

喇曼分光仪中杂散光的测试

朱 潘 如

(苏州大学物理系)

提 要

本文讨论了喇曼分光仪中杂散光测试工作的实施方案及其存在的困难,提出了用改变光吸收液体浓度方便地增减光强进行测试的解决办法,利用普通仪器就能实现光强变化达十三个数量级的测试。文章给出了利用这一减光方法对喇曼分光仪的杂散光进行实际测试的实验装置,给出了对SD-II和SD-IV型全息凹面光栅单色仪以及双单色仪杂散光的实际测试结果。作者还对统一杂散光指标的测试条件提出了建议。

随着对喇曼散射的研究由高频区向低频区扩展,喇曼分光仪中杂散光分布的情况日益受到人们的重视,成为评价仪器质量的重要指标之一。

近年来林中等人^[1~3]先后对杂散光问题作了有意义的论述和富有成果的实验测试工作。但是,由于测试工作本身的困难性,这一问题并没有完全解决。

本文在实验测定的范围内讨论了测试杂散光工作的困难问题并提出了一种解决办法,介绍了实测方案及其测试结果。

一、测试的原理及其主要困难

若波长为 λ_0 的单色光射入理想的单色系统,应该只在单色仪调定波长为 λ_0 时才能检测到出射光(设其光强为 I_{λ_0}),但实际的单色仪只是 I_{λ_0} 表现为最大、在不同于 λ_0 的调定波长 λ 处仍能检测到一定量的出射光(设其光强为 I_{λ})。光强 I_{λ} 就是杂散光。比值 $I_{\lambda}/I_{\lambda_0}$ 就反映了仪器在离瑞利线 λ_0 为 $\Delta\lambda = |\lambda_0 - \lambda|$ 处的杂散光水平,就这一指标来说,我们希望在一定波长差 $\Delta\lambda$ (或用波数差表示为 $\Delta\nu \text{ cm}^{-1}$)处 $I_{\lambda}/I_{\lambda_0}$ 越小越好。

实际测定仪器的杂散光分布时可用激光作光源,通过一定的光学系统使激光按分光仪

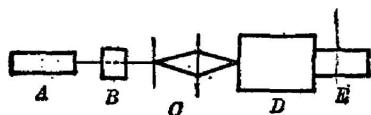


图1 杂散光测试装置排布图
Fig. 1 Setup for measuring
stray light

实际使用条件匹配射入单色仪,利用弱光信号检测系统(例如光电倍增管配合光子计数器)逐点测出 I_{λ} 来,再算出 $I_{\lambda}/I_{\lambda_0}$ 并画出杂散光分布曲线。整个测试装置排布如图1所示,其中A为激光器、B为减光系统、C为准光匹配系统、D为分光仪、E为弱光信号检测系统。

由图1可知,为了要得到符合实际情况的测试结果,就要求弱光信号检测系统具有良好的线性响应,还要求在整个测试过程中不改变光路匹配条件。这两个要求是互相关联的,如果弱光信号检测系统的线性动态范围能跨越整个测试

过程中 I_s/I_{λ_0} 的变化范围, 那末, 在整个测试过程中不改变光路匹配条件这一点很容易做到。但是由于喇曼分光仪对抑制杂散光的要求较高, I_s/I_{λ_0} 的跨度很大, 常常达到几个乃至十几个数量级的变化, 而一个弱光信号检测系统具有 10^5 以上的线性动态范围就已算是比较好的了。因此要检测大量级的杂散光变化就必然要求在整个测试过程中分段减光, 使得在某一段波长(或波数)变化范围内, 杂散光 I_s 的变化量级落在信号检测系统的线性动态范围内。通常采用中性滤光片^[1, 62]或正交偏振片^[63]来实现所要求的减光, 但是在已调准匹配的光路中, 插入滤光片或旋转偏振片都可能会引起其后的光传播方向的微小改变, 而这就可能使会聚在分光仪入口狭缝处的光点位置与原来位置有偏离, 从而使测试工作发生较大的误差。虽然可对滤光片或偏振片及其安放装置进行精密加工, 以尽量减少光点的偏移, 但毕竟精密加工不容易, 因而很难满足要求。

