

色心晶体微弱信号测试抗干扰技术的研究

李 荣 华

(材料物理化学研究所)

摘要 色心晶体红外荧光信号在检测过程中,尤其检测其变化值会遇到一种十分微弱的光信号。为了将这种微弱光信号从各种干扰噪声中准确地检测记录下来,本文分析了各种干扰的起因,研究了相应的抗干扰技术,并在色心晶体荧光光谱仪组装过程中得到实际应用,提高了整机的信噪比。结果较为满意。

关键词 微弱信号,抗干扰,信噪比

0 引言

色心晶体在特定波长的光激发下会产生红外荧光信号。一般来说这种色心晶体荧光信号是一种微弱红外信号(强度约为 μmW 级),用常规的荧光光度计检测不出来。现代的科研场所,都拥有许多大型的精密仪器和大功率的电气设备,如本所现有消耗电功率数 10kW 的激光器,大型扫描电子显微镜,高压、强电流的色心激光多用抽运源,X光晶体衍射分析仪等等。这些设备产生强电磁场的接地回路电势差,它们启动、停止而引起的高尖峰脉冲电位,高频设备如超声波振荡器,电火花等产生的高频噪声。凡此将使得测试微弱色心晶体荧光信号的专用设备(自制的YJ-1型色心晶体荧光光谱仪)带来各种各样的干扰,从而将荧光信号“淹没”。因此,要确保色心晶体荧光光谱仪正常运行,灵敏准确地测试出色心晶体产生的红外荧光信号,必须采取多种对应的抗干扰技术措施,才能保证仪器装置的测量精度和运行的可靠性。

干扰信号的产生很复杂,其因素也是多方面的。只有从干扰信号产生的根源去分析与查找,采取相应的措施,方能行之有效地抑制干扰,切断其流通回路,将干扰信号消除在仪器设备的外围。各种干扰信号按其作用途径,主要是从四个方面影响色心晶体荧光光谱仪的运行:(1)通过电源电缆线和接地导线串入光谱仪;(2)通过信号输入电缆和输出电缆引入光谱仪;(3)通过电磁感应引入;(4)杂散光辐射引入光学测试系统。干扰的作用方式一般分为横向干扰和纵向干扰,前者又称串模干扰、线间干扰,后者则称共模干扰、对地干扰。

本文1990-01-17收到。

1 横向干扰的产生与抑制

横向干扰产生于色心晶体荧光光谱仪的显示及放大测试系统——电子电位差计、锁向放大器以及单色仪、探头之间。这种交变干扰信号是迭加在被测信号的交变信号中,即为横向干扰信号。並大部分从输入引线中感应产生,或从探头信号源中产生,它与被测试的荧光信号串联在测量回路中。根据横向干扰信号的产生与作用情况,在组装色心晶体荧光光谱仪中,可采取下述的抗干扰技术。

1.1 合理的电磁屏蔽

装置中所有信号传递线,如探测光电转换器至锁向放大器、放大器至显示记录仪、调制参考信号源至锁向放大器的参考输入端之间的引线全部采用同轴电缆屏蔽线。这样,空间电磁场在传递信号线中产生的干扰电流可互相抵消,其线间的分布电容基本相同,输入信号线的屏蔽网不仅对外部空间电磁场的干扰起抑制作用,同时对仪器的纵向干扰也具有强烈的抑制能力。信号传输线采用屏蔽电缆的同时,应将探测转换器中的半导体器件,电子偏置电路及直流电源全部封装在金属容器中,从而抑制装置周围电磁场的干扰。

1.2 放大器选择及滤波器参数整定

在信号的输入回路中采用合理的滤波器,对抑制横向干扰将起极大的作用。由于检测的色心晶体荧光信号十分微弱,这种光信号通过探头光电转换后产生的电信号同样十分微弱,有时约仅 10^{-7}V 。这样微弱信号的测试只能采用高放大能力且抗干扰性能很好的锁相放大器,这种放大器能精确地测量被淹没在噪声、干扰甚至同频干扰中的微弱信号。锁相放大器的输入端设置高、低通滤波器,这种高低通滤波器的参数可根据测试信号的频率不同进行选择整定。通过高低通滤波器的信号,只有其频率在整定范围中的某一狭窄的通道内才可以顺利进入放大器,否则将被抑制在高低通滤波器电路之前。高、低通滤波器参数的整定是根据色心晶体荧光光谱仪的光斩波器频率的选择而定。测试时一般可把高、低通的截止频率向被测信号频率附近调整,这样可以很有效地滤除噪声干扰。当然,不可使高、低通截止频率过分靠近被测频率,否则将会使有用的信号受到衰减。高、低通滤波器的整定是一个耐心细致的过程,它的参数因各种测试信号的变化而跟随变化。

