1119mW, 钨膜的宽度分别为  $3\mu\text{m}$ 、 $7.5\mu\text{m}$  和  $9\mu\text{m}$ 。图 4 是线宽为  $3\mu\text{m}$  的



SEM 照片。

#### 4. 基板温度的影响

在实验中,通过改变卤化物灯的加热功率,使基板的整体温度改变,在激光功率,反应气体比例和压力不变的条件下,对于同一材料的基板,温度由 70℃ 增高到 120℃ 时沉积速率几乎不变,因此沉积主要由激光感生的温度有关。

### 四、结 论

我们用实验研究了钨在 Si 和 TiN 衬底上激光化学汽相沉积过程,钨的沉积速率与衬底材料、反应气体的比例和压力、激光的功率有关,并且获得了 3 μm 宽的钨膜,进一步的实验可望得到更高的分辨率。

### 参 考 文 献

- [1] Y. Rytz, Froidevux *et al.*, *Appl. Phys.*, **A37**, 121(1985).
- [2] B. M. McWilliams *et al.*, *Appl. Phys. Lett.*, **43**(10), 964(1983).
- [3] 周一敏等,《应用激光》**9**(6), 257(1989).
- [4] D. C. Sun *et al.*, *J. Vac. Sci. Technol.*, **B5**, 1504(1987).
- [5] D. E. Gray, America Institute of Physics Handbook.
- [6] M. Witter, *J. Vac. Sci. Technol.*, **A3**, 1797(1985).
- [7] E. K. Broadbent, *et al.*, *J. Electrochem. Soc.*, **131**, 1427(1984).
- [8] M. L. Green, *et al.*, *J. Electrochem. Soc.*, **132**, 1243(1985).
- [9] Y. S. Liu *et al.*, *J. Vac. Sci. Technol.*, **B3**, 1441(1985).

## Experimental Investigation of Laser Chemical Vapor Deposition of Tungsten on Si and TiN

Zhou Yimin, Sun Diechii and Li Fuming

(Department of Physics, Fudan University, Shanghai)

Du Yuncheng and Wang Hai

(Department of Electronics Engineering, Fudan University, Shanghai)

### Abstract

An experimental investigation of tungsten deposited on Si and TiN using laser chemical vapor deposition (LCVD) has been presented. The LCVD process was monitored by the in situ reflectivity detection, and it is shown that the deposition rate of tungsten depends on the ratio and pressure of WF<sub>6</sub> and H<sub>2</sub> mixture, the power of laser, and the physical properties of the substrates. A line width of 3 μm of deposited tungsten film has been obtained.

**Key words** Laser chemical vapor deposition, Tungsten, Silicon, Titanium nitride.