

# 3~5 $\mu\text{m}$ PVInSb探测器的PSG钝化技术

刘 琳

(洛阳零一四中心, 河南, 洛阳)

**摘要**——分析了  $\text{SiO}_2 + \text{PSG} + \text{SiO}_2$  三层钝化增透膜的生长工艺, 对实验结果进行了热力学理论探讨; 给出了高频电容-电压和光学透过特性曲线, 并与  $\text{SiO}_2$  膜做了比较; 对系统的限制因素进行了细致的研究.

**关键词**——低温 OVD, 磷硅玻璃, 表面固定电荷.

## 1. 引 言

化学汽相淀积(CVD)是半导体器件制造过程中的一项重要技术, 我们现有的CVD系统是针对 InSb 探测器制作工艺所设立的一项专门技术. 根据红外探测器的特点, 向膜层提出两点要求: 一是要起到钝化作用; 二是要具有中红外波段 3~5 $\mu\text{m}$  范围内的增透效果. 也就是要满足器件的光电特性的双重要求.

按照半导体表面钝化技术的常规分类方法, 现系统属于“低温常压化学气相淀积”系统; 有关这一工艺技术国外已有许多报道<sup>[1,2]</sup>, 但都是针对硅衬底的, 国内只有  $\text{SiO}$  膜<sup>[3]</sup> 和阳极氧化 InSb 膜的报道, 对于我们研究的三层结构, 还未见到公开报道.

## 2. 工 艺 分 析

### 2.1 膜层结构

本系统淀积的钝化增透膜为三层夹心结构, 即  $\text{SiO}_2 + \text{PSG} + \text{SiO}_2$ .

单一的  $\text{SiO}_2$  膜低温生长后缺乏对可动正离子的阻挡作用, 平带电压漂移大, 完全的 PSG 膜, 如果掺磷适当, 则与金属电极的粘附性比  $\text{SiO}_2$  层还好, 出于工艺流程上的考虑和 PSG 的吸潮特点, 最上一层膜仍采用  $\text{SiO}_2$ .

这种结构早在硅器件上发挥了作用, 但其成膜温度均大于 700 $^\circ\text{C}$ . 也有报道<sup>[4]</sup>介绍了该结构的低温淀积情况, 但没有给出红外透过和吸收特性.

### 2.2 工艺参量分析

(1)  $\text{SiH}_4$ 、 $\text{O}_2$  和  $\text{N}_2$  流量与淀积速率的关系

$\text{SiH}_4$ 、 $\text{O}_2$  和  $\text{N}_2$  流量的大小直接控制着反应室内反应气体的浓度, 淀积速率和流量浓度

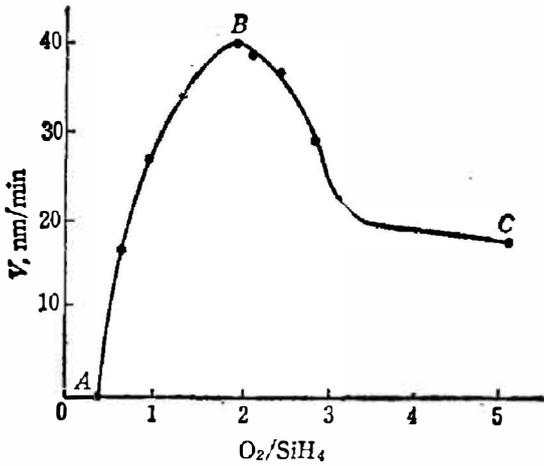


图 1 淀积速率与 O<sub>2</sub>/SiH<sub>4</sub> 流量比的关系  
Fig. 1 The Relation between deposition rate and O<sub>2</sub>/SiH<sub>4</sub> flow rate ratio.

