

共振吸收谱仪测量系统的研制*

丁喜冬, 熊小敏, 黄元士, 林国淙, 张进修

(中山大学超快速激光光谱学国家重点实验室//物理系, 广州 510275)

摘 要: 讨论了共振吸收谱仪测量系统的设计. 由于频率越高, 信号越微弱, 同时要求的 AD 的采样速度也越高, 因而限制了测量频率和精度的提高. 通过高速低相差 ADC 及大功率低噪音放大器的研制, 使测量频率范围达到 $1 \times 10^{-3} \sim 5 \times 10^2$ Hz, 变频精度达到 0.05%; 内耗测量精度达到 5×10^{-6} , 为固体振动能吸收谱的研究提供了必要工具.

关键词: 共振吸收; 测量; 双路 ADC; 测量频率; 测量精度

中图分类号: O572.11 **文献标识码:** A **文章编号:** 0529-6579 (2001) S1-0291-03

由于液体中切变波速度 (cm/s 量级) 远小于光速, 利用机械振动的方法在频率为 $10^{-4} \sim 10^3$ Hz 范围内, 可在液体中产生波数为 $10^{-2} \sim 10^3$ cm⁻¹ 的切变波, 它可覆盖从喇曼光谱下部至超声的波数范围. 利用这一原理, 对扭摆内耗仪改造后, 可研制出能测得液体中的共振吸收峰的“凝聚态物质共振吸收谱仪”. 由共振吸收峰的半高宽随温度的变化可计算出量液体中处于 0.2 nm ~ 1 μm 尺度的 cluster 尺寸、弛豫时间、激活能等参数. 研制出的凝聚态物质切变波共振吸收谱仪既可用于液体、也可用于固体^[1]. 它可成为研究生命科学、凝聚态物理、溶液化学、材料科学及临床医学等的必备仪器.

共振吸收谱仪的精度越高, 要求的采样速度也就越高. 例如, 对于 5 Hz 的测量频率, 达到 1×10^{-4} 的相位分辨率时, 所需的采样速率约为 300 KHz. 相同精度时, 测量频率越高, 所要求的采样速率相应提高. 由于受 AD 采样速度及精度的限制, 高精度低相差 ADC 的设计往往是共振吸收谱仪测控系统的关键所在. 同时, 频率越高, 有效的激发应力及应变信号越小, 对激发信号的功率放大和相应应变信号的前置放大也提出了更高的要求. 在本共振吸收谱仪测控系统的研制中, 我们采用了高速低相差双路 ADC 等技术, 获得了较为满意的测量结果.

1 系统的设计

用共振吸收谱仪进行测量时, 应力 F 和代表应变的位移 X 为两个测定量, 对 F 和 X 的时间序列进行富氏变换, 可求出由应变落后于应力的相角差所表征的内耗值 Q^{-1} ; 通过准连续的测量各种物质在不同频率的内耗值, 即可得到其共振吸收谱.

在研制中, 主要需要解决的问题有:

(1) 高速、高精度的模拟量数据采集系统; 需要对两路模拟量同时并行采样, 要求 AD 相位测量精度优于 1×10^{-6} (5 Hz 时), 消除系统固有相差.

(2) 针对测量频率的提高, 采用的硬件波形发生器波形点数必须能任意变化, 提高频率范围及变频精度, 以适应频率谱测量的需要.

(3) 设计大功率直流信号功率放大器和高精度光信号前置放大器.

(4) 完成调零、变温等外围控制电路, 以及系统控制软件的设计.

测量系统如图 1 所示. 采用了 Pentium 作为主控计算机; 采用最先进的 16 位高速 DA、AD 转换器; 采用数字电位器进行增益控制. 为了减少系统误差, 必须应力、应变两个信号同时采样.

* 基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (19974077, 10027001, 10004017); 教育部重点科技项目及博士点基金资助项目 (99055, 99055806); 广东省科技攻关基金资助项目 (99M011007G, 2KM01101G); 广东省自然科学基金资助项目 (001246); 广东省教育厅专项资助项目; 广州市科技新星基金资助项目 (2000-k-004-01)

收稿日期: 2000-12-30; 作者简介: 丁喜冬 (1968-), 男, 工程师.

