石英玻璃晶圆的加工工艺

花 宁,李怀阳,王友军,隋镁深

(中建材衢州金格兰石英有限公司,浙江 衢州 324000)

摘 要:石英玻璃晶圆(quartz glass wafer)在半导体、光学等行业中应用广泛,随着半导体及光学技术的飞速发展,石英玻璃晶圆的需求量快速增长,下游厂商对石英玻璃晶圆加工精度的要求也愈发严格。为满足下游厂商对于石英玻璃晶圆产品质量与数量的要求,解决石英玻璃晶圆加工制造过程当中加工效率低、产品精度差、检验包装不规范等问题。基于客户实际使用反馈,参照硅类晶圆加工方法并结合石英玻璃基板的加工经验,从材料制造、坯料制备、精密退火、多刀切割、成型加工、精密磨抛、成品检验和清洗包装等方面对石英玻璃晶圆的加工工艺统筹开展了研究。现行工艺制造的产品能够满足绝大多数相关下游厂商对于石英玻璃晶圆质量的要求,同时实现了量产化。该生产工艺已经过市场验证,对实际生产具有指导意义。

关键词:石英玻璃; 晶圆; 精密磨抛

中图分类号:TQ171 **文献标志码**:A **DOI**:10.3788/IRLA201645.S221003

Processing techniques of quartz glass wafer

Hua Ning, Li Huaiyang, Wang Youjun, Sui Meishen

(CBMA Quzhou Kinglass Quartz Co., Ltd, Quzhou 324000, China)

Abstract: Quartz glass wafer has been widely applied in semiconductor and optical industries. With the rapid development of semiconductor and optical technology, the demand for quartz glass wafer rapidly grows. And the requirements for the processing precision of quartz glass wafer are increasingly strict. In order to meet the customer′s demand for quality and quantity of quartz glass wafer, and solving the problems of low processing efficiency, low product precision, non-standard testing and non-standard packaging, based on the actual feedbacks from the use of customer, and refer the processing experience and processing methods of silicon wafer and quartz substrate, the processing techniques of quartz glass wafer was studied from the material making, blank making, precision annealing, multitool cutting, shaping processing, precision polishing, product inspection, cleaning and packaging. Quartz glass wafer, which is produced by current production process, can meet the customer′s demand for product quality. And the current production process achieves the mass production. These processing techniques have been validated by market, which can guide the practical operation.

Key words: quartz glass; wafer; precision polishing

收稿日期:2016-08-11; **修订日期**:2016-09-14

作者简介:花宁(1986-),男,硕士,主要从事石英玻璃的研究。Email:huaning@kinglassquartz.com

0 引 言

石英玻璃晶圆,因具有耐高温、抗腐蚀、机械性能优异、光传输效率高等特点而被广泛应用于半导体、光学等行业的生产制造过程当中。具体应用方向包括微机电元件(MEMS)、CMOS、CCD 传感器、微波电路、物联网阵列以及各类光学、激光器件的加工制造[1-2]。

石英玻璃晶圆 (quartz glass wafer) 是随着半导体、光学等领域高新技术的发展而出现的一种新型石英玻璃制品。相比于传统的石英玻璃镜片,石英玻璃晶圆具有表面质量要求更高、尺寸更薄、加工精度更精密、表面光洁程度要求更严苛等特点。

1 石英玻璃晶圆产品质量要求

不同行业、不同厂家应用范围不同,针对石英玻璃晶圆加工质量的衡量标准也不尽相同。其中,半导体行业对于石英玻璃晶圆的加工精度要求最为严苛。多数厂家都对石英玻璃晶圆如下几方面的技术参数拥有明确要求:

(1) 加工尺寸 石英玻璃晶圆加工规格符合国际 SEMI 标准对于晶圆类产品的要求, 常用尺寸包括 2″、3″、4″、5″、6″、8″, 厚度大多介于 0.4~1 mm 之间,厚度公差:±0.05 mm;

(2) 表面质量 主要对石英玻璃晶圆表面划伤与麻点数量进行限制,通常采用美军标(S/D)进行表述,质量要求较高的石英玻璃晶圆表面质量需达到 20/10;

