

用于 SAW 器件制造的键合减薄技术

程 进, 刘卫国, 刘 欢, 郭伟进

(西安工业大学 光电微系统研究所, 陕西 西安 710032)

摘 要: 铌酸锂(LiNbO_3)作为一种压电材料,常被用于声表面波(SAW)器件的压电层,通常 LiNbO_3 晶片厚度为 $500\text{ }\mu\text{m}$,而实际上压电层的有效利用厚度为 $\lambda\sim 2\lambda$ (λ 为声表面波波长)。为能实现 SAW 器件的高度集成化,需用键合减薄及抛光技术对 LiNbO_3 进行加工处理。用粒径 $\phi 100\text{ nm}$ 的 SiO_2 抛光液对减薄后的铌酸锂晶体样品进行化学机械抛光,研究了抛光垫、抛光盘转速、压力及抛光时间对抛光过程的影响。抛光结果表明最佳抛光工艺参数是:采用阻尼布抛光盘, 100 nm 的 SiO_2 抛光液,转速为 120 r/min ,压力为 3.9 N ,抛光时间为 40 min 。经测试样品厚度为 $80\text{ }\mu\text{m}$,样品的最小粗糙度 $R_s=0.468\text{ nm}$, $R_q=0.593\text{ nm}$ (R_s 为算术平均粗糙度, R_q 为均方根粗糙度)。

关键词: 铌酸锂(LiNbO_3)晶片;键合减薄;声表面波(SAW)器件;抛光

中图分类号: TN 409

文献标识码: A

Bonding and Thinning Technology for SAW Devices

CHENG Jin, LIU Weiguo, LIU Huan, GUO Weijin

(Micro-optoelectronic Systems Lab., Xi'an Technological University, Xi'an 710032, China)

Abstract: Piezoelectric material lithium niobate (LiNbO_3) can be used as the piezoelectric layer in SAW devices, however the thickness of LiNbO_3 crystal is usually $500\text{ }\mu\text{m}$, actually the valid thickness varies from λ to 2λ . In order to realize the hybrid integration of SAW devices, LiNbO_3 wafer need to be processed using the bonding and thinning technique. The sample of LiNbO_3 crystal was chemical polished by using silicon dioxide solution of grain size 100 nm . The influence of polishing plate, polishing plate speed, pressure and polishing time on the polishing quality of LiNbO_3 crystal were investigated. The optimum parameters were as follows. Polishing should be carried out using a polishing cloth and silicon dioxide solution of grain size 100 nm , a polishing plate speed of 120 r/min , a pressure of 3.9 N , and a polishing time of 40 min . It was tested that thickness of the sample was $80\text{ }\mu\text{m}$, optimal roughness $R_s=0.468\text{ nm}$ and $R_q=0.593\text{ nm}$.

Key words: LiNbO_3 wafer; wafer bonding and thinning; SAW devices; polishing

0 引言

铌酸锂(LiNbO_3 , 简称 LN)晶片具有优良的铁电、电光、机械及物理性能,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^[1-2],在光电产业中获得广泛应用。LN 具有较高的声波传输速度。在制造声表面波(SAW)器件时, LN 是常用的压电材料,目前市场上提供的 LN 晶片厚为 $500\text{ }\mu\text{m}$ 。由于 SAW 是沿压电晶体表面传播,主要能量集中在压电晶体的表面,压电晶体的有效利用厚度为 $(1\sim 2)\lambda$ (λ 为 SAW 波长),这样

造成压电晶体很大部分的浪费。本文通过键合减薄技术改善 LN 压电晶体的厚度,这不仅能降低器件的体积,也降低了器件的质量,并保持了 SAW 器件原有的性能^[3-4]。

制备 SAW 器件的 LN 晶片不仅需要较低的表面粗糙度,还要求无亚表面损伤。由于 LN 晶片具有以下加工特点:

1) 硬度低(莫氏 5),加工过程中易出划痕。

2) 韧性高,加工速度较慢;对温度具有敏感性,加工过程中易产生微畴反转。

收稿日期:2012-05-18

基金项目:总装备部预研基金资助项目(62201070821);陕西省教育厅出国留学人员基金资助项目(608-000030);陕西省教育厅科研计划基金资助项目(12JK0686);西安工业大学校长基金资助项目(XAGDXJJ1002)

作者简介:程进(1988-),男,江苏盐城人,硕士生,主要从事微电子方向的研究。E-mail:624788236@163.com。刘卫国,男,教授,博士生导师。E-mail:wgliu@163.com。

