

激光喇曼光谱仪的聚光会集系统*

陈捷光 田中群 廖远琰

厦门大学

激光喇曼光谱仪的聚光会集系统是仪器的一个重要组成部分,它引导激光照明样品并将样品产生的喇曼散射光收集送入仪器的入射狭缝。由于喇曼光非常微弱,一台高精度的激光喇曼光谱仪不仅要有高分辨率、低杂散光的分光系统和高灵敏度的接收放大系统,同时还要有尽可能大的相对孔径的聚光会集系统,才能最大限度地收集和利用喇曼散射光。在一般商品的激光喇曼光谱仪中,厂家为了适应广泛的使用要求,只能在先保证有足够样品空间的前提下,选择一定孔径的聚光镜头,而这样对于某些实际工作情况并不十分适宜。如果样品与聚光镜头之间的距离容许再缩小,则可以另设计一个比原有聚光本领更大的聚光会集系统,从而明显提高喇曼散射光的强度,改进仪器的检测灵敏度。

本文将介绍我们在法国 Jobin Yvon S3000型激光喇曼光谱仪器上重新设计的聚光会集系统和结果。

1 聚光会集系统的设计

激光喇曼光谱仪的聚光会集系统由样品照明、喇曼散射光的收集以及样品放置台等部分组成。其中光路部分的设计方案根据如下主要原则:

(1)耦合光路符合最佳照明准则。即激光通过照明聚光透镜 L_1 聚焦在样品上,形成的焦线又经集光聚焦透镜 L_2 成像于入射狭缝平面 S (如图1),像的大小与狭缝的宽度和高度相匹配,才能获得最佳的照明。

(2)集光聚焦透镜的像方孔径角 W_2 应与仪器单色器的孔径角相一致,保证光束完全充满光栅。

(3)集光聚焦透镜的物方孔径角 W_1 愈大,则收集的喇曼散射光愈多,因此在容许的条件下,孔径角 W_1 愈大,愈有利。

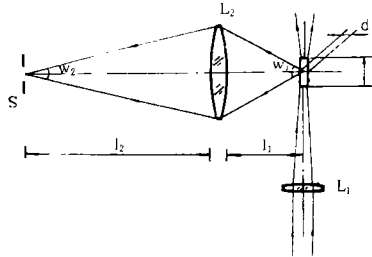


图1 聚光会集系统的耦合光路

假定激光是 TEM_{00} 模,光束直径为 d_1 ,经焦距为 f_1 的照明聚光透镜聚焦之后,形成的焦线是一个直径为 d ,长度为 l 的小圆柱体,在这个小圆柱体内集中了80%以上的激光能量。根据高斯光束成像公式计算^[1]:

$$d = \left(\frac{\alpha}{v}\right) \left(\frac{f_1}{d_1}\right)$$

$$l = \left(\frac{14}{v}\right) \left(\frac{f_1}{d_1}\right)^2$$

式中 v 为激光光束的光波波数。

小圆柱体光束照射在样品上产生的喇曼散射光经过集光聚焦透镜聚焦于入射狭缝上。如果仪器单色器的相对孔径为 $\frac{D}{f}$,集光聚焦透镜的孔径为 d_2 ,集光聚焦透镜至入射狭缝的距离为 l_2 ,根据上述原则,则必须满足 $\frac{d_2}{l_2} = \frac{D}{f}$,集光聚焦透镜的放大率 $M = \frac{l_2}{f_2} - 1$,仪器入射狭缝的高度为 h ,可以得出最佳照明的条件为:

$$\left(\frac{f_1}{d_1}\right)^2 = \frac{hv}{14M}$$

法国 S3000 单色器的相对孔径为 $f/5$,入射狭缝高度为 8mm ,设计要求集光聚焦透镜有较好的成像质量,又有尽可能大的物方孔径角,以便收集更多的喇曼光。镜头采用五片透镜组成,结构形式如图2所示。物方孔径角达到 $W_1 =$

2.0 , $N.A = 0.902$,相当 $D/f = 1:0.5$,对于激光波长 $\lambda = 488\text{nm}$, $l_1 = 15.99\text{mm}$, $l_2 = 350\text{mm}$, $M = 9.49$,满足最佳照明条件时,选取照明聚光透镜 $f_1 = 150\text{mm}$, $d_1 = 4.5\text{mm}$,计算得出 $d = 0.0325\text{mm}$,在入射狭缝上的像宽为 $308\mu\text{m}$,表示缝宽开启 $308\mu\text{m}$ 以上时,小圆柱体的光束可以全部进入狭缝。

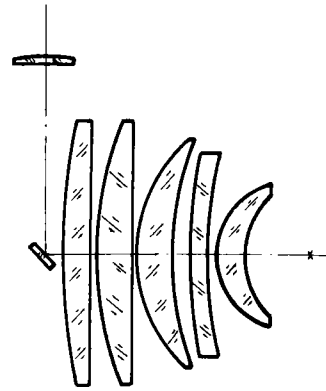


图2 集光聚焦透镜结构

2 结果与讨论

(1)新设计的聚焦会集系统可以显著提高喇曼散射光的光强,原有仪器集光聚焦透镜的物方相对孔径 $\frac{d_2}{l_1} = 1:1.5$,而新设计镜头的物方相对孔径 $\frac{d_2}{l_1} = 1:0.5$,收集光束立体角增大 $\frac{\Omega'}{\Omega} = 9$ 倍,但由于 180° 散射测量时,光束受到小镜片等的遮挡损失,实际提高喇曼散射光强 $6\sim 7$ 倍。

(2)镜头在 $488\sim 656\text{nm}$ 波长范围内均有较好的像质量(弥散盘小于 0.06mm),各个镜片镀有增透膜减少反射损失,适宜在较宽波段范围内使用。

(3)样品距镜头的工作距离为

(下转第40页)

* 本项目为厦门大学固体表面物理化学国家重点实验室资助课题。

HRD—1型双光栅单色仪

刘玉凤

辽宁师范大学

【摘要】阐述了 HRD—1 型双光栅单色仪的原理和特点。

【Abstract】The principle of HRD-1 Double Monochromator and its characteristics are summarized.

