

文章编号: 1002-2082(2007)06-0769-04

# 超薄LiTaO<sub>3</sub>晶片的键合减薄技术

刘军汉<sup>1,2</sup>, 刘卫国<sup>1</sup>

(1. 西安工业大学 光电微系统研究所, 陕西 西安 710032;

2. 华中光电技术研究所, 湖北 武汉 430074)

**摘要:** 在制造红外热释电探测器阵列过程中, 需要利用超薄钽酸锂(LiTaO<sub>3</sub>)晶片作为红外热释电探测器件的敏感层。通常LiTaO<sub>3</sub>晶片的厚度远厚于红外热释电探测器件要求的厚度, 所以需要采用键合减薄技术对LiTaO<sub>3</sub>晶片进行加工处理。键合减薄技术主要包括: 苯并环丁烯(BCB)键合、铣磨、抛光、加热剥离、刻蚀BCB。加工后得到面积为10 mm×10 mm、厚度为25 μm的超薄单晶LiTaO<sub>3</sub>薄膜, 晶片厚度、表面粗糙度和面形精度比较理想。测得了LT晶片减薄后的热释电系数为 $1.6 \times 10^{-4} \text{Cm}^{-2}\text{K}^{-1}$ 。得到的单晶LiTaO<sub>3</sub>薄膜满足红外热释电探测器敏感层的要求。

**关键词:** 红外热释电探测器; LiTaO<sub>3</sub>晶片; 键合减薄; 热释电系数

中图分类号: TN304.055

文献标志码: A

## Ultrathin LiTaO<sub>3</sub> wafer prepared by wafer bonding and mechanical thinning processes

LIU Jun-han<sup>1,2</sup>, LIU Wei-guo<sup>1</sup>

(1. Micro-opto-electronic Systems Laboratories, Xi'an Technological University, Xi'an 710032, China;

2. Huazhong Institute of Opto-electronic Technology, Wuhan 430074, China)

**Abstract:** Ultrathin LiTaO<sub>3</sub> wafer is needed as a sensitive lay for fabricating high performance pyroelectric infrared sensor array. Since the thickness of LiTaO<sub>3</sub> wafer was thicker than the required thickness, the LiTaO<sub>3</sub> wafer was processed by the novel wafer bonding and mechanical thinning processes, i. e. benzocyclobutene (BCB) bonding, grinding, polishing, heating stripping and BCB etching. The ultrathin single crystal LiTaO<sub>3</sub> wafer with dimensions of 10 mm×10 mm×25 μm was prepared with the thinning processes. The pyroelectric coefficient of the thinned LiTaO<sub>3</sub> wafer is  $1.6 \times 10^{-4} \text{Cm}^{-2}\text{K}^{-1}$ . The measured results of the thinned LiTaO<sub>3</sub> wafer show that the thickness uniformity, surface roughness and surface profile accuracy can meet the requirement of the application.

**Key words:** pyroelectric infrared detector; LiTaO<sub>3</sub> wafer; wafer bonding and mechanical thinning; pyroelectric coefficient

## 引言

钽酸锂<sup>[1-2]</sup>(LiTaO<sub>3</sub>, 简称LT)晶片具有优良的铁电、电光、机械以及物理性能, 并且成本低, 从而作为非线性光学晶体、电光晶体、压电晶体、声光晶体和双折射晶体, 在以光技术产业为中心的IT

产业中获得广泛应用。LT晶片有如下加工特点<sup>[2]</sup>: 硬度低(莫氏5.5), 易出划痕; 韧性高, 加工速度慢; 易开裂, 主解理面为{012}面族; 对温度敏感, 易产生微畴反转; 另对Y36°切晶片来讲, 因Y36°面与{012}面夹角仅为2°46', 故在平面加工过程中很

收稿日期: 2006-12-15; 修回日期: 2007-03-02

作者简介: 刘军汉(1981—), 男, 河南南阳人, 硕士研究生, 主要从事红外热释电探测器制造和光电检测的研究。

E-mail: j. h. liu@163.com

容易产生角度很小的尖劈碎晶, 形成砂道。

LiTaO<sub>3</sub> 晶片的热释电系数<sup>[3-5]</sup>虽然比许多热电晶体小, 但是由于它的居里点高, 而且物理、化学性能稳定, 所以在红外探测器方面的应用受到重视。因此, 它在热释电探测器中作为敏感层具有很好的发展前景。要制备探测器单元面积  $A = (45 \times 45) \mu\text{m}^2$  的  $160 \times 120$  阵列<sup>[6]</sup> 红外热释电探测器, 在满足探测器的探测度<sup>[4]</sup>  $D^* = 1.8 \times 10^{10} \text{cmHz}^{1/2}/\text{W}$  时, 探测器敏感层的厚度约为  $20 \mu\text{m}$ 。

