

SIMOX 材料隐埋氧化层中针孔密度的表征和形成机理定性分析

竺士炀 林成鲁

(中国科学院上海冶金研究所 信息功能材料国家重点实验室 上海 200050)

摘要 SIMOX(Separation by IMplantation of OXygen)材料中隐埋氧化层(BOX: Buried OX-ide)的针孔漏电可使器件完全失效. 本文用 CuSO₄ 电解电镀法测定了不同工艺条件制备的 SIMOX 材料 BOX 中的针孔密度, 并用改进的二维 IRIS 程序定性分析了引起针孔的杂质临界颗粒尺寸.

PACC: 6170T, 7280, 7360H, 8245, 0270

1 引言

近十年来, 大剂量氧离子注入形成 SIMOX 技术作为制备 SOI(Silicon On Insulator)材料的主导技术在国际上受到广泛重视. 同传统的体硅器件相比, SOI 器件具有全介质隔离、无闩锁效应、短沟道效应小、抗瞬时辐照和单粒子事件能力强、速度快、集成度高和工艺相对比较简单等许多优点, 在将来深亚微米超大规模集成电路中将发挥重要作用^[1]. 国外已有商品化的 SIMOX 材料, 并研制成功了 256K SRAM 等大规模集成电路^[2].

SIMOX 材料的 BOX 是大剂量氧离子注入形成的氧化硅, 其质量尚不及热氧化生成的 SiO₂. 当靶室环境或硅片表面不干净时, 注入时氧离子被杂质阻挡, 使 BOX 中氧的分布发生畸变, 甚至由于氧的空缺而形成硅岛(Silicon Island), 使 BOX 中存在漏电通道, 这就是所谓的“针孔”(Pinhole)或“管道”(Pipe). 针孔的存在严重影响在顶层硅膜中制备的器件, 因此建立 BOX 层针孔密度的表征方法, 并设法减少针孔密度, 是 SIMOX 材料与器件应用的重要课题. 本文在国内首先报道了利用 CuSO₄ 电解电镀法表征 SIMOX 材料的针孔密度, 方法简便而快速. 并用改进的二维 IRIS(Implantation of Reactive Ions into Silicon)程序定性分析了引起针孔的杂质临界颗粒尺寸.

2 实验方法

为了便于分析比较, 本实验选用了本所和国外早期制备的 BOX 层针孔密度相对较高

竺士炀 男, 博士研究生, 主要研究 SIMOX 材料的质量表征和 CMOS/SIMOX 器件的辐照、高温等性质
林成鲁 男, 博士导师, 长期从事离子束合成和新型功能材料的研究

1994年12月17日收到初稿, 1995年2月22日收到修改稿

的 SIMOX 样品, 原始硅片是经抛光和清洗后的电阻率为 $10\sim13\Omega\cdot\text{cm}$ 的 p 型(100)硅片, 具体的工艺参数如表 1 所示。

表 1 SIMOX 材料制备工艺参数

样品编号	注入能量 / keV	注入剂量 / $\times 10^{18}\text{cm}^{-2}$	注入温度 / °C	退火温度 / °C	退火气氛	退火时间 / h	顶层硅厚 / nm	BOX 厚度 / nm
1#本所	170	1.35	680	1300	N ₂	5	280	300
2#本所	170	1.35	680	1300	Ar	5	280	300
3#英国	200	1.8	600	1300	Ar+0.5%O ₂	6	300	380

样品经超声清洗后, 用 HF(1ml HF + 1ml H₂O) 漂去表面 SiO₂ 保护膜, 在 50°C 的 KOH (0.04g/ml) 溶液中腐蚀数分钟, 漂去顶层硅膜, 由于 KOH 同 SiO₂ 不反应, 腐蚀是自停止的。

用稀 HCl 漂洗后, 用去离子水冲洗干净, 放入如图 1 所示的自制装置中电镀 4 分钟左右, CuSO₄ 电解液的浓度是 0.05g/ml, 用 20V 直流稳压电源。由于在 BOX 的针孔处存在微电流, Cu²⁺ 离子将在其上沉积, 形成铜的斑点, 可用普通的光学显微镜观察并统计铜斑的数目。