T=250°C N<sub>2</sub>=2SLM  
SiH<sub>4</sub>=2SCCM  
PH<sub>3</sub>=0.2SCCM

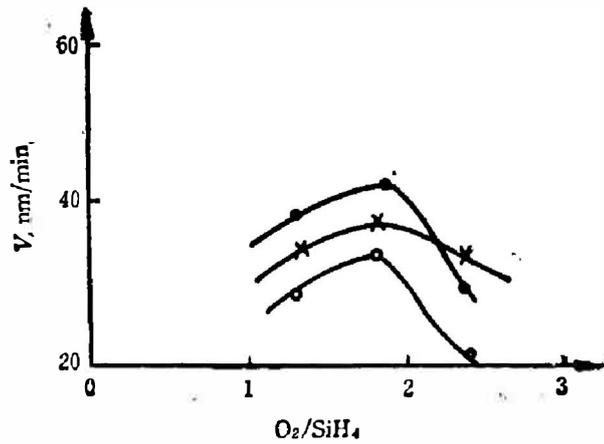


图 2 N<sub>2</sub> 流量与淀积速率的关系  
Fig. 2 The relation between N<sub>2</sub> flow rate and deposition rate

T=250°C N<sub>2</sub>: ● 2400SCCM  
× 1800SCCM  
○ 1300SCCM

比的关系见图 1 和图 2。其中  $V$  是淀积速率; O<sub>2</sub> 和 SiH<sub>4</sub> 的单位都是 SCCM。

图 1 中 AB 段淀积速率随 O<sub>2</sub>/SiH<sub>4</sub> 比值快速地增加,受反应速度限制,符合异相反应速度理论,反应速度为

$$V = kF [O(O_2)C(SiH_4)O(PH_3)]; \tag{1}$$

式(1)中,  $k$  为与温度相关的因子;  $O(x)$  为气体流量 ( $x=O_2, SiH_4$  和  $PH_3$ );  $F$  为流量函数。

BC 段随氧流量上升而生长速率下降的现象可以用氧阻滞理论加以解释<sup>[2]</sup>, 即反应速度与易吸附的反应元素的浓度成反比。本实验中, O<sub>2</sub> 较 SiH<sub>4</sub> 和 PH<sub>3</sub> 更易吸附在衬底表面, 生长速度下降。

图 2 中可以看出 N<sub>2</sub> 流量对生长速率的影响。N<sub>2</sub> 除了作为载气起着净化反应室的作用外, 还直接影响着淀积膜的致密性和均匀性。

从实验结果看, 本系统属于过氧反应, 在反应过程中, 不仅有 H<sub>2</sub> 生成, 还伴有水汽和其它一些离子团的中间过程。氧元素的多少直接影响着平带电压的位置。

(2) 温度与生长速率的关系

图 3 是本系统的生长速率-温度关系曲线。

该实验与文献[2]发表的结果相似, 如果是单一的二氧化硅膜, 则曲线不同<sup>[1]</sup>(见图 3 中虚线部分)。

根据 Arrhenius 方程, 反应速度为

$$V = a \exp(1 - \Delta E/RT); \tag{2}$$

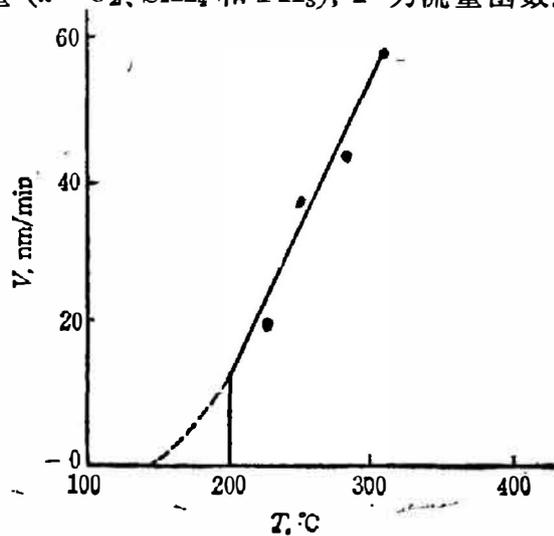


图 3 淀积速率与淀积温度的关系  
(PH<sub>3</sub>/SiH<sub>4</sub>=1/10)

Fig. 3 The relation between deposition rate and temperature.

式(2)中,  $a$  为频率因数, 与气体浓度和碰撞衬底表面的因数有关. 经计算活化能为

$$\Delta E = 0.02\text{eV/分子}, (T = 250^\circ\text{C}).$$

这一结果与已发表的文献十分接近. 实验结果表明, 温度小于  $220^\circ\text{C}$  后, 系统就无法得到有价值的钝化膜.