通常 LT 单晶片的厚度至少为  $0.2 \text{mm}$ , 要得到  $20 \mu\text{m}$  厚度的 LT 晶片, 就需要对现有的 LT 晶片进行减薄处理。

LT 晶片常用的减薄方法<sup>[2, 7-8]</sup>有: 铣磨、反应离子刻蚀、离子铣、湿法刻蚀等。虽然这几种方法都需要去除大量的 LT 晶体材料, 使 LT 晶片的利用率下降, 但是却都能获得低损伤的 LT 薄膜。反应离子刻蚀、离子铣、湿法刻蚀这几种方法对 LT 晶片的去除速率很低, 而研磨的方法能够很快地获得需要的 LT 薄膜, 所以我们优先选用铣磨的方法对 LT 晶片进行减薄。

以下介绍一种获得超薄 LT 晶片的方法——键合减薄技术。

## 1 实验方法

图 1 给出了键合减薄技术<sup>[9-10]</sup>制备超薄 LiTaO<sub>3</sub> 晶片的工艺流程示意图。

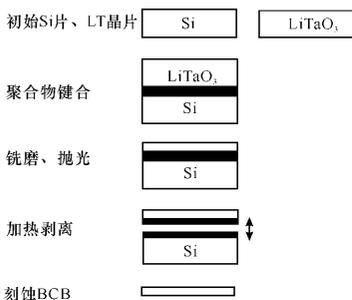


图 1 加工流程图

Fig. 1 Flow chart of the thinning processes

工艺流程共分 4 步:

1) 利用德国 FineTech 96 型键合机将 LT 晶片和硅片进行苯并环丁烯 (BCB) 热压键合, BCB 溶液的匀胶速率为  $2500 \text{r/min}$ , 键合温度为  $200 \text{ }^\circ\text{C}$ , 升温速率为  $2 \text{K/s}$ , 恒温时间为  $50 \text{ s}$ ;

2) 利用德国 LOH 公司的 SPM 50 SL 铣磨机

对 LT 晶片进行加工, 然后再利用氧化铈 MB-T (105) 作为抛光料, 呢绒抛光模为抛光盘, 对 LT 晶片进行抛光处理; 利用 Taylor Hobson 公司接触式台阶仪对 LT 晶片的厚度和表面粗糙度进行测量;

3) 加热至  $120 \text{ }^\circ\text{C}$ , 将超薄 LT 晶片从硅片上剥离下来;

4) 采用 ICP-98A 型高密度等离子体刻蚀机进行刻蚀, 刻蚀气体  $\text{SF}_6 : \text{O}_2 = 1 : 9$ 。

以上工艺具有如下优点:

1) 工艺方法简单, 易实现;

2) 可以制备大面积 ( $10 \text{mm} \times 10 \text{mm}$ ) 超薄单晶钽酸锂;

3) 可以获得  $25 \mu\text{m}$  的超薄单晶钽酸锂, 可以通过化学机械抛光 (CMP) 方法提高表面均匀性;

4) 得到的超薄 LT 晶片不会产生离子注入造成的损伤和缺陷, 缺陷密度和针孔密度均较低, 十分实用;

5) 苯丙环丁烯 (BCB)<sup>[11]</sup> 具有低的介电常数及出色的热学、化学和力学稳定性, 用于圆片级键合时, 其优点有: ①平整化能力高; ②固化温度低, 固化过程中不需要催化剂, 没有副产品 (如水分和气体), 固化过程收缩率可以忽略; ③良好的粘结性能; ④吸水率很低, 对气密封装有利。所以, 用 BCB 键合后的 LT 晶片受到 BCB 薄膜的应力小, 剥离下来的 LT 薄膜产生的形变不大。

## 2 实验结果

完成以上工艺以后, 分别对 LT 薄膜的厚度、粗糙度、面形精度、热释电系数进行测量, 得到结果如下。

### 2.1 厚度测试

厚度是我们所要关心的重要参数, 采用英国 Taylor Hobson 公司生产的 Form Taly Surf Series 2 接触式轮廓仪测量样品的台阶高度。LT 晶片的厚度 (为  $25 \mu\text{m}$ ) 如图 2 所示。

从图 2 可以看出, LT 晶片的台阶轮廓非常陡直。这说明在铣磨过程中, 晶片的磨去量是均匀的, 从而保证了晶片厚度的均匀性。

### 2.2 表面质量

利用日本 NIKON 公司的 L-150A 偏光显微镜观察 LT 晶片的表面, 其显微照片 ( $25\times$ ) 如图 3 所示。图 4 为 LT 薄膜的局部放大  $100\times$ 。LT 晶片表面除了有少量的麻点外, 晶片表面光亮、无划痕等其他抛光缺陷。

