

超低亚表面损伤层 GaAs 抛光晶片的工艺

卜俊鹏 郑红军 赵冀 朱蓉辉 尹玉华

(中国科学院半导体研究所, 北京 100083)

摘要: 在不同弹性抛光布、不同氧化浓度、不同 pH 值的抛光液等条件下进行了化学机械抛光试验, 并用 TEM 测量了晶片亚表面损伤层厚度。研究发现抛光布的弹性及抛光液的氧化和化学去除能力决定了 GaAs 抛光晶片的亚表面损伤层深度, 并分析和讨论了其原因。

关键词: GaAs; 抛光; 亚表面损伤层

PACC: 8140

中图分类号: TN 305.2

文献标识码: A

文章编号: 0253-4177(2003)04-0445-04

1 引言

在 GaAs 电路与器件的制造过程中, 特别是采用直接离子注入工艺制造 GaAs 超高速数字集成电路及微波单片集成电路中, 用 MBE、MOCVD 方法生长的微结构材料研制的 GaAs 微波毫米波电路与器件以及光电子器件, 都是以 GaAs 抛光晶片作为基础材料。抛光晶片表面质量直接影响器件的性能和成品率。通常离子注入层的深度在晶片表面 100 ~ 300nm 范围, 抛光晶片的亚表面损伤层恰好是在这个范围内, 它的晶格不完整性会直接影响离子注入层电阻率的均匀性和电子迁移率; 降低源漏饱和电流的均匀性和器件的成品率^[1]。所以研究和制备表面质量好, 亚表面损伤层低的 SI-GaAs 抛光晶片是十分重要的。

2 实验

我们选取了能够获得较好晶片表面又比较稳定的 RODEL 硅胶体作为抛光液^[2]。采用 H₂O₂ 作为氧化剂, 它的酸碱度调节范围大, 且对胶体易混和, 污染又小。

LEC 方法生长的 $\varnothing 5\text{mm}$ GaAs 片作为实验样片, 样片经过了内圆切割和双面研磨。我们用无蜡垫固定晶片, 分别使用 RODEL 硬布(SUBA) 和软布

(POLITEX), 在单面抛光机上对样片进行化学机械抛光。

采用日本 TEM-200 CX 分析透射电子显微镜进行明场或暗场观测损伤层深度。在确认表面后进行拍照, 根据观测的放大倍数和洗印照片的放大倍数即可确定标尺^[3,4]。

3 结果和讨论

3.1 抛光布的硬度对抛光片亚损伤层的影响

实验中, 采用 S 型抛光布(压缩性为 7%) 和 P 型抛光布(压缩性为 5%), 恒定抛光液中氧化剂的浓度, 在不同的 pH 值条件下, 对研磨晶片进行了化学机械抛光。结果如图 1 所示。

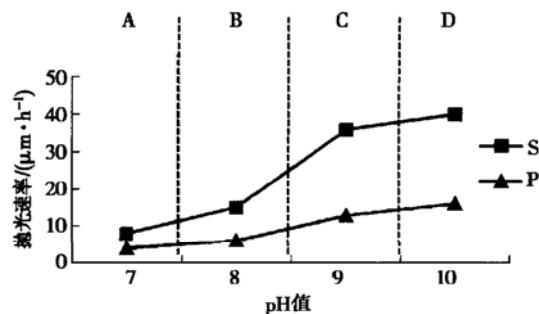


图 1 抛光液 pH 值与抛光速率的关系

Fig. 1 Dependence of polishing speed on pH value

把图 1 按 pH 值大小依次分成 4 个区域, 其中 A 区两种布的抛光速率都很低, B 区是 P 型布抛光表面质量最好的区域, C 区是 S 型布抛光表面质量最好的区域, 而到了 D 区抛光表面则全部破坏。C 区 S 型布抛光亚表面损伤层厚度为 50nm, 见图 2。B 区 P 型布抛光亚表面损伤层厚度为 30nm, 见图 3。



图 2 TEM 观测 S 型布抛光亚损伤层

Fig. 2 TEM image of sub-surface damage of wafer polished by S pad



图 3 TEM 观测 P 型布抛光亚损伤层

Fig. 3 TEM image of sub-surface damage of wafer polished by P pad

3.2 抛光液氧化能力对抛光片亚损伤层的影响

我们选用了二组不同氧化剂浓度的抛光液, 其中一组是普通浓度, 约 15%, 另一组为高氧化剂浓度, 约 25%, 分别在 P 型布上进行化学机械抛光, pH 值与抛光速率的关系如图 4 所示。

