

大直径直拉硅片的快速热处理*

余学功 马向阳 杨德仁

(浙江大学硅材料国家重点实验室, 杭州 310027)

摘要: 主要研究了快速热处理(RTP)对大直径直拉(CZ)硅片的清洁区(DZ)和氧沉淀的影响. 通过在 Ar、N₂、O₂ 三种不同气氛中, 在不同温度下 RTP 发现在大直径 CZ 硅片中氧沉淀的行为及 DZ 的宽度与 RTP 的温度、气氛有很大关系. 在实验的基础上, 讨论了在大直径 CZ 硅中 RTP 对氧沉淀和 DZ 的影响机理.

关键词: 快速热处理; 空位; 清洁区; 氧沉淀

PACC: 6280C; 6170Q; 6170T

中图分类号: TN304.1⁺2

文献标识码: A

文章编号: 0253-4177(2003)05-0490-04

1 引言

大规模集成电路特征线宽的不断减小对集成电路制造过程的质量控制提出了越来越高的要求, 普通的高温退火由于热预算(thermal budget)量大, 将会对器件造成不良的影响, 如引起杂质扩散的再分布而影响浅结的结构, 金属沾污引起漏电流, 对大直径硅片温度控制不精确等. 快速热处理(RTP)具有快速升温的特点, 可以显著减少杂质扩散和金属沾污, 同时由于 RTP 的热电偶直接测量硅片的温度, 因而温度控制比较精确, 因此 RTP 在当今的集成电路制造中得到了广泛的应用^[1-4].

在集成电路制造过程中控制氧沉淀已经被认为是硅片缺陷工程的核心问题之一. 在近表面区无法形成清洁区(DZ)及在体内形成高密度的体缺陷(BMD)大大降低了集成电路的成品率. 最近 MEMC 成功地将 RTP 应用于硅片的“内吸杂”工艺, 在硅片表面的器件有源区形成无缺陷的 DZ, 而在体内形成合理的缺陷密集区, 具有很强的内吸杂(IG)能力, 这就是所谓的“魔幻清洁区”(MDZ)硅片. 通常的 IG 工艺是通过高-低-高三步退火来完成的, 由于硅中氧的扩散速率要比空位小很多, 所以一般首先需要在高温(> 1000℃)下退火使氧外扩

散^[5,6]; 随后在低温长时间形核以及高温长大从而获得能够形成有效吸杂能力的氧沉淀及其诱生缺陷, 这个 IG 过程强烈地依赖于样品的原生氧浓度和热历史, 而且工艺复杂^[7-9]. 而 MDZ 被认为是一种快速可靠的、重复性很好的 IG 工艺, 它是利用 RTP 在硅片体内通过空位的分布而不是氧浓度的分布来控制氧沉淀的行为. MDZ 的形成与硅片的原始氧浓度、热历史和集成电路制造的具体细节等几乎无关. 由于 MDZ 是 MEMC 的专利技术, 因此其具体细节并未对外公布. 特别是关于在不同气氛、不同温度下进行 RTP 对硅片体内氧沉淀和表面 DZ 的影响国内还未见报道.

本文主要研究了在不同气氛中、不同温度下 RTP 对大直径直拉硅片中氧沉淀和清洁区形成的影响, 并在此基础上讨论了 MDZ 的形成机理.

2 实验

在氩气氛下生长直径为 200mm 的 p 型 (100) 硅单晶. 切片和化学抛光. 硅片的电阻率为 $15\Omega \cdot \text{cm}$, 原始氧浓度为 $7.5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$, 转换因子为 $3.14 \times 10^{17} \text{cm}^{-2}$. 然后将硅片分为 3 组, 分别在 Ar、O₂、N₂ 气氛中在不同温度下进行 RTP, RTP 温度为 1230、1260 和 1280℃. RTP 的升温速率为 50℃/s,

* 国家自然科学基金资助项目(批准号: 50032010)

2002-06-07 收到, 2002-07-18 定稿

降温速率为 $15^{\circ}\text{C}/\text{s}$, 处理时间为 50s. 经过 RTP 后, 样品在 Ar 气中进行低-高 (800°C , 4h + 1050°C , 16h) 两步退火, 然后对样品进行解理, 置于 Sirtl 液腐蚀 4min 后, 用光学显微镜观察样品的解理断面, 测量 DZ 宽度, 对比氧沉淀的密度. 同时, 样品的氧浓度由室温傅里叶红外光谱仪 (FTIR) 测得.

