

# 全息凹面光栅单色仪杂散光的实验测定

朱亚一 印建平 顾华俭 杜亚彬  
(苏州大学激光研究室)

## 提 要

本文讨论了全息凹面光栅单色仪杂散光的来源,提出了一种测定杂散光的新方案,采用光强递推、现场标定并结合光子计数技术解决了大量级范围内的线性标定。在光子计数器取样时间为1秒的情况下获得了 $10^{-12}$ 量级的测量限。为了消除光源强度的波动产生的误差,提高实验的精确度,文章介绍了新的设计思想。最后给出了对本研究室研制的喇曼光谱仪单色系统的杂散光的测量结果。

单色仪是传输窄带波长辐射的光学装置。它的输出辐射可以分为两部分:其一是对应于调定波长的光,也就是我们所希望的辐射;其二是调定波长通带以外的光,这当然是我们不希望有的光,称之为杂散光。杂散光的存在对测量工作带来麻烦,通过对杂散光的研究探讨,以寻求改善单色仪性能的工作早已开展。近年来用激光作光源所进行的杂散光的研究工作,对测定激光喇曼光谱仪单色系统的性能有着重要的意义。

J. F. Verrill<sup>[1]</sup>, M. R. Shappe, D. Irish<sup>[2]</sup>, 林中<sup>[3]</sup> 和李同保<sup>[4]</sup> 等对杂散光开展了研究工作。自1981年以来,我们也开展了对全息凹面光栅及其单色仪所产生的杂散光的测试<sup>[5]</sup>。最近为解决大量级范围内的线性校正和透过率标定,以及克服光强波动,设计了一种新的测试方案,从而完成了由本室研制的小型激光喇曼光谱仪的单色系统(全息凹面光栅单色仪)所产生的杂散光的实验测定工作。

## 一、杂散光的来源

全息光栅单色仪的杂散光一般比机刻光栅单色仪要小,尤其是没有鬼线。由于凹面光栅等效于平面光栅和凹面镜的复合,所以对凹面光栅单色仪杂散光的研究可以采用适用于平面光栅单色仪的方法。

全息光栅单色仪杂散光的来源是多方面的,主要有:

(1) 光栅的缺陷造成的杂散光。对于全息光栅而言,主要是由槽距、槽深的随机误差和表面的粗糙程度引起。M. R. Shappe 已给出了表达式<sup>[2]</sup>。

(2) 光栅的夫琅和费衍射产生的杂散光。对于在均匀照明条件下,其相对强度可按下面公式估算<sup>[1]</sup>:

$$S(\Delta\lambda) = \frac{d}{20mw} \frac{\lambda_m \lambda_w}{(\Delta\lambda)^2}, \quad (1)$$

式中  $d$  是光栅沟槽间距,  $m$  是衍射级数,  $w$  是光栅宽度,  $\lambda_m$  是照明单色仪进口狭缝的单色光

源的波长,  $\Delta\lambda$  是调定波长与  $\lambda_m$  之差,  $\lambda_w$  是通带宽度。

(3) 仪器内壁, 光栅框架, 反射镜边框的多次反射和漫反射会造成杂散光。

(4) 单色仪中的光学元件表面不平整和积尘也会产生漫反射而引起杂散光。

此外, 狭缝刀口的反射、光栅的多次衍射象差和光路系统的聚焦偏差等都会产生杂散光。

## 二、测试方案

杂散光的测试方法曾有过三种报道<sup>[6]</sup>, 我们采用了以激光作为光源直接照明入射狭缝

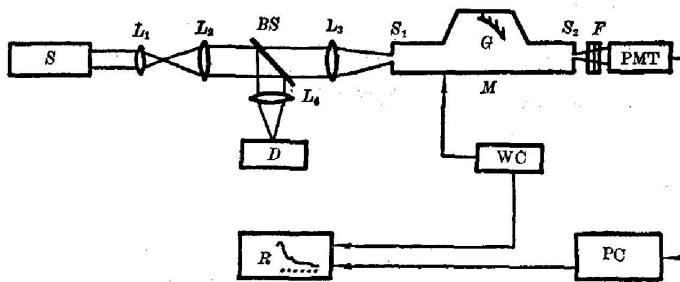


图 1 测量全息凹面光栅单色仪杂散光的测试系统

Fig. 1 The system used for measuring stray light in holographic concave grating monochromators

