

热释电探测器 PZT 晶片制备工艺研究

黄江平, 王 羽, 袁 俊, 王学森, 郭雨航, 余瑞云

(昆明物理研究所, 云南 昆明 650223)

摘要: 介绍了热释电探测器 PZT 晶片制备工艺及选择锆钛酸铅 (PZT) 陶瓷材料制作敏感元的理论依据, 阐述了晶片磨抛理论, 对磨抛质量影响因素进行了细致分析。对比了几种抛光液对晶片表面的抛光效果, 并进行了扫描电镜和表面粗糙度分析, 得到了抛光后晶片表面的扫描电子显微镜 (SEM) 照片和晶片表面形态, 确定了最佳抛光材料。通过理论和实践的结合, 研制出了完全能满足器件工艺要求的热释电探测器晶片。

关键词: 热释电探测器; 锆钛酸铅 (PZT) 材料; PZT 晶片; 研磨抛光

中图分类号: TN215

文献标识码: A

文章编号: 1001-8891(2013)06-0368-05

Study on Fabrication of Pyroelectric Detector PZT Wafer

HUANG Jiang-ping, WANG Yu, YUAN Jun, WANG Xue-sun, GUO Yu-hang, YU Rui-yun

(Kunming Institute of physics, Kunming 650223, China)

Abstract: This paper introduces the study of pyroelectric detector PZT wafer and the theory basis of choice of lead zirconate titanate (PZT) as sensitive element material. It also describes polishing and grinding theory. Factors affecting the polishing quality are analyzed in detail. The crystal surfaces polished by several different polishing liquid are analyzed by SEM, and SEM photos, surface roughness analysis and crystal surface morphology were gained. The best polishing material was determined. Through the combination of theory and practice, the pyroelectric detector wafer which could meet the technological requirements was got.

Key words: pyroelectric detector, PZT, PZT wafer, grinding and polishing

0 引言

热释电探测器 PZT 晶片制备工艺是我们研制非制冷红外热释电探测器的关键技术之一。其晶片的厚度、厚度均匀性和表面质量直接影响到器件的性能。精密的材料磨抛制约着器件的探测率、响应率和均匀性。

为了获得高性能及耐高过载的红外热释电探测器, 它的核心部件——芯片即光敏元的研制极为重要。而晶片制备又是芯片研制的重中之重, 是一个不可缺少的重要环节。随着对红外热释电探测器性能要求的不断提高, 尤其是需要快速响应和高灵敏度的条件下, 红外热释电探测器光敏元的厚度需要减薄至 12 μm 左右, 而晶片的减薄常采用磨抛技术, 这也就是本文要讨论的核心所在。

1 晶片材料

探测器材料性能优劣直接影响热释电探测器性能。制作性能良好的探测器, 需要热释电系数大、居里温度高、电阻率大、介电常数小和正切损耗低的探测器材料。只有优质的材料加上精细的工艺才能研制出高性能的探测器芯片。而我们所选用的锆钛酸铅 (PZT) 材料就是这样一种能满足我们探测器研制要求的材料。它具有优良的物理、化学性能和机械性能, 耐高温、耐潮湿、抗氧化, 能承受大功率辐射。锆钛酸铅 (PZT) 材料是 20 世纪 70 年代后期发展起来的一种热释电陶瓷材料, 因其良好的铁电、压电、热释电性能被广泛应用于微电子、光电子技术等高科技领域, 主要用于非制冷热释电红外探测器、微传感器、灵巧器件、微机电系统 (MEMS) 及铁电动态存储器 (FERAMS) 等器件。

收稿日期: 2012-11-21; 修订日期: 2013-03-12.

作者简介: 黄江平 (1960-), 女, 高级工程师, 长期从事红外探测器工艺研究。E-mail: h13648837758@126.com.