为此, 朱亚一等曾提出把滤光片放在分光仪出口狭缝与光电倍增管之间^[63], 并实时标定滤光片组透过率以及对出口狭缝进行专门的改装等解决方法, 然而这样的减光方法比较繁琐。显然, 关键在于寻找一种简便可靠的减光方法, 以使在实现必要的分段减光时保持光路匹配条件不变。从这一目的出发, 作者设计了用光吸收液体实现任意可变减光配合适当的光信号检测系统线性动态范围进行测试的方案, 使用本文实验中的普通仪器就能实现光强变化跨度达十三个量级的杂散光测试。

二、实测方案及测量结果

1. 减光方法及其可靠性检验

减光方法是让光通过一定厚度的黑色液体(市售碳素墨水经滤纸后滴入至蒸馏水中混合而成), 实验时用一扁平状透明容器盛减光液体放在光路中, 容器在测试过程中保持不动, 光透过率的改变由抽换容器中的减光液体所含黑墨水的浓度来实现。那么改变液体吸收物质的浓度会不会引起光路改变? 作者曾作了这样的检验: 用氦-氖激光(功率在 30 mW 以上)照明, 将内盛蒸馏水的比色皿放在激光器前, 在光路前放置光靶, 作了标记。先用 He-Ne 激光功率计测出透过减光器的功率, 记为 I_0 。然后向比色皿内滴入一滴减光原液, 混匀(混匀时要保持比色皿不动)后观察前方光斑有无移动, 用功率计测出这时透过减光器的激光功率为 I_1 。以后依次滴定并观察记录光斑位置和测出透过减光器的激光功率为 I_2, I_3, \dots 。我们在实验中使用“LW-1 激光功率计”从 $I_0=32 \text{ mW}$ 一直测到 $I_5=0.08 \text{ mW}$, 在激光功率波动 4% 的误差范围内实际上得到

$$\frac{I_1}{I_0} = \frac{I_2}{I_1} = \frac{I_3}{I_2} = \dots = \frac{I_8}{I_7} = \dots = 0.3, \quad (1)$$

按比尔定律有

$$(I/I_0) = \exp(-\beta c), \quad (2)$$

其中 β 为一常数, c 为吸收体浓度。由

$$(I_1/I_0) = \exp[-\beta(1/7)/891] \doteq 0.3, \quad (3)$$

可算出 $\beta \doteq 7509$, 如此则有

$$\frac{I_5}{I_4} = \exp[-\beta(5/7)/895] / \exp[-\beta(4/7)/894] \doteq 0.303. \quad (4)$$

此值与实验得到的(1)式一致。实验结果表明,在渐次减光达 10^5 的情况下,光斑无可觉察的移动。观测时标记用的刻线宽度小于0.3 mm,若即以0.3 mm为误差限计算,则光束偏移小于 $0.3/3720=0.081$ m rad。因此可确信,这样的减光系统将可保证增减光强时不会改变光路匹配条件。

上述试验实际上也说明了在我们的实验条件下减光液体吸收激光能量发热而引起折射率变化的影响是可以忽略的。

2. 实测方案

整个实验装置排布如图1所示。其中A为输出1 mW级的He-Ne激光器;B为 $10 \times 30 \times 50$ mm³的比色皿,透光厚度为10 mm,比色皿内盛约10 c.c.蒸馏水,再根据减光需要滴入适量的减光原液混匀;C是焦距为-25 cm的凹透镜和焦距为4 cm的凸透镜组合而成的准光系统;D为待测分光仪*,E为弱光信号检测系统**。