的光学方法, 兼顾测量结果的实用意义(针对激光喇曼光谱测量)和测量工作的可行性设计了一套测试杂散光系统, 如图 1 所示, 其中  $S$  为氦氖激光器, 用作测试光源,  $BS$  为分束器,  $D$  为 He-Ne 激光功率计, 可以获得光源波动的信息, 用作修正测量结果,  $L_1$ 、 $L_2$ 、 $L_3$  和  $L_4$  为透镜, 前面三块组成一个光学系统, 使得入射光束均匀地充满光栅,  $M$  为待测单色仪(由本研究室制造),  $WC$  为与  $M$  配套的波长扫描控制器,  $S_1$  为  $\phi=1.2\text{mm}$  的针孔,  $S_2$  为出射狭缝,  $G$  为全息凹面光栅,  $F$  为高密度滤光片组,  $PMT$  为 GDB 423 型光电倍增管,  $PC$  为光子计数器,  $R$  为函数记录仪。

根据光子计数器的读数可算出杂散光强度  $I_{\Delta\lambda}$  与主线  $I_0$  ( $6328\text{\AA}$ ) 光强的比值为

$$\frac{I_{\Delta\lambda}}{I_0} = \frac{i_{\Delta\lambda} T_0 P_0}{i_0 T_{\Delta\lambda} P_{\Delta\lambda}}, \quad (2)$$

其中  $i_0$  和  $i_{\Delta\lambda}$  分别表示对应于单色仪调定在主线位置和偏离主线  $\Delta\lambda$  时读得的光子计数值,  $T_0$  和  $T_{\Delta\lambda}$  分别表示读得  $i_0$  和  $i_{\Delta\lambda}$  时所用滤光片的透过率,  $P_0$  和  $P_{\Delta\lambda}$  分别表示读得  $i_0$  和  $i_{\Delta\lambda}$  时功率计  $D$  所测得的参考光强。实验时改变  $\Delta\lambda$ , 从而可以得到曲线  $(I_{\Delta\lambda}/I_0) \sim \Delta\lambda$ 。如果把光子计数器的模拟输出接到函数记录仪, 用图 1 中的  $WC$  使单色仪调定波长改变, 即作波长扫描, 可以分段(由于加减滤光片)得到杂散光的相对强度分布。

## 三、测试系统的定标

杂散光的测量要求检测系统具有高的灵敏度和大的线性动态范围。此外还要克服激光光源波动、光束偏移等因素对测试的影响。

实验中我们采用了单光子计数技术。如果合理选用光电倍增管, 调整道宽和门限电平能提高抗干扰性能和扩大线性动态范围, 在特别小的信号下还可以用延长计数时间来提高信噪比<sup>[7]</sup>。为保证本实验的一定准确度, 取数范围限止在  $4 \times 10^2 \sim 4 \times 10^6$  cps, 这样光子计

数系统的线性动态范围为  $10^4$  量级。

然而,一般杂散光的测试要求的线性动态范围要超过  $10^4$  量级。通常是采用在单色仪进口狭缝前的光路中插入高密度的滤光片组来拓宽线性范围的。计算公式为

$$\frac{I_{\Delta\lambda}}{I_0} = \frac{i_{\Delta\lambda} T_0}{i_0 T_{\Delta\lambda}} \quad (3)$$

(1) 实际情况是透过率  $T_0$  和  $T_{\Delta\lambda}$  不一定是单片滤光片的透过率,而往往是由多片重迭放置产生的总的透过率。由于片间的重复反射和相干效应使得运用

$$T_0 = T_{01} \cdot T_{02} \cdot T_{03} \cdots T_{0n}, \quad T_{\Delta\lambda} = T_{11} \cdot T_{12} \cdot T_{13} \cdots T_{1m} \quad (4)$$

会带来明显的误差<sup>[3]</sup>。

(2) 对于标定单片滤光片的透过率,可以用分光光度计精确测量,但是滤光片本身材料的不均匀使得它各部分的透过率不同(有的相差达 5%)。如果把它用于杂散光的测试,则很难保证实际使用状况与标定的状况相同。

