

SOS 膜的铝自掺杂剖面

陈庆贵 蔡希介 史日华 王其闵

(中国科学院上海冶金研究所)

陆 东 元

(上海计量局)

1983 年 11 月 5 日收到

用 SIMS 技术对表面覆盖金的 SOS 片进行了铝自掺杂剖面研究。结果表明,不同工艺对 SOS 膜的铝自掺杂剖面曲线影响很大。背面封闭的 SOS 片的铝自掺杂剖面曲线十分陡峭,过渡层厚度为 450—750 Å; 背面不封闭的 SOS 片的铝自掺杂剖面曲线不陡峭,过渡层厚度为 1200—1800 Å。同时,在过渡层以外背面不封闭的 SOS 片中的铝杂质含量比背面封闭的 SOS 片高很多。讨论了自掺杂形成的原因并对上述实验结果提出了解释。

一、序 言

蓝宝石上外延硅(SOS)是超高速集成电路(VHSIC)的理想材料。但是,蓝宝石上外延硅膜的过程中由于铝自掺杂的存在,使外延硅膜的电阻率降低,界面处过渡层变宽及其成份复杂化。这对器件的电学性能,特别是载流子的迁移率及漏电流十分不利^[1,2]。因此,研究铝自掺杂问题成为发展 SOS 技术的重要内容之一。十多年来,一般认为铝的自掺杂来自: 1. 生长早期蓝宝石衬底没有完全覆盖之前衬底和沉积组分之间的化学反应,即来自衬底正面的反应。2. 高温异质外延时铝从蓝宝石衬底外扩散到硅膜中^[3]。3. 来自衬底背面的化学反应^[4]。而大多研究工作者注重第一个来源。用 SIMS 研究 SOS 膜的铝自掺杂剖面曾有过报道^[5-7]。但工艺因素对 SOS 膜的铝自掺杂剖面的研究未见有所论述。本文用 SIMS 方法研究了 SOS 膜的铝自掺杂剖面,并对其形成过程提出解释。

二、实 验 方 法

使用天津半导体所生产的蓝宝石衬底, $\phi 30\text{mm}$, 取向 $[1\bar{1}02] \pm 2^\circ$ 。外延在全不锈钢硅烷外延仪上进行。用硅烷热分解法沉积硅膜,载气为氢,其纯度为露点 -84°C , 含氧量小于 0.04ppm。采用热解石墨作为基座,沉积前对基座作包硅处理。硅烷由浙江大学提供,并用超高纯氢气稀释至所需的浓度。剖面分析试样分为二类:一类为背封闭试样,即先对蓝宝石衬底背面进行气相沉积多晶硅层(厚 $1\mu\text{m}$ 左右),然后再进行正面沉积单晶硅膜。另一类试样为光试样,即衬底背面为通常的研磨状态,只对试样正面进行单晶硅膜的沉积。为便于对比分析,这二类试样的正面外延是在完全相同的条件下进行的。外延沉

积温度变化范围为 $930-1070^{\circ}\text{C}$, 沉积速率变化范围为 $0.3-3\mu\text{m}/\text{min}$. SOS 膜厚控制在 $0.5\mu\text{m}$ 至 $5.5\mu\text{m}$ 之间.

二次离子质谱分析在上海计量局的 CAMECA IMS-300 Microanalyser 上进行. 一次束为 O^+ (也有用 Ar^+), 5.5KeV . 束斑直径为 $200\mu\text{m}$, 束流强度为 $6.2\mu\text{A}$. 取信息直径为 $60\mu\text{m}$. 分析杂质的信息剖面由光电倍增器放大, 打字机读出并由电视屏幕直接显示. 为避免由于绝缘衬底的电荷效应及通常制备 SIMS 样品带来的铝沾污^[6], 对 SOS 片作专门处理, 即在 SOS 膜上电子束蒸发沉积一定厚度的金导电网 ($150 \times 150\mu\text{m}^2$ 网格, 线条宽 $10\mu\text{m}$). 这大大提高了杂质深度分析的稳定性, 特别是提高了接近 $\text{Si}/\text{Al}_2\text{O}_3$ 界面附近的杂质浓度变化的可靠性. 杂质剖面分析通常一个样品分析几个点, 一种工艺分析几个样品, 做到深度分布曲线重复可靠.