PZT 多晶材料是锆酸铅(PbZrO_3)与钛酸铅(PbTiO_3)按一定比例形成的二元系固溶物, 其化学式为 $\text{Pb}(\text{Zr}_x\text{Ti}_{1-x})\text{O}_3$, 具有 ABO_3 型钙钛矿结构, 根据 Zr/Ti 比例不同, 结构和性能也不相同, 其相图见图 1。组份配比不同、添加物不同以及制备工艺不同都会影响它的压电、介电性能。PZT 的相平衡图表明: 随着温度、 Zr/Ti 比例变化、材料表现为不同的晶相。室温下, Zr/Ti 配比为 53/47 左右, 晶体处于准同行相界, 此时机电耦合系数、介电常数表现为最大值。一般选择 Zr/Ti 在 90/10~94.5/5.5 区间内^[1-3]。

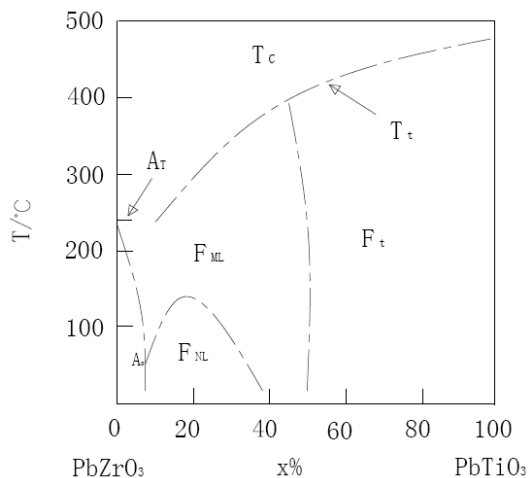


图 1 PbZrO_3 - PbTiO_3 系相图
Fig.1 PbZrO_3 - PbTiO_3 system phase diagram

2 晶片磨抛理论

PZT 晶片制备, 沿用半导体晶片制备工艺, 需利用磨抛办法减薄晶片。研磨的主要目的是去除晶片切割时造成的表面损伤层。对于研磨材料, 磨料颗粒有尖锐的棱角, 晶片减薄即磨料尖锐的棱角对晶片磨损表面不断产生破损, 而达到磨削目的。而抛光则是为了去除最后一道研磨工序所产生的材料表面损伤层。抛光时, 抛光材料颗粒呈球形, 颗粒随抛光运动而上下滚动, 对晶片抛光表面, 产生很

小的破损, 逐渐减少研磨时的损伤层, 从而达到使材料表面变得平整、光亮, 近乎无损伤的表面。如图 2 所示^[4]。

3 晶片制备

探测器晶片制备的第一步就是通过切、磨、抛工艺得到质量完好的薄晶片。由于热释电晶片的厚度与探测器的电容 C_e 成反比, 而 C_e 与热释电探测器的响应率成正比。所以制备厚度尽可能薄的热释电晶片, 减小晶片表面损伤程度等都是提高器件探测率的主要途径。为保证晶片的厚度、边缘完整性, 厚度均匀性及尽可能地减小表面损伤, 我们对热释电晶片的粘接、研磨、抛光等关键技术都进行了探讨^[5-8]。

实验是在 UNIPOL-1202 型精密研磨抛光机上进行。选择 $20\text{ mm} \times 20\text{ mm}$, 厚度为 0.5 mm 的 PZT 陶瓷材料, 分别用 $3\text{ }\mu\text{m}$ 和 $1\text{ }\mu\text{m}$ 的 Al_2O_3 磨料研磨第一面, 再用 $1\text{ }\mu\text{m}$ 的 Al_2O_3 抛料进行抛光, 以去除 $1\text{ }\mu\text{m}$ 的 Al_2O_3 磨料所带来的损伤层, 最后用 $1\text{ }\mu\text{m}$ 的 C 抛光液进行最后抛光。显微镜观察表面质量(此为热释电探测器的下表面), 达到要求后, 在此上制备一层全反射电极, 然后将全反射电极与玻璃衬底用粘接胶粘接, 压放数日。待粘接胶完全固化后即完成热释电晶片的第一面即下表面工作。热释电晶片的第二面(即上表面)研磨、抛光同第一面。只是难度更大, 对研磨、抛光的机械作用都有更高要求。第二面的减薄、抛光要求至 $12\text{ }\mu\text{m}$ 左右, 所以对粘接胶的厚度(一般 $1\sim 2\text{ }\mu\text{m}$)及粘接技术也有极高要求: 假如粘接时排胶不好, 晶片中间仍有气泡, 则材料减薄到一定厚度时, 材料在气泡处将率先磨通, 随着抛光的继续将导致材料大面积脱落, 前功尽弃。而如果胶层固化后厚薄不一, 则最终导致材料的厚度不均匀, 进而导致电容 C_e 值的不均匀而影响后续探测器的性能。