3 实验结果和分析

图 1 显示了在 Ar 、 O_2 、 N_2 气氛中在不同温度 (1230、1260 和 1280°C) 下进行 RTP, 然后进行低-高 (800°C , 4h + 1050°C , 16h) 两步退火后, 样品 DZ 的宽度随 RTP 温度的变化关系. 可以看出, 在 Ar 和 O_2 气氛中进行 RTP 预处理, 可以得到较好的 DZ, 而且 DZ 的宽度随着 RTP 预处理温度的增加

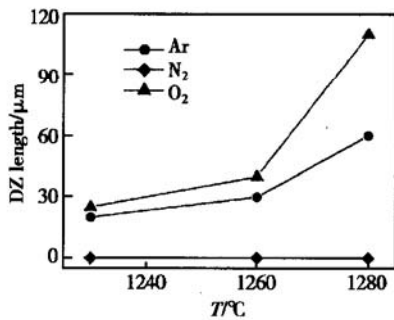


图 1 DZ 的宽度随 RTP 预处理的气氛和温度的变化关系

Fig. 1 Variation of DZ length with the ambient and temperature of RTP pre-annealing

而增加, 在 O_2 气氛中进行 RTP 预处理的样品得到的 DZ 的宽度要远远高于相应的在 Ar 气中进行 RTP 预处理的样品. 然而在 N_2 下进行 RTP 预处理的样品不能得到 DZ. 由此我们可以看出, 进行 RTP 预处理的气氛与温度对样品的 DZ 的影响很大. 图 2 显示了在 Ar 气下进行 RTP 预处理, 然后经过低-高两步退火后得到的样品截面图, 可以看出随着 RTP 预处理温度的升高, DZ 的宽度越来越大, 并且可以得出, DZ 的宽度 ($20\sim 120\mu\text{m}$) 都要大于一般三步退火得到的 DZ ($10\sim 30\mu\text{m}$). 这是由于硅片在温度快速上升过程中产生高浓度的空位-自间隙对, 在高温保持几十秒钟的过程中, 空位和自间隙硅原子通过扩散到硅片表面的方式使它们的浓度分布分别达到各自的平衡浓度. 而在 RTP 的温度下, 空位的平衡浓度要高于自间隙硅原子的平衡浓度; 最后在快速冷却过程中, 空位为了达到平衡浓度, 尽力向硅片表面

扩散, 然而它们的扩散并不能很快达到平衡浓度, 因为空位能够提供氧沉淀形成所需要的空间, 于是在空位的作用下氧在随后的退火过程中聚集形成氧沉淀, 从而降低了氧沉淀形成所需要的能量. 在这种情况下氧沉淀的过程由空位而不是由氧浓度来控制, 而氧沉淀密度沿硅片深度的分布是由空位的浓度分布决定的. 在硅片近表面的范围内, 空位的浓度在促进氧沉淀形成所需要的临界浓度之下, 因而在硅片表面形成了较宽的 DZ. 随着 RTP 温度的升高, 空位扩散的距离增加, 即硅片表面的空位贫乏区增加, 最终导致了 DZ 的宽度随着 RTP 温度的增加而增加. 这与国外的研究结果是一致的.

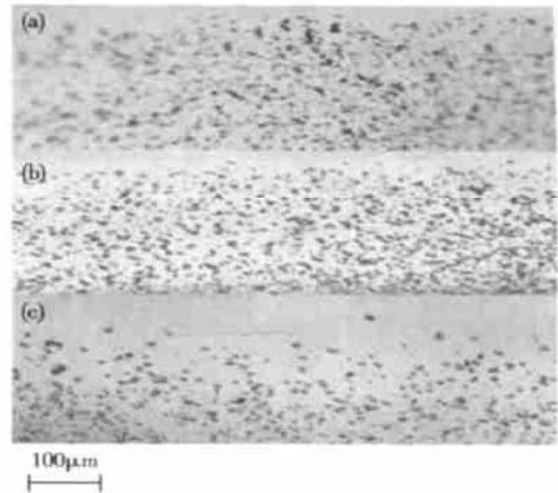


图 2 在 Ar 气中在不同温度下进行 RTP 预处理以后得到的样品截面图 (a) 1230°C ; (b) 1260°C ; (c) 1280°C

Fig. 2 Cross-sectional optical micrographs of the samples subjected to RTP at different temperatures followed by low-high annealing in Ar ambient (a) 1230°C ; (b) 1260°C ; (c) 1280°C