(3) 表面粗糙度 采用原子力显微镜进行测量,通过公式计算得出, 高品质石英玻璃晶圆表面粗糙度 Ra 需小于 1 nm;

(4) 总厚度变化 (TTV) 以 4″标准石英晶圆为例,多数厂家要求晶圆表面 TTV<10 μm,近期部分厂家提出了更为严苛的 1 μm 技术要求;

(5) 弯曲度 (Bow) 以 4″标准石英晶圆为例,质量要求较高的石英玻璃晶圆需满足 Bow<10 μm;

(6) 表面洁净程度 暂无相关标准进行衡量,但业内通常默认在 100 级以上(GB/T16292-1996)洁净环境中经专业清洗、包装的石英玻璃晶圆才能满足客户要求。

2 石英玻璃晶圆加工工艺

传统的热加工方法无法满足石英玻璃晶圆严苛的尺寸精度和表面质量要求, 只能通过冷加工方法进行加工。但石英玻璃属于典型的硬脆性材料,光学冷加工难度大,加工效率低,其生产工艺较为复杂[3]。笔者所在公司通过对石英玻璃加工技术与工艺的不断研发,从经济效益与质量要求相结合的角度出发,引入、试制了多种精密加工设备,并针对石英玻璃的特殊性能完善了制造工艺。公司建立的石英玻璃晶圆加工生产线, 实现了产品的批量加工、高精度加工。生产石英玻璃晶圆的现行工艺如图 1 所示,文中将针对各项工艺进行简要概述。

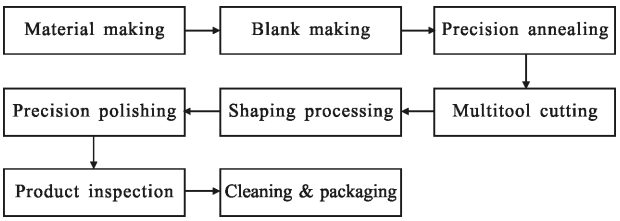


图 1 石英玻璃晶圆加工工艺路线

Fig.1 Processing route of quartz wafer

2.1 材料制造

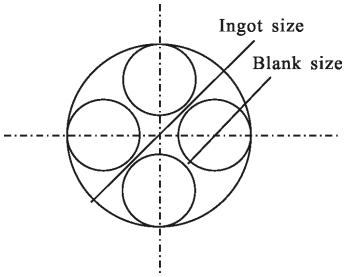
制备石英玻璃晶圆的材料(石英砣)主要包括气炼石英玻璃与合成石英玻璃两种。气炼石英玻璃价格较为经济,选用高纯石英砂在氢氧焰下熔制而成。为获取纯度更高的石英玻璃, 则需通过化学手段以 $SiCl_4$ 为原料、H_2 为能源,采用化学气相沉积(CVD)工艺合成石英玻璃[4]。

石英玻璃晶圆的应用领域大多对材料内质均匀性提出较高要求, 此时通过真空环境下的槽沉均化可使石英玻璃砣内质(密度)更加均匀,有效去除石英玻璃砣在制备过程用残留的气泡。

2.2 坯料制备

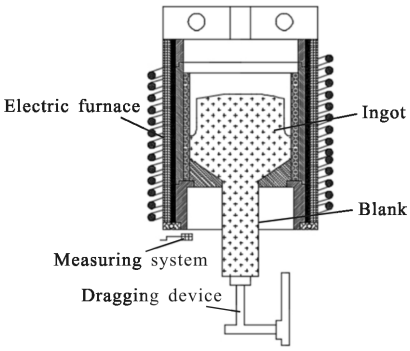
石英玻璃晶圆坯料为外径尺寸均匀的圆柱状石英砣, 制备晶圆坯料的方法包括钻孔取芯与熔拉两种方法, 前者主要用于制备尺寸规格较大的石英玻璃晶圆,如图 2(a)所示,后者用于制备尺寸规格较小的石英玻璃晶圆,如图 2(b)所示。利用摇臂钻床制备尺寸合适的晶圆坯料,生产效率高,能够精确控制坯料尺寸。针对尺寸较小的晶圆,利用中频炉加热石英砣, 在高温软化状态下将石英玻璃拉制成棒状坯料有如下优点:石英玻璃砣经过二次高温熔化,内在质量(均匀性、微观结构、气泡、条纹等)均得到改善;可