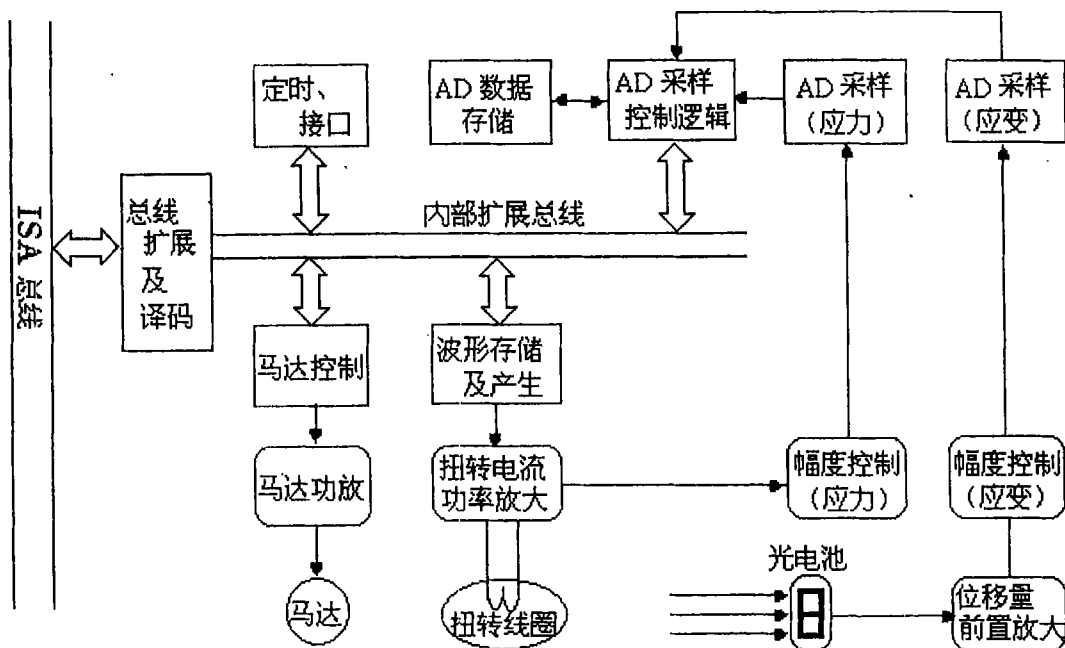


图1 测量系统电原理框图

1.1 高速低相差双路AD数据采集器的设计^[2]

高速双路无相差AD数据采集器主要由高速采样模块、数据锁存模块、控制模块等三部分组成。

两路AD由同一时钟源提供时钟,在同一启动信号控制下开始工作。在开始时,两路AD是同步的;由于两路AD速率高于所要求的采样速率,所以可通过计数器对数据准备好信号DAV分频产生所需频率的数据锁存脉冲,再将作为数据锁存允许信号送给触发器,使之与每路的DAV信号同步,形成数据锁存信号将数据锁存。在下一个锁存脉冲到来之前,虽然AD完成了多个采样,但锁存的数据保持不变,采样到的数据的延时只取决于两路AD的转换时间之差,因此,对整体而言,AD相差可小于采样速度,且与采样速度无关。

当由于干扰等原因导致某路的锁存脉冲发生错误时,会使该路数据或少或多一个锁存脉冲,导致一个数据发生错误,但在下一个锁存脉冲到来时,又可正确同步,因此不会产生相位误差。

1.2 激发波形产生及位移量前置放大

采用微机的内存作为波形存储器,以简化硬件;波形数据由软件根据定时器8253的定时信号将信号幅度值送到DA转换器,因此,该波形发生器一定范围内可产生任意形状和频率的波形,可实现准连续变频。

由于扭转线圈的频率特性以及磁棒产生的涡流等因素的影响,测量频率越高,有效的应力越小。因此,系统对激发信号功率放大的频率特性、波形失真、输出功率等都有较高要求,即不能低于系统所要求的测量精度。在设计中,主要采取了以下措施:采用高性能的功率对管;将工作范围按功率分为多量程,用开关切换;对各频段进行自动相位补偿。

位移量由光电池接收,由前置放大器进行放大。由于光电池接收的有效位移信号很小,前置放大器全部采用低噪声元器件设计,采用化学电池供电,并将放大器屏蔽。

2 仪器调试及实验情况

按上述原理制作了相应硬件,先进行硬件测试,再进行调零,最后用汇编程序对硬件进行了调试。

将相同的模拟信号加到两路AD通道的输入端,模拟输入信号的频率是5 Hz,幅度为 ± 1.5 V_{p-p}。用两路AD分别对信号进行采样,经计算得到两路AD的相位差如图2所示(图中上下两条曲线是在没有采取前文所述的措施时的测量结果),中间直线为采取了上述措施后的测量数据。结果表明,ADC的相位分辨约为 1×10^{-6} rad(5 Hz时)。

最后,在本系统上,对样品进行了测试,得

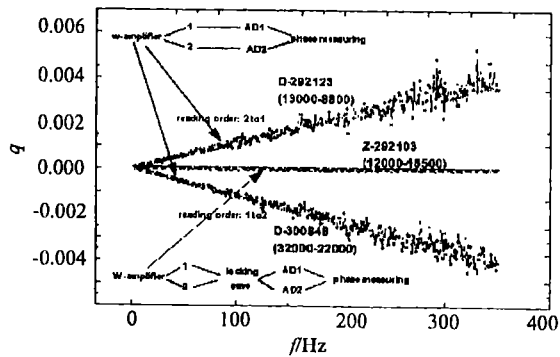


图2 2个AD通道之间的相位差
到室温下Al的机械能振动吸收谱如图3所示.

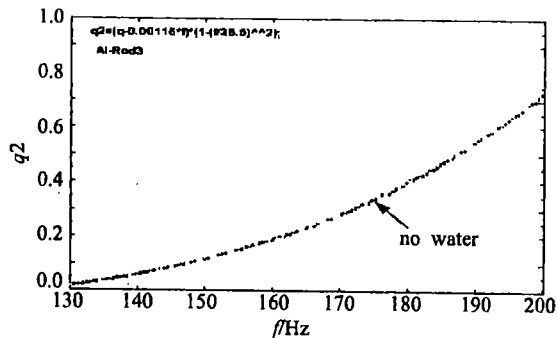


图3 室温下Al的机械能振动吸收谱

3 主要结果

(1) 仪器工作频率达到的 $1 \times 10^{-3} \sim 5 \times 10^2$ Hz, 频率分辨率为 0.05%, 为振动能吸收谱的研究提供了较为合适的工具;

(2) 整体测量精度: 在 5 Hz 时达到 5×10^{-6} rad, 200 Hz 时优于 1×10^{-4} rad.

参考文献:

- [1] 张进修,熊小敏,丁喜冬,等.凝聚态物质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(增刊A):285-288.
- [2] 刘英,梁捷江.在PCI总线上实现的A/D数据采集[J].测控技术,1998,17(2):41-42.