

doi:10.3969/j.issn.1672-4348.2020.04.008

# 换能器间距对柔性声表面波器件性能的影响

何兴理, 黄诗浩, 林金阳

(福建工程学院 微电子技术研究中心, 福建 福州 350118)

**摘要:** 首先基于 PEI 基板磁控溅射 ZnO 薄膜, 再在薄膜上的两端制备叉指电极, 探讨了不同的叉指间距对这种柔性器件的影响。研究发现, 当两个叉指式换能器 (IDT) 之间的距离增加时, 谐振器的传输幅度会显著衰减。为了制造具有良好传输性能的器件, IDT 之间的间距应小于声波波长的 40 倍。这些结果可以为柔性声波器件的发展提供参考。

**关键词:** 叉指换能器; 声表面波; 氧化锌

中图分类号: TP37

文献标志码: A

文章编号: 1672-4348(2020)04-0349-04

## Effect of the distances between two interdigital transducers on the performance of flexible surface acoustic wave devices

HE Xingli, HUANG Shihao, LIN Jinyang

(Research Center for Microelectronics Technology, Fujian University of Technology, Fuzhou 350118, China)

**Abstract:** ZnO thin film was sputtered by magnetron on the PET substrate, and then interdigitated electrodes were prepared on both ends of the thin film. The effect of different interdigital spacing on this flexible device was discussed. It was found that the transmission amplitude of the resonator attenuates significantly when the distance between two interdigitated transducers (IDT) increases. In order to manufacture devices with good transmission performance, the spacing between IDTs should be less than 40 times of the acoustic wavelength. These results can provide reference for the development of flexible acoustic devices.

**Keywords:** IDT(interdigital transducer); SAW(surface acoustic wave); ZnO

1885 年, 英国物理学家瑞利 (Rayleigh) 在对地震波的研究中发现并从理论上阐明了在弹性固体内除了存在纵波和剪切波外, 还存在一种弹性波。这种弹性波沿半无限固体表面传播, 其能量集中于弹性体的浅表层内, 其振幅随着传入基片材将的深度的增加而迅速减少, 这种波就是声表面波 (surface acoustic wave, SAW), 也叫瑞利波<sup>[1]</sup>。声表面波的传播速度介于 1 000~10 000 m/s, 比电磁波传播速度低 4~5 个数量级, 人们利用该特点结合现代的集成电路技术制备的 SAW 器件具有重复性好等特点<sup>[2]</sup>, 可用于紫外光探测<sup>[3-4]</sup>、压强传感器<sup>[5]</sup>、通信等领域<sup>[6]</sup>。

人们用 AlN、ZnO、PZT 等各种材料作为压电薄膜<sup>[7-9]</sup>进行测试, 通过器件波长、薄膜厚度等方面对柔性 SAW 器件性能展开大量的研究<sup>[10-11]</sup>; 还从优化 SAW 器件的结构设计, 如减小叉指电极对数、获得较小的带宽、减小指宽, 获取更高频率等方面开展研究。目前在叉指换能器 (interdigital transducer, IDT) 间距对 SAW 器件性能的影响方面开展研究较少。本研究基于 ZnO/PET 结构的柔性 SAW 器件, 分析 IDT 的间距对器件传输特性的影响, 有助于为柔性 SAW 器件的优化设计提供参考。

收稿日期: 2020-04-20

基金项目: 福建省自然科学基金项目 (2017J05097)

第一作者简介: 何兴理 (1987—), 男, 福建闽侯人, 副教授, 博士, 研究方向: 声表面波器件。

1 制备与表征

1.1 ZnO 薄膜制备

ZnO 薄膜通过磁控溅射法获得。它以纯度为 99.999% 的 Zn 金属靶做靶材(直径 100 mm,厚度 3 mm),基板温度固定在 100°,靶材与基板的距离为 70 mm,真空度为  $1 \times 10^{-4}$  Pa,通入氧气(99.99%)与氩气(99.99%)混合气体,流量分别为 60、100 sccm。沉积气压维持在 1 Pa,溅射功率为 100 W,偏置电压 100 V,溅射 5min 获得性能优良的 ZnO 薄膜<sup>[12]</sup>。