实测时,先调整好光路,使激光聚焦在分光仪入口狭缝处且充满光栅(圆形光斑内切于光栅的正方形边框),把分光仪波长调定在离瑞利线较远处(如离瑞利线 100 \AA 或 100 cm^{-1}),然后慢慢开启狭缝到预定值。当发现光子计数器示数过大时可滴入适量减光原液以使计数值适当,若光电倍增管暗计数值为 n_0/sec ,则可取起始光照计数值为 $n_1 \geq 100 n_0$,使暗计数引入的误差不超出测量要求。

3. 测试和计算

从起始波长开始逐点向瑞利线靠近,光子计数器的读数也随之上升,当计数值从 n_1 上升达到某一接近计数系统线性动态范围上限的数值 n'_1 (例如 10^6)时,即进行减光使 n'_1 减少为 n_2 , n_3 仍应为 $100 n_0$ 以上,如此逐点向瑞利线推进,若共经过 $(t-1)$ 次减光,最后在瑞利线处的读数为 n'_t ,则起始波长处的杂散光水平为

$$\frac{I_\lambda}{I_{\lambda_0}} = n_1 \frac{n_2}{n'_1} \frac{n_3}{n'_2} \dots \frac{1}{n'_t}, \quad (5)$$

其它各点处的杂散光可按同样方法算得。

当然,也可从瑞利线开始测起,这时起始值应是在线性范围内的大数。当逐点调离瑞利线到某一波长值使光子计数值从起始时的大数 n_1 降为 n'_1 (n'_1 为在线性动态范围内的小数,但要求 $n'_1 \geq 100$)时,以蒸馏水取代部分减光液体就可增加透过减光器的光强,使 n'_1 增加到 n_2 仍达原来 n_1 的数量级。若最后某一波长处的读数为 n'_t ,则该处杂散光水平为

$$\frac{I_\lambda}{I_{\lambda_0}} = \frac{1}{n_1} \cdot \frac{n'_1}{n_2} \cdot \frac{n'_2}{n_3} \dots n'_t, \quad (6)$$

其它各点类推。

具体测试结果如图2、图3、图4所示。由图中曲线可知,IV型单色仪中的杂散光水平低于II型单色仪中的杂散光水平,两者相差约一个量级。双单色仪和IV型单色仪都使用IV型全息凹面光栅作分光元件,但双单色仪中的杂散光水平要比IV型单色仪的低得多,前者略比后者的平方高些,这说明在抑制杂散光的能力方面,一个双单色仪大体相当于两个单色仪串联后的情况。由于双单色仪具有较高的杂散光抑制能力,故可用来作喇曼散射的研究工作。图5是用该双单色仪获得的银电极吸附吡啶的表面增强喇曼光谱。这是用一台

* 苏州大学生产的SD-II和SD-IV全息凹面光栅单色仪及凹面光栅双单色仪。

** 苏州大学生产的光子计数器和华东电子管厂生产的GDB-510(多碱)型光电倍增管组成。

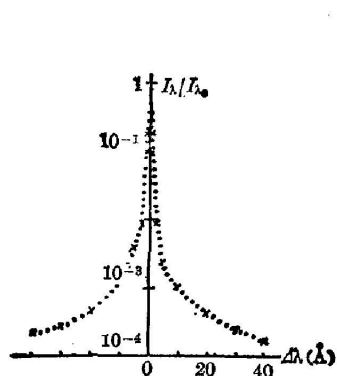


图 2 SD-II 型全息凹面光栅单色仪中杂散光分布轮廓线
Fig. 2 Stray light profile in the SD-II holographic concave grating monochromator

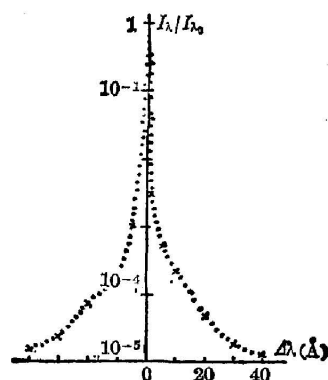


图 3 SD-IV 型全息凹面光栅单色仪中杂散光分布轮廓线
Fig. 3 Stray light profile in the SD-IV holographic concave grating monochromator

