

Si 晶片激光标识码制作技术的研究

李悦

(北京大学信息科学技术学院,微纳电子研究院,微米/纳米加工技术国家重点实验室,北京 100871)

摘要: Si 片标识码在工艺加工管理中起重要作用。传统手写方式存在字体不美观、划痕深及硅渣污染等缺点。鉴于此,采用波长 1060 nm 光纤激光器进行激光标识码制作。研究中分别改变激光平均输出功率、脉冲频率及扫描速度,借助目视、金相显微镜及动态三维光学轮廓仪来观察标识码清晰程度、污染程度及深浅程度的变化,了解它们与上述参数间相互对应关系。重点解决清晰度与打标深度之间的矛盾,从而得到清晰、清洁且深度满足后续半导体纳米级加工工艺要求的激光打标技术。研究表明:低脉冲频率(20 kHz)下,随平均功率上升,标识码的清晰度逐渐增加,镜检结果显示硅渣的数量及其分布区域增大;高脉冲频率(90 kHz)下,平均功率增加对标识码清晰度的影响不明显,镜检结果没有发现硅渣。扫描频率与清晰度及污染程度成正比关系。扫描速度与打标深度呈反比关系。采用 40% 平均功率,25 kHz 频率,1500 mm/s 扫描速度及双线填充字体(TrueType)的工艺条件,所得标识码在目视及镜检下清晰美观,无硅渣污染。轮廓仪测量结果显示字迹深度及边缘凸起均在 200 nm 以下。经批量产品验证,根据研究成果所开发的工艺技术稳定且对后续工艺无不良影响。目前已取代手写方式。

关键词: 光纤激光器;激光打标;清晰度;硅渣污染;打标深度;Si 单晶

中图分类号: TN305.2 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1001-5078.2015.04.002

Study on laser mark technology for Si wafer

LI Yue

(National Key Laboratory of Nano/Micro Fabrication Technology, Institute of Microelectronics,
Peking University, Beijing 100871, China)

Abstract: As the traditional handmade wafer mark way has the disadvantages that the typeface is not beautiful, the scratch is deep and Si pollutes, etc., the 1060 nm fiber laser was used for laser mark. During the work, the effect of laser average power, pulse frequency and scan speed on mark definition, Si residue and mark depth were studied by the different measurement methods, such as eye inspection, metalloscope and 3D optical profiler. The results show that, when pulse frequency is at 20 kHz, mark definition gradually increases with increase of average power, and the number and distribution area of Si residue increase; however, the effect of average power on mark definition is not obviously when pulse frequency is at 90 kHz, and there is no Si residue. Pulse frequency is proportional to definition and degree of contamination, and the mark depth is inverse proportional to scan speed. Under the condition of 40 % average laser power, 25 kHz pulse frequency and 1500 mm/s scan speed, the mark is very clear and has no Si residue contamination, and its edge embossments are less than 200 nm. The overall results show that the developed technology is robust and it has replaced the handmade wafer mark.

Key words: fiber laser; laser mark; definition; Si residue contamination; mark depth; Si

1 引言

激光是 20 世纪 60 年代发展起来的一门新兴科

学,它具有高亮度、高方向性、高单色性及高相干性的特点。激光束经透镜聚焦以后能在焦点处产生数

作者简介: 李悦(1964-),男,大学本科,高级工程师,主要从事纳米工艺技术及纳米工艺加工设备的研究。

E-mail: liyue@ime.pku.edu.cn

收稿日期:2014-07-04

千乃至上万摄氏度的高温,因此使其可能对几乎所有材料进行加工^[1]。随着激光技术的发展和不断完善,其在军事、医学、通信、快速成型、显示技术、材料加工及微电子等领域得到广泛应用。激光打标是利用激光的热效应烧蚀掉物体表面材料从而留下永久标记的技术,与传统的电化学、机械等标记方法相比具有无污染、高速度、高质量、灵活性大、不接触工件等优点。目前激光打标已经在很多领域取代传统的打标方式而成为常规的加工方式^[2]。