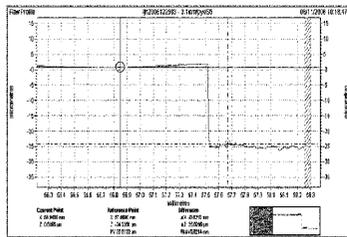


图2 LT晶片厚度

Fig. 2 Thickness of the thinned LT wafer

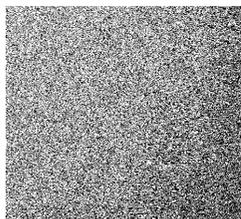


图3 LT薄膜表面情况(25×)

Fig. 3 Surface morphology of the thinned LT wafer(25×)

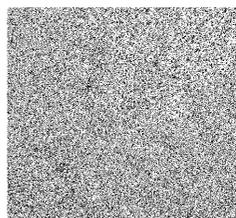


图4 LT薄膜表面情况(100×)

Fig. 4 Surface morphology of the thinned LT wafer(100×)

轮廓仪测量的粗糙度  $Ra = 26.5 \text{ nm}$  和面形精度  $Pz = 0.21 \text{ }\mu\text{m}$ 。LT 晶片研磨时很容易产生机械划伤<sup>[2,9]</sup>。产生划伤大致有2种原因:一是磨料微观形状不好,粒度不均匀;二是磨盘对晶片的刮伤。为了解决这种问题,通过抛光的方法,选用微观形状好、硬度小的磨料作为抛光料,并且配置合适的磨料浓度。在研磨抛光过程中要保证磨料的充足供给,从而减少磨盘对LT晶片的直接划伤。

### 2.3 热释电性能测量

描写热释电性质的重要参数之一是热释电系数<sup>[3-5]</sup>,它的大小直接影响热释电材料的应用前景。热释电系数测量系统可自动完成热释电系数的测量。图5为热释电系数测量系统示意图。测量原理:当热释电材料受到微小的温度变化时,其自发极化强度就会发生变化,从而产生热释电现象。相应的

热释电电流表达式为

$$i = pA \frac{dT}{dt} \quad (1)$$

式中:  $p$  为热释电系数;  $i$  为电流;  $A$  为电极面积;  $dT/dt$  为温度的变化斜率。由(1)式可知,若能测得热释电电流  $i$  和温度  $T$  随时间  $t$  的变化率  $dT/dt$ ,便可测出热释电系数。

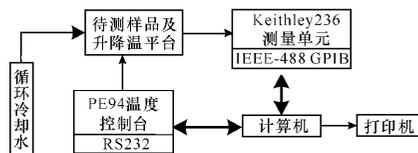


图5 热释电系数测量系统示意图

Fig. 5 Schematic diagram of measurement system for pyroelectric coefficient

LT 晶片在减薄以前块体的厚度为  $0.5 \text{ mm}$ ,测得其释放出的电流与温度变化关系如图6所示。LT 晶片表面的电极面积为  $S = 15 \text{ mm}^2$ ,当温度以速率  $dT/dt = 0.1 \text{ }^\circ\text{C/s}$  变化时,测得LT晶片的电流大小为  $3.25 \times 10^{-10} \text{ A}$ ,通过计算可得出块体的热释电系数  $P = 2.2 \times 10^{-4} \text{ Cm}^{-2}\text{K}^{-1}$ 。

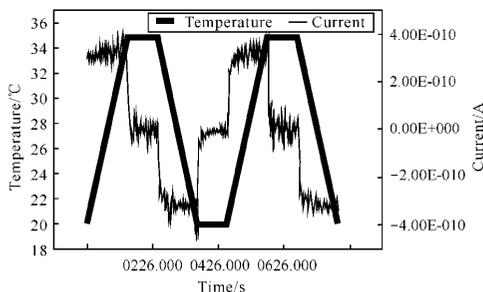


图6 块体热释电响应

Fig. 6 Pyroelectric response of bulk crystal

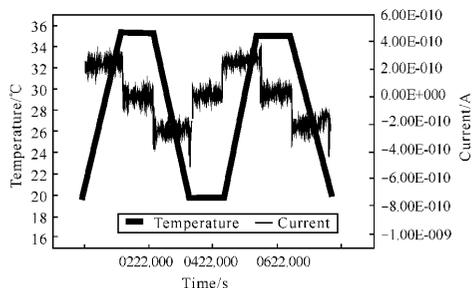


图7 LT薄膜热释电系数测量

Fig. 7 Pyroelectric coefficient of the thinned LT wafer

同样,LT晶片减薄以后的热释电系数测量结果如图7所示。LT薄膜表面的电极面积为 $S=15\text{ mm}^2$ ,当温度以速率 $dT/dt=0.1\text{ }^\circ\text{C/s}$ 变化时,测得电流 $I=2.4\times 10^{-10}\text{ A}$ ,计算后得到的热释电系数 $P=1.6\times 10^{-4}\text{ Cm}^{-2}\text{K}^{-1}$ 。

