

# 消除光谱图中强连续背景的 相干光学处理方法\*

母国光 康 辉 李正明  
(南开大学物理系)

## 提 要

从光学信息处理的观点出发,把有连续光谱背景的光谱图当作低对比度的光学图象,利用相干光学处理系统和适当的空间高通滤波器来消除连续背景.文中给出了实验结果,并作了理论计算.可以认为这是对光谱图提高信杂比的一种新方法.

## 一、引 言

某些光谱图常因谱线淹没在由仪器杂散光或样品的荧光造成的较强的连续光谱背景中,因而使感兴趣的光谱元的测量发生困难,甚至无法进行.特别是在激光喇曼光谱中遇到了这种情况.通常对仪器杂散光引起的连续背景可通过采用两个或两个以上的单色仪的串联方法来减小或消除.然而,这要以牺牲整个待测光谱的强度和使仪器急速复杂化为代价.即使如此,对于有荧光的样品所发出的喇曼光谱亦无法把荧光作为背景来消除.为此,最近有人准备采用微微秒光谱技术,把微微秒级生成的喇曼谱与毫秒级生成的荧光谱从时间顺序上分离开.本文,从光学信息处理的傅里叶频谱分析的角度,提出一种相干光学处理方法,用它可以消除或显著地减弱光谱图中的较强的连续光谱背景,而不管这种连续背景是什么原因产生的.这种方法在改善一般模糊图象中早已有相当成功的前例<sup>[1]</sup>,不过用于处理光谱图,尚未见报道.

## 二、原理及实验方法

谱线淹没在有强连续光谱背景中的光谱图,实际上就是一张光学调制度很低的图象.连续背景为空间零频部分,光谱线为空间高频部分.借助适当的空间滤波器衰减零频,则可得只有或主要含光谱线的光谱图.实验方法是这样的:

将由摄谱仪获得的待处理的有强连续光谱背景的光谱图变换成透明正片,置于相干光学处理系统<sup>[2]</sup>(如图1)的输入平面 $P_1$ 上,由相干平面波照明,于是在系统的频谱平面 $P_2$ 上得到待测光谱图的傅里叶频谱 $F'(\nu)$ .

\* 1979年8月20日收到.

制备一个只作用于零频域的空间滤波器,下式表示其透过率:

$$T(\nu) \begin{cases} = 1 - c\delta(\nu) & \nu = 0, \\ = 1 & \text{其它 } \nu \text{ 值.} \end{cases} \quad (1)$$

其中  $\delta(\nu)$  为  $\delta$  函数,  $c$  为空间滤波器的衰减系数,  $0 < c < 1$ . 将这空间滤波器放在  $P_2$  平面,并令它与  $F'(\nu)$  重合,于是有

$$\bar{F}(\nu) = F'(\nu) \cdot T(\nu), \quad (2)$$

其中  $F'(\nu)$  实际可看作是由两部分组成: 一

是连续光谱背景的频谱分量  $F(0)$ , 分布在系统的光轴上; 另一是诸线光谱的频谱  $F(\nu)$ , 分布在轴外.  $T(\nu)$  只作用于  $F(0)$ , 不影响  $F(\nu)$ . 所以, 经透镜  $L_2$  的傅里叶变换后在系统输出平面  $P_3$  上得

$$\begin{aligned} \bar{f}(\lambda) &= \int_{-\infty}^{\infty} F'(\nu) \cdot T(\nu) \exp(i2\pi\nu\lambda) d\nu \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} F'(\nu) [1 - c\delta(\nu)] \exp(i2\pi\nu\lambda) d\nu \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} F'(\nu) \exp(i2\pi\nu\lambda) d\nu - cF(0), \end{aligned} \quad (3)$$

其中第一项就是待处理光谱图的几何象, 它包含连续背景  $K$  和光谱线  $f(\lambda)$ ; 第二项是在  $P_2$  平面上的由滤波器造成的对背景的衰减量, 并且可写作  $cF(0) = cK$ . 所以上式可改写成

$$\bar{f}(\lambda) = f(\lambda) + (1 - c)K. \quad (4)$$

这就是原为  $f(\lambda) + K$  的待处理光谱图经相干光学处理系统适当的空间滤波后, 在系统输出平面  $P_3$  上给出的图象. 由于总可以使  $(1 - c)$  值比 1 小得多, 所以输出的光谱图的连续背景能是显著减小了的.