以通过调节成型器尺寸及熔拉速度，熔拉不同尺寸的石英玻璃毛坯棒料；可以大大节约原材料；不存在因取芯加工产生的机械应力。



(a) 钻孔取芯示意图

(a) Schematic of core-drilling method



(b) 熔拉坯料示意图

(b) Schematic of melt-pulling method

图2 坯料制备示意图

Fig.2 Schematic of blank making

2.3 精密退火

石英玻璃在制砣、熔拉等过程存在非均匀降温的热历史，致使坯料内部存在热应力，热应力会影响石英玻璃晶圆的再加工，同时会降低石英玻璃晶圆的光学均匀性以及结构稳定性。为消除这一危害，需对石英玻璃坯料进行退火处理。石英玻璃退火过程大致分为升温、保温、慢降温、快降温四个阶段，时间与温度的控制需视情况而定[5]。

2.4 多刀切割

随着产品需求量的不断增加，传统的切割方式无法满足规模化批量生产晶圆片状坯料的需求，且存在原料的极大浪费。在石英玻璃晶圆的生产过程中，采用多刀切割技术可进行单次、大量切割，生产效率大幅提高，多刀切割时许多钢制刀条固定在刀台上，并用扭力扳手给刀条施加一定的张紧力，通过曲柄连杆机构带动刀条做往复运动，利用配重使被切工件产生对刀条施加持续合适的压力，同时自上而下喷入磨料与油的混合液，刀条即可将磨料带入切口内，工件即慢慢被切开。依机型大小不同，单次可切数十至数百片玻璃，且切口平坦，切割精度较高[6]。如图 3 所示。在多刀切割过程当中，金属刀具主要起机械辅助作用，起“切割”(磨削)作用的实为油砂混合的磨料。因为对刀具质量要求不高，且磨料可多次循环使用，多刀切割较之其他种类切割方法更为经济划算。

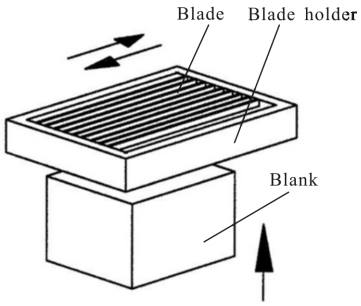


图 3 多刀切割示意图

Fig.3 Schematic of multitool cutting

2.5 成型加工

石英玻璃晶圆的成型加工主要包括平面粗磨、滚圆、定位边或定位角的标记、倒角等。平面粗磨主要对石英玻璃晶圆厚度方向进行粗加工，需参考平面磨砂轮粒度留有充足的加工余量进行后续尺寸精密加工。因石英玻璃晶圆单体厚度较薄，滚圆过程中将多片石英玻璃晶圆粘附起来进行统一磨削。定位边或定位角标记因外形不同利用倒角机或数控加工中心进行操作。对晶圆进行倒角在保护使用者安全的同时，更能有效防止石英玻璃晶圆在后续加工以及使用过程中出现崩边、掉角等缺陷。

2.6 精密磨抛

石英玻璃晶圆的精密磨抛过程主要包括细磨与精抛，两者都是基于双面研磨(抛光)机利用研磨助剂(研磨液、抛光粉)在某一特定压力下进行磨削的过程[7]，精抛的加工精度要远高于细磨，如图 4 所示。石英玻璃晶圆的研磨用料包括金刚砂、碳化硅等，抛光用料则主要为氧化释抛光粉。因石英玻璃晶圆表面缺陷要求极高，所以用于抛光石英玻璃晶圆的抛光粉中位粒径(D50)至少小于 2 μm。在抛光过程中，抛光粉溶液 PH 值保持在适当范围内，也是能否获得高质量石英玻璃加工表面质量的关键之一[8]。

