

用光学多通道分析仪系统作高分辨光谱测量的技术

林理忠 雷杰 普晓云 杨灿珠
(云南大学物理系,昆明 650091)

提 要

通常的光多通道分析仪(OMA)存在着同时谱宽与分辨率的矛盾. 本文所述方法,在不减小谱宽的前提下,可将该分析仪光谱分辨率提高1~2量级,使之可适用于高分辨率谱研究.

关键词 分辨率, 同时谱, 标准具.

1 引 言

光学多通道分析仪虽有灵敏度高、分析速度快、集信息采集、处理、存贮等优点. 但因探头尺寸限制,为兼顾同时谱宽,其光栅多色仪常配置中密度光栅(1200~1800 mm)和短焦距(250~350 mm)的成像透镜. 使线色散约在2~3 nm/mm范围,实际光谱分辨率仅能达到0.18 nm左右. 我们分析了二维光学多通道分析仪探头(vidicon或CCD)和法布里-珀罗标准具的性能参数后,设计了较好的处理软件及硬件,在不影响该仪器其他性能指标的前提下(灵敏度略有下降),使系统分辨极限提高至可低于0.01 nm,甚至0.001 nm,并且有较好的显示方式.

2 原 理

若在光学多道分析仪的多色仪前装上一个由光纤、法布里-珀罗标准具、透镜等组成的附件,如图1所示. 附件使任一单色光在入射狭缝面处形成标准的同心干涉环. 与多色仪的一维色散相结合,在探头像面处形成按不同谱线波长公布的数组同心干涉环^[1]. 在垂于狭缝方向、色散、分辨率与无附件时相同,是正常的低分辨率谱. 在平行于狭缝方向,由附件提供了大色散、高分辨谱. 利用二维探头分迹采集的能力,可同时获得各条谱线的纵向分布数据. 对这些数据作恰当的程序处理,就可以显示高分辨谱.

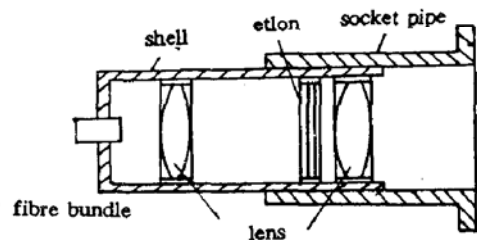


Fig. 1 Sketch of the optical accessory

2.1 法布里-珀罗标准具的角色散公式为^[2]

$$(da/d\lambda) = \cot(\alpha/2), \quad (1)$$

式中 λ 为波长, α 为出射光束与标准具法线夹角. 若成像透镜的焦距为 f ,则沿任意环径方向的

线色散为 $f \cdot (d\alpha/d\lambda)$. 因此, 在干涉环纹中心 ($\alpha = 0$), 线色散为无穷大, 离中心越远色散越小. 为配合探头的纵向尺寸, 必须正确选择 f , 才能取得合适的线色散变化.

2.2 法布里-珀罗标准具的相邻级次环纹的角间距

$$\Delta\alpha = (\alpha/2ND\sin\alpha), \tag{2}$$

当折射率 N 或 D 较小时, 可有较大的 $\Delta\alpha$, 即环纹相对较疏; 当 α 较小时, $\Delta\alpha$ 也较大, 靠近中心环纹较稀. 为适应探头分迹扫描的尺寸和采得恰当数目的环纹, 应注意 D 的选取.

2.3 法布里-珀罗标准具条纹的不重叠区域

D 值的选取还必须考虑法布里-珀罗标准具条纹的不重叠区域这一特性. 为避免混淆显示原低分辨谱中每道内所含的可能波长相差不大的多条谱线, 第一次作高分辨观察时, 必须把法布里-珀罗标准具条纹的不重叠区域设计到大于或等于原光学多通道分析仪每道所含的波长范围. 从(1)和(2)式中很容易算出法布里-珀罗标准具条纹的不重叠区域

$$\Delta\lambda_R = \lambda^2/2ND\cos\alpha. \tag{3}$$

标准具的实际分辨率与其干涉条纹宽度紧密相关, 它决定于精细系数

$$F = 4R/(1 - R)^2, \tag{4}$$

式中 R 为法布里-珀罗标准具的膜反射率. 如果同时出现两波长相隔很近的谱线, 按广义瑞利判据, 能求得分辨率的最小波长间隔为

$$\Delta\lambda_{\min} = 0.33\lambda^2/DF^{1/2}. \tag{5}$$

若采用斯班罗分辨判据, 则为 $\Delta\lambda_{\min} = 0.183\lambda^2/DF^{1/2}$. $\tag{6}$

可见在选取 D 后, 能提高多少分辨率将决定于 F , 即膜的反射率. 本实验中所用标准具的 D 值为 3 mm, 在 600 nm 附近, 其反射率为 90%.