图 3 显示了在 1280°C 下不同气氛中进行 RTP 预处理后, 再经过低-高两步退火而得到的样品横截面的腐蚀形貌图. 可以清楚地看到在不同气氛下进行 RTP 预处理对硅片 DZ 的宽度及体内氧沉淀的密度影响很大, 在 O_2 气氛下得到的 DZ 的宽度最大, 在 Ar 气氛下得到的 DZ 的宽度次之, 而在 N_2 气氛下得不到较好的 DZ. 然而在 N_2 气氛下预处理的硅片体内 BMD 的密度最高, 而且在硅片表面生成的 BMD 的密度要稍高于体内的密度, Ar 气次之, 而在 O_2 气下 BMD 的密度最小. 这说明在不同的气氛下进行 RTP, 硅片内部产生的点缺陷或其复合体是不同的.

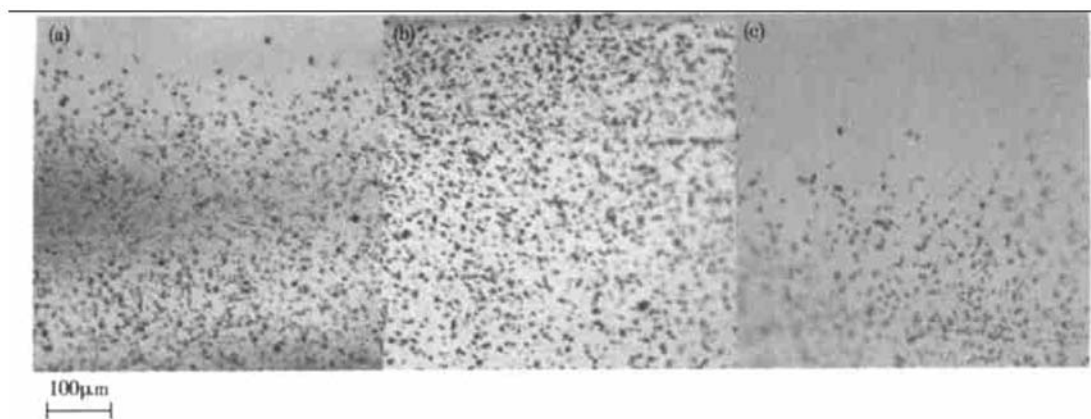


图 3 在 1280°C 下不同气氛中进行 RTP 预处理后,再经过低-高两步退火的横截面的形貌图 (a) Ar; (b) N₂; (c) O₂

Fig. 3 Cross-sectional optical micrographs of the samples subjected to RTP at 1280°C followed by low-high annealing (a) Ar; (b) N₂; (c) O₂

图 4 为在不同气氛下进行 RTP 以后,空位在硅片中的分布情况的示意图.在进行 RTP 的快速升温过程中,大量的空位和自间隙硅原子对产生.如前所述,在高温保温的过程中,由于自间隙硅原子和空位的扩散速率都很快,在扩散完成以后,空位和自间隙硅原子都达到平衡状态,由于空位在硅晶体中的平

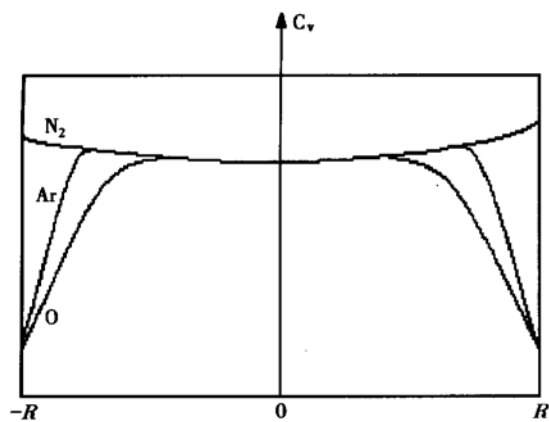


图 4 在不同气氛中进行 RTP 预处理后,空位在硅片中的分布

Fig. 4 Distribution of vacancies in the wafer subjected to RTP in different ambient

