

固-固界面的非线性效应

陈建军 姜文华 水永安

(南京大学声学研究所 近代声学国家重点实验室 南京·210093)

1 实验

本文描述的 2 个实验旨在通过检测非线性反射横波来考察界面耦合状况的变化对非线性的影响, 测量非线性反射横波的实验装置如图 1 所示, 研究的界面包括玻璃-铜, 玻璃-压电陶瓷, 当折射介质是铜时, 下面不加信号发生器和放大器, 换能器为 136° Y 切割的 LiNbO₃ 片, 用水杨酸苯脂粘到玻璃上, 玻璃与铜、压电陶瓷之间也用水杨酸苯脂耦合, 水杨酸苯脂的熔点为 41~43°, 入射角是玻璃的临界角, 8MHz 的调制脉冲经放大滤波后加到发射横波换能器, 反射的二次谐波由基频为 16MHz 的横波换能器接收, 经滤波放大后用示波器或频谱仪观察。

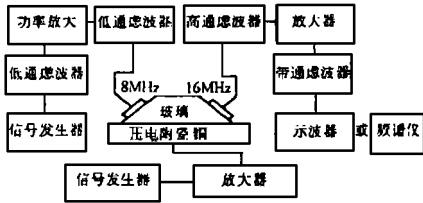


图 1 测量横波非线性反射的实验装置

2 实验与结果

2.1 耦合层状态对非线性反射横波的影响

实验研究的是玻璃-铜界面, 两者用水杨酸苯脂粘合在一起, 当水杨酸苯脂完全结晶时, 所测得的线性反射横波和非线性反射横波如图 2 所示, 上面是线性的, 下面是非线性的, 然后从铜的下方, 用温度低于 70° 的水对铜进行加热, 由于铜是热的良导体, 必然使水杨酸苯脂逐渐受热而熔化, 而玻璃是热的不良导体, 加热不会使换能器的耦合状况发生变化, 我们发现在耦合层的熔化过程中, 非线性反射横波迅速增加, 在耦合层完全熔化时, 它增大到一个极大值, 见图 3。比较图 2 和图 3, 我们可看到, 非线性反射横波增加了 3~4 倍, 而线性反射横波无明显变化, 停止加热后, 铜块自然冷却, 水杨酸苯脂逐渐结晶, 我们观察到线性反射横波先缓慢减小, 减到最小后又慢慢增加, 恢复原状, 而非线性反射横波变化却

没有这样平缓, 它是跳跃着逐渐变小, 最小时几乎看不到波形, 然后跳跃着增大, 恢复原状。

这个实验近似地模拟了耦合层由强(完全结晶)至弱(完全熔化)的过程, 在这过程中非线性变化要远远大于线性变化, 这就为非线性用于耦合层强度的无损检测提供了一定的实验依据。

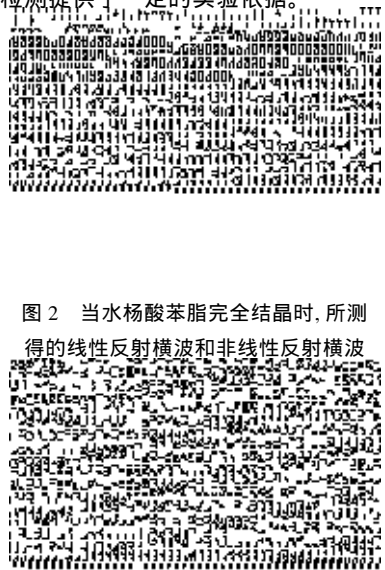


图 2 当水杨酸苯脂完全结晶时, 所测得的线性反射横波和非线性反射横波

图 3 当水杨酸苯脂完全熔化时, 所测得的线性反射横波和非线性反射横波

图 4 压电陶瓷未加信号时的频谱(前面一个是二次谐波)

2.2 界面振动对非线性反射横波的影响

这个实验研究了玻璃-压电陶瓷界面, 其中, 压电陶瓷是长方形薄片, 厚度为 0.4cm, 作沿厚度方向



图5 压电陶瓷加信号的频谱(前面一个是二次谐波)

的纵振动,它的共振频率在 488.5kHz,我们可观察到,在陶瓷的共振频率处,接收到的非线性反射横波受到调幅作用,在频谱仪上,我们可发现,在二次谐波主瓣两侧 $\pm 488.5\text{kHz}$ 的旁瓣都有了提升,而主瓣没有多大改变,见图 4、图 5,并且调制幅度随着压电陶瓷振动幅度的增加而增加,而线性反射横波却基本保持不变,没有这种调制现象。

3 讨论和结论

理论计算表明,非线性反射横波的振幅在入射媒质的临界角附近达到极大,其幅度决定于界面非线性的强弱^[1],线性反射横波振幅则决定于界面的线性性质^[2],以上 2 个实验中均观察到界面状态变化时,线性反射基本保持不变,而非线性反射有显著的变化,这说明界面的非线性特性更与界面的状态

有关,上述的第一个实验在一定程度上类似于 Solodov 的接触非线性^[3],而第二个实验类似于 Sutin 的实验^[4],Sutin 曾研究了金属中裂纹的振动对传播的二次谐波的影响,发现裂纹的振动大大增大了二次谐波的激发效率,我们发现界面的振动对二次谐波产生了调制,虽然由于调制信号与示波器不同步,而使二次谐波波形边缘模糊,似乎幅度增大,但用频谱仪分析可明显看到是调制现象,可以说,交变的应力将会调制界面的非线性特性,目前,我们还不能定量地描述这些现象,有待于进一步的工作去完成。

近年来,非线性声学方法在粘夹层强度、金属疲劳的无损评价中的应用受到了越来越多的重视^[5],我们所做的工作表明,非线性参量确实可作为表征界面耦合状态的一个特征参量。

参考文献

- 1 S.Zhou, W. Jiang and Y. Shui, *J. Appl. Phys.*, 1995; 78: 39
- 2 B. A. Auld, *Acoustic Fields and Waves in Solids*, Vol. II 1~63
- 3 Solodov *IEEE Ultrasonic Symposium*, 1994; 1279~1283
- 4 A. S. Korotkov and Sutin, *Acoustics Letter*, 1994; 18: 59~62
- 5 Iosif E. Shkolnik and Timothy M. Cameron, *14th ISNA* 1991; 316~320

压电谐振器振动不均匀性的研究

徐从元 毛 葳 姜文华

(南京大学声学研究所 近代声学国家重点实验室 南京·210093)

1 引言

对压电谐振器已有过许多研究^[1],已经知道,某些晶体谐振器能工作在不同的振动模式。一般认为,通过仔细设计谐振器的形状可避免不同模式之间的耦合。在这种情况下,不同的振动模式可在理论上分别进行处理,因而问题变为一维的。但是我们的测量表明,由某些压电材料制成的谐振器,由于晶片的有限尺度,不同模式之间的耦合是很难避免的,即使一个模式的谐振频率远离另一模式。不同模式之间的

耦合导致谐振器表面振动振幅的起伏。本文报导了实验和结果。

2 实验描述

激光探针是一种非接触的振动振幅检测装置,它的工作原理已有过许多描述^[2,3],激光束的直径是很小的,当将它沿振动面扫描时,则可测量振动振幅沿表面的分布。用这样的方法我们研究了压电谐振器振动振幅的不均匀性。实验中观察了 3 种不同材料和不同直径-厚度比的圆片状谐振器: Z-切割 LiN-