

液体膜切变波共振吸收谱仪的研制与应用*

林国淙, 熊小敏, 丁喜冬, 张进修

(中山大学光电材料与技术国家重点实验室, 广东 广州 510275)

摘 要: 自行研制了液体膜切变波共振吸收谱仪, 给出了该仪器的工作原理和技术指标, 应用该仪器对厚度为 0.1 mm 的水膜进行测试, 在 150 ~ 550 Hz 的频率范围得到 8 个共振吸收峰, 并发现系统的共振频率由空载时的 150 Hz 以下移至 550 Hz 以上, 显示水膜已参与了振动, 提供回复力矩, 故全部的峰均可能是水的共振吸收峰, 其中 178 Hz 和 476 Hz 的吸收峰有可能是固体起振 Cu 丝与水相互耦合的共振吸收峰。

关键词: 液体膜; 共振吸收; 谱仪

中图分类号: 0572.11 **文献标识码:** A **文章编号:** 0529-6579 (2005) 04-0129-03

现有谱学在波数为 $10^{-2} \sim 10 \text{ cm}^{-1}$ (电磁波) 区间出现可测量的空白区^[1]。如果用机械振动的方法在液体或固体中产生力学振动横波, 由于凝聚态物质中横波传播速度远小于光速, 故频率 f 为 $10^{-2} \sim 10^3 \text{ Hz}$ 频段的连续变频低频横波可在液体中产生波数 ν 为 $10^{-2} \sim 10^2 \text{ cm}^{-1}$ 的切变波, 依液体粘滞系数大小而变化^[1,2]。通过测量切变波的应变落后于产生切变波应力的相角就可测量出切变波传播所引起的振动能耗散 $\tan\Phi$, 从 $\tan\Phi - f$ 或 $\tan\Phi - \nu$ 曲线的分析即可知是否有力学的共振吸收峰出现, 由力学共振吸收峰的相关分析, 同样可计算出溶液和部分软物质中共振源处于 0.3 ~ 100 nm 或更大尺度的物质特征^[1]。

本课题组研制出的切变波共振吸收谱仪^[1], 已经用于对固体、液体、颗粒物质等的研究^[3-6], 并对内耗频率峰的机理以及所能提供的信息进行了探讨^[7]。虽然研制的转筒型切变波共振吸收谱仪可以对液体进行研究^[5], 但需要液体的体积约 30 mL, 而不少液体, 尤其是生命液体试样的制备十分困难, 少量试样已十分昂贵, 本文的目的是研制液体膜切变波共振吸收谱仪, 为微量生命液体(如蛋白质、核酸、糖、脂的水溶液)等提供新的研究手段。

1 工作原理和技术指标

液体膜切变波共振吸收谱仪是在对本课题组研制研制的转筒型切变波共振吸收谱仪进行改进而成的^[1], 把转筒型切变波共振吸收谱仪的可扭转振动塑料筒和盛液体的夹层圆筒改装成玻璃扭转振动板

8 和带圆孔的固定玻璃板 9 (如图 1 所示), 以便对液体膜切变波的共振吸收进行研究。

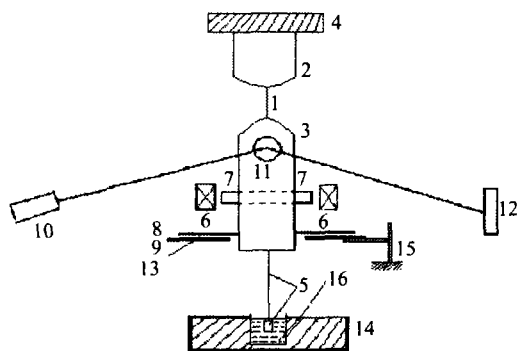


图 1 液体膜切变波共振吸收谱仪的结构原理图

Fig.1 Schematic diagram of the liquid film resonant absorption mechanical spectrometer (LFRAMS).

1. 起振元件(固体丝或片); 2. 可升降的固定夹头;
3. 扭转振动的夹头及摆杆; 4. 上支架; 5. 尼龙线和配重阻尼锤; 6. 驱动线圈; 7. 永久磁铁; 8. 玻璃扭转振动板; 9. 带圆孔的固定玻璃板; 10. 准直光源;
11. 反射镜; 12. 接收振动信号的差分光电池; 13. 被测液体膜; 14. 底板和容器; 15. 支架; 16. 阻尼油。

测量时, 先将可升降的固定夹头 2 上移并使玻璃扭转振动板 8 和带圆孔的固定玻璃板 9 分开, 再在带圆孔的固定玻璃板 9 上滴入已计量体积的被测液体 13, 将可升降的固定夹头 2 下移至与带圆孔的固定玻璃板 9 贴紧并使液体刚好不被挤出。液体膜的厚度可在 $1 \sim 10^{-2} \text{ mm}$ 范围内调节并可从液面面积和体积计算出。起振元件 1 使用金属材料(如

