

# 压电陶瓷圆片单面研磨抛光工艺

鄢秋娟, 罗夏林, 米佳, 李洪平, 谭桂娟, 刘善群, 唐运红, 于新晓, 张静雯

(中国电子科技集团公司第二十六研究所, 重庆 400060)

**摘要:**介绍了一种在行星式双面磨抛设备上对压电陶瓷圆片进行单面研磨和抛光的工艺。在加工过程中, 使用了自制的全水溶性粘接剂来粘接晶片, 实现了圆片单面所有磨抛加工流程都在双面磨抛设备上进行。采用自制化学腐蚀液分段腐蚀控制圆片形貌(翘曲度)的变化, 中间研磨工序优化介质控制表面粗糙度和划道, SiO<sub>2</sub> 胶体化学机械抛光去除亚损伤层, 获得了高品质的铝钛酸铝压电陶瓷(PZT)单面抛光圆片。

**关键词:**单抛晶片; 双面研磨; 双面抛光; 化学腐蚀; 水溶粘接剂

**中图分类号:** TM282

**文献标识码:** A

**DOI:** 10.11977/j.issn.1004-2474.2018.04.025

## Single-Side Grinding and Polishing Process of Piezoelectric Ceramics Wafer

YAN Qiujuan, LUO Xialin, MI Jia, LI Hongping, TAN Guijuan, LIU Shanqun,

TANG Yunhong, YU Xinxiao, ZHANG Jingwen

(The 26th Institute of China Electronics Technology Group Corporation, Chongqing 400060, China)

**Abstract:** A single-side-grinding and polishing process of piezoelectric ceramics wafer on a planetary double-side grinding and polishing equipment is presented in this paper. The self-prepared full-water-solubility adhesive is used to bond the wafers in the processing, and all the single-side grinding and polishing processes of wafer are carried out on the double-sided grinding and polishing equipment. The change of wafer morphology (warp) is step-controlled by the self-prepared chemical etching solution, the surface roughness and path of the wafers are controlled by the optimal medium in the intermediate grinding process, the sub-damaged layer of wafers are removed by the chemical mechanical polishing with SiO<sub>2</sub> colloid. Finally, the high quality PZT ceramic single-side-polished wafers are obtained.

**Key words:** single-side-polished wafer; double-side grinding; double-side polishing; chemical etching; water-solubility adhesive

### 0 引言

压电陶瓷是一种能将机械能和电能互相转换的功能陶瓷材料, 广泛运用在电子、医疗、光学、仪器仪表、航空航天和民用等行业, 如在电子行业方面以压电材料为原料制作的固体变压器; 医疗用超声诊断仪的核心超声换能器, 也称为探头, 大都采用压电材料经过精密加工而成; 光学方面, 主要运用于各种自适应光学系统中的变形镜, 其核心部分也是采用压电材料制作而成, 其原理是利用压电陶瓷材料的压电效应使变形镜产生形变, 改变光波前传输的光程或改变传输介质的折射率来改变入射光波波前的相位结构, 从而达到对光波前相位进行校正的目的。

虽然压电陶瓷材料具有其他材料无法比拟的优越性, 但它也存在脆性, 易发生形变, 难加工, 对于薄的晶圆表面的抛光易造成裂片和表面翘曲度变大, 随着晶圆尺寸的增加, 其表面加工变得更难, 成品率

直线下降等缺点。现代电子元器件制作工艺的发展, 对压电材料制作的多晶圆片提出新要求, 即面积大、表面平整度高、缺陷少, 同时需要降低成本, 适应批量生产。目前, 我所压电陶瓷圆片表面抛光采取传统的单面加工设备传统工艺, 其工艺流程为: 压电材料成型-多线切割成圆片-圆片跟夹具蜡热粘接-圆片抛光(粗抛和细抛)-圆片和夹具分离, 但该工艺存在诸多问题, 主要有以下几点:

1) 加工过程中采用石蜡热粘接, 降低了圆片的翘曲度( $W_{arp}$ )、平坦度( $TTV$ )、小区平坦度( $LTV$ ), 石蜡的清洗成本高, 残留石蜡易对镀膜设备腔体造成污染。

