

# LiNbO<sub>3</sub> 基片上表面漏声波的研究

李永川 章 德

(南京大学声学研究所 近代声学国家重点实验室 南京 · 210093)

## 1 前言

自本世纪六、七十年代以来,声表面波技术取得了很大的发展,声表面波(SAW)器件得到了广泛的应用。时至今日尤其是高频器件(上千兆赫)在军事和民用上越来越成为迫切的需要,但由于亚微米工艺的困难,使 SAW 器件向高频的发展受到了限制,这迫使我们不得不从采用选择新的压电材料、新的设计方法以及寻找别的波动模式等途径入手,以期在同样的工艺条件下,实现高频器件。而一般的纵声波比表面波的速度快 2 倍,因此对具有纵波性质的 SLAWs 的研究就显得十分重要与活跃,国内外许多学者都有一些相关报道<sup>[1, 2, 3]</sup>。本文中介绍了我们在这方面的一些工作,它以 LiNbO<sub>3</sub> 样品为例进行了一些搜索,发现在欧勒角为(0°, 90°)和欧勒角为(, 0°, 0°)的某些范围时,SLAWs 的声速可高达 7000m/s,并在实验上证实了它们的存在,得到了符合理论计算的实验结果。

## 2 基本原理和计算方法

理论计算所用的坐标如图 1 所示: X<sub>1</sub> 指向声波的传播方向(箭头所指的方向), X<sub>3</sub> 指向基片的外法线方向, X<sub>3</sub> 以下为半无限晶体。则晶体的切割和传播方向由欧勒角 , , 确定<sup>[4]</sup>,基本的波动方程为:

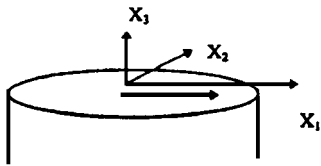


图 1 坐标系统

$$\begin{aligned} (\Delta u_j / t^2) &= c_{ijl} (\Delta u_k / x_i x_l) + e_{kj} (\Delta \phi / x_i x_k) \\ (\Delta u_k / x_i x_l) &= \ddot{y} (\Delta \phi / x_i x_j) \end{aligned} \quad (1)$$

其中,  $c_{\bar{i}jkl}, e_{kj}, \ddot{y}$ , ( $i, j, k, l = 1, 2, 3$ ) 分别表示基片的密度、弹性常数、压电常数及介电常数。 $u_j$  分别表示弹性位移部分波向量及准静电电势。(1)式的解具有如(2)式形式。其中

$$U_i = \sum_{n=1}^4 A^{(n)} e^{i^n k(x_3 + X_1 - vt)} \quad (i=1, 2, 3)$$

$$U_4 = \sum_{n=1}^4 A^{(n)} e^{i^n k(x_3 + X_1 - vt)} \quad (2)$$

$(^{(n)}, k$  分别为 X<sub>3</sub> 方向单位波长的衰减系数及沿着 X<sub>1</sub> 的波数,  $i^{(n)}$  ( $i=1, 2, 3, 4$ ) 正交本征矢量部分,  $v$  是相速度,通过把方程组(2)代入方程(1)和在准静电近似下的 Maxwell 方程里得到的 Christoffel 方程,并从中选出 4 个根  $(^{(n)}, n=1, 2, 3, 4$ , 其中 2 个有负虚部的根表示向下的衰减的部分波,另外 2 个具有负实部和正的虚部代表向固体中辐射的部分波,最后  $i$  及  $j$  还须满足如下的边界条件:

$$[c_{3ki} (u_k / x_i) + e_{k3} (\phi / x_k)]_{x_3=0} = 0 \quad (3)$$

$$[D_3 - D_{3v}]_{x_3=0} = 0 \quad (4)$$

$$[\phi]_{x_3=0} = 0 \quad (5)$$

其中,  $D_3, D_{3v}$  分别表示在晶体中和真空中的法向电位移。后 2 个方程分别表示在自由化和金属化表面状态下的电学边界条件。根据波动方程和边界条件编制的计算机软件可在给定压电材料下搜索各种切割方向和传播方向的 SAWs 速度以及 SLAWs 的速度和衰减系数,反过来又可藉此选择材料及其特定的切割方向和传播方向,找到各种合适的材料及其切割方向和传播方向,用以制作表面波器件。

## 3 理论计算结果

本文以 LiNbO<sub>3</sub> 为样品,在表面分别为自由化和金属化两种情况下,在欧勒角为(0°, 90°)的 的一定范围以及欧勒角为(, 0°, 0°)的 的一定范围进行了搜索,得到的理论计算结果如图 2、图 3 所示:

图 2 为 SLAW 与 SAW 随角度 变化时的速度比较,可以看出 SLAW 的速度非常高,其速度均在 6700 ~ 7350m/s 之间,几乎是 SAW 速度(3400 ~ 3800m/s)的 2 倍。一个特殊的例子是 = 0°, = 38°; = 90°; SLAW 金属化和自由化表面的速度分别为: 7324m/s、7314m/s, 机电耦合系数 0.137%, 其金属化表面和自由化表面的衰减系数分别为 1.0915 × 10<sup>-5</sup>dB/、1.0915 × 10<sup>-6</sup>dB/ , 非常的小。图 3 表示在欧勒角(, 0°, 0°)的 SLAW 与 SAW 速度之比较。可以看出 SLAW 的速度在 6500m/s ~ 7000m/s, 比起 SAW 的 3800m/s 要大一些。一个典型的例子是