三、实验结果

进行了二种不同工艺下 SOS 膜的铝自掺杂剖面分析:

1. 硅烷外延沉积温度为 960°C , 速率为 $2\mu\text{m}/\text{min}$, 膜厚 $0.5-0.8\mu\text{m}$. 在这样工艺条件下光试样 SOS 膜的铝自掺杂剖面示于图 1 中 A 曲线, 其相应的硅剖面曲线示于图 1 中 C 曲线. 用背封闭技术在完全相同的外延条件下获得的 SOS 膜的铝自掺杂剖面示于图 1 中 B 曲线.

2. 铝自掺杂程度与生长温度和生长速率关系密切^[6]. 生长温度愈高, 生长速率愈小, 铝自掺杂愈严重. 取沉积温度为 1070°C , 生长速率为 $0.3\mu\text{m}/\text{min}$, 在这样的条件下生长

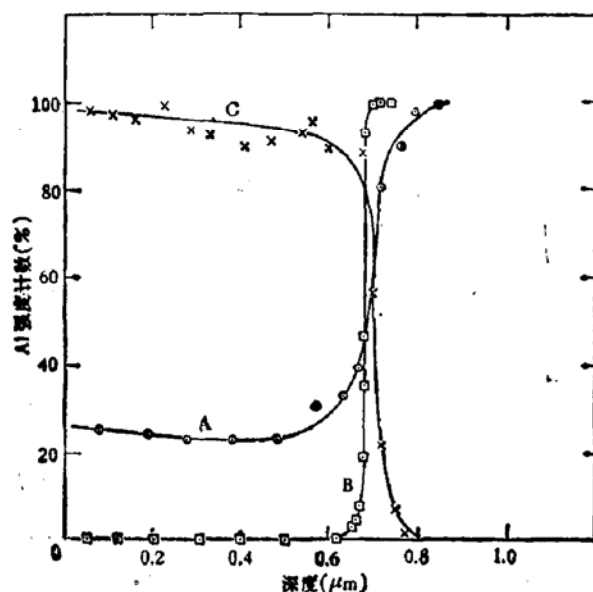


图 1 SOS 片铝自掺杂剖面

A——光试样(膜厚 $0.73\mu\text{m}$) B——背封试样(膜厚 $0.69\mu\text{m}$)

C——光试样(硅剖面)

沉积温度 960°C , 速率 $2\mu\text{m}/\text{min}$.

较厚的 SOS 膜。图 2 中 A 曲线表示光试样(膜厚 $5.28\mu\text{m}$) 的铝自掺杂剖面,其相应的硅剖面示于图 2 中 C 曲线。背封闭试样的 SOS 膜(膜厚 $5.23\mu\text{m}$) 的铝自掺杂剖面示于图 2 中 B 曲线。

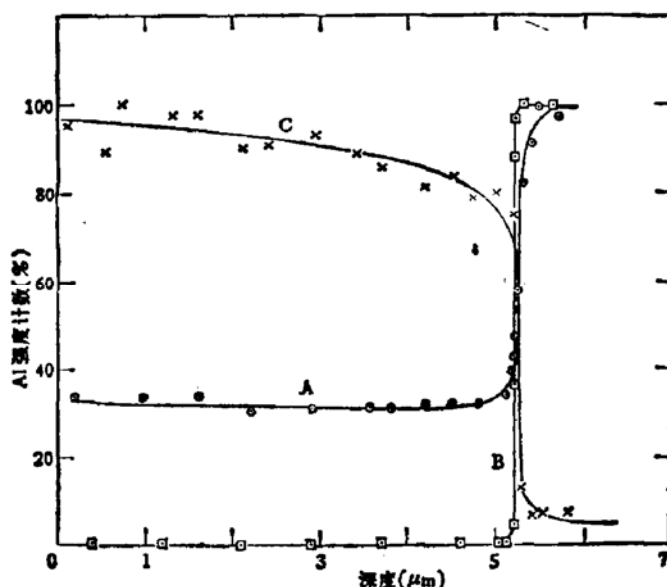


图 2 SOS 片铝自掺杂剖面

A——光试样(膜厚 $5.28\mu\text{m}$) B——背封闭试样(膜厚 $5.23\mu\text{m}$)

C——光试样(硅剖面)

沉积温度 1070°C , 速率 $0.3\mu\text{m}/\text{min}$.

