

减薄抛光对钽酸锂晶体热释电系数影响研究*

林斯佳^{1,2}, 梁庭^{1,2}, 李颖^{1,2}, 高利聪^{1,2}, 周雷刚^{1,2}

(1. 中北大学 仪器科学与动态测试教育部重点实验室, 山西 太原 030051;

2. 中北大学 电子测试技术国防科技重点实验室, 山西 太原 030051)

摘要: 钽酸锂(LT)是一种优良的热释电材料,可以制作成高性能的热释电探测器。由于探测器的电压响应和探测率与红外敏感单元的厚度呈反比,所以对钽酸锂晶体的减薄成为器件成败的关键因素。采用化学机械抛光方法制作出厚度为30 μm的超薄钽酸锂晶体,并使用电荷积分法配合计算机自动测试系统,对不同厚度和表面粗糙度的晶体热释电系数进行了测试和计算。测得最终制备的晶体的热释电系数达到了204 μC·m⁻²K⁻¹,显示出良好的热释电性能。

关键词: 钽酸锂; 减薄抛光; 原子力显微镜; 热释电系数

中图分类号: TN384 文献标识码: A 文章编号: 1000-9787(2013)10-0052-02

Research on effect of thinning and polishing on LT crystal pyroelectric coefficient*

LIN Si-jia^{1,2}, LIANG Ting^{1,2}, LI Ying^{1,2}, GAO Li-cong^{1,2}, ZHOU Lei-gang^{1,2}

(1. Key Laboratory of Instrumentation Science & Dynamic Measurement, Ministry of

Education, North University of China, Taiyuan 030051, China; 2. Science and Technology on Electronic Test & Measurement Laboratory, North University of China, Taiyuan 030051, China)

Abstract: LiTaO₃(LT) is a kind of excellent pyroelectric materials that can be made into high performance pyroelectric detector. As the detector voltage response and detection rate inversely proportional to the thickness of the infrared sensing element, so thinning of LT crystals becomes a key factor of success. This design uses CMP method to produce 30 μm thickness of LT wafer and adopts charge integration method combined with computer automatic test system to test and calculate pyroelectric coefficient of different thickness and surface roughness crystals. Measured pyroelectric coefficient of crystal achieves 204 μC·m⁻²K⁻¹, which shows great pyroelectric properties.

Key words: LiTaO₃(LT); thinning and polishing; AFM; pyroelectric coefficient

0 引言

钽酸锂^[1](LiTaO₃, LT)作为一种多功能材料,具有优良的热释电、铁电、压电、非线性光学以及物理特性,并具有耐高温、耐腐蚀、易加工等特点,与铌酸锂(LiNbO₃)晶体相比,在室温条件下,LT在514.5 nm波长的光损坏阈值为1500 W/cm²,比LiNbO₃的损坏阈值40 W/cm²大将近40倍^[2],具有比LiNbO₃更好的探测大功率激光辐射的能力,同时其拥有极高的居里点,相对于PZT材料更加环保,基于LT材料制备的器件具有巨大的潜力。

由于探测器的电压响应率和比探测率与热释电红外敏感单元的厚度呈反比^[3],所以,对LT晶片的减薄和抛光就成为首要的目标。化学机械抛光^[4]是一种操作简

单、成本较低的精密加工方法,并且结合了化学和机械抛光的优势,是一种实现晶体表面超光滑抛光的较好方法。本文通过对LT晶体进行减薄抛光,制作出厚度为30 μm的超薄晶体,并搭建了计算机自动测试系统,测试并对比了不同厚度和表面粗糙度晶体的热释电系数。

1 敏感单元的制备

1.1 晶体的减薄过程

首先对LT晶体进行制备,实验使用802型自动研磨抛光机对晶体进行减薄和抛光^[5,6],使用SKZD-2型自动滴料器对组分为15%的W7刚玉粉研磨液进行自动添加,使研磨液能够均匀地覆盖在玻璃研磨盘上。为了使晶片受力均匀,尽量减少研磨过程对晶体造成的损伤,笔者决定每次