2) 圆片和夹具分离工步, 从夹具取下的陶瓷片面形变量大且易裂片, 成品率低。

3) 晶圆跟夹具的粘接和分离工步, 对技术工人的技术和经验依赖性强, 产品精度人为因素影响大,

收稿日期: 2018-01-30

作者简介: 鄢秋娟(1986-), 女, 重庆人, 工程师, 主要从事声表面波工艺的研究。

产品批次间的一致性差,且生产效率低。

4) 材料加工去除余量大,造成过多的压电陶瓷材料消耗,增加了加工成本。

经过多次工艺实验,摸索总结出了一种适用于单面抛光晶片加工的研磨抛光工艺。即用自制的全水溶性粘接剂粘接取代石蜡,采用行星式双面研磨抛光机取代单面研磨抛光机,工艺过程中用自制腐蚀液 A 释放材料应力。采用该工艺对大尺寸的铝钛酸铝压电陶瓷(PZT)材料圆片( $\varnothing 100$  mm 以上)进行加工,产品良品率达到 95%。本工艺具有以下优点:

1) 实现了无蜡光学冷加工,采用自制的全水溶性粘接剂手工粘接,简单方便,不再需要粘片机;由于是全水溶性粘接剂,避免了采用石蜡粘接产生的清洗难题;冷粘接对圆片的  $W_{arp}$ 、 $TTV$ 、 $LTV$  影响可忽略。

2) 水溶性粘接剂粘接一致性好,人为因素影响小,产品加工精度由抛光设备保证,产品指标一致性好;技术工人培训周期短,入手快,培训成本低;所有设备和辅料均国产化,生产成本降低的同时,降低了原材料来源渠道的风险<sup>[1]</sup>。

3) 采用行星式双面抛光机,晶片材料损耗小,避免了材料浪费,磨抛总加工量仅约为  $70 \mu\text{m}$ ,而单面抛光加工设备加工量约为  $200 \mu\text{m}$ ;抛光效率高,同样盘径的单面加工设备和双面加工设备价格差不多,但双面加工设备加工数量达到同盘径单面加工设备加工数量的 2 倍以上,提高了生产效率<sup>[2]</sup>。

4) 通过自制化学腐蚀控制各加工工序产品翘曲度的变化,最终产品在自由状态下翘曲度 $\leq 20 \mu\text{m}$ 。

## 1 工艺方法与操作

### 1.1 工艺设备仪器

主要设备和仪器:国产 20B-5L 双面研磨抛光机,对材料表面进行抛光。日本 FT-17 压电晶片表面形貌测试仪,对各工序晶片的  $W_{arp}$  变化进行监控和分析。美国 ZYGO 粗糙度检测仪分析产品损伤层深度,以此为参考对加工辅料进行筛选并计算合适的加工量。奥林巴斯光学显微镜,对晶片表面加工缺陷和清洗质量进行分析。微米级千分尺,对各工序加工量进行测量。实验选用材料为 PZT 陶瓷。

### 1.2 工艺过程

1) 压电材料成型,多线切割成圆片。本工序的目的是将材料成型并切割成标准圆片,加工后毛片厚为  $0.57 \text{ mm}$ ,  $TTV \leq 15 \mu\text{m}$ 。

2) 工件腐蚀。自制 A 腐蚀液,将切割后的毛片浸泡在腐蚀液中,消除切割加工工序产生的毛片内应力,减少后续加工由于内应力引起的裂片现象,提高工序的成品率。

3) 工件粘接。采用自制全水溶性粘接剂将陶瓷片的非加工面粘接并保护起来,如图 1 所示。



图 1 晶片粘接示意图

4) 打毛。采用 W14 绿碳化硅打毛,磨盘材质为普通铸铁盘,磨削量  $0.01 \text{ mm/片}$ ,压力  $1 \text{ kg/片}$ ,时间约  $15 \text{ min}$ ;打毛完成后,在灯光下观察晶片,其均匀,无划痕,粗糙度为  $1.2 \sim 1.5 \mu\text{m}$ 。

