

# 用刀刃技术测 SAW 速度

干 昌 明

(南京大学声学研究所)

1985年1月31日收到

本文介绍了一种激光探针(刀刃技术)测 SAW 速度的方法。用这种方法测量了 Y 切-X 传播石英晶片的自由表面 SAW 速度及金属化表面 SAW 速度。速度值的准确度优于 1%，精密度约为 0.4%。

## 一、引 言

利用简单光探针可测量透明材料的体声速度和材料的表面声波速度。利用改进的光学系统,准确度为 0.5%,精密度为 0.1%<sup>[1]</sup>。对于表面声波还有一种非常有用的方法,通常称为刀刃技术。这种技术最早由 R. Adler<sup>[2]</sup> 等人用来再现表面声波。R. L. Whitman<sup>[3]</sup> 等人首先详细讨论了它的作用原理。刀刃技术可以恢复表面声波的相位和振幅信息。文献[4-5]的作者们分别对他们各自提出的较为复杂的探测方式,导出了精确估计 SAW 相位速度的方法,但都未给出具体测量数据。我们利用刀刃技术的激发信号与接收信号的相干性,组成一可测 SAW 相速的简单干涉系统。用普通的测量显微镜作为移动装置,接收信号经检波后用双笔

x-y 记录仪记录。测量记录仪曲线上极大值(或极小值)个数及距离来求得波长,避免了人为的读数误差。相速的准确度可优于 1‰,精密度为 0.4‰。

## 二、原理概述

SAW 速度测量装置如图 1 所示。根据 R. L. Whitman<sup>[3]</sup> 等人的计算,用刀刃截取 1/2 光束后,对于声行波,用光电接收器可得到输出信号

$$I_{sig} = 4\pi\alpha(d/\Lambda)(\delta/\lambda)P_0 \sin(\omega_m t - kx) \quad (1)$$

式中  $\Lambda$  为声波长,  $\lambda$  为光波长,  $\delta$  为声振动位移振幅,  $\omega_m$  为声角频率,  $k = 2\pi/\Lambda$  为波数,  $d = \lambda f_1/D$  为光斑直径,  $f_1$  为透镜焦距,  $D$  为光束直径,  $P_0$  为总入射光功率,  $\alpha$  为光电检测器灵敏度 (A/W),  $I_{sig}$  为光电接收器的信号电流。

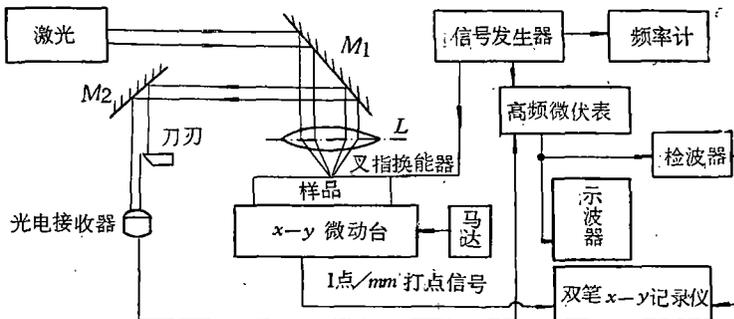


图 1 SAW 速度测量装置

式(1)表明,  $I_{sig} \sim \delta$ , 其位相与光斑的位置  $x$  有关。

为了获得测量相速的相位信息, 接收系统可以简单地使用相干信号, 即只要从声振动激发源引出一适当大小的信号加到接收端, 就能组成一相位敏感的干涉系统。

当光斑在样品表面上沿着 SAW 传播方向移动时, 输出信号幅度将出现极大、极小值(在示波器上可以观察到)。如果我们适当选取坐标原点和开始时间, 可以把直接信号  $S_d$  和接收信号  $S_r$  分别表示为

$$S_d = A \sin(\omega_m t); S_r = B \sin(\omega_m t - kx)$$

相加后的合成振幅出现极大值的位置由下面条件决定

$$kx = 2n\pi$$

式中  $n = 0, 1, 2, \dots$ 。出现极小值的位置由下面的条件决定

$$kx = (2n + 1)\pi$$

式中  $n = 0, 1, 2, \dots$ 。

所以两相邻极大或极小值之间距离为  $\Lambda$ 。若再从频率计上读得信号源频率  $f$ , 即可求得 SAW 的速度  $v = f\Lambda$ 。为了提高测量精度, 我们通常测  $N$  个声波长的距离  $L$ ,  $\Lambda = L/N$ 。当用马达来移动微动台时, 在  $x-T$  记录仪上可得到一条连续变化的干涉信号曲线和另一条表示距离的曲线, 如图 2 所示。

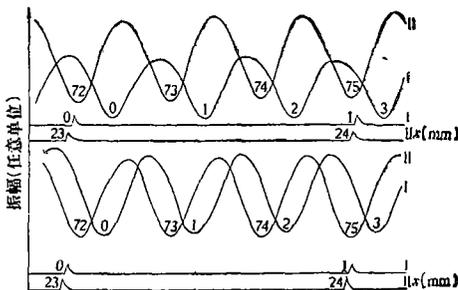


图 2 YX 石英 SAW 速度测量中干涉信号随距离变化曲线

上部: 金属化表面,  $f = 9.9223\text{MHz}$ ,  $1-n = 0-3$  干涉波形;  $11-m = 72-75$  干涉波形。  
下部: 自由表面,  $f = 9.9224\text{MHz}$ ,  $1-n = 0-3$  干涉波形;  $11-m = 72-75$  干涉波形。