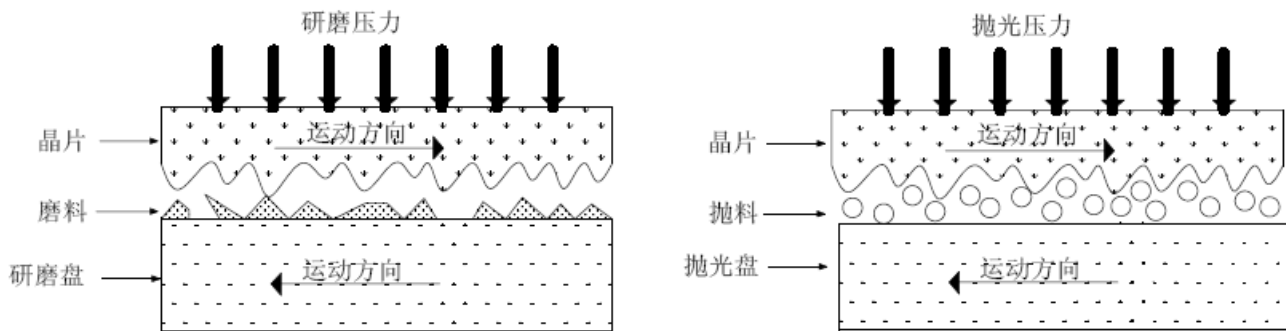


图 2 研磨运动和抛光运动示意图 Fig.2 Schematic diagram of grinding movement and polishing movement

图 3 是我们所研制的摆放在磨抛固定板上的 6 片 PZT 热释电晶片，厚度为 12 μm 左右，不平整度 ≤1 μm。其磨抛成品率高，工艺稳定，完全能满足做器件的要求。



图 3 PZT 热释电晶片
Fig.3 PZT Pyroelectric wafer

4 磨抛质量影响因素分析

- 1) 磨料的粒径和硬度直接影响材料的去除速率，随着磨料粒径和硬度的增大，材料去除速率也会增大。
- 2) 在相同的抛光条件下，抛料的尺寸、形状和粒径一致性等是影响抛光后材料表面质量的决定因素。通常粒径越小的抛光料会得到质量越高的抛光表面。

- 抛光料硬度也影响抛光面的质量，通常硬度低的抛光料由于自身形变量大，磨削深度小，抛光后表面粗糙度的值就低。
- 3) 磨料的浓度，在一定范围内，随着浓度的增大，平整度趋于更好。但并不是浓度越高越好，浓度达到一定之后，去除速率反而变慢，因磨料流动性变差，材料表面粗糙度反而增加。抛光情况亦如此。
 - 4) 磨抛时的压力和转速非常重要。通常压力和转速增加，磨抛速度也增加，材料将减薄的更快。但若更高，尤其对抛光而言将适得其反。过高的抛光压力和转速将会导致抛光速度不均匀，抛光温度升高且不易控制，抛光布储存抛光液的能力下降，从而使出现划伤的机率大大增加，导致抛光质量下降。
 - 5) 抛光液的选择也至关重要。选择合适的抛光液可在较短的时间里，用较少的材料即可达到目的。而不合适的抛光液不仅不能很快达到所需抛光效果，而且还有可能因对材料的腐蚀等原因造成材料表面的损伤而影响晶片做器件的质量。

我们选用了 A 抛光液，0.3 μm 的 B 抛光液，1 μm 的 C 抛光液，1 μm 的 D 抛光液，80nm 的 E 抛光液等 5 种抛光料对 PZT 材料进行了抛光实验，并对其进行了扫描电镜分析，得出了抛光后材料表面 SEM 照片，如图 4 所示。