5) 工件分离并腐蚀。选择自制 A 腐蚀液进行腐蚀,控制腐蚀时间,消除产品加工应力和修复面形精度。

6) 工件粘接。采用自制的全水溶性粘接剂将陶瓷晶片非加工面粘接保护起来(见图 1)。

7) 抛光面细磨、精磨。

方式 1:采用聚胺脂抛光革为磨盘,白刚玉(W14、W5)为磨料,对产品进行细磨和精磨,总磨削量  $20 \mu\text{m}$  左右,表面在强光下肉眼观察无划道,产品粗糙度 $\leq 50 \text{ nm}$ 。抛光量需要  $15 \mu\text{m}$  左右,所有工序总的良品率高( $\geq 95\%$ )。

方式 2:采用铸铁盘和 W7 白刚玉精磨,产品粗糙度约为  $350 \text{ nm}$ ,在强光下肉眼观察有很多细划道。后工序抛光时间长,抛光量需要约  $30 \mu\text{m}$ ,一次性良品率低,返工率高。

8) 工件分离并腐蚀。选择自制 A 腐蚀液进行腐蚀,控制腐蚀时间,消除产品加工应力和修复面形精度。

9) 倒角。采用电镀金刚砂砂轮倒角,倒角目的是防止加工过程出现崩边。

10) 工件粘接。采用自制的全水溶性粘接剂将陶瓷晶片非加工面粘接保护起来(见图 1)。

11) 抛光面粗抛。采用 W1 钻石膏进行机械抛光,抛光革采用合成纤维抛光革,抛光量  $0.01 \text{ mm/片}$ ,压力  $3 \text{ kg/片}$ ,时间  $240 \text{ min}$  左右,抛光完成后,产品在强光下观察无划痕,粗糙度为  $0.8 \sim 1.2 \text{ nm}$ 。

12) 化学机械抛光(CMP)精抛。 $\text{SiO}_2$  胶体化

学机械抛光去除亚损伤层。

13) 工件分离并清洗。

14) 检验、包装。

## 2 工艺结果与分析

### 2.1 实验结果

表1为实验样品的测量技术指标。由表可知,获得了良好的TTV值、 $W_{arp}$ 值、表面粗糙度( $R_a$ )和表面加工缺陷。图2为FT-17测试形貌图。

表1 测试技术指标

品种	尺寸/ mm	主要指标			表面加工缺陷 (显微镜20× 10倍+CCD+ 监视器观察)
		TTV/ $\mu\text{m}$	$W_{arp}$ / $\mu\text{m}$	$R_a$ / nm	
PZT 陶瓷	$\varnothing 170 \times 0.5$ $\varnothing 100 \times 0.5$	$< 5$	$\leq 20$	$\leq 0.5$	无麻点、无划道、 无桔皮

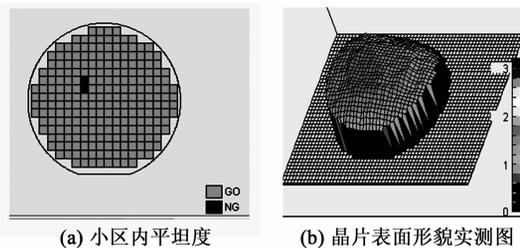


图2 FT-17测试形貌图

### 2.2 分析

#### 2.2.1 产品翘曲度控制分析

$W_{arp}$ 即面型是关键性指标;影响到后面工序的加工,对于薄片加工而言(特别是厚度1 mm以下的产品),产品加工完毕后夹持状态下测量,面形很好,但取下夹具后自由状态下测量,会发现面形变化很大,其中又以单面抛光产品变形为最大。实验的目的就是找到影响产品面形变化的关键因素,并通过针对性实验,总结出控制面形变化的措施。

#### 2.2.2 影响产品面形变化的关键因素

实验一:消除应力实验,观察应力和面形变化的关系。选择翘曲度约为50  $\mu\text{m}$ 的单抛片(已细磨),做以下消除应力的实验:

1) 超声震荡消除内应力,选择30 min、2 h、8 h分别测试翘曲度,发现测试数据无明显变化。

2) 在室温下自然放置,长时间使其内应力自然释放,每个月观测其数据,观测2年发现无明显变化。

综上所述可知,单纯的消除晶片内部应力的手段对产品翘曲度无明显影响,由此可得出产品内应

力不是影响产品面形变化的关键因素。

实验二:观测表面张力和产品面形的关系。因为表面张力无法直接测量,但它与产品表面的原子排列紧密程度及晶体结构有关,故与产品的 $R_a$ 和损伤层有关,我们可以通过研究表面粗糙度对面型的影响,从而推断出表面张力和产品面形的关系。

选取 $\varnothing 76.2$  cm PZT陶瓷双面抛光晶片6片,厚为0.5 mm。分别采用W14和120#打毛其中一面,如图3、4所示。

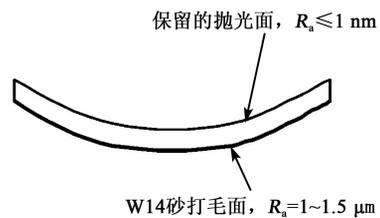


图3  $W_{arp}$ 为50~60  $\mu\text{m}$ ,凹形

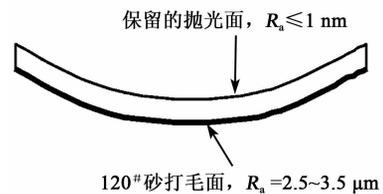


图4  $W_{arp}$ 为100~120  $\mu\text{m}$ ,凹形

综上实验可看出,晶片的变形随打毛面粗糙度的增大而增大,变形趋势都是凹形;表面张力与产品表面的原子排列紧密程度及晶体结构有关,原子排列越紧密,表面张力越大。由上可知,抛光面原子排列紧密,表面张力最大,打毛面粗糙度越大的面,表面张力越小;抛光面和打毛面的表面张力差异越大,晶片的变形程度越大,两者为正比关系。由此可得表面张力是影响产品面形变化的最关键因素。

#### 2.2.3 措施

由于器件对单抛片背面打毛的粗糙度有严格要求,所以,在采取措施时不能对背面的粗糙度产生破坏。我们想到了两种方法:

1) 高温退火,加温到晶片表面呈熔融状态(最高温度),既能改变表面张力,又能消除加工产生的应力,还能改善晶体结构,但这种方法成本高,而且对压电晶体来说,如果退火温度高于居里温度会使晶体失去压电性能。

2) 采用化学腐蚀,该方法没有退火效果好,但成本低,且没有温度的限制,适合规模生产。

我们针对不同材料,采用不同的化学腐蚀液配方或浓度进行实验,从中选择有利于我们量产的实验结果,如选用细磨后 $\varnothing 76.2$  cm PZT 陶瓷产品,细磨面粗糙度为  $0.1 \mu\text{m}$ ,背面粗糙度为  $0.8 \mu\text{m}$ (W14 砂打毛),初始翘曲度在  $60 \mu\text{m}$  左右,得到腐蚀液浓度和时间对产品翘曲度的影响关系如图 5 所示。

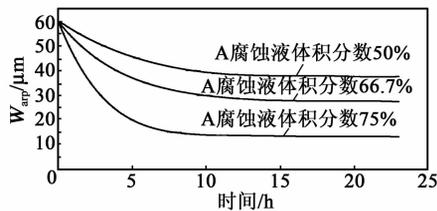


图 5 腐蚀液浓度和时间对产品翘曲度的影响

由图 5 可知,化学腐蚀正因为对表面张力有减小的作用,腐蚀液的浓度越大,时间越长,效果越好。

#### 2.2.4 产品 TTV 控制分析

单面加工设备上 TTV 和 LTV 值的大小主要由晶片毛片的厚度偏差、石蜡粘接误差、工件运动路径、工件的面形精度 4 个因素决定,运动路径为“8”字形,磨盘对产品的加工量随磨盘直径增大而增大。由于影响因素多,需要控制的工艺环节节点多,故对技术工人的经验依赖度高,同时,工件取下夹具后面形变化基本不可控。