测试表明:LT晶片的厚度变小,其热释电系数减小;厚度变大,其热释电系数也相应增大。

### 3 结论

键合减薄技术的优点是:方法简单,很容易实现;可以制备大面积( $10\text{ mm}\times 10\text{ mm}$ )超薄单晶钽酸锂,晶片的厚度可以达到 $25\text{ }\mu\text{m}$ ;表面粗糙度和均匀性可以通过化学机械抛光(CMP)方法进一步提高,而且不会产生离子注入造成的损伤和缺陷,缺陷密度和针孔密度均较低,十分实用。缺点是要磨去大部分单晶钽酸锂,从而造成材料的成本偏高。测得的钽酸锂薄膜的热释电系数为 $1.6\times 10^{-4}\text{ Cm}^{-2}\text{K}^{-1}$ 。随着薄膜厚度的减小,热释电系数也相应减小。

#### 参考文献:

- [1] 薛冬峰. 钽酸锂、钽酸锂晶体的结构特征[J]. 化学研究, 2002,13(4):1-3.  
XUE Dong-feng. Structural characteristics of lithium niobate and lithium tantalate crystals [J]. Chemical Research, 2002,13(4):1-3. (in Chinese)
- [2] 夏宗仁,李春忠,崔坤. 声表面波器件用Y36°切LiTaO<sub>3</sub>晶片表面加工研究[J]. 人工晶体学报, 2001,30(4):419-421.  
XIA Zong-ren, LI Chun-zhong, CUI Kun. Research on fabricating Y36°-cut LiTaO<sub>3</sub> wafer for SAW [J]. Journal of Synthetic Crystals, 2001, 30 (4):419-421. (in Chinese)
- [3] 刘卫国,金娜. 集成非制冷热成像探测阵列[M]. 北京:国防工业出版社,2004:41-70.  
LIU Wei-guo, JIN Na. Integrated uncooled IR imaging array [M]. Beijing: Publishing House of Ordnance Industry, 2004:41-70. (in Chinese)
- [4] 邵式平. 热释电效应及其应用[M]. 北京:兵器工业出版社,1994:95-129.

- SHAO Shi-ping. Pyroelectric response and application [M]. Beijing: Publishing House of Ordnance Industry, 1994:95-129. (in Chinese)
- [5] 张福学,孙慷. 压电学[M]. 北京:国防工业出版社,1984:598-609.  
ZHANG Fu-xue, SUN Kang. Piezoelectrics [M]. Beijing: Publishing House of Ordnance Industry, 1984: 598-609. (in Chinese)
- [6] TISSOT J L. 160×120 uncooled amorphous silicon TEC-less detector with 25 μm pixel-pitch [J]. Journal of Applied Optics, 2007,28(1): 1-6.
- [7] 周抱娣,王业民,钱勇辅,等. 几种压电晶体的反应离子刻蚀[J]. 压电与声光, 1982,4(4):11-15.  
ZHOU Bao-di, WANG Ye-min, QIAN Yong-fu, et al. Reactive ion etching of some piezoelectric oxide crystals [J]. Piezoelectrics & Acoustooptics, 1982, 4 (4): 11-15. (in Chinese)
- [8] MATSUSHIMA T, YAGYU H, MATSUMURA Y, et al. Ideal adiabatic structure LiTaO<sub>3</sub> pyroelectric microsensor fabricated by sandblasting technique [C] // Proceeding of the IEEE 11th Annual International Workshop on Micro Electro Mechanical Systems, January 25-29, 1998. Heidelberg(Germany): [s. n.], 1998.
- [9] NARAYANG C, PURUSHOTHAMAN S. Thin film transfer process for low cost MCM's [C] // Proceedings of the 15th IEEE/CHMT International Electronics Manufacturing Technology (IEMT) Symposium, October 4-6, 1993. Santa Clara(CA, USA): [s. n.], 1993.
- [10] HYEOK E. A wafer-scale membrane transfer process for the fabrication of optical quality, large continuous membranes [J]. Journal of Microelectromechanical Systems, 2003, 12 (6): 804-814.
- [11] 付小朝,易新建,赵小梅,等. 利用非光敏BCB树脂实现多芯片组件平坦化研究[J]. 半导体光电, 2005, 26(5):412-414.  
FU Xiao-chao, YI Xin-jian, ZHAO Xiao-mei, et al. MCM planarized by non-photosensitive BCB polymers [J]. Semiconductor Optoelectronics, 2005,26(5):412-414. (in Chinese)