根据扫描电镜分析得出的 SEM 照片显示，结

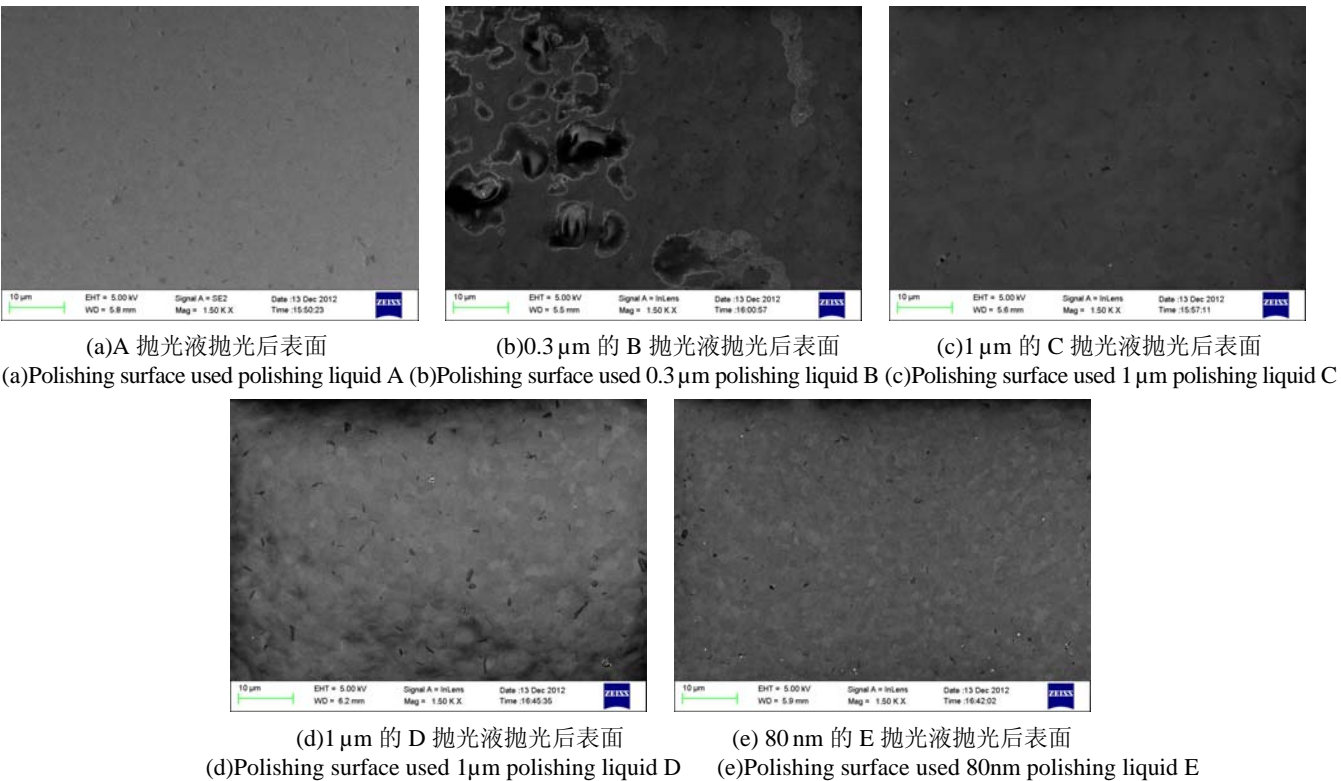


图 4 各种抛光液抛光后材料表面 SEM 照片 Fig.4 Polishing surface of SEM images used various polishing liquid

合我们研制器件的实际测量数据分析,我们选择了采用 $1\text{ }\mu\text{m}$ 的C抛光液作为我们PZT热释电探测器晶片制备的最后一道抛光材料。

6) 抛光布在整个抛光过程中起着重要的作用,它除了可以使抛光液有效均匀分布外,还能够提供新补充进来的抛光液。并能顺利地将用过的抛光液排出。使用硬的抛光布(粗抛和中抛通常使用硬度为70~90(Asker C)中的抛光布),可获得较好的整体与局部平整度;而软的抛光布(精抛布)可获得较好的表面质量与活性。抛光布的多孔性和表面粗糙度是影响抛光液传输效率的重要参数。随着使用时间的增长,抛光布表面会变得光滑,空隙将会被堵塞而减少,抛光速度及质量将下降^[9]。