同样把图 4 按 pH 值大小依次分成 4 个区域, 其中高氧化抛光(25%)在 B 和 C 区都有较好的表面质量, 由于 C 区的抛光液 pH 值高, 称作高位抛光区, B 区抛光液 pH 值相对较低, 称作低位抛光区。对于低氧化抛光(15%)只有 B 区才能获得好的表面质量。高位抛光可以得到最低的亚表面损伤层厚度, 可降到 10nm, 如图 5 所示, 而低位抛光的亚表面损伤层厚度是 20nm, 见图 6, 不同抛光方式的亚表

面损伤层厚度统计结果见图 7。

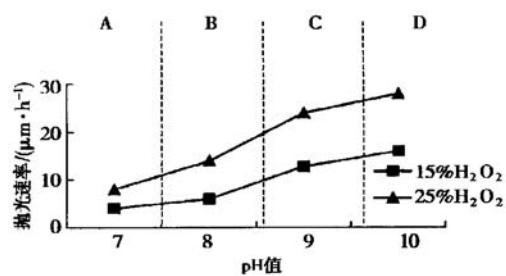


图 4 抛光液 pH 值与抛光速率的关系

Fig. 4 Dependence of polishing speed on pH value



图 5 TEM 观测高位抛光亚损伤层

Fig. 5 TEM image of sub-surface damage of wafer polished with high position slurry

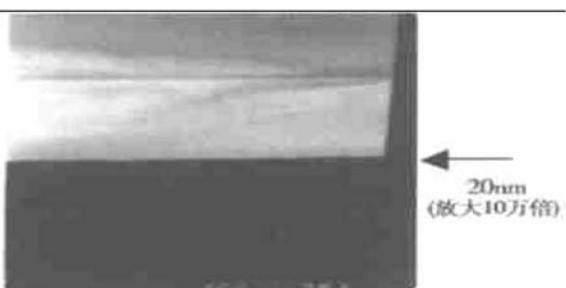


图 6 TEM 观测低位抛光亚损伤层

Fig. 6 TEM image of sub-surface damage of wafer polished with low position slurry

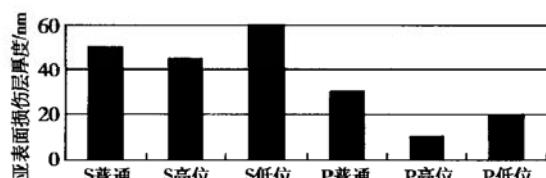
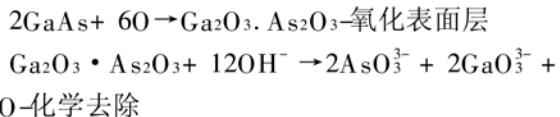


图 7 不同抛光方式的亚表面损伤层厚度统计

Fig. 7 Thickness of sub-surface damage layer of wafer with different polishing way

3.3 讨论

Mccuigan 的 TEM 研究认为 GaAs 抛光片亚表面损伤层为一高密度位错区^[5], 可以被分为高损伤、过渡区和低损伤三部分^[6]. GaAs 晶片化学机械抛光被认为是氧化表面层、氧化层机械及化学去除三个过程的平衡统一^[7].



机械去除的速率 R 可由 Preston 方程来计算:

$$R = K_p v F/A$$

其中 F 是作用在晶片上的力; A 是作用在晶片上的面积; v 是晶片与抛光布间的相对速率; K_p 是与磨擦作用有关的参数(抛光布、胶体溶液等)^[8].

抛光中上述三个过程的平衡关系决定了抛光表面的质量, 不同的抛光布和氧化剂浓度都有不同的平衡区域, 如果超出这些区域抛光片表面就会被破坏.

抛光晶片亚表面损伤层主要产生于化学机械抛光过程中机械去除的冲击力. 抛光布的弹性不同, 机械力对晶体晶格的冲击作用就不一样, 软而弹性大的抛光布可以缓冲机械作用力, 因而抛光过程中对晶片表面造成的亚损伤要低于硬而弹性小的抛光布.

抛光过程中抛光液氧化能力的加强, 相对减弱了对晶格机械的冲击作用, 晶片亚表面损伤较小. 如果我们在加大抛光液氧化能力的同时, 继续调高 pH 值来加大化学去除作用, 也就是相应减小了机械去除的作用, 可以在正常抛光平衡条件下获得对晶格最小的机械冲击, 从而得到最低的亚表面损伤层厚度.