3. 在 SIMS 杂质深度分析时取该杂质强度计数的 90% 和 10% 之间的宽度为过渡层的厚度*. 计算得到, 图 1 中光试样 SOS 膜的铝自掺杂剖面 (A 曲线) 的过渡层厚度为 $1244\text{ \AA}$. 同样, 得到背封闭的 SOS 片的铝自掺杂剖面 (B 曲线) 的过渡层厚度为 $449\text{ \AA}$. 以相同测试刻度对高温慢速光试样测得过渡层厚度为 $1838\text{ \AA}$, 背封闭试样为 $742\text{ \AA}$.

4. 过渡层区 SIMS 全分析表明, 过渡层中有: AlSiO^+ , AlOH^+ , Al_2^+ , AlSi^+ , Si_2O^+ , AlO^+ , Si_2^+ 和 SiO^+ 等离子化合物, 这与文献[7]报道的基本一致. 不同外延工艺得到的结果基本相同. 过渡层以外的 SOS 膜中尚有 Cr^+ , Mg^+ , B^+ , P^+ 等存在.

四、讨 论

从图 1 可知, 在常用的生长温度和生长速率下 (膜厚 $\sim 0.69\mu\text{m}$), A 曲线与 B 曲线有明显的差别. 前者不陡削, 后者十分陡削. 计算表明, 它们的过渡层厚度相差也很大. 这是因为采用背封技术后, 使 SOS 片的铝自掺杂效应减少.

从图 2 看出, 尽管采用高温慢速工艺使自掺杂加重, 生长出较厚的 SOS 膜 ($\sim 5.0\mu\text{m}$), 光试样和背封闭试样之间的铝自掺杂剖面的区别依然很明显. 这说明, 背封技术对

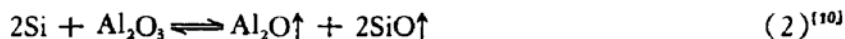
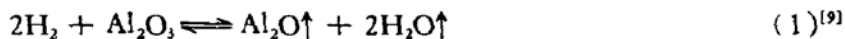
* 1981 年国际 SIMS 会议通过的标准是过渡层宽度取该杂质强度计数的 84% 和 16% 之间的宽度.

抑制 SOS 膜的铝自掺杂十分有效。

图 1 的 A 曲线(光试样)与图 2 的 A 曲线(光试样)是在不同的外延工艺条件下获得的。它们的铝自掺杂剖面基本相同。差别是图 2 的 A 曲线的过渡层厚度比图 1 的 A 曲线过渡层厚度宽。同样,图 2 的 B 曲线(背封闭试样)的过渡层厚度比图 1 的 B 曲线(背封闭试样)过渡层厚度也稍宽。这是因为不同工艺条件引起的。图 2 中 A 与 B 曲线获得的条件比图 1 中 A 与 B 曲线更易于引起自掺杂效应。

关于铝的相对含量也可从图 1 和图 2 中看出。图 1 中 A 曲线表面至过渡层以外的铝强度计数值比图 1 中 B 曲线高 3 倍以上。这样的差别在厚 SOS 膜的情况下更为明显。图 2 中 A 曲线表面至过渡层以外的铝强度计数值比图 2 的 B 曲线高 170 倍左右。这与 G. W. Cullen 报道的^[6],在通常沉积条件下 SOS 膜铝自掺杂浓度达到 10^{16}cm^{-3} 基本符合。为进一步证实这一点,取图 2 中的一组试样(光试样和背封闭试样)进行霍尔载流子浓度测定。结果,光试样为强 P 型,其载流子浓度在 10^{16}cm^{-3} 数量级,而背封闭试样为弱 P 型,其载流子浓度为 10^{14}cm^{-3} 数量级。这一结果与 SIMS 测量结果相符合。

关于 SOS 膜铝自掺杂的原因一般认为,在蓝宝石衬底没有被完全覆盖以前,有下述主要气相反应:



