

3~5 μm 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 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 μm 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^[1,2], 但都是针对硅衬底的, 国内只有 SiO 膜^[3] 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 $\text{SiO}_2 + \text{PSG} + \text{SiO}_2$.

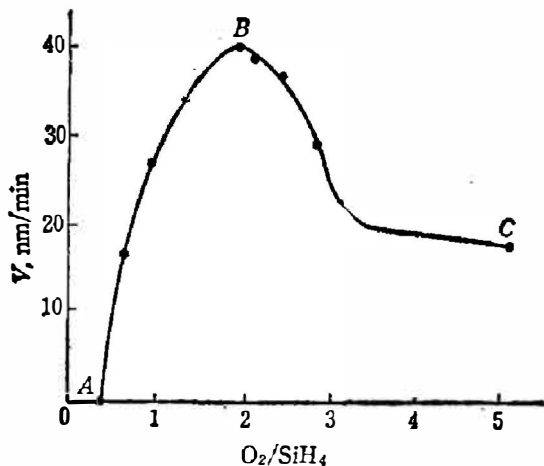
单一的 SiO_2 膜低温生长后缺乏对可动正离子的阻挡作用, 平带电压漂移大, 完全的 PSG 膜, 如果掺磷适当, 则与金属电极的粘附性比 SiO_2 层还好, 出于工艺流程上的考虑和 PSG 的吸潮特点, 最上一层膜仍采用 SiO_2 .

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^[4]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.

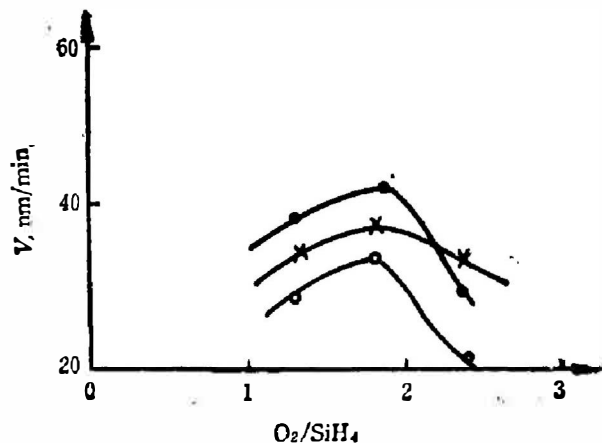
2.2 工艺参量分析

(1) SiH_4 、 O_2 和 N_2 流量与淀积速率的关系

SiH_4 、 O_2 和 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_2/SiH_4 流量比的关系Fig. 1 The Relation between deposition rate and O_2/SiH_4 flow rate ratio.

$T=250^\circ C$ $N_2=2SLM$
 $SiH_4=2SCCM$
 $PH_3=0.2SCCM$

图2 N_2 流量与淀积速率的关系Fig. 2 The relation between N_2 flow rate and deposition rate

$T=250^\circ C$ N_2 : ● 2400SCCM
 × 1800SCCM
 ○ 1300SCCM

比的关系见图1和图2。其中 V 是淀积速率; O_2 和 SiH_4 的单位都是 SCCM。

图1中 AB 段淀积速率随 O_2/SiH_4 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

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

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^[2],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_2 较 SiH_4 和 PH_3 更易吸附在衬底表面,生长速度下降。

图2中可以看出 N_2 流量对生长速率的影响。 N_2 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_2 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^[1](见图3中虚线部分)。

根据 Arrhenius 方程,反应速度为

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

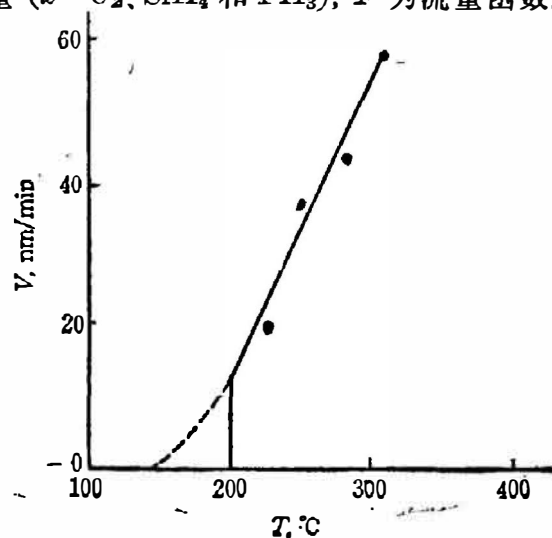
图3 淀积速率与淀积温度的关系
($PH_3/SiH_4=1/10$)