3 实验结果

图 2(a)、(b) 分别是放大 50 倍和 200 倍的样品表面金相照片(由于篇幅关系, 仅给出 1# 样品的金相照片), 大部分铜斑的形状基本成圆形, 也有成棒状或其它不规则形, 反应了 BOX 中针孔的不同形状。我们发现, 铜斑的大小同 CuSO₄ 的浓度、电镀时间和电压大小等因素有关, 但铜斑的数目仅同针孔数目相关^[3]。BOX 的针孔是随机分布的, 且由于针孔密度的绝对值很小, 用显微镜观察时, 在一个视场内有时可以发现数个铜斑, 有时没有铜斑, 因此必须在较大面积上统计所有的铜斑才能得出较正确的针孔密度, 三种样品的结果如表 2 所示。

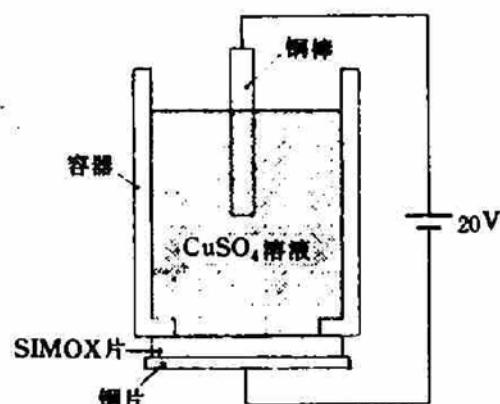


图 1 CuSO₄ 电解电镀法装置示意图

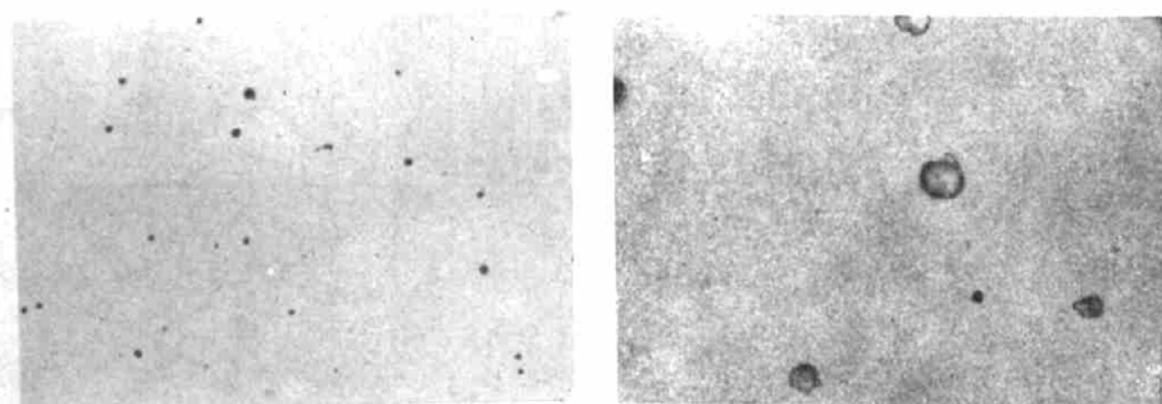


图 2 1# 样品经电镀后的金相照片
(a) 放大 50 倍; (b) 放大 200 倍。

表 2 三种 SIMOX 样品的针孔密度测试结果

样品编号	电镀面积/ cm ²	铜斑数目(个)	针孔密度/ cm ⁻² (约)
1#	6.9	1609	230
2#	6.9	2741	395
3#	6.3	83	14