这从另一方面增加了把(4)式运用到杂散光计算中去的不合理性。

本文是用光强递推和滤光片透过率现场标定的办法来解决这一困难的。如果利用图 1 的光子计数系统,在 PMT 前插入一片滤光片,利用光子计数系统就能对所插入的滤光片的透过率进行现场定标。由于光子计数系统的线性动态范围为  $10^4$ ,所以只能标定大于  $10^{-4}$  的透过率。计入所插入的滤光片的实测透过率  $T'_1$  可以使光强测量的线性动态范围拓宽一档。如果再增加一片滤光片,那么总可以在第一片插入的基础上标定第二片滤光片插入所产生的透过率  $T'_2$ 。于是两片滤光片的总透过率为  $T = T'_1 \cdot T'_2$ ,逐片增加滤光片,用递推的方法可得

$$T_0 = T'_{01} \cdot T'_{02} \cdot T'_{03} \cdots T'_{0n}, \quad T_{\Delta\lambda} = T'_{11} \cdot T'_{12} \cdot T'_{13} \cdots T'_{1m} \quad (5)$$

这里,带撇的量与(4)式中不带撇的量不同。

采用递推和现场标定本实验的测量限在光源光强足够大时可以得到很大的拓宽,目前我们能够检测到  $10^{-12}$  量级的杂散光(用一台 15 mW 的 He-Ne 激光器)。

本实验采用双光路的设计思想,利用(2)式进行计算,从而克服光强波动产生的误差。本测量系统把滤光片插在出口狭缝之后比插在进口狭缝之前更为合理。

## 四、测试结果

运用上述测试系统,我们对本室研制的全息凹面光栅单色仪进行了一系列的测试。

图 2 表明杂散光与出射狭缝宽的关系。缝宽增大即通带宽度增大,杂散光也随之增加(针孔  $\phi=1.2$  mm, 出射狭缝高 2 mm)。

图 3 表示杂散光与出口狭缝高的关系。狭缝高度增加,杂散光也增加(针孔  $\phi=1.2$  mm, 出射狭缝宽 0.05 mm)。

图 4 说明两台单色仪串联后中间狭缝宽度对杂散光的影响。中间狭缝越宽,杂散光越大(针孔  $\phi=1.2$  mm, 第二台单色仪出射狭缝宽度和高度分别是 0.5 mm 和 7 mm)。

图 5 反映了两台单色仪串联前后对杂散光的抑制能力。结果表明,两台串联的杂散光水平是单台杂散光水平的乘积。

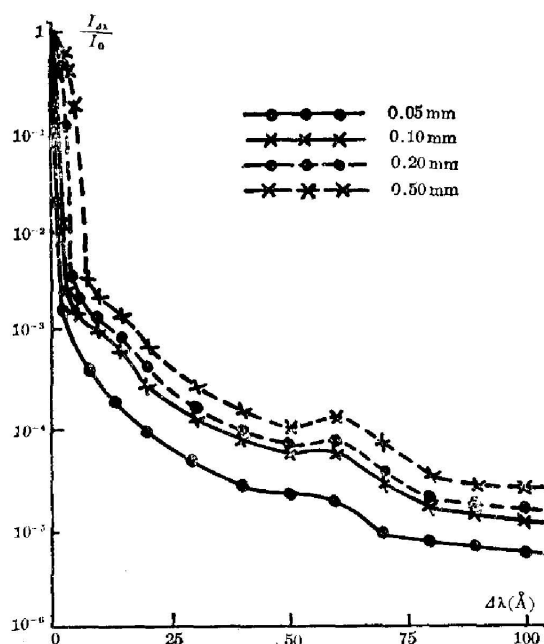


图 2 单色仪出射缝宽对杂散光的影响  
Fig. 2 The dependence of stray light on the exit slit width of monochromators

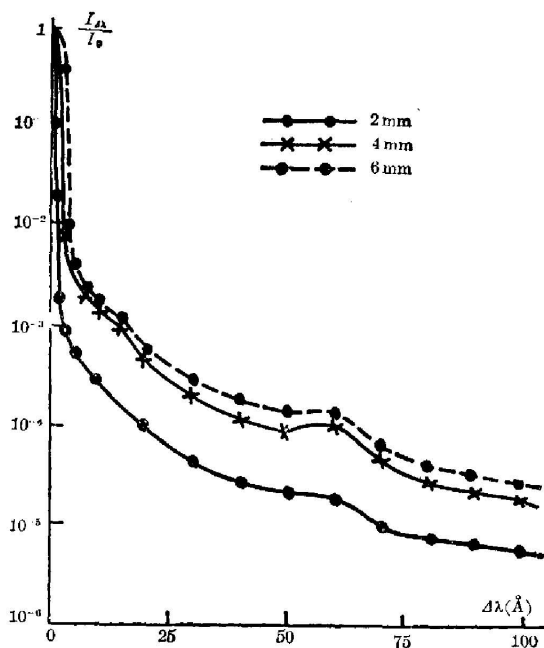


图 3 单色仪出射缝高对杂散光的影响  
Fig. 3 The dependence of stray light on the exit slit height of monochromators