3) 加工过程中易产生角度很小的尖劈碎晶,从而在材料表面产生砂道^[1,5]。

目前,国内对 LN 晶体的抛光大多数采用价格较高的金刚石微粉作为磨料,通过传统的光学冷加工方法实现精密加工,但加工出来的效果不理想,表面粗糙度达不到要求^[1]。本文采用纳米二氧化硅溶液对 LN 晶体进行了化学机械抛光,通过优化各项工艺参数,取得了制备 SAW 器件所需要的高质量超薄 LN 晶片。

1 实验方法

本文利用键合减薄技术^[2,6-7]制备了超薄 LN 晶片,实验的总体方案如图 1 所示。

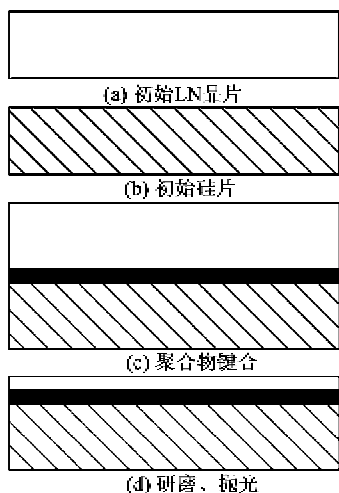


图1 加工工艺流程图

工艺流程共分3步:

1) 切割。由于 LN 晶片的硬度低(莫氏 5),易开裂。所以加工前可根据需要对 LN 晶片进行切割。本文利用 WXQH160 型金刚石切割机(转速:1 000 r/min)对 LN 进行切割,将 LN 晶片切割成 20 mm×15 mm 的方形晶片。

2) 聚合物键合。利用德国 Finetech 公司的 FineTech96 型倒装键合机将 LN 晶片和硅片进行苯并环丁烯(BCB)聚合物热压键合^[2,8]。键合参数:匀胶速率为 2 500 r/min,键合温度为 200 ℃,升温速率为 1 ℃/s,恒温时间为 120 s。通过 SHIMPO FGN 推拉力计对键合强度的测试,剪切强度大于 100 N,满足后续工艺的要求。键合在整个制备工艺过程中起重要作用,键合质量的好坏直接关系到后续减薄工艺是否能顺利进行。

3) 研磨、抛光。利用 JP350G 高速精磨抛光机对 LN 晶片进行了粗磨、精磨、抛光。

经过上述步骤,即可得到制备 SAW 器件所需超薄 LN 晶片。以上工艺具有如下优点:

1) 工艺方法简单,易实现。

2) 可实现大面积超薄 LN 晶片的制备。

3) 可根据 SAW 器件的需要获得超薄 LN,本文制备的 LN 晶片厚度为 80 μm。

4) 苯并环丁烯(BCB)具有较高的化学和力学稳定性,所以在制备混合集成 SAW 器件时不受影响^[7]。

2 实验结果与分析

根据抛光工艺参数对 LN 晶片表面质量的影响进行了分析,通过大量的对比实验进行了总结,并根据样品表面质量的测试结果确定了最佳的工艺参数。

2.1 工艺参数对 LN 表面质量的影响

本文从抛光参数对 LN 的影响作了一些对比实验。影响 LN 表面质量的主要参数有抛光液的成分、抛光的压力、抛光垫及抛光盘的转速等^[9-11]。

键合后的 LN 通过粗磨、精磨、抛光处理后,得到超薄 LN 晶片。精磨的最后一道工序采用 W5 的金刚砂,精磨后把样品分成 6 组进行抛光对比实验,其中每组加工样品为 4 片,晶片尺寸为 20 mm×15 mm×0.5 mm,每组实验结果取其平均值。采用 SHGL-103 型的 SiO₂ 抛光液对 6 组样品进行抛光,抛光液的主要参数:pH=9.5,浓度为 40%,粒径为 Ø100 nm。在不同的抛光参数下,进行了对比实验,表 1 为样品的具体抛光工艺参数。

表1 LN 晶片抛光工艺参数

样品组号	抛光机型号	抛光盘	抛光盘转速/(r/min)	压力/N
1	JP350G	聚氨酯盘	40	3.9
2	JP350G	聚氨酯盘	80	3.9
3	JP350G	聚氨酯盘	120	3.9
4	JP350G	阻尼布盘	40	3.9
5	JP350G	阻尼布盘	80	3.9
6	JP350G	阻尼布盘	120	3.9