半导体微电子行业所采用的每一枚 Si 片都有唯一标识码。大规模集成电路生产厂家所用 8 ~ 12 in 晶片来自国外生产厂家,根据行业标准,晶片购入时本身已具有标码。科研单位所采用的小尺寸晶片一般来自国内厂家,无法实现自带标码。针对后者,常用方法是采用人工借助划片笔的书写方式。其弊端包括:书写不规范且因人而异、字体无法控制很小而不能反映更多信息、无法产生美观效果、书写力度无法精确控制而产生硅渣并造成较深划痕,其结果对后续工艺及工艺总结果产生负面影响。针对此情况,本单位在现有激光打标设备上针对激光标识技术进行深入研究并在此基础上从事了大量的实验,开发出 Si 片激光标识制作技术并取得良好效果。

2 打标技术与工艺研究

2.1 激光打标技术与激光打标机

激光打标技术是一种新标记工艺。近年来,随着激光器可靠性及实用性的提高,加上计算机技术的迅速发展和光学器件的改进,促进了激光打标技术的发展。激光打标是利用高能量密度的激光束对目标作用,使目标表面发生物理或化学变化,从而获得可见图案的标计方式。高能量的激光束聚焦在材料表面,使材料迅速汽化,形成凹坑。随着激光束在材料表面有规律地移动,同时控制激光的开断,激光束也就在材料表面加工成一个指定的图案^[3]。

激光打标机是综合激光、光学、精密机械、电子和计算机等技术于一体的机电一体化设备。它主要由激光器、光学系统和控制器组成,其中控制器为核心部件。在激光打标方式中,现在常用的有掩模方式和扫描方式^[2]。本研究采用北京镭杰明激光科技发展有限公司所生产的 LJM - FB - 20 - 10 型激光打标机。该设备分别配有德国 IPG 光纤激光器及美国 Synrad CO₂ 激光器、高速扫描振镜系统、聚焦镜、工作台、电源控制系统及工控机。其工作原理采用扫描方式:待标刻信息输入计算机,后者按事先设

计好的程序控制激光器及扫描振镜,其结果使得经过特殊光学系统变化的高能量激光点在被加工表面上扫描运动从而形成标记。为了能够在 Si 材料上制作激光标码,必须要保证尽量多的能量被 Si 材料所吸收,尽量少的能量穿透 Si 材料。针对 Si 材料透射波长处于 1.1 ~ 9 μm ^[4]的特性,研究中采用波长 1060 nm 光纤激光器。激光器型号:德国 IPG 公司/YLP - 10 - 1 - 20,技术参数:发射波长 1060 nm;额定平均输出功率 20 W;脉冲重复频率 20 ~ 100 kHz;脉冲宽度 100 ns;单脉冲能量 < 2 mJ;脉冲峰值功率 < 10 W。

2.2 工艺研究

研究中采用 4 in、n 型、(100)面、厚度 520 μm 和电阻率 2 ~ 4 Ωcm 的单面抛光 Si 单晶片。分别采用目视、Olympus BX51M 金相显微镜及 Bruker 动态三维光学轮廓仪等观察测量手段来了解标识清晰度、微观形态、硅渣污染程度及深度。研究中每次改变某一工艺参数而维持其他参数不变,以此来观察工艺结果与变化的工艺参数之间的对应关系。不同工艺参数选取范围分别为:平均输出功率:15 % ~ 90 % W(n % 表示额定平均输出功率的比例);脉冲频率:20 ~ 90 kHz;扫描速度:300 ~ 3500 mm/s。表 1 为研究时采用的不同工艺条件。

表 1 不同工艺条件

Tab. 1 Table 1 Different test process condition

扫描速度/(mm · s ⁻¹)	平均功率/%	脉冲频率/kHz
300	15	20
300	20	20
300	30	20
300	50	20
300	70	20
300	90	20
300	50	90
300	60	90
300	70	90
300	80	90
300	90	90
300	100	90
300	40	20
300	40	25
300	40	30
300	40	40
500	40	25
700	40	25
900	40	25
1000	40	25
1500	40	25
1800	40	25
2000	40	25
3500	40	25