1.3 交流电源的干扰是造成本装置横向干扰的重要因素

环境周围的大用电器,如激光电源、高频机、高温炉、电子显微镜的高压发生器等均会产生很强的电磁场,形成对装置的干扰。为了抑制交流电源干扰的传播,装置中多处供电采用直流干电池供电。如探头转换器中的偏置电压供给,参考源的电源全采用直流供电。为了提高电源变压器的抗干扰能力,使用交流变压器的器件则采用高导磁率材料作铁心,并在变压器的初、次级之间设置抗干扰屏蔽层。

1.4 抑制散射光对光探测系统的干扰

本装置的横向干扰中除了电磁干扰外,散射光造成的横向干扰也是不可忽视的。该装置在探头转换器之前信号的传递是依靠光的传播形成的。由于色心晶体荧光信号在检测过程中一般十分微弱,那么装置周围的散射光往往会把微弱的荧光信号复盖,因此,装置应进行光

的屏蔽,首先应将装置排列在避光处,光信号传递通道应置于暗室中,同时将光斩波器涂成黑色,防止光的反射。光孔应打磨工整,避免光孔毛刺对光的折射,造成杂散光串入光通道中,探头屏蔽罩周围用黑色密封泥封严,避免散射光反射入探头。同时将泵浦源 Ar^+ 激光器和色心晶体荧光光谱仪分室隔离, Ar^+ 激光通过隔离墙光孔引入。这样可以避免氩离子强光散射在周围墙壁再折射到测试通道中,引起干扰。

2 纵向干扰的产生与抑制

纵向干扰在色心晶体荧光光谱仪中一般是由地电位引起纵向干扰。测示系统、放大系统能量转换系统、参考源之间的不同地电位,产生的电位差形成地回路,这个地回路电位差具有交流分量又有直流分量。诚然该装置属于基地式组合仪器,各单元之间的地电位差不甚悬殊。但是,由于该装置属于微弱信号测试系统,地回路干扰很容易将微弱的荧光测试信号淹没,造成测试装置不能工作,按下述五种方法进行处理。

2.1 输入电路

尽量采取双端对称输入测试电路。如锁相放大器中的前置放大器,信号可由A、B输入端同时引入,这样可以大大提高装置对纵向干扰的抑制能力。

2.2 接地技术

整套装置应有独立的接地系统,降低接地电阻。地线落地的地方采用木炭、食盐混合材料填充,同时埋上 $40 \times 40 \text{ cm}$ 的铜板作为地极,接地线用粗导线,使接地电阻小于 1Ω 。特别应强调的是,绝对不可使用交流供电电网的中线作为接地线。这是由于交流电网的不平衡电压将导致中线与地之间具有较高的不平衡电势差从而串入测试系统中。

2.3 布线问题

本装置中的电子放大器使用抗干扰能力很强的锁相放大器,放大器中采用半浮空的接地技术。为了进一步提高装置的抗纵向干扰性能,对信号源、参考源和检测器之间的地线要合理的安排,被测信号源、光电转换探头、前置放大器接地端等分立设备采取一点接地技术,并保证传递信号电缆中的屏蔽层与电缆芯的良好绝缘。注意不允许电缆芯暴露在外面,其接头采用电缆插座。电缆线的布线采用散交式,不可平行布线,以削弱线间的近场耦合。

2.4 低温抗干扰技术

装置的光电转换采用半导体 PbS 作为探测元件。 PbS 这种光敏电阻,其内部热分子运动随着温度的升高振幅值跟随变大,其关系如图1所示。这种变化导致光敏电阻的稳定性下降,从而引起探测器的零漂。因此,必须将 PbS 置于较低温度的环境中,其稳定性较好,仪器零漂小。可在 PbS 探测器中设置铋铈低温装置,将 PbS 周围温度控制在 10°C 以下,这样可以大大提高探测器输出电平稳定性。