收稿日期: 2013-03-29

* 基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51075375)

研磨使用 4 个样片,呈十字排列,这样可以使各个样片受到均匀的压力,具体操作如图 1。

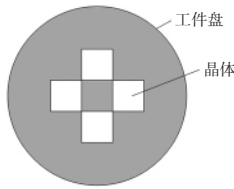


图 1 LT 晶体的摆放位置

Fig 1 Placement of LT crystals

1.2 晶体的抛光过程

为了制造高性能的电子元件,要求 LT 晶体的表面晶格非常完整,粗糙度极小,即使是微小的晶格破坏,都将影响未来制成的热释电器件的性能。所以,对晶体的抛光过程显得至关重要。

抛光部分选择了主要成分为 SiO₂ 和 Al₂O₃ 的 2 种抛光液,均为颗粒大小为 50 nm 的悬浮液。抛光垫选择较为柔软的金丝绒材质。压力大小对抛光效果影响较大,但由于 LT 晶片已经减到十分薄的程度,所以,没有对样片施加较大的压力。实验中,抛光压力为 6.75 kPa,抛光盘的转速为 50 r/min,抛光时间为 1 h。

1.3 抛光后的表面形貌测试

抛光结束后,需要对晶体的表面粗糙度进行观察和验证,原子力显微镜(AFM)是一种可用来研究包括绝缘体在内的固体材料表面结构的分析仪器。它通过检测待测样品表面和一个微型力敏感元件之间的极微弱的原子间相互作用力来研究物质的表面结构和性质,一般分为 3 种模式:接触模式、非接触模式以及敲击模式。本文选择敲击模式以很好地观测其表面粗糙度。实验证明:SiO₂ 和 Al₂O₃ 都能达到较好的抛光效果,其中以 Al₂O₃ 抛光液的效果更佳。用 CMPS-5500 型原子力显微镜^[7]观测的 LT 晶片的三维表面形貌,通过 CSPM imager 4.60 软件对其进行分析,结果如图 2 图 3。

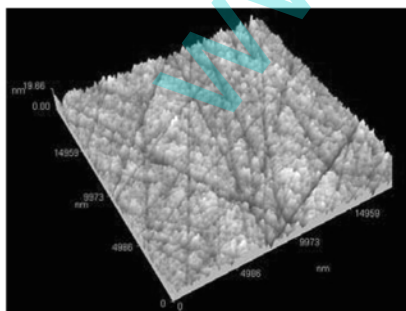


图 2 晶体减薄后的三维形貌图

Fig 2 3D topography of crystal after thinning

由图 3 中可看出:晶体抛光后的效果较好,表面几乎没有之前减薄后的划痕(如图 2 中所示)。之后,使用磁控溅射的方法在晶体上下表面溅射金属电极层用来收集电荷。

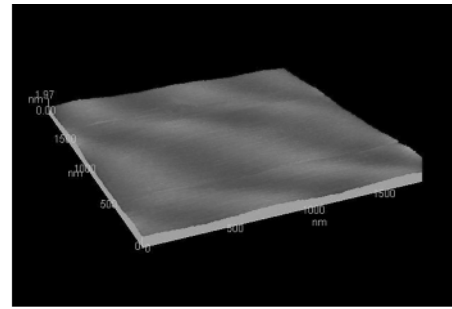


图 3 使用 Al₂O₃ 抛光后的三维形貌图

Fig 3 3D topography of crystal after using Al₂O₃ polishing

2 热释电系数测试与结果

晶体热释电系数的测量方法主要分为静态法、等速加热法、电荷积分法、热动态电流法等多种方法,其中以电荷积分法^[8]较为简单准确,在实验中搭建了自动测试系统,如图 4 中所示,其中电荷的测量使用吉时利 6517B 静电计^[9],它对电荷的探测精度达到了 10 fC~2.1 μC,对实验的准确性提供了保障。热释电系数的表达式如下

$$P = \frac{dP_s}{dT} = \frac{1}{A} \cdot \frac{dQ}{dt} \cdot \frac{dt}{dT} = \frac{dQ}{A \cdot dT} \quad (1)$$