选用助剂等级以及研磨与抛光时间、速度、压力的

不同,晶圆产品表面质量也不同[9]。晶圆的面型则主要受到工件数量、抛光工艺与抛光(研磨)盘的面型的影响,机型越大则产品的面型也更容易得到控制。因此,为提高加工效率与产品质量,多采用增加同批次加工工件数量的方法,这也就对双面磨抛机型提出了要求。国内常用双面磨抛机尺寸规格为 13B,若需加工尺寸更大的石英玻璃晶圆则需采用 16B 乃至 18B 机型[10]。

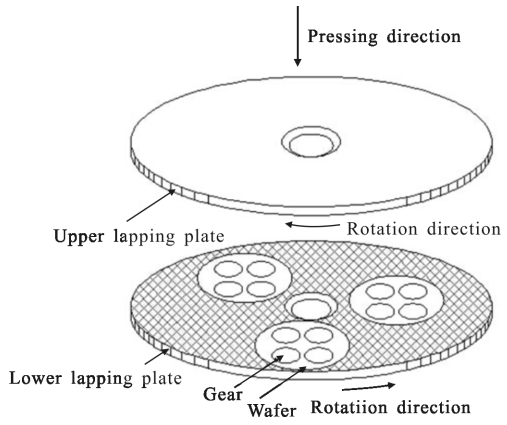


图 4 双面抛光示意图

Fig.4 Schematic for double-side polishing

2.7 成品检验

表面质量(S/D)采用全检,但美军标对于光学元件的表面质量限定标准较为繁琐复杂,因此实际生产当中,通常选用在暗室中利用强光或其他专用检测灯具目视比对标准样版的方法提高检查效率。

石英玻璃晶圆厚度可通过激光测厚仪进行测定,TTV、Bow、Warp 等项目则利用晶圆全检仪进行测定,如图 5 所示。

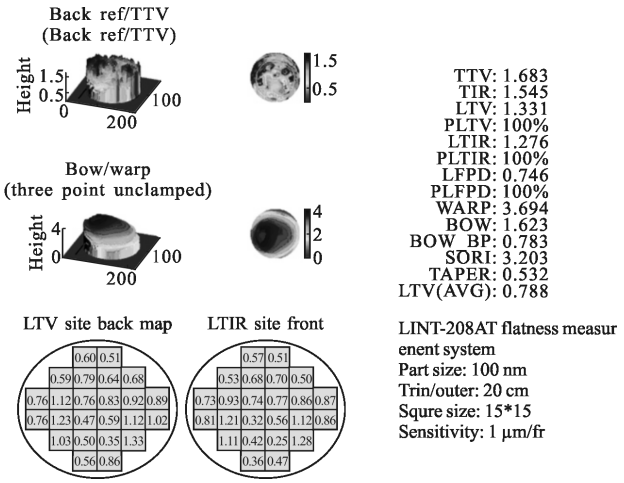


图 5 TTV、Bow、Warp

Fig.5 TTV, Bow, Warp

2.8 清洗包装

石英玻璃晶圆的清洗与包装需在洁净车间当中进行,为有效去除石英玻璃晶圆表面在加工过程中残留的污迹,提高晶圆表面洁净程度,依客户要求以及生产厂家工艺不同可在超声波清洗过程中分别引入碱性清洗液、酸性清洗液、有机清洗液等清洗介质,但无一例外的都需使用超纯水进行漂洗[11]。为降低晶圆表面灰尘分布,清洗过程最终的漂洗、烘干、装盒也需在 100 级以上环境中进行。

石英玻璃晶圆的包装材料也同样需要在 100 级以上环境中进行清洗与封装。装盒之后的石英玻璃晶圆需经过双层抽真空包装之后方能拿出洁净车间。

3 结 论

石英玻璃晶圆在众多高新技术领域中应用广泛,国内外需求量快速增长。国内石英玻璃晶圆加工能力已经满足产品需求,然而国内对石英玻璃晶圆加工、检验、清洗没有相应标准,文中介绍的加工、检验和包装方法均经过市场验证,对生产指导具有重要意义。

参考文献:

[1] Jiang Xiaofeng, Lin Chun, Xie Haihe, et al. MEMS F-P interferometry pressure sensor [J]. ***Infrared and Laser Engineering***, 2014, 43(7): 2257-2262. (in Chinese)
江小峰, 林春, 谢海鹤, 等. MEMS F-P 干涉型压力传感器[J]. 红外与激光工程, 2014, 43(7): 2257-2262.