衡浓度要高于自间隙硅原子的平衡浓度,所以空位的浓度要远远高于自间隙硅原子的浓度.在随后的快速冷却过程中,硅片体内空位和自间隙硅原子都来不及扩散到硅片的表面,就被冻结在硅中,于是幸存空位的浓度等于在 RTP 温度下空位和自间隙硅原子的平衡浓度的差值;对于硅片表面,由于硅片近表面的空位扩散到表面,而硅片表面是空位的陷阱,所以空位浓度降低.随着 RTP 温度的增高,在快速

冷却过程中,空位的扩散长度就越大,因而 DZ 就越宽(如图 1 和 2 所示).在不同气氛中进行 RTP 时,硅片体内空位的生成是相同的.而在硅片近表面,空位的分布在各种气体下处理是不一样的.如图 4 所示,在 Ar 气中,由于空位和自间隙硅原子能充分地扩散到表面,所以在硅片表面残留的空位浓度很低;在 O₂ 气中,由于硅片在高温下被氧化,大量的自间隙硅原子注入到硅片的近表面,这样就导致了近表面区域的空位浓度进一步降低;在 N₂ 气中进行高温处理,由于硅片被氮化,导致了大量空位注入到硅片,从而导致了在硅片近表面区空位浓度的升高.如前所述,空位的分布决定了 DZ 的宽度和 BMD 密度,空位浓度高的地方氧沉淀密度也就越高.因此,在 O₂ 气中进行 RTP 预处理得到的 DZ 宽度要大于在 Ar 气中得到的 DZ 宽度,而在 N₂ 气中几乎不能得到 DZ(如图 3 所示).

4 结论

本文主要研究了 RTP 对大直径直拉硅片 DZ 和体内氧沉淀的影响.通过对不同温度、不同气氛 RTP 处理后的硅片的氧沉淀和 DZ 行为的研究,可以得出如下结论:

- (1) 在 O₂ 气中进行 RTP 预处理得到的 DZ 的宽度要远远大于 Ar 气中进行 RTP 预处理得到的 DZ;
- (2) 在 N₂ 气中进行 RTP 预处理不能得到 DZ;
- (3) 在 Ar、O₂ 气中进行 RTP 预处理以后得到的 DZ 的宽度随着 RTP 预处理的温度增加而增加;

(4) 在不同气氛中, 不同温度下 RTP 预处理对 DZ 和氧沉淀的影响是由于经过 RTP 后得到的空位的分布不同而引起的.

致谢 本文的工作得到了浙江大学海纳半导体有限公司的大力支持, 在此表示感谢.

参考文献

- [1] Timans P J. *Materials Science in Semiconductor Processing*, 1998, 1: 169
- [2] Singh R, Fakhruddin M, Poole K F. *Appl Surf Sci*, 2000, 168: 198
- [3] Yin C P, Hsiao C C, Lin T F. *J Cryst Growth*, 2000, 217: 210
- [4] Gluck M, Lerch W, Loffelmacher D, et al. *Microelectronic Engineering*, 1999, 45: 237
- [5] Rozgonyi G A, Doysher R P, Pearce C W. *J Electrochem Soc*, 1976, 123: 1910
- [6] Richter H. *Proc GADEST '85*, Oct. 8-18, Garzau, Germany, 1985: 1
- [7] Sinha P K, Glaunsinger W S. *J Mater Res*, 1990, 5: 1013
- [8] Gilles D, Weber E R. *Phys Rev Lett*, 1990, 64: 196
- [9] Gilles D, Weber E R, Hahn S, et al. *Semiconductor silicon*, 1990: 697

Rapid Thermal Process of Large Diameter Czochralski Silicon*

Yu Xuegong, Ma Xiangyang and Yang Deren

(*State Key Laboratory of Silicon Materials, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China*)

Abstract: The effects of rapid thermal process (RTP) on the DZ and oxygen precipitation of large diameter Czochralski silicon are investigated. After RTP in different ambient and at different temperature, it is found that the behavior of oxygen precipitation and denuded zone (DZ) is determined by the temperature and ambient of RTP. Based on the facts, the effect mechanism of RTP on the oxygen precipitation and DZ is discussed in CZ silicon wafer.

Key words: rapid thermal process; vacancy; denuded zone; oxygen precipitation

PACC: 6280C; 6170Q; 6170T

Article ID: 0253-4177(2003)05-0490-04

* Project supported by National Natural Science Foundation of China(No. 50032010)

Received 7 June 2002, revised manuscript received 18 July 2002