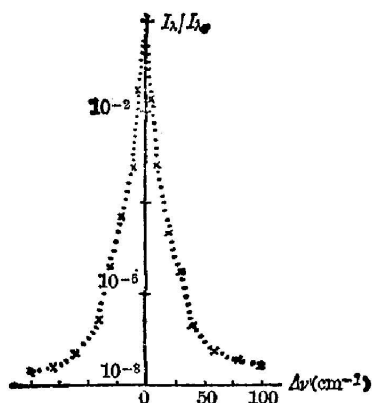


图 4 双单色仪中杂散光分布轮廓线
Fig. 4 Stray light profile in the double-monochromator

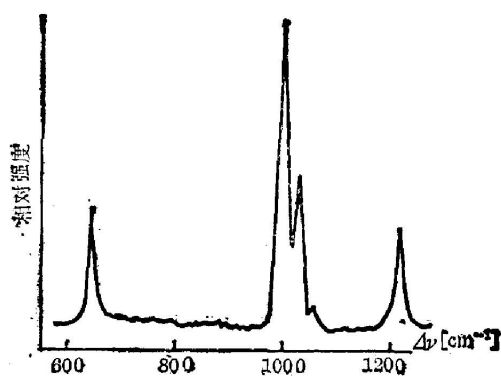


图 5 用双单色仪得到的银电极吸附吡啶的表面增强喇曼光谱
Fig. 5 SERS of pyridine adsorbed on silver electrode obtained by using the double-monochromator

单色仪所难以做到的,因为一台单色仪的杂散光抑制能力不够,微弱的喇曼信号被杂散光掩盖掉了。

四、杂散光检测标准的建议

同一台分光仪的杂散光,除与仪器内部元件、结构等因素有关外,还与测试条件有关。例如狭缝宽度、测试用激光波长等都会影响测试结果。这方面,文献[1]和[3]已给出了他们的实验结果,这里不再重复讨论。不过这种情况告诉我们如果要比两分台分光仪的杂散光抑制能力,需要给出一个统一的测试条件才行。鉴于测试条件应尽可能接近实际工作状态并考虑到测试工作的方便,建议杂散光的测试条件如下:(1)用激光照明,根据分光仪孔径角

匹配要求,使入射光斑充满光栅(或棱镜等分光元件);(2)双单色仪入射狭缝和出射狭缝宽度都取 $100\ \mu\text{m}$,中间缝宽取 $200\ \mu\text{m}$;单色仪的入缝和出缝宽度均取 $100\ \mu\text{m}$; (3)测试激光波长为 $6328\ \text{\AA}$,因为这是测试时最便于得到的,(4)比较杂散光分布轮廓线和 20 或 $25\ \text{cm}^{-1}$ 处的杂散光水平。

冷永章同志在实验方面曾予帮助,特此致谢。

参 考 文 献

- [1] 林中;《仪器仪表学报》,1981, 2, No. 1 (Feb), 91.
- [2] 劳浦东等;《仪器仪表学报》,1984, 5, No. 1 (Feb), 76.
- [3] 朱亚一等;《光学学报》,1984, 4, No. 7 (Jul), 577.

Measurement of stray light in Raman spectrometers

ZHU HANRU

(Department of Physics, Suzhou University)

(Received 18 January 1985; revised 4 March 1985)

Abstract

This paper is about the experimental measurement of stray light in Raman spectrometers and the related difficulties. It is necessary to attenuate the intensity of incident light for studying the stray light distribution in a Raman spectrometer. By using optical absorptive liquid, the intensity of incident light can be attenuated conveniently while the condition of optical match still maintained. It is simple to measure the light intensity change of the order of 10^{13} if the method of attenuating light intensity is used. A new experimental scheme for measuring stray light in Raman spectrometers has been suggested. The results of experiments are given for SD-II and SD-IV holographic concave grating monochromators and doublemonochromators. Finally, it is suggested that the stray light test conditions should be unified.