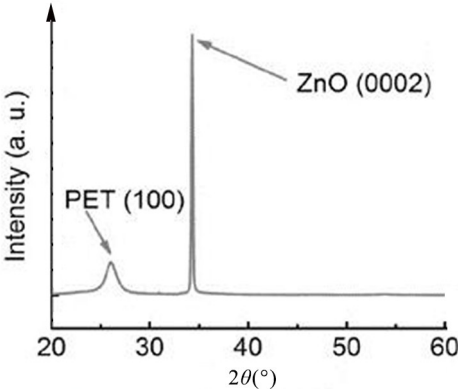


图 1 PET 基板上 ZnO 薄膜的 XRD 图  
Fig.1 XRD pattern of the ZnO film on its PET substrate

图 1 XRD 光谱中 34.3° 处的波峰证实了(0002)晶体取向,26.1° 处较小的峰则对应于 PET 基材(100)方向。ZnO 膜的厚度介于 3.5~4.5 μm。

1.2 SAW 器件制备

柔性 SAW 波器件也采用传统的紫外线设计制造光刻和剥离工艺。通过热蒸发法在压电基板上沉积 Al 膜,其厚度大概为 100 nm,再将柔性 PET 粘贴在硅晶上,以实现更好的处理。SAW 器件制备过程如下:

- (1)将光刻胶通过匀胶机均匀的涂在 ZnO 膜上。
- (2)将 ZnO /PET 硅晶片放在加热板上,在 110° 的洁净箱里烘烤 10 min,使光刻胶内的有机溶剂能否充分挥发,增强胶膜与衬底的黏附性。
- (3)进行曝光,将掩模版上 IDT 的图形转移到光刻胶上;曝光后,将晶片浸入丁酮显影,显影至图形的边缘线条清晰为准。
- (4)显影后经过 120° 下,10 min 的烘烤,增加显影后光刻胶预衬底的粘附性。

- (5)采用磷酸稀释液对 Al 进行腐蚀。
- (6)最后进行去胶,最终器件如图 2 所示。

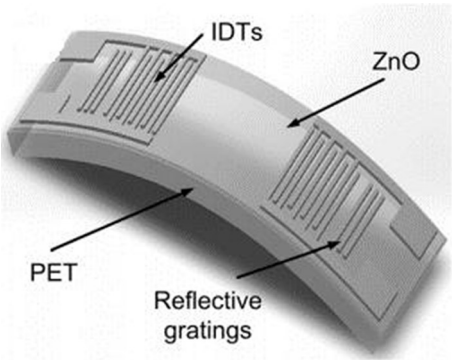


图 2 ZnO / PET 上的柔性 SAW 的 3D 示意图  
Fig.2 3D schematic diagram of the flexible SAW on the ZnO/PET

图 2 中,所有的 SAW 器件的 IDT 电极均由 20 对叉手指组成。每个 IDT 内电极的间隔为 3.5 μm,两个 IDT 之间的距离为 10、20、30、50λ,分不同组进行测试。反射器(reflective gratings)用来增强驻波的强度。

2 测试结果分析

如图 2 所示,在输入叉指换能器上加一个电信号,就会在输入叉指换能器的两根汇流条上产生极性相反的电势,进而在相邻的指条间产生电场强度相反的电场。由于 PET 基底具有逆压电效应,在电场的作用下,ZnO 薄膜表面就会发生机械形变。如果所加的电信号是交变的,ZnO 薄膜表面的形变就会以波的形式沿 ZnO 薄膜表面传播出去。所激励的声表面波传播到输出叉指换能器时,会促使输出叉指换能器下面的 ZnO 薄膜也发生机械形变。由于基底也具有正压电效应,会在 ZnO 薄膜的某些方向上产生电荷;由于叉指电极的存在,电荷会积累在由极上,在输出叉指换能器的汇流条上就能够检测到相应的电信号,而这个电信号可用 S 参数来表示<sup>[2]</sup>。

S 参数(即散射参数)包含信号的幅度和相位等信息,利用 S 参数基本能确定柔性 SAW 器件的特征。因此用 S 参数评估被测器件的反射信号和传送信号。基于 ZnO/PET 的柔性 SAW 器件的 S 参数将使用 Agilent E5071C 网络分析仪进行测量。