### 3. 膜的电学和光学特性

#### 3.1 电学特性

对两个 InSb 晶片作相同清洗准备后, 分别在不同的  $\text{SiH}_4$  流量下进行膜淀积, 其它条件不变, 然后作高频  $C-V$  测试, 其结果见图 4 和图 5. 可见,  $\text{O}_2/\text{SiH}_4$  比值的微小变化对平带电压的漂移产生极大的影响. 单一的  $\text{SiO}_2$  膜(生长膜厚与上述 PSG 膜一样)的曲线见图 6. 结果表明, 钝化能力差. 本系统另一个主要特点就是  $C-V$  测量所加的扫描电压从正到负, 再由负扫到正时(扫描幅度为  $-30 \sim +30\text{V}$ ), 其  $C-V$  曲线不重合, 有一个  $\Delta V_{FB}$  的滞后现象, 说明界面处 InSb 一侧有受主型快界面态, 其数量级根据图 4 和图 5 计算约为  $10^{10} \sim 10^{11} \text{cm}^{-2}$ . 这是 LAOVD 淀积钝化膜的固有特性, 这一特性对于制造单片式面阵探测器(电荷转移器件)是极为有害的.

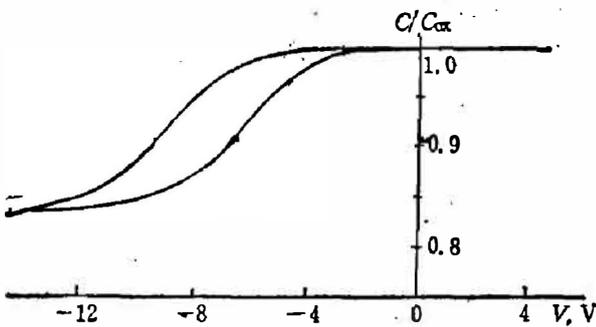


图 4  $\text{O}_2/\text{SiH}_4 = 1.8/1$  时淀积膜的  $C-V$  曲线  
Fig. 4 The  $C-V$  curve of the film deposited at  $\text{O}_2/\text{SiH}_4 = 1.8/1$ .

曲线不变, 然后作高频  $C-V$  测试, 其结果见图 4 和图 5. 可见,  $\text{O}_2/\text{SiH}_4$  比值的微小变化对平带电压的漂移产生极大的影响. 单一的  $\text{SiO}_2$  膜(生长膜厚与上述 PSG 膜一样)的曲线见图 6. 结果表明, 钝化能力差. 本系统另一个主要特点就是  $C-V$  测量所加的扫描电压从正到负, 再由负扫到正时(扫描幅度为  $-30 \sim +30\text{V}$ ), 其  $C-V$  曲线不重合, 有一个  $\Delta V_{FB}$  的滞后现象, 说明界面处 InSb 一侧有受主型快界面态, 其数量级根据图 4 和图 5 计算约为  $10^{10} \sim 10^{11} \text{cm}^{-2}$ . 这是 LAOVD 淀积钝化膜的固有特性, 这一特性对于制造单片式面阵探测器(电荷转移器件)是极为有害的.

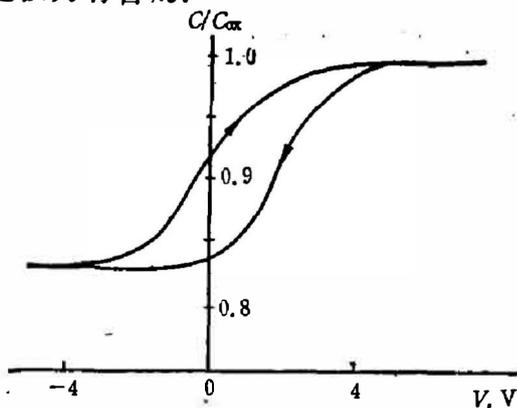


图 5  $\text{O}_2/\text{SiH}_4 = 2.0$  时淀积膜的  $C-V$  曲线  
Fig. 5 The  $C-V$  curve of the film deposited at  $\text{O}_2/\text{SiH}_4 = 2.0$ .

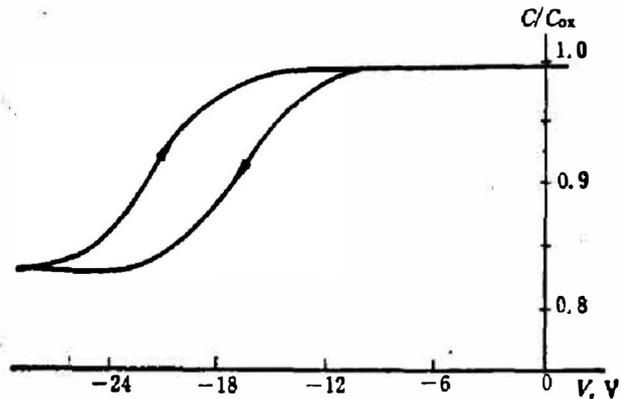


图 6 单一  $\text{SiO}_2$  膜的  $C-V$  曲线  
Fig. 6 The  $C-V$  curve without phosphine doped.