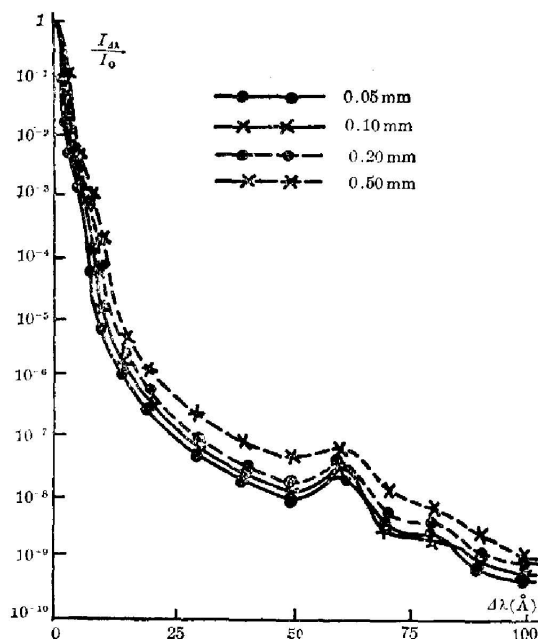


图 4 两台单色仪串联测量的杂散光随中间缝宽的影响  
Fig. 4 The dependence of stray light measured in two monochromators in tandem on the middle slit width

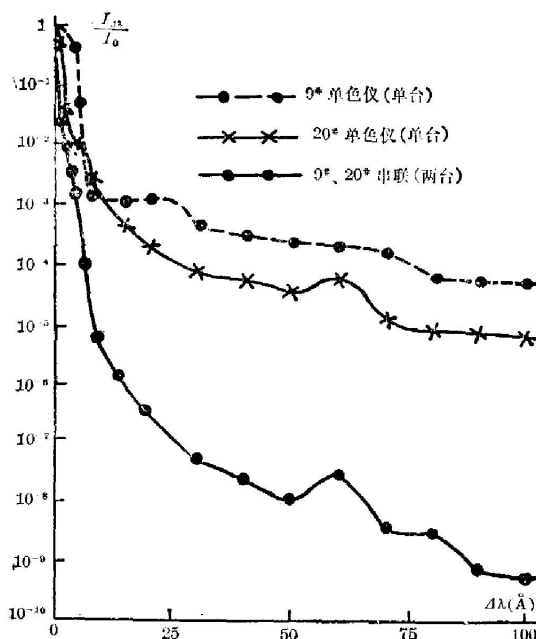


图 5 单台与两台单色仪串联测得的杂散光的比较  
Fig. 5 Comparing stray light measured in single monochromator with that measured in two monochromators in tandem

本实验系统误差为 10%，其中光子计数系统产生 5%，滤光片组的使用产生 3%，光源波动产生 2%。

本工作在本校激光研究室凌德洪教授指导下进行，作者们深表谢意。

### 参 考 文 献

- [1] J. F. Verrill; *Opt. Acta*, 1978, **25**, No. 7 (Jul), 531.
- [2] M. R. Shappe, D. Irish; *Opt. Acta*, 1978, **25**, No. 9 (Sep), 861.
- [3] 林中;《仪器仪表学报》, 1981, **2**, No. 1 (Feb), 91.
- [4] 李同保;私人通讯。
- [5] 杜亚彬;私人通讯。
- [6] A. W. S. Tarrant; *Opt. Acta*, 1978, **25**, No. 12 (Dec), 1167.
- [7] 翁渝民;《物理》, 1980, **9**, No. 1 (Feb), 20.

## Experimental measurement of stray light in holographic concave grating monochromators

ZHU YAYI YIN JIANPING GU HUAJIAN AND DU YABIN

(Laser Research Institute, Suzhou University)

(Received 24 November 1983)

### Abstract

This article deals with the resources of the stray light in holographic concave grating monochromators. A new plan of measuring the stray light is suggested. The linear calibration in large-order-scale is solved by using light intensity recursion, real environment calibration and photon counting technique. The measuring limit of order  $10^{-12}$  is obtained under the condition of the sampling time of the photon counter in one second. This article introduces a new designing idea for eliminating the error caused by the fluctuation of light source intensity and for improving the precision and accuracy of experiment. Finally, the measurement results of the stray light in the monochromatic system of the Raman spectroscopic instrument designed and produced by our institute are given.