5 晶片厚度均匀性控制

晶片厚度均匀与否直接影响热释电探测器性能和后继工序光敏元的成型。把握好晶片第二面加工前的粘片很重要。粘接胶必须很薄、均匀无气泡,可借助衬底加热、晶片上加压来完成。将粘接胶厚度控制在 $2\text{ }\mu\text{m}$ 内。磨抛晶片时,控制好磨抛平行度,这样减薄后的晶片不平行度 $\leq 1\text{ }\mu\text{m}$ ^[10]。

6 晶片表面粗糙度的分析

热释电晶片抛光后表面的粗糙度、平整度很大程度上影响着热释电探测器的性能。其中表面粗糙度的增加会使器件噪声增加,同时表面粗糙度过大

会造成表面悬挂键密度大,使表面吸附力增强,造成电特性下降,漏电流增大,从而影响器件性能。为此在抛光过程中充分考虑了对晶片表面粗糙度影响,并采用了不同的抛光液进行了抛光实验,采用C类和D类两种抛光液进行了抛光,两种抛光液抛光后表面的粗糙度均小于 10 nm ,但其中C类效果更好,如图5、图6所示。

7 结语

由以上的实验和结果表明:

1) 热释电探测器PZT晶片制备的工艺设计及制作、晶片表面质量直接影响到器件的性能。对晶片表面的磨抛加工是制备高性能热释电探测器的关键工艺。

2) 通过控制晶片表面的加工工艺,能使表面达到近无损伤的状态,同时把厚度有效控制在 $12\text{ }\mu\text{m}$ 左右,保证减薄后的晶片不平行度 $\leq 1\text{ }\mu\text{m}$ 是研究的重中之重。适合制作单元、多元及非制冷热释电焦平面探测器。