根据平带电压公式<sup>[6,7]</sup>

$$V_{FB} = V_{ms} - (Q_{ss}/C_{ox});$$

计算得固定表面电荷值约为  $2 \times 10^{11}/\text{cm}^2$ .

#### 3.2 光学特性

曾采用比较法<sup>[3]</sup>对在一定膜厚( $300 \mu\text{m}$ )的硅衬底上淀积的 PSG 三层结构膜做了红外

透过实验,膜厚为 600 nm, 结果见图 7. 3~7  $\mu\text{m}$  范围内有平滑的增透效果, 没有发现 O-H 吸收峰, 只是在 9  $\mu\text{m}$  处有 Si-O 吸收峰. 另外, 对单一 SiO<sub>2</sub> 膜也作了同样的测试(生长膜工艺相同), 没有明显的差别, 这与测试精度和方法有关, 因为采用的是单面抛光的硅衬底, 内反射和散射效应大, 所以透过率很小, 即使这样, 从图中可以看出明显的增透效果.

## 4. 结 论

本文实验研究结论有:

- (1) 淀积过程对温度十分敏感, 在一定温度范围内, 淀积速率与温度呈线性关系.
- (2) O<sub>2</sub>/SiH<sub>4</sub> 流量比直接影响着平带电压的大小, 应当严格控制.
- (3) LACVD 是一种过氧反应, 氧对平带电压的影响比 SiH<sub>4</sub> 大.
- (4) 滞后效应用现有系统无法消除, 必须从膜的结构和衬底预处理等方面来考虑.
- (5) PSG 结构的固定表面电荷要比单层 SiO<sub>2</sub> 小一个数量级.

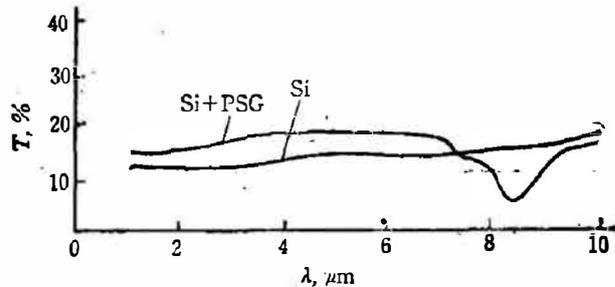


图 7 PSG 膜和硅衬底的红外吸收特性曲线的比较

Fig. 7 Infrared absorption curves for PSG film and Si-substrate.

致谢——罗永久等同志对实验和写作给予了很大帮助和支持, 在此深表谢意.

## 参 考 文 献

- [1] Taft E. A., *J. Electrochem. Soc.* **126**(1979), 10: 1728.
- [2] Baliga B. J. et al., *J. Appl. Phys.* **44**(1973), 3:990.
- [3] 刘春荣, 红外研究, **4**(1985), 3:220.
- [4] Bailly F. et al., *J. Electrochem. Soc.*, **126**(1979), 9:1604.
- [5] 俞振中, 沈寿珍, 红外研究, **2**(1983), 2: 129.
- [6] Koomen J., *Solid-State Electronics*, **14**(1971), 7: 571.
- [7] 刘恩科, 朱秉升, 半导体物理, 北京: 国防工业出版社, 1979, 234.

## PASSIVATION OF 3-5 $\mu\text{m}$ PV INSB DETECTOR WITH PSG FILM

LIU LIN

*(014 Centre of Luoyang, Luoyang, Henan, China)*

### ABSTRACT

The growth technique of  $\text{SiO}_2 + \text{PSG} + \text{SiO}_2$  three-layer film is investigated and analysed. On the basis of experiments, the typical parameters and characteristics of the present CVD system are discussed with thermodynamic theory. High frequency  $C-V$  curves and optical transmittance curves are given, compared with the results of  $\text{SiO}_2$  film grown in the same system. Furthermore, the attention has been paid to the limitations of this kind of system.