[2] Hao Yinlei, Zeng Fulin, Wang Zhijian, et al. Manufacturing of double-layered multimode optical waveguides in glass substrate [J]. ***Infrared and Laser Engineering***, 2015, 44(10): 3000-3004. (in Chinese)
郝寅雷, 曾福林, 王志坚, 等. 玻璃基片上双层多模光波导的制备[J]. 红外与激光工程, 2015, 44(10): 3000-3004.

[3] Wang Yufen, Sun Liancheng. Quartz Glass [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2007. (in Chinese)
王玉芬, 刘连成. 石英玻璃[M]. 北京: 化学工业出版社, 2007.

[4] Sui Mei, Sun Yuancheng, Song Xuefu, et al. Research of structural stress of CVD synthetic silica glass [J]. ***Journal of Wuhan University of Technology***, 2010, 32(22): 106-110. (in Chinese)
隋梅, 孙元成, 宋学富, 等. CVD 合成石英玻璃的结构均匀性研究[J]. 武汉理工大学学报, 2010, 32(22): 106-110.

[5] Kong Min, Hua Ning. Finite element analysis of annealing process of quartz glass [J]. ***Journal of Wuhan University of Technology***, 2013, 35(S): 6-10. (in Chinese)
孔敏, 花宁. 石英玻璃精密退火过程有限元分析 [J]. 武汉理工大学学报, 2013, 35(S): 6-10.

[6] Kong Min, Hua Ning. Application of multiple -cut in roduction of quartz glass plate[J]. ***China Building Materials Science & Technology***, 2012(2): 29-30. (in Chinese)
孔敏, 花宁. 多刀切割技术在石英玻璃片生产中的应用 [J]. 中国建材科技, 2012(2): 29-30.

[7] Qiu Zhongjun, Zhou Libo, Fang Fengzhou, et al. Chemical mechanical grinding for quartz glass[J]. ***Optics and Precision Engineering***, 2010, 18(7): 1554-1561. (in Chinese)
仇中军, 周立波, 房丰洲, 等. 石英玻璃的化学机械磨削加工[J]. 光学 精密工程, 2010, 18(7): 1554-1561.

[8] Wang Huijun, Zhang Feihu, Zhao Hang, et al. Effect of several processing parameters on material removal ratio in ultrasonic-magnetorheological compound finishing [J]. ***Opt Precision Eng***, 2007, 15(10): 1583-1588. (in Chinese)
王慧军, 张飞虎, 赵航, 等. 超声波磁流变复合抛光中几种工艺参数对材料去除率的影响 [J]. 光学 精密工程, 2007, 15(10): 1583-1588.

[9] Wang Zhifang. Research on grinding and dislocations of wafer [J]. ***Infrared and Laser Engineering***, 2006, 35 (S): 188-191. (in Chinese)
王志芳. 晶片研磨速率及损伤层的研究[J]. 红外与激光工程, 2006, 35(S): 188-191.

[10] Hu Gangxiang. Research on the double-sided polishing mechanism and process optimization for silicon wafer [D]. Hangzhou: Zhejiang University of Technology, 2007. (in Chinese)
胡刚祥. 单晶硅双面抛光加工理论及工艺优化的研究[D]. 杭州: 浙江工业大学, 2007.

[11] Xiao Fang. Study of water mark issue in semiconductor manufacture WET process [D]. Shanghai: Shanghai Jiaotong University, 2007. (in Chinese)
肖方. 晶圆清洗工艺中水痕问题的研究[D]. 上海: 上海交通大学, 2007.