图 3 比较了具有不同 SAW 间距的两端口

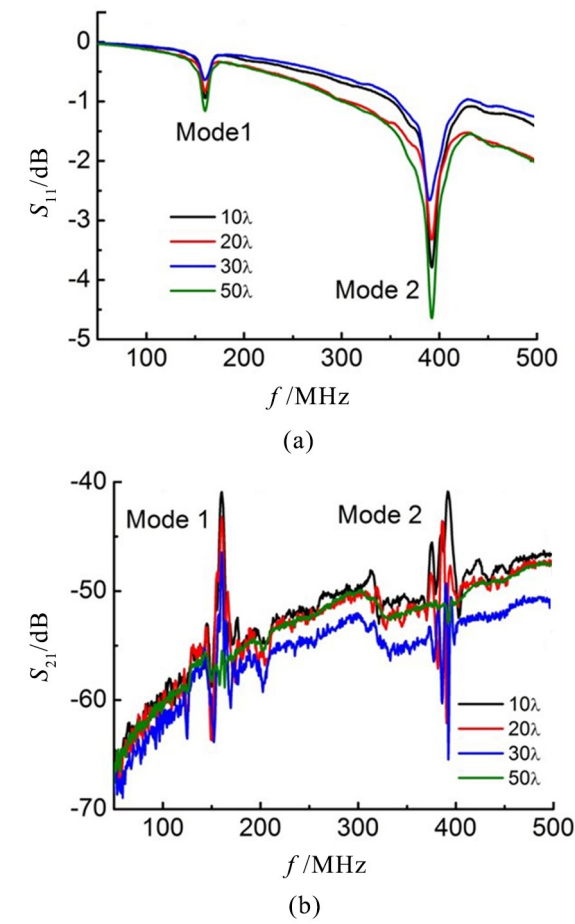


图 3 具有不同 IDT 间距的两端口 SAW 器件的比较 (IDT 对数为 20)

Fig.3 Comparison of two-port SAW devices with different IDT spacings ( with 20 pairs of IDTs for analysis)

SAW 谐振器的  $S$  参数。器件通过相同的工艺制造,两个 IDT 之间的距离分别为 10、20、30、50λ,波长固定为 12 μm。反射光谱存在两个明显的下降,分别对应于谐振模式 1 和模式 2。回波损耗在  $S_{11}$  光谱中随机分布,如图 3(a)。对于某些制造的器件,具有 50λ IDT 间距的器件甚至比 30λ IDT 间距器件具有更好的性能,表明 IDT 间距对反射特性几乎没有影响。然而,如果考虑透射光谱,如图 3(b)所示,当间距增加时,可以发现两种模式的共振峰都存在明显的衰减。具有 10λ IDT 间隔的器件在模式 1 的插入损耗为 -41 dB,而当 IDT 间隔为 50 λ 时,插入损耗将增加至 -55 dB。

如图 4 所示,对于 IDT 距离超过 50λ 的 SAW 器件,在透射光谱(幅度 < 3 dB)中几乎找不到明显的峰值。因此,在柔性聚合物基板上构建的

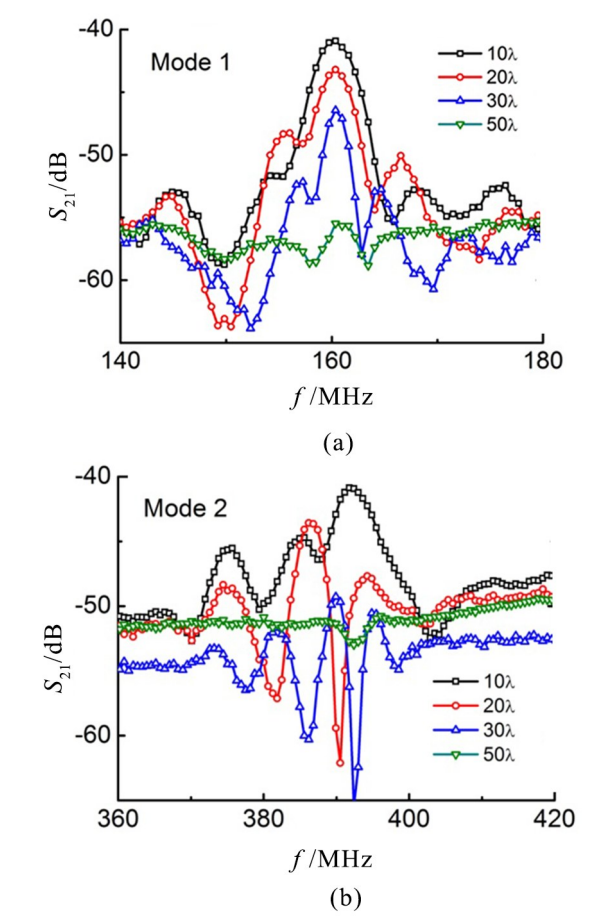


图 4 具有不同 IDT 间隔的两端口柔性 SAW 器件的传输特性比较

Fig.4 Comparison of transmission characteristics of two-port flexible SAW devices with different IDT spacings