表2为基于研究所得到的工艺参数与工艺结果的对应关系。

表2 工艺参数与工艺结果的对应关系

Tab. 2 Correspondence of the process parameter Vs. result

工艺参数	变化趋势	清晰程度	硅渣污染程度	打标深度
平均功率	低脉冲频率	增加	较大增加	较大增加
	高脉冲频率	增加	轻度增加	轻度增加
脉冲频率	增加	降低	降低	降低
扫描速度	增加	降低	降低	降低

3 分析及讨论

本研究中可控的、决定激光标识码效果的主要工艺参数为激光平均输出功率、脉冲重复频率及扫描速度。

3.1 平均输出功率及脉冲重复频率

激光打标的效果主要取决于激光束作用在工件材料上的功率密度及作用时间^[2]。本研究中光斑的大小为固定值,功率密度由功率大小决定。

研究表明:在较低的脉冲频率下,激光的平均输出功率对工艺结果所起的作用非常明显。随功率逐渐增加,标识字体在目视的情况下由不可视、模糊、可视逐渐变为非常清晰。显微镜观察结果表明:功率的增加使得标识字体由线宽较小、颜色较浅及无任何硅渣污染的状况逐渐向线宽增大、颜色变黑及硅渣的数量和分布区域增大的趋势转变。此外,在字体与背景的交界区域出现大量硅渣并呈现放射状的分布,上述交界区域边界模糊,字体线条边界呈现黄色。造成上述现象的原因是:激光能量的增加导致功率密度提高,由此造成硅材料被汽化的数量增大,其结果使得打标的深度及宽度逐渐变大,反应在视觉上则是清晰度的不断提高。同时,激光能量的增高,也产生了大量没有汽化的附产物,其粘附于字体旁边及邻近区域而形成黑色硅渣并造成污染,字体边缘出现的黄色线条则是未汽化的附产物在高温下氧化的结果。

在高脉冲频率条件下,随平均功率持续增大,标识字体的清晰度只表现出轻度增加。同时,在显微镜下标识字体线宽无显著变化,字体轮廓略微加深,没有观察到任何硅渣出现的现象。当采用极限功率时,标识字体在目视下的清晰度仍不理想。

造成平均输出功率对工艺结果产生截然不同影响的原因是由于采用了不同的激光脉冲频率。低脉

冲频率时,激光的单脉冲能量较高,随平均功率的增大,单脉冲能量增大,导致功率密度增大,从而出现显著结果。高脉冲频率时,激光的单脉冲能量很低,尽管提升平均功率,其对单脉冲能量的提升贡献不大,导致功率密度提升不大,由此产生工艺结果变化不明显现象。相同功率、相同扫描速度及不同脉冲频率的测试实验进一步验证了此规律。综上所述,欲得到清晰的激光标识条码,应避免采用高脉冲频率。在采用低脉冲频率时,不宜使用很高的平均输出功率,需采用折中的方式以兼顾清晰度与清洁度的要求。此外,脉冲频率影响着激光光斑在 Si 材料上重叠度,而后者则影响着标识码的清晰程度。为此,在选用低脉冲频率时应予以考虑。

3.2 扫描速度

扫描速度决定了激光能量在待加工材料上停留的快慢。扫描速度慢,意味着待加工材料接受激光能量大,硅材料被汽化的数量大,从而造成标识码深度及宽度大,字体清晰度高,更容易产生硅渣。扫描速度快,意味着待加工材料接受激光的能量小,其所造成的工艺结果则相反。研究结果显示:当采用较低的平均输出功率、较低的脉冲频率及 300 mm/s 扫描速度进行激光打标时,可以获得清洁无硅渣、标刻深度大于 200 nm 的清晰标记,同样的条件下将扫描速度提高到 1500 mm/s 及以上时,标识码的深度及字体边缘的凸起高度均满足预期要求的 200 nm 以下,其变化趋势满足上述的理论解释。此外,扫描速度决定着激光光斑在待加工材料上的重叠度,后者则影响标识码的清晰度。扫描速度的过量增加造成激光光斑重叠度降低,其结果造成标识字体在目视下出现断点现象,使得字体变得模糊。基于此种情况,需要选择适合的激光扫描速度,以达到标识码清晰度与字体深度间的平衡。