按照表 1 中的工艺参数,对以上 6 组样品进行了实验,在保证抛光液充足的情况下抛光 40 min,并通过 Taylor Surf CCI2000 非接触式干涉仪对 6 组样片进行了测试,测试结果如表 2 所示。根据 6

组实验结果所绘制图如图 2 所示。

表 2 非接触式干涉仪对 6 组样片进行测试结果

样品组号	算术平均粗糙度 R_a/nm	均方根粗糙度 R_q/nm
1	3.563	16.544
2	1.985	8.643
3	1.183	2.748
4	1.902	8.859
5	0.821	1.924
6	0.518	0.556

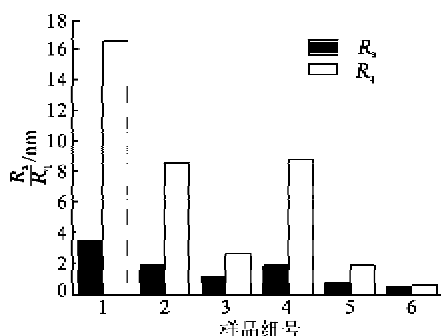


图 2 不同抛光工艺参数下的抛光结果

在抛光过程中,不同抛光垫的抛光效率差异较大,聚氨酯的抛光效率快,但最终抛光表面质量没有阻尼布好。由图 2 可看出,阻尼布盘抛光质量比聚氨酯盘好;在抛光过程中,材料的去除率随抛光盘转速增加而增加,去除率满足 Preston 方程^[10],呈线性变化。随着抛光盘的转速增加,从而使抛光盘与工件间的抛光液颗粒的旋转速度增加,抛光盘和工件间产生的机械摩擦力增强导致抛光盘表面的温度升高和抛光液化学腐蚀增强,从而使材料的去除率增加。然而,如果抛光盘转速过高将使抛光液很难均匀的分布在抛光盘上,会导致材料去除率存在差异;同时也容易发生掉片从而使工件表面损伤层增大,影响工件表面的抛光质量。所以在一定的抛光转速范围内,需要选择一个最佳转速。

通过实验结果的对比,最终确定了样品组号 6 的抛光参数,选择阻尼布抛光盘,抛光盘转速为 120 r/min,压力为 3.9 N,抛光时间为 40 min,做了重复性实验(为了便于叙述,重复实验的样品为样品组号 7),并对实验结果进行了 LN 厚度测试和 LN 表面质量测试,具体实验测试结果如下所述。这种抛光方法对 LN 晶片的直接划伤最小,且抛光效率最高。

2.2 LN 厚度测试

LN 晶片作为 SAW 器件的压电层,其厚度的减

薄对其有着重要的意义。实验中采用 Taylor Hobson 公司生产的 Form TalySurf Series II 接触式轮廓仪测量第 7 号样品的厚度。图 3 为 LN 晶片厚度测试图。由图可看出,晶片减薄后厚度较均匀, LN 晶片厚度为 80 μm 。

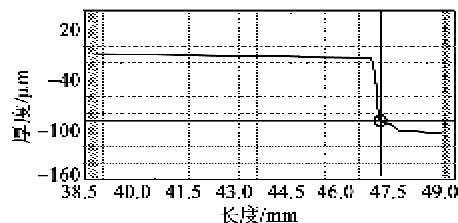


图 3 LN 晶片厚度

2.3 LN 表面质量测试

利用英国 Taylor Hobson 公司的非接触式干涉仪 Taylor Surf CCI2000 对样品组号 7 进行了测试,表面粗糙度 $R_a=0.468\text{ nm}$, $R_q=0.593\text{ nm}$,该 LN 表面为超光滑表面。表面粗糙度及表面形貌如图 4、5 所示。该表面质量完全能满足制备 SAW 器件的要求。

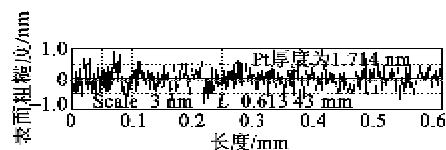


图 4 减薄抛光后 LN 晶体表面粗糙度

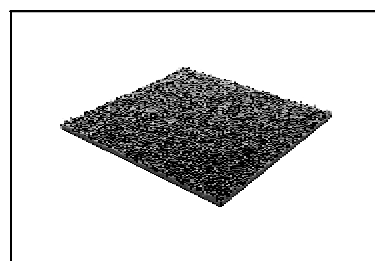


图 5 减薄抛光后 LN 晶体三维图像

3 结束语

本文介绍了一种用于 SAW 器件混合集成制造的晶片键合、减薄和抛光的方法。该方法工艺简单,成本低,易实现,可实现大面积 LN 晶片的减薄抛光,可制备超薄 LN 晶片;BCB 聚合物的应用使 LN 晶片和硅片能更好结合在一起且制备 SAW 器件的工序不会对 BCB 胶造成影响;利用了化学机械抛光方法提高了 LN 晶片抛光精度。采用最佳抛光工艺对 LN 晶片样品进行化学机械抛光,抛光后的样品获得了较小的粗糙度 $R_a=0.468\text{ nm}$ 。该工艺可在制备高集成度的 SAW 器件方面提供一定的参考。