4 形成机理定性分析

用改进的二维 IRIS 程序^[3~5]计算当硅片表面存在杂质,即相当于有局部阻挡物时注入后氧的分布。采用如下模型:在 800nm 长的硅片上中间局部有阻挡物,假设其为 SiO₂,纵向深度以原始硅片的表面处为 0 点,注入能量为 200keV、剂量为 $1.8 \times 10^{18} \text{cm}^{-2}$ 的氧离子,考虑注入时的膨胀、溅射和扩散效应。当存在一定长、厚的 SiO₂ 阻挡物时,氧在硅片内不同位置(横向)处的纵向分布是不同的,在远离阻挡物区,应是通常的平顶分布,在埋层区达到 SiO₂ 的计量比,趋近阻挡物中心时,氧在硅片内的分布发生变化,埋层区的氧浓度下降,达不到计量比,穿过阻挡物的氧离子堆积在硅片近表面处或在硅片外面,在阻挡物中心处隐埋 SiO₂ 层畸变最大,因此我们考虑此处的氧浓度纵向分布。图 3(a)、(b) 分别给出了阻挡物厚度和长度对氧分布的影响。图 3(a)是有 400nm 长,厚度分别为 0, 50, 100, 150, 200, 300, 400, 500, 1000nm 的阻挡物存在时,注入后的氧分布,当阻挡物较薄时,氧离子可以穿过阻

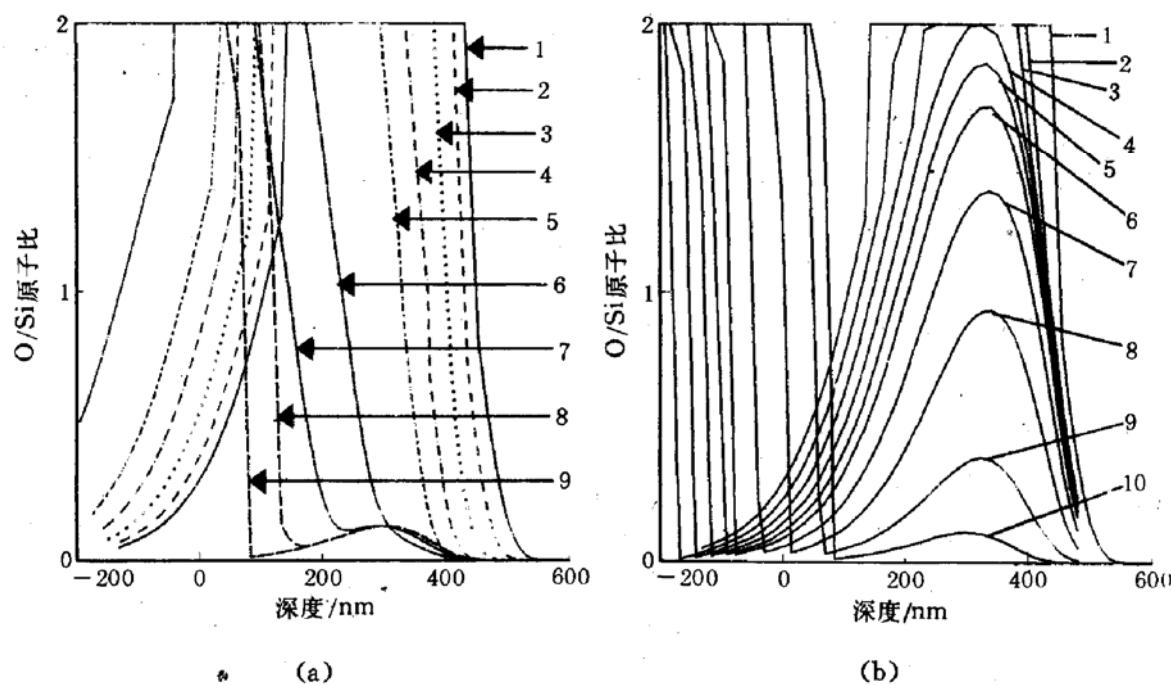


图 3 阻挡物中心处的氧浓度纵向分布模拟结果

- (a) 阻挡物长 400nm, 厚度分别为: (1) 0nm; (2) 50nm; (3) 100nm; (4) 150nm;
 (5) 200nm; (6) 300nm; (7) 400nm; (8) 500nm; (9) 1000nm.
- (b) 阻挡物厚 1000nm, 长度分别为: (1) 0nm; (2) 30nm; (3) 50nm; (4) 70nm;
 (5) 90nm; (6) 110nm; (7) 150nm; (8) 210nm; (9) 300nm; (10) 400nm.