双光栅单色仪是一种高分辨率精密仪器。其分辨率高于通常的单光栅单色仪,能非常精确地测定光波波长,是种新型激光光谱分析的重要仪器。1987 年我国利用世界银行贷款地方大学发展项目引进 13 台法国 JOBIN YVON 公司生产的 HRD—1 型双光栅单色仪。

我校经过五年来的使用,仪器运转正常,现将其特点介绍如下:

1 自动化程度高

HRD—1 型双光栅单色仪的整机系统由双光栅单色器、控制器、记录仪和光电倍增管组成,见图 1、图 2。

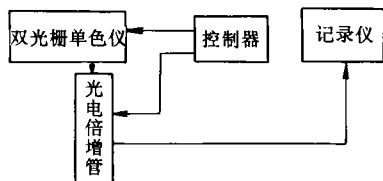


图1 双光栅单色仪工作原理图

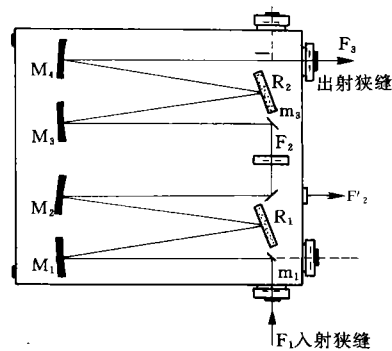


图2 双光栅单色器光路原理图

被检测光经狭缝 F_1 射入半反射镜

m_1 ,再经全反射镜 M_1 反射到光栅 R_1 。经 R_1 色散后的光又经 M_2, F_2 狭缝及 m_3, M_3 反射后,照射到第二个光栅 R_2 。再往 M_4 反射,由狭缝 F_3 输出到光电倍增管,最后由 XY 记录仪画出谱图。

控制器是一个组合式光谱控制器,具有数字化信号探测系统,由 CPU 编程控制。控制器按编好的程序控制光栅驱动器和反射镜驱动器。从而控制光栅衍射角和反射镜反射角。并控制加给光电倍增管的工作电压。

仪器可以实现从简单手动扫描控制到全自动组合控制等各种不同方法操作。它配置灵活的接口可连结各种光谱仪器进行数据处理、打印和存储等全自动操作,也可与其他计算机连机。

2 分辨率高

双光栅单色仪的焦距为 600mm,孔径 $f/5.7$,全息光栅尺寸为 80×110 mm。狭缝高度 0 到 20mm,宽度 0 到 3nm。光谱测量准确度 ± 0.1 nm,光谱范围从 175nm,到 $20\mu\text{m}$,分辨率 0.014nm。

我们检测了分辨率,方法如下:

将汞灯 (546nm) 光源放置在入射狭缝 F_1 处,调整狭缝 F_1, F_2, F_3 的宽度分别为 10、20、10 μm ,高度为 1mm,给光电倍增管 R446N^o 加高压 800V,光束经两个光栅色散后由输出狭缝 F_3 送达光电倍增管。波长变化从 545.95nm ~ 546.05nm。由双光栅单色仪控制器选定记录每 10cm 为 1 \AA ,这样就可由 XY 记录仪划出光谱的谱线,此谱线半宽度为 0.9cm,也就是说半宽度 $R=0.009\text{nm}$ (0.09 \AA),即为双光栅单色仪的分辨率,指标要求分辨率为 0.014nm,达到要求,高于通常的单光栅单色仪的分辨率。

双光栅单色仪的高精确度是由仪器的合理设计,高质量的光学元件、机械加工精度,以及优良的电子电路所决定的。

3 用途广

HRD—1 型双光栅单色仪可配置绘图仪,图形打印机等,还可与激光器、计算机和其它仪器配合进行荧光光谱分析、拉曼光谱分析、激光微区光谱分析,以及激光雷达技术等研究工作。

由于仪器测光是由光电倍增管来完成,测定一种元素的全部光谱时,需要不断地转动光栅,容易产生机械误差。为了避免这种误差,我们在双光栅单色仪的侧面出射口处订做了连接 OMA—II 光学多道分析仪的硅 Vidicon 光学多道探测器的接口,使 HRD—1 型双光栅单色仪与 OMA—II 光学多道分析仪连接为一体,这样就能对多个检测通道同时完成光电转换,同时记录一个连续谱,消除了不断转动光栅的机械误差,使其应用更加广泛。

(上接第 39 页)

5mm,在此空间放置的样品均可进行测量,尤其适用于 180° 散射测量,在样品背后有很大空间,可以开展如电化学或催化反应的现场喇曼光谱测量。

(4) 新的光学平台利用仪器上原有的三个立柱固定,仪器不需作其他改动,拆装容易。

镜头的光路计算由福建电子精密光学设备公司赖爱光总工程师和林峰同志提供,在此表示衷心感谢。

参考文献

[1] B. J. Berenblut and P. Dawson, J. Sci. Instrum. 4, 360 (1972)