3 分辨率验证

根据塞曼效应理论, 塞曼裂距满足^[3]

$$\Delta\lambda = - (M_2g_2 - M_1g_1)\lambda^2(eB/4\pi mc), \tag{7}$$

这使我们可对任意波段的谱线, 用改变 B 的方法, 实测改进后的实际分辨率.

为了观测的清晰, 实验多数选择了表现正常塞曼分裂的谱线. 所选用的有 Ne 的 585.25 nm, 626.65 nm 等谱线, 它们的塞分裂情况和参数如图 2 所示和表 1 所列.

实验采用 1252 和 1254 两种型号的 vidicon 探头, 按图 3 所示之框图布置实验, 在自编的程序下, 获得了如图 4~图 6 所示的结果. 可见分辨率皆好于 0.01 nm.

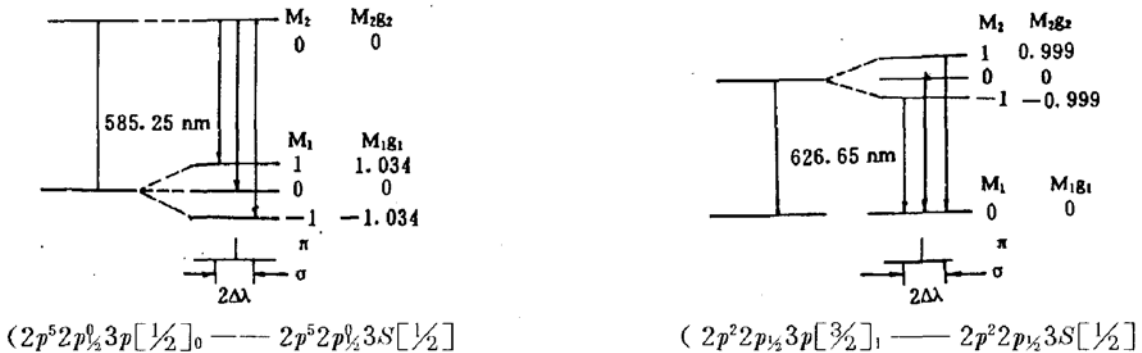


Fig. 2 Zeeman splitting of Ne 585.25 nm and 626.65 nm spectral lines.

(The values of M and g are got from ref. [4])

Table 1 The Zeeman splitting values of Ne 585.25 nm and 626.65 nm spectral lines at different magnetic field intensity.

B (T)		0.36	0.47	0.57	0.69	0.83
λ (nm)	585.25 $\Delta\lambda$	0.0056	0.0078	0.0094	0.0114	0.0137
	626.65 $\Delta\lambda$	0.0066	0.0086	0.0104	0.0126	0.0152

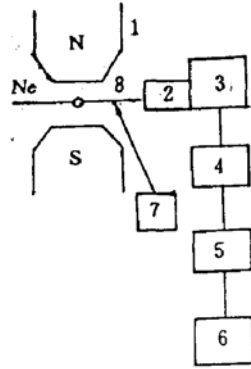


Fig. 3 Schematic diagram of experimental setup.

1 — electromagnet, 2 — optical accessories, 3 — spectrograph (HR-320), 4 — (OMA-3.1254), 5 — (OMA-3.1460 1216), 6 — printer, 7 — gaussmeter, 8 — Ne discharge tube

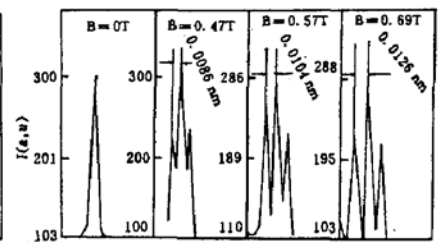
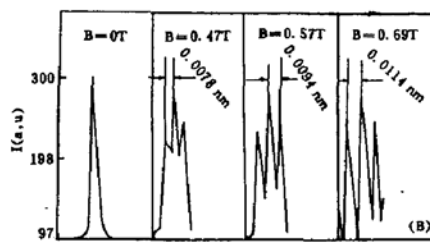
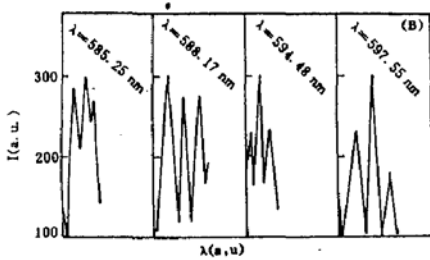
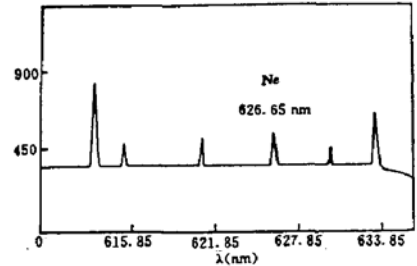
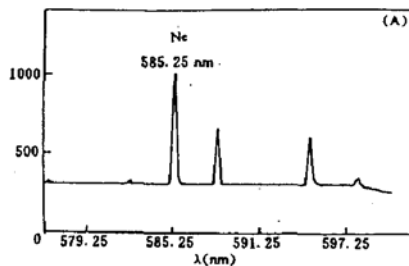
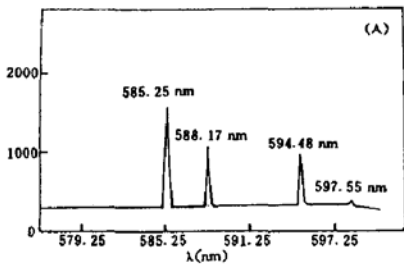