4 优化抛光工艺

我们把研究结果应用到了实际工作中, 粗抛光使用了硬抛光布而获取高的抛光速率, 细抛光和精抛光则采用软布, 分别用高氧化低碱性(低位)以及高氧化高碱性(高位)抛光液抛光, 这样既获得了高的晶片几何精度又得到了低的亚表面损伤层厚度.

抛光压力和抛光液流量等其他因素不会直接影响亚表面损伤层厚度, 但却会影响到抛光晶片的表面质量. 经过全面优化的抛光工艺加工后, $\varnothing 5\text{mm}$ 抛光片的平整度(TIR) 小于 $5\mu\text{m}$, 亚表面损伤层厚度小于 10nm , 表面光洁, 无划痕、白雾、桔皮等表面缺陷.

参考文献

- [1] Tanaka M, Sakaki H, Yoshino J. Atomic-scale structures of top and bottom heterointerfaces in GaAs-Al_xGa_{1-x}As ($x = 0.2 \sim 1$) quantum wells prepared by molecular beam epitaxy with growth interruption. *Jpn Appl Phys*, 1986, 25(2): L155
- [2] Jensen E W. Polishing compound semiconductors. *Solid State Technol*, 1973, 16(8): 49
- [3] Cao Funian, Bu Junpeng, Wu Rangyuan, et al. Quantitative measurement of subsurface damage layer thickness in polished SI-GaAs wafers by X-ray rocking curve FWHM. *Chinese Journal of Semiconductors*, 1998, 19(8): 635 (in Chinese) [曹福年, 卜俊鹏, 吴让元, 等. X 射线回摆曲线定量检测 SI-GaAs 抛光晶片的亚表面损伤层厚度. 半导体学报, 1998, 19(8): 635]
- [4] Zheng Hongjun, Bu Junpeng, He Hongjia, et al. Analyses of sub-surface damages in SI-GaAs wafers caused by chemomechanical polishing. *Research&Progress SSE*, 1999, 16(1): 111 (in Chinese) [郑红军, 卜俊鹏, 何宏家, 等. GaAs 晶片化学机械抛光引入亚表面损伤层的分析. 固体电子学研究与进展, 1996, 16(1): 111]
- [5] Mccuigan S, Thomas R N, Barrett D L, et al. Growth and properties of large-diameter indium lattice-hardened GaAs crystals. *J Cryst Growth*, 1986, 76: 217
- [6] Bu Junpeng, Zheng Hongjun, Bai Yuke, et al. Formation of sub-surface damages in SI-GaAs wafers caused by chemomechanical polishing. *Chinese Journal of Rare Metals*, 1999, 23: 5 (in Chinese) [卜俊鹏, 郑红军, 白玉珂, 等. GaAs 晶片化学机械抛光引入亚表面损伤层的形成. 稀有金属, 1999, 23: 5]
- [7] Bu Junpeng, Zheng Hongjun, He Hongjia, et al. GaAs wafer chemomechanical polishing mechanism. *Research&Progress of SSE*, 1997, 17(4): 399 (in Chinese) [卜俊鹏, 郑红军, 何宏家, 等. GaAs 晶片化学机械抛光的机理分析. 固体电子学研究与进展, 1997, 17(4): 39]
- [8] Fan Chenghai, Li Zhongyi Kong Feng, et al. Investigation of GaSb, GaAs wafer by chemomechanical polishing. *GaAs and Compound Materials Conference*, 1997: 37 (in Chinese) [樊成才, 李忠义, 孔峰, 等. 非掺 GaSb, GaAs 单晶片抛光工艺比较研究. 1997 砷化镓及有关化合物会议, 1997: 37]

Polishing of Super-Low Sub-Surface Damage of GaAs Wafer

Bu Junpeng, Zheng Hongjun, Zhao Ji, Zhu Ronghui and Yin Yuhua

(Institute of Semiconductors, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100083)

Abstract: Many experiments of chemical mechanic polishing are done by means of different compressibility pad, polishing slurry with different oxidant concentration, and different pH value. After polishing, the sub-surface damage of wafer is measured by TEM. It is found that the depth of sub-surface damage is determined by compressibility of pad, oxidant concentration and pH value of slurry.

Key words: GaAs; polishing; sub-surface damage

PACC: 8140

Article ID: 0253-4177(2003)04-0445-04