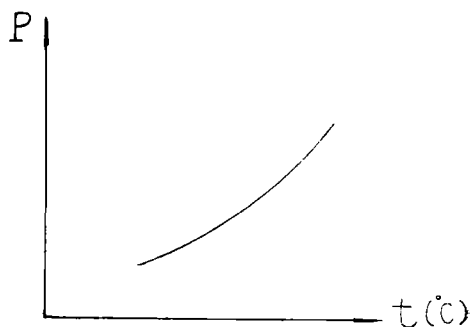


图1 PbS 热分子运动与温度的关系

2.5 斩光器频率的选择

斩光器频率为

$$f = \alpha \cdot v,$$

其中, α 为斩光器波盘的光孔数; v 为马达转速, 转/s; f 为调制频率, Hz。

斩光器频率的选择对于准确测试色心晶体微弱红外荧光信号有很大作用。将连续的光信号转换成一定频率的交变光信号, 经探头光电转换后即输出交变电信号。这样可以与锁相放大器需要的调制参考信号进行匹配, 使放大器的高、低通滤波器起到对信号源相位的鉴别作用, 达到整套装置的高抗干扰性能。整套装置的灵敏度可达 10nV 。实验证明, 光斩波器的频率 f 太高, 光信号衰减厉害, 灵敏度太低; 频率 f 太低, 则输出稳定性差, 抗干扰特性下降, 该装置的斩光频率选择为 270Hz 为最佳点。

整套装置采取抗干扰技术前后, 其输出信号谱图的抗干扰对比如图 2、3 所示。从图 2 中可以看出, 抗干扰措施差时, 其信号输出谱图不稳定, 毛刺多, 甚至观察不到信号波峰。采

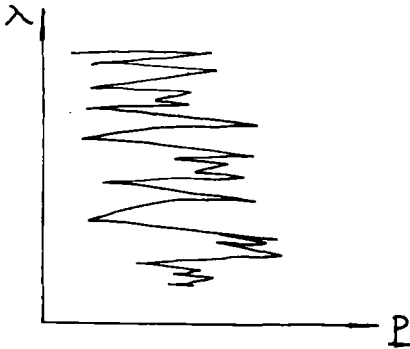


图2 采取抗干扰技术之前的输出信号谱图

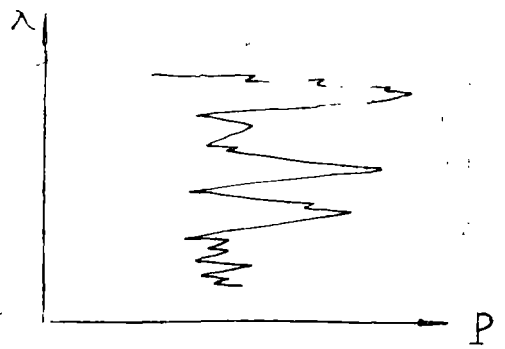


图3 采取抗干扰技术之后的输出信号谱图

取了各种抗干扰措施后, 整机信噪比提高, 输出谱图趋向平滑, 峰形明显, 如图 3 所示。

参 考 文 献

- [1] 郭尧君, 光谱仪器, 科学出版社, (1988)。
- [2] 清华大学分析化学教研室编, 现代仪器分析, 清华大学出版社, (1983)

Anti-Interference Technique in Color Center

Crystal Weak Signal Test

Li Ronghua

(*Institute of Material Physical Chemistry*)

Abstract Color Center Crystal IR fluorescent Signal met With in detection, especially in detection of its variation value, is generally a very weak one. For accurately detecting and recording this weak optical signal with various interference noises as its background, this paper presents here various anti-interference techniques and measures. The paper begins with cause analysis of interferences, and then goes on to the corresponding anti-interference techniques. Of which the application to the package of color center crystal fluorescent spectrometer is a successful one, as shown by the rising of signal noise ratio.

Key words weak signal, anti-interference, signal-noise ratio