### 三、实验结果

测量了 YX 石英自由表面 SAW 速度及金属化表面 SAW 速度。根据上面介绍, 可以得到速度的计算公式为

$$v = \frac{d_m - d_n}{m - n} \times f \text{ km/s} \quad (2)$$

式中  $d_m$  及  $d_n$  单位为 mm,  $f$  的单位为 MHz。测量结果列于表 1。本方法测得自由表面的 SAW 速度与公认值 (3.158 km/s) 相比, 可知准确度优于 1%。

表 1 YX 石英自由表面 SAW 速度及金属化表面 SAW 速度测量数据

样品编号	自由表面速度 $v_0$ km/s	金属化表面速度 $v_m$ km/s	$\Delta \bar{v} / \bar{v}_0$
1	3.1613	3.1563	$1.3 \times 10^{-3}$
2	3.1613	3.1553	
3	3.1597	3.1565	
4	3.1592	3.1567	
平均值	3.1604	3.1562	
标准偏差	$\pm 0.0006$	$\pm 0.0003$	

使用的样品结构如图 3 所示。

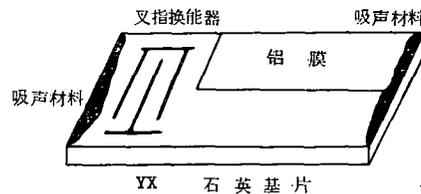


图 3 样品结构示意图

### 四、讨论

样品 SAW 速度是通过频率  $f$  及波长  $\Lambda$  的测量求得。当采用足够稳定的信号源后, 精度主要决定于  $\Lambda$  的测量, 也即决定于长度  $L$  的测量。

$L$  的测量精度与下列因素有关

1. 光斑移动方向与波传播方向符合程度, 这里有二种偏离方式, 如图 4 所示。

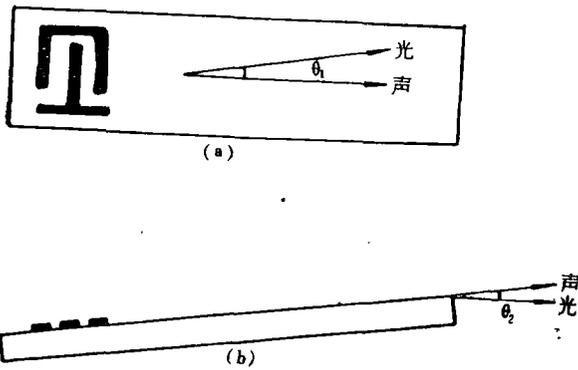


图4 二种产生偏差原理图

(a) 水平方向偏差, (b) 垂直方向偏差.

实验中一般不可能调节到  $\theta_1, \theta_2 = 0$ , 所以这个方法作为相对测量更为合适. 实际工作中, 若能使  $\theta_1, \theta_2 < 1^\circ$ , 对绝对测量影响就不会很大, 估计不大于  $2 \times 10^{-4}$ .

2.  $x-y$  微动台 (JLC 型读数显微镜) 刻度盘上的读数与  $L$  的实际长度存在示值误差. JLC 型测量显微镜的示值误差为

$$\pm(5 + 15/L)\mu \quad (3)$$

其中  $L$  为被测件长度 (mm). 这一误差是由直接利用螺旋测微器分刻度读数时引起的偶然误差. 但我们是改为在  $x-T$  记录仪上读出距离 (见图 2), 读数精度可提高. 我们使用了 WATANABE 公司的 WX4302 双笔  $x-y$  记录

仪, 及南京微分电机厂的 SD60E 伺服电动机, 在记录纸上可获得每毫米 255 小格的良好重复性. 由于我们选取  $d_m, d_n$  点之间为  $72\lambda$ , 所以由扫描非线性引起的示值误差约为  $3 \times 10^{-4}$ . 故利用本系统有可能获得 0.4‰ 的精密密度.

本系统的缺点是适用范围不广, 式(1)的推导中指出<sup>[3]</sup>, 必须满足  $\lambda \geq d$  的条件.

$$d = \frac{\lambda}{D} f_1, \quad D \text{ 及 } f_1 \text{ 受实验条件的限制.}$$

所以这一方法的工作频率上限受到一定限制. 其次基片需有足够的光洁度, 要有足够的长度. 本方法的优点是简便、工艺简单.

作者对郁炯、李有志二位同志提供了测试样品表示感谢.

### 参 考 文 献

- [1] G. I. Stegeman, *IEEE Trans. on Sonics and Ultrasonics*, SU-23-1(1976), 33.
- [2] R. Adier, et al., *IEEE Trans. on Sonics and Ultrasonics*, SU-15-3(1968), 157.
- [3] R. L. Whitman and A. Korpel, *Applied Optics*, 8-8(1969), 1567.
- [4] H. Engan, *IEEE Trans. on Sonics and Ultrasonics*, SU-25-6 (1978), 372.
- [5] R. M. DE LA RUE, *IEEE Trans. on Sonics and Ultrasonics*, SU-24-6 (1977), 407.

## Y 型吸隔声屏障的设计及应用

朱 煜 光

(浙江省环境保护科学研究所)

1985年1月17日收到

### 一 前 言

在工业噪声的治理中, 通常首先想到使用的手段是消声和隔声. 可是实际遇到的治理工程中, 会出现既不能消声也不能隔声的情况.

应用声学

我们在 1984 年治理的某焦化厂煤气压缩机房的噪声就属于这种情况. 由于不允许停止生产, 因此消声器无法安装. 此外, 万一煤气压缩机需要维修, 也得争分夺秒地进行, 一切妨碍操作的装置均不受欢迎. 因此厂方提出不能采用隔声罩的办法. 而车间噪声在 100dB(A) 左右,

• 41 •