欧勒角(  $16^\circ; 0^\circ; 90^\circ$  )SLAW 的金属化与自由化表面的速度分别为  $6702\text{m/s}$ 、 $6722\text{m/s}$ ，其压电系数是  $0.596\%$ ，在自由化和金属化表面的衰减系数分别为  $9.82 \times 10^{-3}\text{dB/}$ 、 $9.28 \times 10^{-5}\text{dB/}$ 。

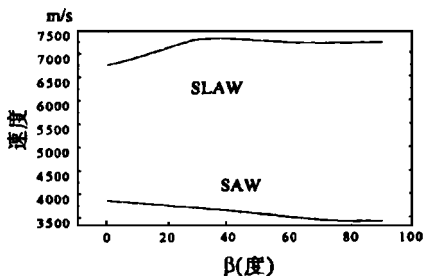


图2 在欧勒角为(  $0^\circ; 90^\circ$  )的  $\text{LiNbO}_3$  基片上 SLAW 和 SAW 的速度随 变化的比较

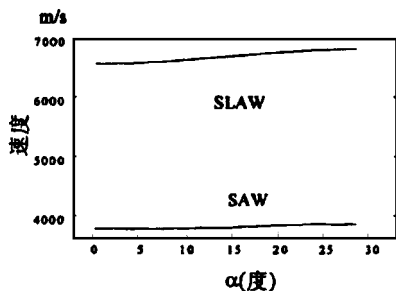


图3 在欧勒角为(  $0^\circ; 0^\circ$  )的  $\text{LiNbO}_3$  基片上 SLAW 和 SAW 的速度随 变化的比较

#### 4 实验结果

我们测得在  $\alpha = 0^\circ; \alpha = 38^\circ; \alpha = 90^\circ$  时  $\text{LiNbO}_3$  的 SAW 速度为  $3660\text{m/s}$ ，测得 SLAW 的声速为  $7140\text{m/s}$ ，这与理论计算结果符合得很好。实验中的波形图如图4所示，其中以频率  $144.5\text{MHz}$  为中心的波形图为 SAW，而以  $288\text{MHz}$  为中心的表示 SLAW。我们还对欧勒角为(  $16^\circ; 0^\circ; 90^\circ$  )的  $\text{LiNbO}_3$  晶片进行了实验测试，测得其表面波和表面漏声波的速度分别为  $3802\text{m/s}$  和  $6830\text{m/s}$ ，这与理论计算结果符合得非常好。实验中的频谱图如图5所示，其中以频率  $144.5\text{MHz}$  为中心的波形图为 SAW，而以  $288\text{MHz}$  为中心的表示 SLAW。

#### 5 结束语

由于 SLAWs 在传播过程中要向固体内部不断辐射能量，而发生能量损失这就要求所选择的材料及它的一定切割和传播方向的 SLAWs 具有较小的衰减系数，为了作一定带宽的高频器件也需要有大的机电耦合系数，另外还需材料温度系数好，这将是今后工作的方向。本文的实验工作得到了电子部55所李勇和谢中华2位工程师和南京大学声学所吴频和张伟2位同志的帮助，在此一并表示感谢。

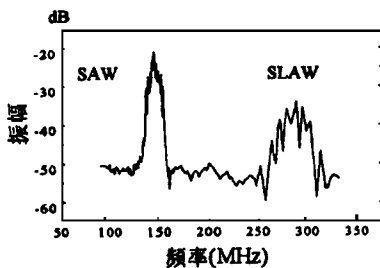


图4 在欧勒角为(  $0^\circ; 38^\circ; 90^\circ$  )的  $\text{LiNbO}_3$  基片上的实验频谱图

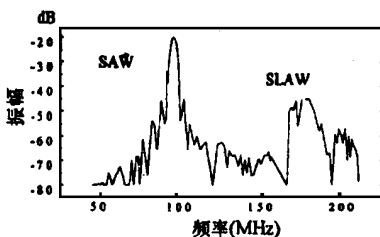


图5 在欧勒角为(  $16^\circ; 0^\circ; 90^\circ$  )的  $\text{LiNbO}_3$  基片上的实验频谱图

#### 参考文献

- 1 D.Zhang, G. M. Crean, A. Shallow, T. Flaherty and Y. A. shui. IEEE Ultrasonics Symposium, 1993, 431 ~ 434
- 2 A. I. Kozlov. IEEE Ultrasonics Symposium, 1995; 197 ~ 200
- 3 T. Sato and H. Abe. IEICE Trans. Fundamentals, 1994; E-77-A: 1864 ~ 1866
- 4 J. J. Campbell, W. R. Jones. IEEE Transactions, 1968; SU-15: 209 ~ 217