

水浴条件下 YAG 倍频、三倍频激光切割 Si 片比较*

凌磊 楼祺洪 李抒智 叶震寰 马海霞 董景星

(中国科学院上海光学与精密机械研究所, 上海 201800)

摘要 对 Nd:YAG 固体激光器倍频、三倍频激光输出在空气和水浴环境下刻蚀 Si 片进行了研究, 分析了刻蚀速率和样品表面形貌, 得出了在 355 nm 刻蚀波长下, 水浴环境中, 刻蚀速率最快, 刻槽宽度最小, 小于 10 μm 的实验结论, 为工业应用提供参考.

关键词 YAG 固体倍频激光; 切割; Si 片; 水浴

中图分类号 TN249 **文献标识码** A

0 引言

芯片产业是现在国内新兴的热门产业, 目前半导体行业中常用的单晶硅片为 8 英寸, 为了提高工作效率, 降低单位芯片成本, 12 英寸生产线也在建造中. 现在广泛应用的芯片生产方法是, 通过光刻蚀工艺、化学药品腐蚀和离子植入工艺等相结合的方法, 在一个晶圆上制成数百个相同的微芯片, 然后使用金刚石切割机将晶圆切开, 形成单个的微芯片. 由于这种传统的切割工艺是采用全机械方式, 切割精度较低, 且容易产生微裂痕甚至碎片, 成品率一般在 90% 左右. 而随着工业要求的逐步提高, 以及激光切割工艺的进一步完善, 采用性能优异的合适的激光器作为切割光源, 已引起了人们的关注^[1-3].

由于 Nd:YAG 激光器体积小, 结构紧凑, 操作方便, 后期维护成本相对较低, 原始输出波长为 1064 nm, 倍频后为 532 nm, 三倍频后为 355 nm, 可实现单模输出, 故目前被广泛使用. 本实验讨论其在二种倍频后输出的不同波长激光在空气和水浴二种不同环境下对 Si 片的刻蚀情况, 希望对其工业应用提供参考.

1 实验方法

本实验使用激光聚焦后在空气和水浴环境下直接辐照材料表面的方法来切割 Si 片. 实验装置如图 1, 其中辐照源为英国 Spectron Laser Systems 公司出品的型号为 SL454G 的 YAG 固体激光器, 把其倍频输出的 532 nm 波长和三倍频输出的 355 nm 波长激光作为刻蚀源, 其输出的圆形光斑直径 6.5 mm, 脉宽 9 ns, 脉冲重复频率为 30 Hz. 能量计起辅助监视作用. 由于激光器本身是多模输出, 光束质量较差, 故采用腔外加空间滤波器和光阑的方法, 对光束质量加以一定改善. 聚焦透镜用焦距为 100 mm 的柱

透镜, Si 片样品台放在透镜焦点附近. 在空气中实验时, 容器中不充水. 实验样品统一为厚 0.6 mm 表面光滑的硅片. 实验结束后用型号为 JSM-6360LA 的扫描电子显微镜观察切割后样品表面形貌.

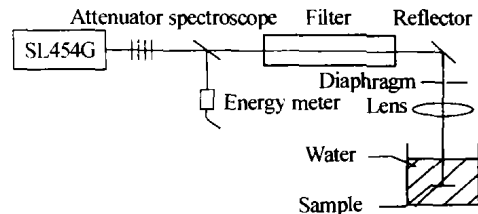


图 1 实验装置
Fig. 1 Experiment equipment

2 实验研究

2.1 刻蚀速率比较

图 2 是 0.6 mm 厚 Si 片样品在空气和水中不同刻蚀波长和不同能量密度下的刻蚀速率比较. (a) 图表明, 在空气环境中, 无论是 532 nm 还是 355 nm

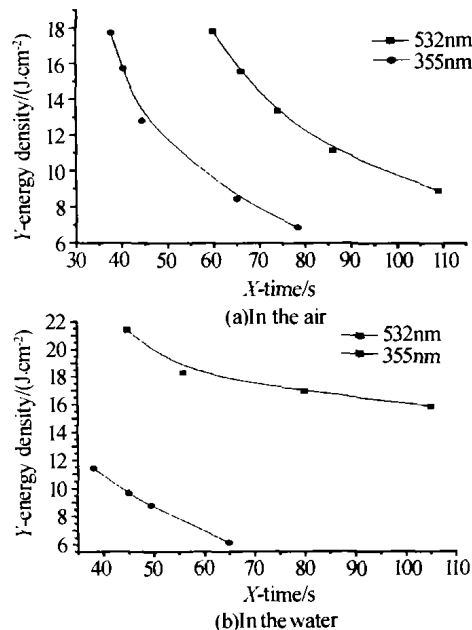


图 2 0.6 mm 厚 Si 片在不同刻蚀波长下在空气和水环境下刻蚀速率的比较

Fig. 2 Comparison of etching rate in different conditions in 0.6 mm Si

*国家自然科学基金重点基金(10334110)资助项目
Tel: 021-69918639 Email: linglei@mail.siom.ac.cn
收稿日期: 2004-01-19

波长激光作为刻蚀源,其刻蚀曲线的延展趋势都是基本一致的.但在相同的刻蚀能量密度下,以 355 nm 激光作为刻蚀源要比 532 nm 激光作刻蚀源的刻蚀速率快,即相同能量密度下,波长越短,刻蚀速率越快.并且随着刻蚀能量密度的增大,曲线斜率的绝对值是增大的,即表现为刻蚀速率对能量密度的加速运动.且实验表明,当样品位于透镜正焦点处,即刻蚀能量密度比较大时,Si 片击穿时间可以小于 3 s,即刻蚀速率大于 0.2 mm/s,这是非常快的速度.