挡物而进入硅片,表现为 BOX 层向表面移动,当厚度达 400nm 左右时(图中曲线 7),注入的氧恰好处在硅片表面,这时没有 BOX 存在,当厚度再增加时,氧离子将沉积在阻挡物中,这就形成了针孔。图 3(b)显示了 1000nm 厚、而长度分别为 0, 30, 50, 70, 90, 110, 150, 210, 300, 400nm 的阻挡物存在时,注入后的氧分布,当阻挡物较小时(图中曲线 2, 3),对氧的分布基本无影响,当阻挡物大于 70nm 时,埋层中氧的浓度开始小于计量比,当阻挡层进一步增大时,氧的浓度逐渐下降,在 200nm 时,氧的浓度已降低近一半,毫无疑问,此时将在 BOX 中产生针孔。

实际的过程要比以上分析的复杂,样品在高温(1300℃)退火时氧将在硅片内再分布,从而消除小的针孔,改进 BOX 层的连续性和完整性,使杂质临界颗粒尺寸变大,一般认为硅片表面的杂质直径大于 0.5μm 时,将在最后制成的 SIMOX 片的 BOX 中形成针孔^[6],这比模拟给出的数值要大,另外实际遇到的杂质多种多样,同氧离子的作用可能较复杂,其临界颗粒尺寸不尽相同,程序没有考虑这些因素,因此给出的仅是定性结果。本所样品的针孔密度较高,主要原因是在于机房清洁度不高、片子的清洗和传输条件不严格等,使杂质颗粒沾污较多。另外通过模拟分析得知,提高 SIMOX 制备时的注入剂量和能量,可以增大临界颗粒尺寸,本所样品的注入剂量和能量都低于国外样品,这也使本所样品的针孔密度变大。

5 结论

- (1) 用 CuSO₄ 电解电镀法可以简便而快速地表征 SIMOX 材料的 BOX 层中的针孔密度。
- (2) 当存在较薄的阻挡层时(例如小于 400nm),氧的分布移向表面,使 BOX 层不平整。
- (3) 较小的阻挡层(例如直径小于 70nm)对氧的分布影响不大。
- (4) 只有足够大和足够厚的阻挡层才能在 BOX 中形成针孔,即形成针孔的杂质要大于临界颗粒尺寸。

参 考 文 献

- [1] J. P. Colinge, Silicon-On-Insulator Technology: Materials to VLSI, Kluwer Academic Pub. 1991.
- [2] N. Haddad and L. Wang, Proceedings of the Fifth International Symposium on Silicon-On-Insulator Technology and Devices, 1992, 29.
- [3] U. Bussmann and P. L. F. Hemment, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, 1990, B47:22.
- [4] U. Bussmann, P. L. F. Hemment, R. P. Webb *et al.*, E-MRS Spring Meeting, Symposium D, Stoasboury (France), May 1991, Paper: D2. 2.
- [5] 施左宇,林成鲁,朱文化,等,半导体学报,1994,15: 48.
- [6] L. P. Allen, A. Genis, R. Dolan *et al.*, International SOI Conference Proceeding, Florida, Oct. 1992, 22.

Characterization of Pinhole Density in BOX of SIMOX Material and Qualitative Analysis of its Formation Mechanism

Zhu Shiyang and Lin Chenglu

(State Key Laboratory of Functional Materials of Informatics, Shanghai Institute of Metallurgy,
The Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200050)

Received 17 December 1994, revised manuscript received 22 February 1995

Abstract The buried oxide (BOX) pinhole leakage can completely destroy the devices fabricated in the top silicon layer of SIMOX (Separation by IMplantation of OXygen) material. The CuSO₄ electrolytic plating technique is introduced to characterize the pinhole densities of SIMOX wafers fabricated with different processing parameters. The critical size of particles causing pinholes in BOX is qualitatively analyzed by improved 2-dimensional IRIS program.

PACC: 6170T, 7280, 7360H, 8245, 0270