* 收稿日期: 2004 - 10 - 28

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(10027001); 广州市科技新星计划资助项目(2000 - k - 004 - 01)

作者简介: 林国淙(1965 年生), 男, 副教授; E-mail: stslgc@zsu.edu.cn

Cu 丝)。通过线圈 6 施加一个交变电信号时, 永久磁铁 7 受到交变应力, 从而使起振元件 1 中建立一个与交变电信号相同频率 f 的扭转振动并在液膜中形成切变波。

图 2 是液体膜切变波共振吸收谱仪的方框图^[1]。

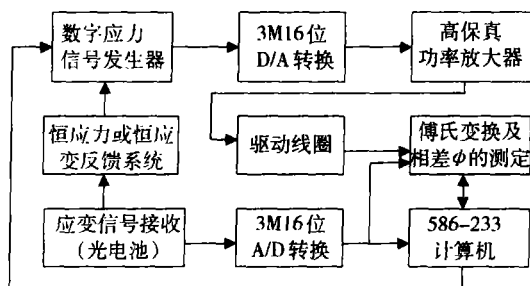


图 2 液体膜切变波共振吸收谱仪的方框图

Fig.2 Block diagram of the measuring system of LFRAMS

由计算机通过软件(或硬件)产生的可连续变频的正弦波电信号, 经 D/A 转换和功率放大后输入驱动线圈 6。由光电池接收的应变信号放大后, 一部分反馈给应力发生器使保持应变或应力幅值的恒定。另一部分与线圈 6 中的应力信号同时输入计算机, 经傅里叶变换后即可得出应变落后于应力的相差 Φ 。整个过程均由计算机按测量程序自动进行并可在屏幕上实时显示 $\tan\Phi - f$ 曲线, 也可实时或测量完成后打印图形和数据^[1]。

仪器的性能指标:

相角分辨率: 3×10^{-5} (谱仪, $10^{-2} \sim 300$ Hz);
 5×10^{-7} (电子线路)

频率范围: $10^{-3} \sim 1000$ Hz 间准连续变化, 频率分辨率为 0.001 Hz (50 Hz);

波数范围: $10^{-1} \sim 60$ cm^{-1} 连续变化 (水);

温度范围: $20 \sim 80^\circ\text{C}$

膜的厚度: $1 \sim 10^{-2}$ mm。

2 应用

使用液体膜切变波共振吸收谱仪测量了空载情况下, 玻璃扭转振动板 8 和带圆孔的固定玻璃板 9 之间间距为 0.1 mm 的原始 $\tan\Phi - f$ 曲线 (如图 3 所示)。

从图 3 可以看出, 前后两次测量的 $\tan\Phi - f$ 曲线几乎完全重合, 在 170 Hz 和 471 Hz 各有两个向下的共振吸收峰, 说明仪器的重复性能良好, 从文献 [3-4] 可以看出, 这两个共振吸收峰是起振元件 (Cu 丝) 的共振吸收峰。共振吸收峰向下说明测量频率处于系统共振频率以上^[8], 即空载时的系

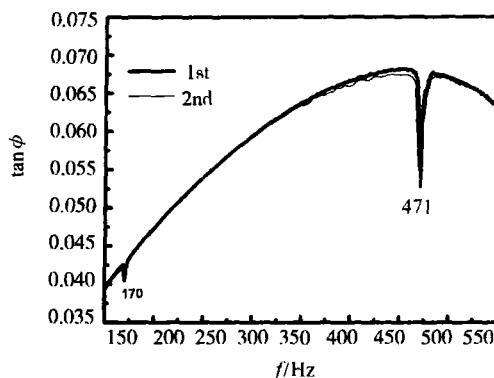


图 3 空载情况的 $\tan\Phi - f$ 曲线

Fig.3 Characteristics of $\tan\Phi$ versus f at the empty state

统共振频率在 150 Hz 以下。

使用液体膜切变波共振吸收谱仪测量了厚度为 0.1 mm 水膜的原始 $\tan\Phi - f$ 曲线 (如图 4 所示), 4 次测量的 $\tan\Phi - f$ 曲线几乎完全重合, 图中给出了第一次和第四次的测量结果。