对比传统单面加工,行星式磨抛加工存在以下优点:

1) 产品处于上、下盘的夹持加工状态,工件总是先被研磨到高点而低点研磨不到,这样既有加工量最少又有产品厚度一致性好(TTV 的指标为  $0 \sim 5 \mu\text{m}$ )的特点。

2) 工件运动路径合理,工件面形精度由研磨盘面形精度决定( $W_{\text{arp}} = 0 \sim 10 \mu\text{m}$ ),不会出现塌边现象,不需要垫片和人工干预。

3) 对研磨盘和抛光革造成的变形最小,游星轮正反转加工具有自修正功能,能长时间连续加工且保证精度<sup>[1]</sup>。

行星式平面加工工艺的加工运动轨迹被证明是目前最合理的。但是,由于一些工艺难题的存在(如单抛片非加工面的保护,0.5 mm 厚度以下较薄的晶片在加工中易碎裂等),行星式加工设备目前在国内外只用于在双面抛光晶片的磨抛中以及毛片的整形中<sup>[2]</sup>。也有少部分国外生产厂家是采用先加工成双面抛光产品,然后背面喷砂打毛,这种工艺我们也

实验过,但由于喷砂后产品面形变化大,且成本高,效率低而被现在的工艺所替代。

行星式加工的优点有目共睹,问题的关键是如何实现单抛片的行星式加工。采用粘接剂将晶片非加工面粘接保护起来,这种工艺简便易行,既解决了晶片非加工面的保护问题,又提高了产品的强度,使其在加工中不易碎裂,实现了单面抛光晶片背面打毛、抛光面研磨、抛光全过程都能采用行星式加工。

#### 2.2.5 产品损伤层的分析与去除

由于产品表面磨抛后的损伤层无法直接测试,所以,在研磨工序中采用了肉眼对表面缺陷进行观察的方法,对抛光好的产品采用化学腐蚀后显微镜观察表面缺陷的办法。

选择 W14 绿碳化硅双面研磨的 PZT 陶瓷晶片,测试粗糙度为  $0.2 \sim 0.3 \mu\text{m}$ 。采用 W1 钻石膏抛光,中途不断地观测产品表面和抛光去除量,当去除量为  $30 \mu\text{m}$  时产品粗糙度为  $1 \text{ nm}$ ,表面不再有麻点。得出经验数据为:产品表面损伤深度偏差  $T_{\text{损}} = R_a \times 20$ 。工序加工量  $T = T_{\text{损}} + K$ (其中  $K$  为双面研磨设备的面型偏差,20B 型双面研磨机的  $K$  值,一般为  $5 \mu\text{m}$ )

验证抛光好的产品是否存在较严重的损伤层,用质量比为 30 : 1 的 HF 溶液浸泡 30 min,然后在显微镜下观察,与未腐蚀前作对比,发现纯机械抛光的会出现较严重的划道;而采用化学机械抛光的划道少而浅,甚至没有。通过这种方法选择最合适的化学机械抛光液去除速度( $v_{\text{机械去除}} = v_{\text{化学去除}}$ )。

### 3 结束语

采用行星式双面磨抛设备对压电陶瓷材料圆片进行单面研磨和抛光,工艺过程中采用自制的全水溶性粘接剂粘接取代石蜡,降低了圆片表面的形貌变化和污染。采用自制腐蚀液释放材料应力,获得了高品质的 PZT 陶瓷单面抛光圆片,成功制备了最大直径达  $\varnothing 170 \text{ mm}$  的产品,良品率达到 95%,且产品一致性好,技术指标高,加工效率高,生产成本低,工艺易实现和易监控,适合产业化生产管理要求。

#### 参考文献:

- [1] 杨信伟,孙军,王军. 晶片行星式研磨抛光机运动模拟研究[J]. 沈阳建筑大学学报(自然科学版), 2000, 16(4): 292-294.
- [2] 许君. 高精度数控立式双面研磨机设计与开发[D]. 长沙: 湖南大学, 2014.