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°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 SiH_4 流量下进行膜淀积, 其它条

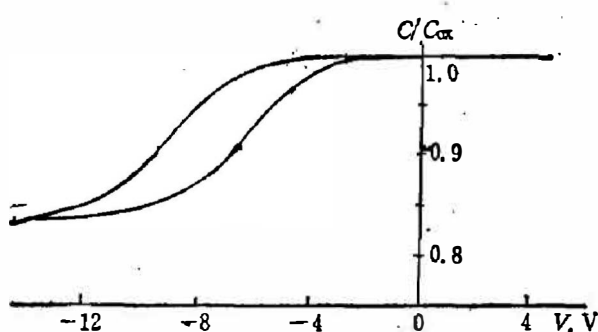


图4 $\text{O}_2/\text{SiH}_4 = 1.8/1$ 时淀积膜的 $C-V$ 曲线

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

件不变, 然后作高频 $C-V$ 测试, 其结果见图 4 和图 5. 可见, O_2/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 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 ΔV_{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.

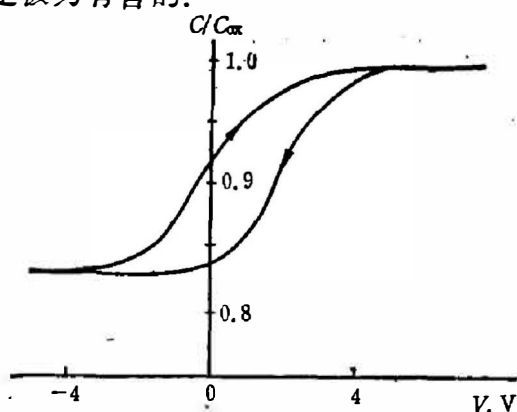


图5 $\text{O}_2/\text{SiH}_4 = 2.0$ 时淀积膜的 $C-V$ 曲线

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

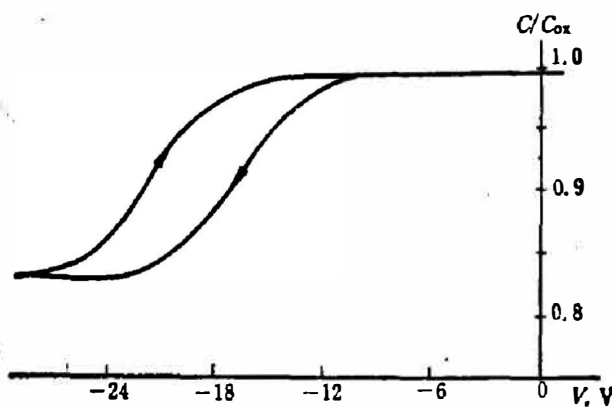


图6 单一 SiO_2 膜的 $C-V$ 曲线

Fig. 6 The $C-V$ curve without phosphine doped.

根据平带电压公式^[6,7]

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

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^[3]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 μm 范围内有平滑的增透效果, 没有发现 O-H 吸收峰, 只是在 9 μm 处有 Si-O 吸收峰. 另外, 对单一 SiO_2 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_2/SiH_4 流量比直接影响着平带电压的大小, 应当严格控制.
- (3) LAOVD 是一种过氧反应, 氧对平带电压的影响比 SiH_4 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_2 小一个数量级.

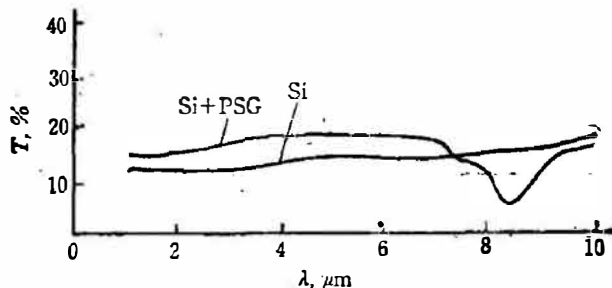


图 7 PSG 膜和硅衬底的红外吸收特性曲线的比较

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 μm 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 SiO_2 film grown in the same system. Furthermore, the attention has been paid to the limitations of this kind of system.