当蓝宝石衬底被完全覆盖后,进一步生长有固相反应:



对于背面不封闭的 SOS 片,在衬底没有完全被覆盖以前正面和背面都有(1)式和(2)式的反应存在,所以界面附近铝的自掺杂严重,过渡层较宽,而完全覆盖后进一步生长 SOS 膜时,除(3)式反应外仍有背面的(1)和(2)式起作用,这就使过渡层以外的膜中铝浓度很高。对于背面封闭的 SOS 片,在衬底没有完全被覆盖以前只有(1)和(2)式反应在正面存在,没有背面的铝自掺杂,所以界面附近的铝自掺杂比不封闭的试样少,过渡层较窄。而一旦衬底完全被覆盖以后,就只有(3)式的固相反应使铝杂质外扩散。而固相反应比气相反应慢得多,这就使过渡层以外 SOS 膜中的铝含量较低。可见,来自衬底背面的铝自掺杂对过渡层的宽度和过渡层以外的铝自掺杂比衬底正面的影响大。

五、结 论

1. 用 SIMS 方法能十分清楚准确地获得表面覆盖金的 SOS 片的铝自掺杂剖面曲线及过渡区内的成份情况。

2. 不同工艺对 SOS 膜铝的自掺杂剖面影响较大。背面封闭的 SOS 膜的铝自掺杂剖面十分陡削,过渡层厚度为 450—750 Å。背面不封闭的 SOS 膜的铝自掺杂剖面不陡削,过渡层厚度为 1200—1800 Å。

3. 背面不封闭的 SOS 膜表面至过渡层以外的铝杂质含量比背面封闭的 SOS 膜高很多。

4. 讨论了 SOS 膜铝自掺杂的原因,指出来自背面比正面的铝自掺杂效应更严重。

本研究工作中得到本所六室陈芬扣同志的帮助,特表感谢。

参 考 文 献

- [1] S. T. Hsu, *IEEE Trans. Electron Devices*, ED-25, 913 (1978).
- [2] J. L. Repace and A. M. Goodman, *IEEE Trans. Electron Devices*, ED-25, 978 (1978).
- [3] R. K. Pancholy and M. Y. Young, *IEEE Trans. Electron Devices*, ED-27, 2256 (1980).
- [4] G. W. Cullen and C. C. Wang, *Heteroepitaxial Semiconductors for Electronic Devices*, Springer, Berlin, p. 34 (1978).
- [5] J. Trihe and J. Borel, *J. Crystal Growth*, 45, 439 (1978).
- [6] G. W. Cullen, J. E. Corboy and R. T. Smith, *J. Crystal Growth*, 31, 274 (1975).
- [7] C. H. Kuhl and Druminski, *Thin Solid Films*, 37, 317 (1976).
- [8] G. D. Robertson, Jr., P. K. Vaserder, R. G. Wilson and V. R. Deline, *Appl. Surface Science*, 14, 128 (1982—83).
- [9] C. De Vrises and G. W. Sears, *J. Chem. Phys.*, 31, 1256 (1959).
- [10] R. W. Bricknell, B. A. Joyce, J. H. Neave and G. V. Smith, *Phil. Mag.*, 14, 31 (1966).
- [11] D. Bhogeswara RAD and K. T. Jacob, *J. crystal Growth*, 58, 79 (1982).

Aluminium Autodoping Profile of SOS Films

Chen Qinggui, Cai Xijie, Shi Rihua, Wang Qimin
(Shanghai Institute of Metallurgy, Academia Sinica)

and Lu Dongyuan
(Shanghai Metrology Corporation)

Abstract

Aluminium autodoping profile of SOS films overlaid with gold has been shown by SIMS technique. The results indicate that the profile depends considerably on the technological process. The aluminium profile of SOS film with back surface sealed is very sharp in the neighbourhood of Si/Al₂O₃ boundary, thus having a transition layer thickness of 450—750 Å, while the aluminium profile of SOS film without back sealing surface is not sharp, thus having a larger transition layer thickness of 1200—1800 Å. Meanwhile, the aluminium concentration in the region outside the transition layer is much higher in SOS film without back sealing surface than in that with back surface sealed. This experimental result shows that the main source of autodoping comes from the back surface of the substrate.