设  $M_{1i}$  和  $M_{2i}$  分别为处理前和处理后的光谱图中某一谱线  $i$  的调制度, 由光学调制度的定义及(4)式, 可以得到

$$\frac{M_{2i}}{M_{1i}} = \frac{1}{M_{1i}} \cdot \frac{(1 + M_{1i}) - (1 - c)(1 - M_{1i})}{(1 + M_{1i}) + (1 - c)(1 - M_{1i})}. \quad (5)$$

可见, 当  $c = 1$  时, 即完全遮住零频, 则调制度的提高倍数达极值  $1/M_{1i}$ . 不过, 此时却产生了所谓“调制度反转”的效应<sup>[4]</sup>, 它不适于光谱的测量, 因而不能选取这种条件. (5) 式表明, 对低调制度的光谱图, 采用相当接近于 1 的  $c$  值, 可以有较大的  $M_{2i}/M_{1i}$ .

### 三、实 例

我们拍摄了一些有特意造成较强连续背景的铜谱图, 并将它们变换成正的透明片来



图 2

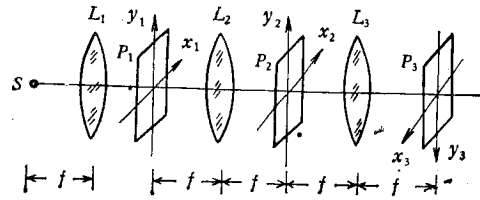


图 1

加以研究。在如图 1 所示的相干光学处理系统中,透明片放在输入平面  $P_1$  上,当不加任何空间滤波器时,对某一待处理的光谱图得如图 2 所示的输出图象,这显然是不能用来测量谱线的。

当我们根据待处理光谱图的光学调制度的情况,选择底片黑度值  $S$  (如图 3 实线所示)、 $c$  值约为 0.64 的空间滤波器  $T(\nu)$ , 并且放在频谱平面  $P_2$  上时,精心调整后,得如图 4 所示的图象。图 5 和图 6 是与图 2 和图 4 对应的光谱记录曲线。这里看到,处理后光谱图的光学调制度已有显著的提高,用这样的光谱图进行光谱线的测量应该说是有价值的。

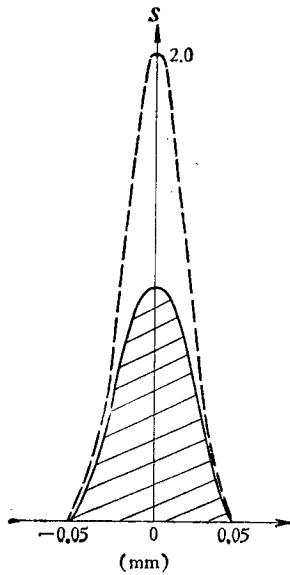


图 3



图 4



图 5

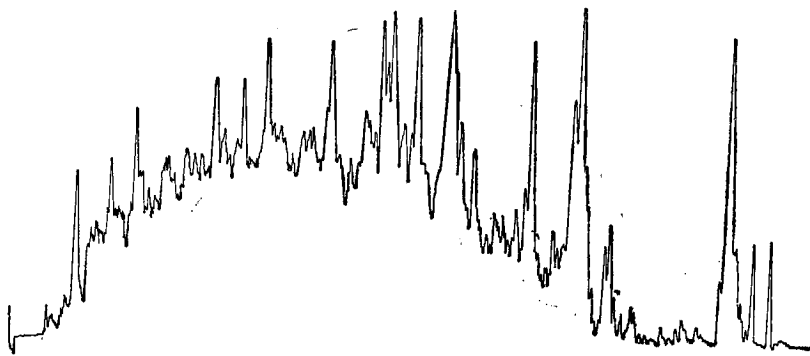


图 6

表 1 给出了由实验测得的图 2 所示未加处理的光谱图中各光谱线的光学调制度  $M_{1i}$ , 和如图 4 所示的经过空间滤波器  $T(\nu)$  滤波后的光谱图中各谱线的光学调制度  $M_{2i}$ , 以及比值  $M_{2i}/M_{1i}$ . 表的最后一行给出了利用 (5) 式计算出的  $(M_{2i}/M_{1i})_{\text{预值}}$ . 可见, 对于  $M_{1i}$  约为 0.1 数量级的谱线, 在给定的空间滤波器处理后, 调制度  $M_2$  一般约有 6—7 倍的提高; 并且当  $M_{1i}$  值递增时,  $M_{2i}/M_{1i}$  值递减, 反之则递增.