而由图 2(b)可见,虽然随着刻蚀能量密度的减少,其刻蚀时间增加这一大趋势是和空气中一致的,但是,水浴环境中的能量密度-时间曲线明显要比空气中的曲线变化平缓,这意味着,要想保持较均匀的刻蚀速率,在水浴环境中能量密度的波动对刻蚀精度的影响要小于在空气中刻蚀的影响.在图中,均能看到 355 nm 刻蚀曲线在 532 nm 刻蚀曲线左下方,即 355 nm 解决方案在刻蚀速率比较上占优势.

联合(a)、(b)二图作比较,会发现在实验条件下,最快的刻蚀曲线发生在刻蚀源为 355 nm 的水浴

环境中.对此,我们认为这是由于激光波长越短,单光子能量越大,单脉冲所能产生的刻蚀深度也越大.而由于在水浴环境中,刻蚀处瞬间温度远高于水的沸点,刻蚀区的水会瞬时汽化,实验条件下表现为气泡放出,气泡在膨胀上升过程中,会对刻槽底部和侧面产生挤压作用,从而也能在一定程度上加快刻蚀速率.

2.2 刻槽及其表面形貌分析

将 532 nm 和 355 nm 激光作为刻蚀源进行切割 Si 片实验时,实验现象比较接近.刻蚀完成后,样品区别在于刻槽宽度,刻槽边缘平整度,溅射物的广度和溅射物颗粒大小.

图 3 是用型号为 JSM-6360LA 的扫描电子显微镜拍摄的 Si 片在四种条件下刻蚀后的样品表面形貌图片.其中(a)、(b)图为 532 nm 激光作为刻蚀源的样品图,放大效果为 100 倍,而(c)、(d)图是以 355 nm 激光作为刻蚀源,由于刻蚀波长变短,所得刻槽宽度也变窄,故采用放大效果为 300 倍.

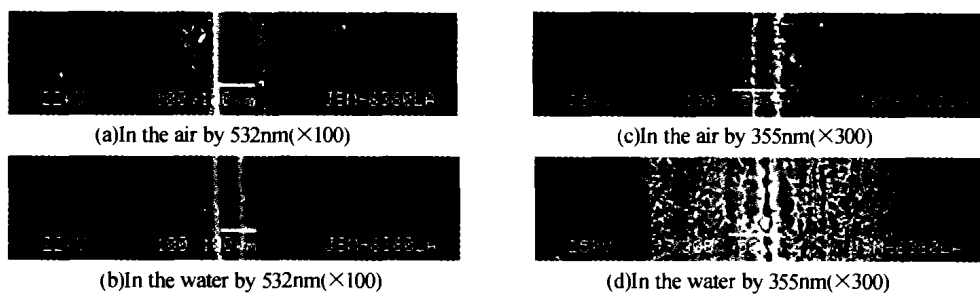


图 3 不同条件下刻槽形貌及表面溅射物比较

Fig. 3 Comparison of splash and cutting gap in different conditions

对比分析图(a)、(b),当刻蚀源为 Nd:YAG 固体激光器倍频输出的 532 nm 激光时,激光在绿光波段,在水中的穿透性比较好.由于激光波长相对较长,刻槽宽度保持在 50 ~ 80 μm 之间,在相同刻蚀能量密度下,水浴中的刻槽宽度要略小于在空气中的刻槽宽度.二种刻蚀环境中,刻槽边缘均较光滑和无明显毛刺,表面平整度小于 5 μm .并且在图中可明显看到在水浴刻蚀环境下的表面溅射物分布集中在刻槽左右各 150 μm 范围内,远小于直接在空气环境中刻蚀的左右各 500 μm 的表面溅射距离.表面溅射物颗粒直径均小于 20 μm ,且越远离刻槽颗粒越小.