其中, P 为热释电系数, P_s 为样品自极化强度, T 为温度, A 为晶体上下表面电极重叠的面积, Q 为热释电电荷, t 为时间。通过式(1)可看出:只要计算出电荷变化与温度变化的比值即可算出晶体的热释电系数。测试方法使用 Byer-Roundy^[8]的方法,也就是通过对晶体均匀加热以产生所需要的温度变化,使用 VEE 软件对实验数据进行记录。

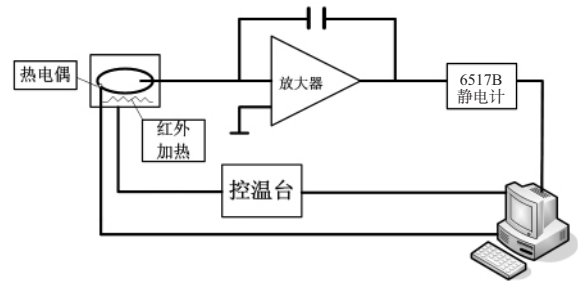


图 4 测试系统原理图

Fig 4 Principle diagram of test system

图 5 为在升温速率为 6 °C/min 时几种不同厚度和表面粗糙度的 LT 晶体的 $P-T$ 曲线图。

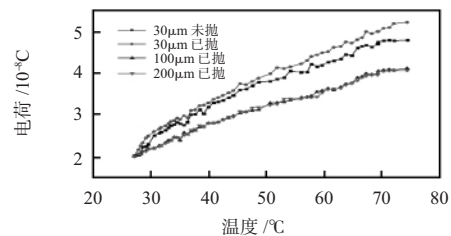


图 5 LT 晶体的热释电 $P-T$ 曲线

Fig 5 $P-T$ pyroelectric curve of LT crystal

(下转第 60 页)

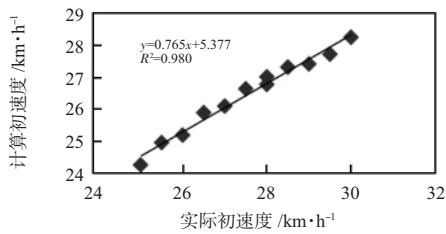


图5 制动初速度线性回归分析曲线

Fig 5 Curve of braking initial speed linear regression analysis

4 结论

本文在分析了常用车辆制动方法的基础上,对比了3种基于加速度测试原理的车辆制动方法,在S3C6410, MMA8451的硬件平台上移植Linux软件平台,采用Qt/Qt-opia4开发了触屏式人机界面软件,完成了该新型便携式汽车制动性能检测装置的设计。经试验验证:该测试装置满足车辆制动测试要求,可广泛用于车辆检验部门、汽车制造专业厂、汽车维修部门,它对汽车制动系统的综合评价具有很高的应用价值。

参考文献:

- [1] 康鸿雁,李业德.一种基于单片机的机动车辆制动性能测试仪设计[J].信息技术与信息化,2005(6):62-65.
- [2] 王克俭.汽车制动性能检测仪的设计与实现[D].南京:南京理工大学,2010.