表 1

 $c = 0.64$ 

谱线号码 ( $i$ )	1	2	3	4	5	6	7
$M_{1i}$	0.17	0.19	0.08	0.12	0.06	0.11	0.15
$M_{2i}$	0.76	0.50	0.49	0.69	0.42	0.70	0.67
$M_{2i}/M_{1i}$	4.5	2.6	6.1	5.8	7.0	6.4	4.5
$(M_{2i}/M_{1i})_{\text{预值}}$	3.5	3.2	6.6	4.7	8.6	5.1	3.9

## 四、讨 论

1. 为使上述消除连续光谱背景的方法获得预期效果, 必须根据待处理光谱图的光学调制度的高低来选择合适的空间滤波器的函数形式和衰减因子的大小. 我们在实验中采用平行光通过自由圆孔径, 拍摄它在透镜焦平面上的光斑<sup>[2]</sup>, 得底片黑度  $S$  近似  $\delta$  函数形式(图3)的空间滤波器. 这滤波器  $T(\nu)$  实质上是一个高通滤波器.  $c = 0$  时零频项完全不受衰减;  $c = 1$  时零频项完全被遮蔽.  $c$  值即规一化的黑度值曲线所包围的面积. 实验中看到, 一般来说,  $c$  值宜为 0.7 左右.

由(5)式和表 1 可知, 对同一滤波器,  $M_{1i}$  小的谱线会得到比较高的  $M_{2i}/M_{1i}$  值, 并且以  $1/M_{1i}$  作为调制度提高倍数的极限. 表 1 中数据表明, 实验结果与理论预值基本相符.

2. 基于上述考虑, 若连续背景光谱为已知, 采用相干光学处理的减法技术<sup>[3]</sup>来抽取待测光谱线应该更好些. 为此就要制备一个与连续背景光谱对应的傅里叶频谱作为空间滤波器(负片). 这样比较容易解决滤波器函数  $T(\nu)$  形式的选择问题.

## 五、结 语

虽然现代的光谱测量已多不用摄谱方法(高分辨工作还是要摄谱的), 但是在相干光学空间滤波的处理方法能提供如此有效的消除背景光谱的条件下, 特别是在还不宜采用复杂结构的双单色仪或三单色仪以及还不掌握微微秒光谱技术的情况下, 试用本文所提供的相干光学处理方法应该是有价值的; 为某些特殊条件(如遥感中的摄谱)下拍摄的有强背景的光谱图的处理, 这种方法或许是有优越性的.

为实际光谱测量的应用, 我们还在继续实验.

此项工作得到沈寿春教授的指导, 在此谨致谢忱.

## 参 考 文 献

- [ 1 ] J. W. Goodman, "Introduction to Fourier Optics", p. 165; 或 A. R. Shulman "Optical Data Processing", Chp. 7(1970).
- [ 2 ] R. V. Pole and K. S. Pennington, "Optical information processing", Laser Handbook II(1972), 1665.
- [ 3 ] 辻内顺平, 计测 & 制御 (日文), 13(1974), 77 ;或 J. Thompson. "Optical Transforms", Chp. 8, "Optical Data processing". (1972), p. 267.
- [ 4 ] S. K. Yao and S. H. Dee, *J. O. S. A.*, 61(1971), 475.
- [ 5 ] R. L. Beadles and W. M. Breen, Program Optical Society of America; Topical Meeting on the Case of Optics in Microelectronics (1971) MB4; 或 S. H. Dee, S. K. Yao and A. G. Milnes, *J. O. S. A.*, 60(1970), 1037; 或 L. S. Watkins, *Appl. Optics*, 12(1973), 1880.

THE ELIMINATION OF BRIGHT CONTINUOUS  
SPECTRAL BACKGROUND IN SPECTRO-  
GRAM BY MEANS OF COHERENT  
OPTICAL PROCESSING

MU GUO-GUANG KANG HI LI ZHENG-MING

(Department of Physics, Nankai University)

## ABSTRACT

From the point of view of the optical information processing, we consider the spectrogram in which the spectral lines are immersed in the bright continuous background as a low contrast optical picture. By means of the coherent optical processing system and a special high-pass filter, the Fourier spectrum of the continuous background can be reduced and then the final result may appear as a spectrogram without continuous background. This may be considered as a new method for enhancement of the ratio  $S/N$  of a spectrogram.