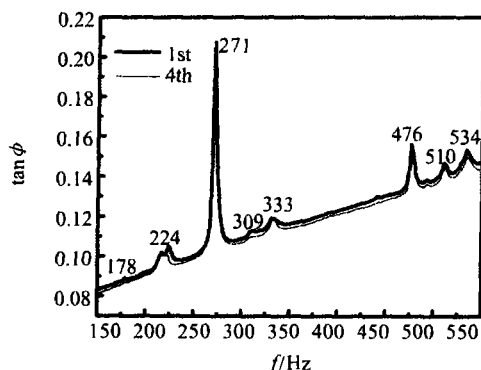


图 4 厚度为 0.1 mm 水膜的 $\tan\Phi - f$ 曲线

Fig.4 Characteristics of $\tan\Phi$ versus f with 0.1 mm thick water film

在 178、224、271、309、333、476、510 和 534 Hz 共 8 个向上的共振吸收峰, 共振峰向上说明测量频率处于系统共振频率以下^[8], 即系统共振频率已移至 550 Hz 以上。对颗粒物质共振吸收力学谱的实验发现^[9], 颗粒物质系统的回复力强烈依赖于切位移, 大的切位移可以使加入颗粒物质的扭摆系统的共振频率上升到 1 kHz 以上。文献 [9] 认为, 颗粒物质的共振吸收力学谱表征的是颗粒物质的组态熵和熵力的变化, 组态熵产生的回复力矩使加入颗粒物质后系统的共振频率升高, 证明软物质中存在起源于组态变化的熵力。图 3 和图 4 比较可以看出, 0.1 mm 厚的水膜使系统的共振频率从 150 Hz 以下上升到 550 Hz 以上, 类似地, 可以认为是水膜已参与了振动, 提供回复力矩, 使系统的共振

频率明显上升,所以,图4中全部的共振吸收峰均可能是水的共振吸收峰。由于原来空载时在170 Hz和471 Hz有两个起振Cu丝的共振吸收峰,故178 Hz和476 Hz的吸收峰有可能是固体起振Cu丝与水相互作用的共振吸收峰。虽然进一步的讨论有赖于切变波共振吸收理论的建立和发展以及对液体的其他实验的支持和旁证,峰的机理仍在探索之中,但液体膜切变波共振吸收谱仪为微量液体的研究提供了新手段。

3 小结

利用自行研制的液体膜切变波共振吸收谱仪对厚度为0.1 mm的水膜进行了测试,四次测量的结果几乎完全重复,在178、224、271、309、333、476、510和534 Hz共8个共振吸收峰,并发现系统的共振频率由空载时的150 Hz以下移至550 Hz以上,显示水膜已参与了振动,提供回复力矩,故全部的峰均可能是水的共振吸收峰,其中178 Hz和476 Hz的吸收峰有可能是固体起振Cu丝与水相互耦合的共振吸收峰。

参考文献:

[1] 张进修,熊小敏,丁喜冬,等,凝聚态物质的切变波共振

吸收谱仪的工作原理[J].中山大学学报(自然科学版),2001,40(S1):284-288.

[2] LANDOU L D, LIFSHTIZ E M. Fluid Mechanics[M]. 2nd ed. Butterworth, 1999.

[3] ZHANG Jin-xiu, GONG Kang, XIONG Xiao-min, et al, Resonant absorption mechanical spectrometer and its application in solids[J]. Chin Phys Lett, 2003, 20(10): 1807-1810.

[4] 张进修,龚康,王晓伟,等.结晶状态对铜内耗频率谱的影响[J].金属学报,2003,39(11):1212-1214.

[5] 熊小敏,林国淙,丁喜冬,等.一些液体在低波数范围的共振吸收峰[J].中山大学学报(自然科学版),2001,40(S1):271-272.

[6] 熊小敏,王海燕,张进修.颗粒物质中熵力和组态熵的共振吸收力学谱研究[J].金属学报,2003,39(11):1223-1224.

[7] 张进修,熊小敏.内耗频谱仪的应用及内耗频率峰机理的探讨[J].金属学报,2003,39(11):1127-1132.

[8] NOWICK A S, BERRY B S, Anelastic relaxation in crystalline solids[M]. New York: Academic Press, 1972.

[9] 熊小敏,王海燕,张进修.颗粒物质中熵力和组态熵的共振吸收力学谱研究[J].中山大学学报(自然科学版),2003,42(2):130-132.

Manufacture and Application of Liquid Film Resonant Absorption Mechanical Spectrometer

LIN Guo-cong, XIONG Xiao-min, DING Xi-dong, ZHANG Jin-xiu

(State Key Laboratory of Optoelectronic Materials and Technologies,
Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China)

Abstract: Working principles and specifications of a liquid film resonant absorption mechanical spectrometer were presented. By using this home made spectrometer, the resonant absorption mechanical spectrum of water film with thickness of 0.1 mm was obtained. There were 8 resonant absorption peaks in a frequency range of 150 Hz to 550 Hz. Compared with the resonant frequency of the empty apparatus system, which was lower than 150 Hz, the resonant frequency of the apparatus system with 0.1 mm thick water film was higher than 550 Hz. It indicated that the water film had participated in the mechanical vibration and provided restoring moment to the apparatus system. Therefore, all 8 resonant absorption peaks obtained are inherent resonant absorption peaks of water film and the resonant absorption peaks of 178 Hz and 476 Hz are resonant absorption peaks resulting from the cooperation of water film and copper thread, a vibration producing element.

Key words: liquid film; resonant absorption; spectrometer