SAW 滤波器的透射特性严重依赖于 IDT 的间距,这是聚合物基材的高能耗造成的。总体而言,基于刚性基底的 SAW 滤波器,其 IDT 的间距通常超过 100λ,但基于聚合物基底的柔性 SAW 滤波器则不然。根据经验,当 ZnO 薄膜的厚度与器件波长相当时,两个 IDT 之间的间距不应大于 40λ。柔性声表面波器件的插入损耗要大于基于刚性基板的插入损耗。为了制造具有更好传输特性的器件需要增加 IDT 的数量,但是其器件的性能仍然很难与具有完全相同的 IDT 配置的刚性基板上的产品竞争。在通信领域中使用柔性声波器件作为滤波器等可能不太实用,但由于它是弯曲的,因此柔性声波器件对外部干扰的影响非常敏感,这意味着该器件将在传感领域方面大有用处。

### 3 结语

在 PET 基板上成功制备了高质量的 ZnO 薄膜,薄膜厚度介于  $3.5 \sim 4.5 \mu\text{m}$ ,结合光刻、显影等工艺,并利用 ZnO 薄膜成功制备出柔性 SAW 器件,探索了器件结构中不同的 IDT 间距对柔性

SAW 器件传输特性的影响。结果显示,在柔性聚合物衬底上构建 SAW 器件时, IDT 间距小于  $40\lambda$  的间距时,传输特性最佳,插入损耗最小。当间距大于  $40\lambda$  且逐渐增加时,衰减也逐渐增加。该结论可以为进一步优化柔性声表面器件的性能奠定了基础。

### 参考文献:

- [1] RAYLEIGH L. On waves propagated along the plane surface of an elastic solid[J]. Proceedings of the London Mathematical Society, 1885, s1-17(1): 4-11.
- [2] 周剑. 柔性声表面波器件基础研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2015.
- [3] MOHANAN A, PARTHIBAN R, RAMAKRISHNAN N. Shadow mask assisted direct growth of ZnO nanowires as a sensing medium for surface acoustic wave devices using a thermal evaporation method[J]. Journal of Micromechanics and Microengineering, 2016, 26(2): 025017.
- [4] HE X, ZHOU J, WANG W, et al. High performance dual-wave mode flexible surface acoustic wave resonators for UV light sensing[J]. Journal of Micromechanics and Microengineering, 2014, 24(5): 055014.
- [5] ZANG Y, ZHANG F, HUANG D, et al. Flexible suspended gate organic thin-film transistors for ultra-sensitive pressure detection[J]. Nature Communications, 2015, 6(1): 6269.
- [6] KOIKE J, SHIMOE K, IEKI H. 1.5 GHz low-loss surface acoustic wave filter using ZnO/sapphire substrate[J]. Japanese Journal of Applied Physics, 1993, 32(Part 1, No. 5B): 2337-2340.
- [7] ZHOU J, DONG S, JIN H, et al. Flexible surface acoustic wave device with AlN film on polymer substrate[J]. Journal of Control Science and Engineering, 2012, 2012: 1-5.
- [8] PARK S, VOSGUERICHIAN M, BAO Z. A review of fabrication and applications of carbon nanotube film-based flexible electronics[J]. Nanoscale, 2013, 5(5): 1727.
- [9] LUO J, HE X, ZHOU J, et al. Flexible and transparent surface acoustic wave microsensors and microfluidics[J]. Procedia Engineering, 2015, 120: 717-720.
- [10] JIN H, ZHOU J, HE X, et al. Flexible surface acoustic wave resonators built on disposable plastic film for electronics and lab-on-a-chip applications[J]. Scientific Reports, 2013, 3(1): 2140.
- [11] XU H, DONG S, XUAN W, et al. Flexible surface acoustic wave strain sensor based on single crystalline LiNbO<sub>3</sub> thin film[J]. Applied Physics Letters, 2018, 112(9): 093502.
- [12] 何兴理. 新型声波谐振器及其传感应用研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2015.

(责任编辑: 方素华)