4 激光标识码制作

基于上述的研究成果,针对目前所采用的单晶硅片从事激光标识码的制作工艺。具体的工艺参数为:激光平均功率 40%;激光脉冲功率 25 kHz;激光扫描速度 1500 mm/s。同时,为补偿因扫描速度增大而造成标识码清晰度的损失,标刻字体采用更易于辨别的“黑体”“双线填充字体(TrueType)”。图1为显微镜下放大5倍的激光标识照片(数字0的一部分)。

图2为显微镜下放大100倍的激光标识照片,其反应出激光能量在光斑处的分布情况。镜检聚焦过程表明:光斑中心点-白点处的深度大于其外围

深度,由此可知激光能量的峰值集中在光斑的中心点。此点向外,能量逐渐减弱。

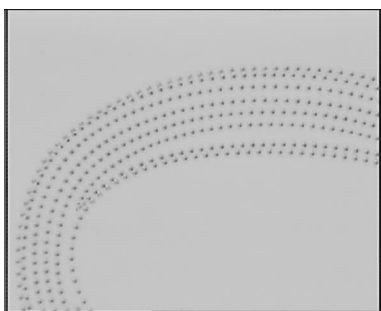


图1 激光标识码的显微镜照片(5倍)

Fig. 1 Laser mark microscope picture (5X)

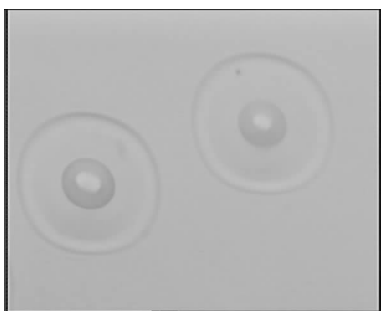


图2 激光标识码的显微镜照片(100倍)

Fig. 2 Laser mark microscope picture (100X)

5 结 论

通过光纤激光器对 Si 材料进行激光标识制作的研究,明确了工艺参数与工艺结果的对应关系,针对 Si 单晶材料,平均输出功率、脉冲激光频率及扫描速度均对标识工艺结果产生影响。功率在低频率下作用明显而在高频率下表现不突出。扫描速度决定打标字体深浅程度。频率及速度均对激光光斑的重叠度产生影响。通过采用优化的工艺参数 取得

外形美观、清晰可辨、无硅渣污染且字体凸凹深度都小于 200 nm 激光标识,解决了标识深度与清晰度间相互对立的矛盾。同时,为进一步提高标刻的外观效果及质量,调整了激光标刻的线间距、边距、字体大小、字体高宽比、开光延时、关光延时、结束延时及拐角延时,使得标识字体效果高度一致,解决了标识码尾部残缺、开口等现象。

参考文献:

- [1] ZHU Lingquan, NIU Jingchan, ZHU Sulei, et al. Modern laser engineering application technology [M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2007: 2-3. (in Chinese)
朱林泉, 牛晋川, 朱苏磊, 等. 现代激光工程应用技术 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2007: 2-3.
- [2] WANG Jianping, LI Zhengjia, FAN Xiaohong. Laser marking system and analysis of its technical parameters [J]. Optics & Optoelectron Technology, 2005, 3(3): 32-35. (in Chinese)
王建平, 李正佳, 范晓红. 激光打标系统及工艺参数的分析 [J]. 光学与光电技术, 2005, 3(3): 32-35.
- [3] YANG Hongxing, LIU Xiaowei, CHEN Yanan, et al. Application of laser technology in semiconductor industry [J]. Equipment for Electronic Products Manufacturing, 2010, 39(2): 10-13. (in Chinese)
杨红星, 刘晓伟, 陈亚楠, 等. 激光技术在半导体行业中的应用 [J]. 电子工业专用设备, 2010, 39(2): 10-13.
- [4] YU Huaizhi. Infrared optical materials [M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2007: 52. (in Chinese)
余怀之. 红外光学材料 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2007: 52.