3) 在其他工艺固定的情况下,探测器材料参数选取合适,精密的磨抛制约着器件的探测率、响应率和均匀性。

4) 通过全面、细致的热释电探测器PZT晶片制备工艺研究,我们研制出了完全能满足器件工艺要求的热释电探测器PZT晶片。

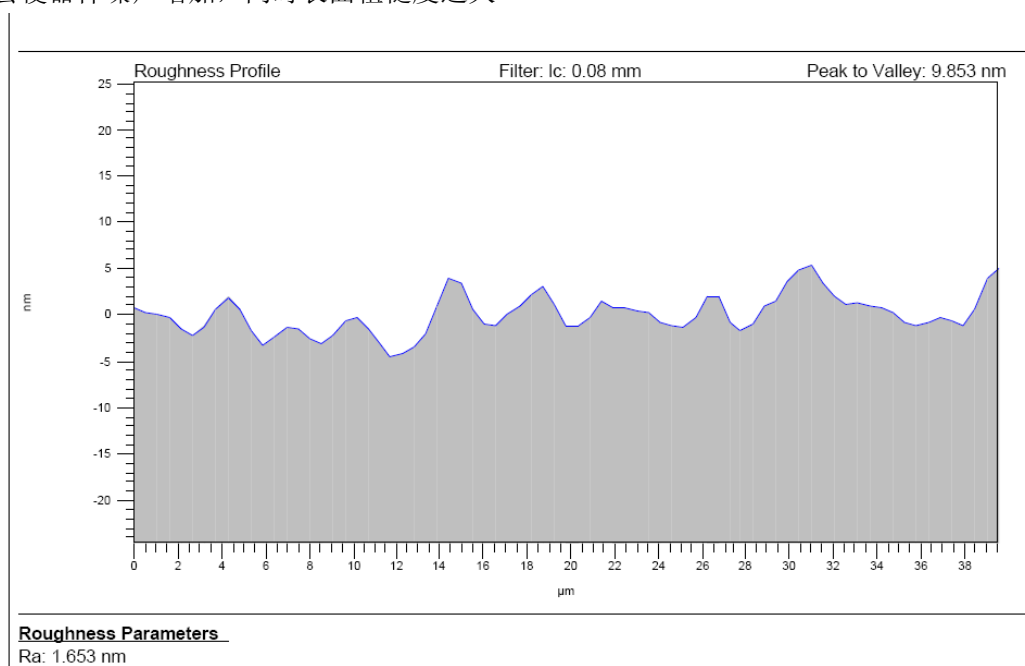


图5 C类抛光液抛光后表面粗糙度曲线图

Fig.5 Surface roughness of wafer used polishing liquid C

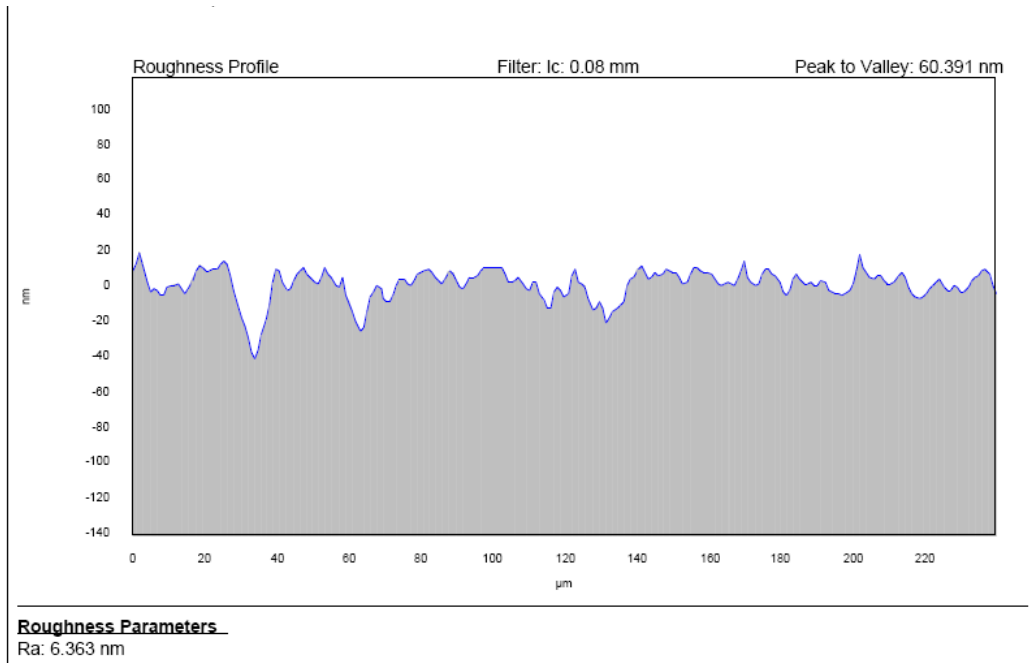


图 6 D 类抛光液抛光后表面粗糙度曲线图

Fig.6 Surface roughness of wafer used polishing liquid D

致谢：

本文中 SEM 照片由赵倩提供，赵鹏、太云见王宗文、雷胜琼教授、龚晓霞提供了宝贵意见，在此一并致谢！

参考文献：

[1] 吴平, 康琳. PZT 热释电红外探测器[J]. 红外技术, 1990, 12(5): 33-35.

[2] Scott J, Paz C, Araujo D. Pyroelectric devices and materials[J]. *Rep.Phys*, 1986, 49: 1335-1340.

[3] 胡古今, 景林, 张婷, 等. 铅钛酸铅多层膜的铁电和介电特性[J]. 红外与毫米波学报, 2008, 27(3): 169-171.

[4] 金波. 基于研磨抛光切片技术的芯片结构观察研究[J]. 微电子学, 2012, 42(4): 588-591.

[5] 黄承彩. 混合式非制冷焦平面器件芯片工艺研究[J]. 应用光学, 1999, 20(2): 10-17.

[6] Bauer S, Ploss B. A simple technique to interface Pyroelectric materials with silicon substrates for infrared detection[J]. *Ferroelectrics Letters*, 1989(9): 155-160.

[7] 王宗文. 锗窗片的光学加工技术[J]. 光学技术, 2003, 29(5): 623-624.

[8] 张梅, 黄晖. 碲锌镉晶片的机械化学磨抛分析[J]. 红外技术, 2008, 30(2): 111-113.

[9] 闫志瑞, 鲁进军, 李耀东, 等. 300 mm 硅片化学机械抛光技术分析[J]. 半导体技术, 2006, 31(8): 561-564.

[10] 卓梅. 碲镉汞晶片的减薄磨抛技术[C]. 第十二届全国红外科学技术交流会论文集, 1996, 11: 25-29.