- [3] GB 7258-2004.机动车运行安全技术条件[S].
- [4] GA/T 485-2004.便携式制动性能测试仪[S].
- [5] 兰华.矿用锂离子电池组典型充电电路设计[J].山西煤炭,2010,30(11):61-62.
- [6] 刘鹏.基于51单片机串口通讯的多路采集系统[J].计算机光盘软件与应用,2012(1):57-58.
- [7] 张颖超,庄英.基于S3C2410的嵌入式触摸屏设计[J].控制工程,2009,16(3):321-323.
- [8] 赵国安.基于Linux嵌入式原理与应用开发[M].北京:清华大学出版社,2008:2-3.
- [9] 魏洪兴.嵌入式系统设计与实例开发实验教材[M].北京:清华大学出版社,2005:1-2.
- [10] 程龙.基于Qt/E构建嵌入式Linux中文环境[D].西安:西安电子科技大学,2007.
- [11] 英海燕.基于ARM的嵌入式Linux操作系统移植[J].现代情报,2005(5):155-156.
- [12] 李胜琴,许岩.基于ARM9的嵌入式linux系统移植[J].信息科技,2010(11):116-117.
- [13] 柯斌发,洪范宗.Qt2与Qt4兼容的嵌入式Linux系统实现研究[J].中国医学物理学杂志,2011,28(4):2789-2792.

作者简介:

赖小龙(1990-),男,江西赣州人,硕士研究生,主要从事智能检测与控制研究。

(上接第53页)

通过式(1)算出的结果如表1。

表1 计算出的热释电系数

Tab 1 Calculated pyroelectric coefficient

晶体厚度(μm)	200	100	30	30
是否抛光	是	是	否	是
热释电系数($\mu\text{C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$)	151	153	190	204

由表1中可看出:实验测出的热释电系数与常用的LT晶体材料特性^[10]十分相似,证明测试结果较为准确。通过对比可看出在晶体厚度较大时,热释电系数较小;之后对晶体表面进行精密的抛光,减小表面的晶格损伤,从而使到达表面的电荷释放均匀,热释电系数也有了一定的提升。经过计算,在 $6^\circ\text{C}/\text{min}$ 的升温速率下,LT晶体经减薄抛光后的热释电系数达到了 $204 \mu\text{C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$,显示出了良好的热释电性能。

3 结论

本文通过对LT晶体进行减薄和抛光,使其达到了很薄的厚度和良好的表面粗糙度,同时搭建了计算机测试系统,通过对比热释电系数,得出了减薄和精密的抛光工艺能够较大地增加晶体的热释电系数,同时对其他相似的热释电材料比如 LiNbO_3 提供了一些参考。

参考文献:

- [1] 薛冬峰.铌酸锂、钽酸锂晶体的结构特征[J].化学研究,

2002,13(4):1-3.

- [2] Mizuuchi K, Yamamoto K. Characteristics of periodically domain-inverted LiTaO_3 [J]. J Appl Phys, 1992, 72(11):50-61.
- [3] 张德银.热释电钽酸锂薄膜红外探测器原理和制备研究[D].成都:电子科技大学,2008:4-6.
- [4] 夏宗仁,李春忠,崔坤.声表面波器件用Y36°切 LiTaO_3 晶片表面加工研究[J].人工晶体学报,2001,30(4):419-421.
- [5] 姚瑞明.铌酸锂切磨抛光工艺探讨[J].江苏冶金,1991,19(4):48-51.
- [6] 刘立新,张学建,张莹,等.铌酸锂晶体的抛光机理及精密加工工艺[J].硅酸盐学报,2008,36(11):1069-1614.
- [7] Liang Ting, Tang Jianjun, Xiong Jijun, et al. Synthesis and characterization of heteroepitaxial GaN films on Si(111) [J]. Vacuum, 2010, 84(9):1154-1158.
- [8] 黄文成.热释电系数的测量方法[J].电子元件与材料,1998,10(8):34-38.
- [9] Alexandru H V, Berbecaru C. Pyroelectric coefficient manipulation in doped TGS crystals [J]. Applied Surface Science, 2006, 253:358-362.
- [10] 中科院上海技术物理所. LATGS和 LiTaO_3 热释电红外探测器研究[M].北京:科学技术文献出版社,1980:5-40.

作者简介:

林斯佳(1988-),男,山西晋中人,硕士研究生,主要研究方向为光电传感器。