对比分析图(c)、(d),由于是使用的 Nd:YAG 固体激光器三倍频输出的 355 nm 激光作为刻蚀源,刻蚀波长更短,且在紫外区,其在水中的传播散射干扰要大于绿光,所以出现了与 532 nm 激光作刻蚀源时有异的结论.由于激光波长较短,刻槽宽度变窄,空气中刻槽宽度为 20 μm ,而在水浴环境下,其刻槽

宽度更是小于 10 μm .但也正是由于刻槽宽度较窄,在水浴环境下,刻蚀时产生的气泡膨胀对刻槽边缘的平整度有较大影响,虽然凸起的绝对尺度不大,小于 5 μm ,但在(d)图中却可以明显看到刻槽边缘不光滑,起伏较大,这也是由于槽边缘起伏相对于槽宽较大的原因.而在同一刻蚀波长下,空气环境中的刻槽边缘要更光滑.对于表面溅射物的污染范围,水浴环境中的小于 150 μm ,而空气环境中的小于 100 μm ,且空气中溅射颗粒大于水浴环境下的,但总体小于 532 nm 条件下的溅射颗粒.这是由于当刻蚀源激光波长越小,单光子能量越大,能刻蚀出更细小的溅射物粉末,空气中由于有气体流动,较细小粉末难以沉积在 Si 片表面,所以溅射污染区相对较小.而水浴条件下,由于溅射物受到周围水环境的影响,冷却较快,较细小的粉末也会由于水的阻力影响而不能及远,沉积在 Si 片表面,所以表现为溅射颗粒小但污染范围比空气中稍大.

总体来说,355 nm 刻蚀解决方案要优于 532 nm

解决方案. 在 355 nm 条件下, 可以得到更细的刻槽和更小的溅射污染范围. 但水浴条件在 355 nm 刻蚀条件下对样品表面形貌及溅射区范围的优化没有 532 nm 刻蚀条件下明显. 而在水浴环境下, 二种波长作为刻蚀源时, 刻槽表面不平整度均小于 5 μm , 溅射污染范围均小于 150 μm . 如需要更高的刻槽边缘平整度, 可在加工后期进行进一步打磨.

3 结果及讨论

比较了 Nd:YAG 固体激光器倍频、三倍频产生的 532 nm 和 355 nm 激光作为刻蚀源, 在水浴和空气中刻蚀 Si 片的刻蚀速率和表面形貌. 得出水浴环境对 532 nm 刻蚀优化较大而对更短波长的 355 nm 刻蚀优化较小的实验结论. 在 355 nm 水浴实验条件下, 得到最快的刻蚀速率和最窄的刻槽宽度, 但表面不平整度相对较大, 槽宽小于 10 μm , 表面不平整度小于 5 μm , 溅射污染范围小于 150 μm , 而此条件下空气中的槽宽小于 20 μm , 但平整度更好, 溅射物影响更小, 小于 100 μm . 为工业切割中的激光波长和环境选择提供一定的参考价值.

参考文献

- 1 Zhang J, Sugioka K, Midorikawa K. High-speed machining of glass materials by laser-induced plasma-assisted ablation using a 532 nm laser. *App Phy A*, 1998, **67**(4): 499 ~ 501
- 2 MC Gower. Industrial applications of pulsed lasers to materials processing. *SPIE*, 1998, **3343**: 171 ~ 173
- 3 Peyre P, Fabbro R, Berthe L, et al. Laser shock processing of materials, physical processes involved and examples of applications. *Journal of Laser Applications*, 1996, **8**(3): 135 ~ 141
- 4 杨遇春. YAG 固体激光器与激光材料加工. *激光与红外*, 1997, **27**(6): 326 ~ 329
Yan Y C. *Laser & Infrared*, 1997, **27**(6): 326 ~ 329
- 5 黄杰译. 以激光刻蚀精密微观图形. *激光与光电子学进展*, 2000, **37**(6): 18 ~ 20
Huang J Y. *Laser & Optoelectronics Progress*, 2000, **37**(6): 18 ~ 20
- 6 杨逸民. 脉冲 Nd:YAG 激光在精密加工中的应用. *激光与红外*, 1997, **27**(6): 333 ~ 336
Yang Y M. *Laser & Infrared*, 1997, **27**(6): 333 ~ 336
- 7 金春水, 王占山, 曹健林. 软 X 射线投影光刻技术. *强激光与粒子束*, 2000, **12**(5): 559 ~ 564
Jin C S, Wang Z S, Cao J S. *High Power Laser & Particle Beams*, 2000, **12**(5): 559 ~ 564

Microcutting Si Wafer in Water Bath by the Second and Third Harmonic Output of YAG Laser

Ling Lei, Lou Qihong, Li Shuzhi, Ye Zhenghuan, Ma Haixia, Dong Jingxing

Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Shanghai 201800

Received date: 2004-01-19

Abstract It is reported that the slot of microcutting Si wafer by second and third harmonic output of YAG laser is narrower in water bath than in air environment. The surface morphology and etching rate for water bath and air environment are compared in detail. The cutting gap as small as 10 μm with edge fluctuation less than 5 μm is obtained in water bath by 355 nm laser. This technology may be helpful for industrial applications.

Keywords Harmonic output of YAG laser; microcutting; Si wafer; Water bath



Ling Lei was born in 1979. He graduated from Physics Department of Wuhan University in 2001. Now he is working in the Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics. He is engaged in the study on the etching material by laser.