参考文献:

- [1] 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): 1609-1614.
LIU Lixin, ZHANG Xuejian, ZHANG Ying, et al. Polishing mechanism and precision machining technology of lithium niobate crystal[J]. Journal of the Chinese Ceramic Society, 2008, 36(11): 1609-1614.
- [2] 刘军汉,刘卫国. 超薄 LiTaO_3 晶片的键合减薄技术[J]. 应用光学, 2007, 28(6): 769-772.
LIU Junhan, LIU Weiguo. Ultrathin LiTaO_3 wafer prepared by wafer bonding and mechanical thinning processes[J]. Journal of Applied Optics, 2007, 28(6): 769-772.
- [3] KYEONG D P, MASAYOSHI E, TANAKA S. Preparation of thin lithium niobate layer on silicon wafer for wafer-level integration of acoustic devices and LSI[J]. IEEE Transactions on Sensors and Micromachines, 2010, 130(6): 236-241.
- [4] KYEONG D P, ESASHIAND M, TANAKA S. Wafer-level heterointegration process of SAW devices and LSI[J]. IEEE International Ultrasonics Symposium Proceedings, 2010: 1486-1489.
- [5] SUKHOON J, LEE H, CHO H C, et al. Effect of additives for higher removal rate in lithium niobate chemical mechanical planarization[J]. Applied Surface Science, 2010, 256(6): 1683-1688.
- [6] WU Chiacheng, HORNG Rayhua, WU Dongsing, et al. Thinning technology for lithium niobate wafer by surface activated bonding and chemical mechanical polishing[J]. Jpn J Appl Phys, 2006, 45(4): 3822-3827.
- [7] 杨绪军,陈箫,刘岗,等. 铌酸锂晶片的键合减薄及热释电性能研究[J]. 电子元件与材料, 2011, 30(10): 31-34.
YANG Xujun, CHEN Xiao, LIU Gang, et al. Study on the pyroelectric properties of lithium niobate wafer prepared by wafer bonding and thinning[J]. Electronic Components and Materials, 2011, 30(10): 31-34.
- [8] WANG C H, ZENG J, ZHAO K, et al. Chip scale studies of BCB based polymer bonding for MEMS packaging[J]. Electronic Components and Technology Conference, 2008: 1869-1873.
- [9] 邢彤,袁巨龙,赵文宏,等. 铌酸锂晶片的化学机械抛光质量研究[J]. 机械工程师, 2003, 07: 19-21.
XING Tong, YUAN Julong, ZHAO Wenhong, et al. Study on the chemo-mechanical polishing quality of LiNbO_3 flake[J]. Mechanical Engineer, 2003, 7: 19-21.
- [10] 王胜利,武晓玲,刘玉岭,等. 铌酸锂晶片 CMP 中工艺参数对去除率的影响[J]. 功能材料, 2006, 37: 70-75.
WANG Shengli, WU Xiaoling, Liu Yuling, et al. Influence of process parameters on removal rate of lithium niobate wafer in chemical mechanical polishing[J]. Journal of Functional Materials, 2006, 37: 70-75.
- [11] WANG Shengli, LIU Yuling, LI Zhenxia. Study on chemical mechanical polishing process of lithium niobate[J]. SPIE, 2007, 6722: 672231A-672231A.
- (上接第 157 页)
- [2] SELMEIER P, GRUNWALD R, PRZADKA A, et al. Recent advances in SAW packaging[J]. IEEE Ultras Symp Proc, 2001, 1: 283-292.
- [3] GOETZ M, JONES C. Chip scale packaging technology for RF SAW devices[J]. IEEE Semi Tech/IEMT Symp 27th Annual IEEE/SEMI International, 2002: 63-66.
- [4] 任春岭,鲁凯,丁荣峥. 倒装焊技术及应用[J]. 电子与封装, 2009, 9(3): 15-20.