Fig. 4 When magnetic field intensity $B = 0.57 T$, The low resolution spectra (A) and high resolution spectra (B) acquired simultaneously of the Ne discharge tube

Fig. 5 The low resolution spectra (A) and high resolution spectra of Ne 585.25 nm line emitted from the Ne discharge tube at different magnetic field intensity.

Fig. 6 The low resolution spectra (A) and high resolution spectra of Ne 626.65 nm line emitted from the Ne discharge tube at different magnetic field intensity

图 4 是在 570~600 nm 光谱段,在磁感应强度为 0.57 T 时采得的同时谱.然后选 4 条谱线,显示其高分辨谱.可以看出各条谱线的塞曼分裂数目或裂距是不同的.与图 5,图 6 的不同点在于高分辨谱是一次采得的,各条谱线的高分辨谱是真正的同时谱.如果同一谱段有更多谱线,一样可以显示.图 5~6 是 Ne 的 585.25 nm,626.65 nm 谱线在不同磁场时的高分辨谱.

4 讨论与结论

1) 现有的高分辨谱仪价格昂贵,而且不是无法获取同时谱(如大色散的光电光度计),就是灵敏度低(如大型摄谱仪系统).即使将光多道探头与大色散光谱系统结合(如配多道探头的喇曼谱仪),也只能获得谱段很窄的同时谱.而本文介绍此技术可在很宽波段获得高分辨同时谱,并且所需费用很少.

2) 采谱、处理、显示等可全在自编程序控制下进行,且保持了原光学多通道分析仪的自动化特性.

3) 高低分辨谱同时显示,做到既可观察全貌,又可了解细节.此外,高分辨谱的显示,完全象通用谱仪所得的谱,且可打印成硬拷贝.

4) 本文介绍的硬件以螺纹旋进方式加装多色仪入口,拆装容易.

5) 采取不同参数的附件,可获得更高的分辨率.只是不重叠区域减小,这对研究单色谱线形状和宽度十分适用.

6) 利用本附件可作精密波长校准,精度可达 0.01 nm(另文阐述).

本方法尚有两点值得改进:

1) 高分辨谱显示中尚无波长标度.原因之一是目前显示中,水平方向不完全是线性的.若要校准,将要编较繁的程序,我们目前尚未做.

2) 目前的高分辨谱的强度值(计数值)是相对值,若要了解实际强度,需另编显示程序和校准.

参 考 文 献

- [1] J. Mika, T. Torok, *Analytical emission spectroscopy*. London: Butterworths, 1974; 376~380
 [2] C. 坎恩达勒, 近代干涉仪. 上海: 上海科学技术出版社, 1959; 355~366
 [3] 褚圣麟, 原子物理学, 北京: 人民教育出版社, 1979; 184~190
 [4] C. E. Moor, *Atomic Energy Levels*. NSRDS-NBS, 35, U. S. , 1971; 77~78

Technolohy of measuring high resolution spectra with an OMA system

LIN Lizhong LEI Jie PU Xiaoyun YANG Changzu

(Department of Physics, Yunnan University, Kunming 650091)

(Received 16 September 1991; revised 2 December 1991)

Abstract

The optical multichannel analyzer (OMA) is a modern instrument for measuring spectra. But there is a contradiction between the spectral resolution and the measurable width of simultaneous spectra. In this paper, a method has been given out which can enhance the resolution ten times or even one hundred times without reducing the width of simultaneous spectra. The high resolving spectra of an OMA system can be easily obtained with this method.

Key words resolving power, spectral width, Fabry-Perot etlon.