

文章编号: 0258-7025(2004)Supplement-0110-03

## 微机控制的红外光栅单色仪的定标

曲彦臣<sup>1</sup>, 任德明<sup>1</sup>, 胡孝勇<sup>1</sup>, 刘逢梅<sup>1</sup>, 周波<sup>1</sup>, 姜永亮<sup>1</sup>, 陈春雨<sup>1</sup>, 宋文梅<sup>2</sup>

(<sup>1</sup> 哈尔滨工业大学光电子技术研究所暨可调谐激光技术国家级重点实验室, 黑龙江 哈尔滨 150001)  
<sup>2</sup> 哈尔滨东安发动机集团公司, 黑龙江 哈尔滨 150001

**摘要** 利用衍射光栅方程, 分析可见光谱区标准光源的特征谱线的多级衍射特征, 对标准光源的多级衍射进行计算机模拟计算, 确定其多级衍射光强分布。测量汞灯特征谱线和 He-Ne 激光谱线的多级衍射谱分布, 确定多级衍射谱的各级级次。对所得数据处理, 做出拟合曲线, 以多项式拟合方法求得拟合方程。以连续 CO<sub>2</sub> 激光器输出激光进行检测, 同时以谱线分析仪监测, 经过测量其波长, 验证红外光栅单色仪定标准确。

**关键词** 应用光学; TEA CO<sub>2</sub> 激光器; 光栅单色仪; 定标

中图分类号 TP39

文献标识码 A

## Infrared Grating Monochromator Calibration of Microcomputer Control

QU Yan-chen<sup>1</sup>, REN De-ming<sup>1</sup>, HU Xiao-yong<sup>1</sup>, LIU Feng-mei<sup>1</sup>, ZHOU Bo<sup>1</sup>,

JIANG Yong-liang<sup>1</sup>, CHEN Chun-yu<sup>1</sup>, SONG Wen-mei<sup>2</sup>

(<sup>1</sup> National Key Laboratory of Tunable Laser Technology, Optoelectronic Technology Institute,  
Harbin Institute of Technology, Harbin, Heilongjiang 150001, China)  
<sup>2</sup> Harbin Dongan Engine (Group) Co. Ltd., Harbin, Heilongjiang 150001, China

**Abstract** Applying grating diffraction equation, multilevel diffractive characteristic of calibration lines of standard optical source was analyzed. Computer simulative calculation was completed on multilevel diffraction of standard optical source to solve intensity distribution of multilevel diffraction. Multilevel diffraction spectrum distribution of Hg lamp and He-Ne laser were measured, and the order of spectrum was defined. Fit curve was obtained by data processing and polynomial fitting. Infrared grating monochromator calibration was validated to be correct by measuring wavelength of a continuum wave CO<sub>2</sub> laser and monitoring its wavelength to use a spectrum analysis instrument synchronously.

**Key words** applied optics; TEA CO<sub>2</sub> laser; grating monochromator; calibration; optical scanning holography; twin-image noise; far-field; near-field

### 1 引言

单色仪是研究可调谐小型横向激励大气压 (transversely excited atmospheric-pressure-TEA) CO<sub>2</sub> 激光器过程中不可缺少的光谱分析仪器。在对可调谐 TEA CO<sub>2</sub> 激光器调谐输出波长的稳定性研究中, 需要用红外单色仪测量激光波长, 以确定激光输出波长的稳定性<sup>[1]</sup>。对于光栅单色仪, 经过长期使用、更换光栅或运输过程以后会发生偏离, 需要重新定标<sup>[2]</sup>。但在红外区域中由于缺乏标准光源, 所以寻求红外光栅单色仪的最佳定标方法无论是在可调谐 CO<sub>2</sub> 激光器的研究, 还是在红外光谱分析的实验研

究中, 都是十分重要的。

所使用的红外光栅单色仪是 WDP500-D 型自动扫描光栅单色仪。这种单色仪是利用衍射光栅作为色散元件, 把不同波长的光束分开来, 输出一系列独立的、光谱区足够狭窄的单色光。当光栅转动时, 由出射狭缝出来的光由短波到长波依次出现。该仪器的光栅旋转是由计算机控制的步进电机驱动, 其中万向接头转动杆与字轮连接, 光栅的转角与出射波长呈线性关系, 所以字轮的读数就反映了光栅转动后的位置, 从而也反映了出射光的波长<sup>[3,4]</sup>。找出字轮读数  $R$  与出射光的波长  $\lambda$  的一一对应关系, 这就是红外光栅单色仪的定标。单色仪系统内

基金项目: 黑龙江省自然科学基金(F01-10)资助项目。

作者简介: 曲彦臣(1971-), 男, 哈尔滨工业大学光电子技术研究所副教授, 博士, 主要从事红外激光技术、红外非线性光学及光纤技术研究。E-mail: quyan@263.net

部光路,如图 1 所示。

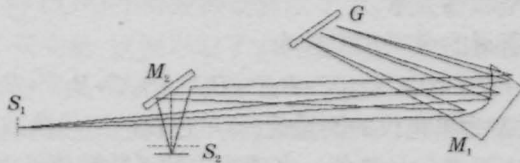


图 1 单色仪光路示意图。S<sub>1</sub>:入射狭缝; S<sub>2</sub>:出射狭缝;  
M<sub>1</sub>:离轴抛物镜; M<sub>2</sub>:反射镜; G:衍射光栅

Fig.1 Schematic diagram of optical channel of monochromator. S<sub>1</sub>:incident slit; S<sub>2</sub>:exit slit; M<sub>1</sub>:paraboloid mirror; M<sub>2</sub>:reflector; G:diffraction grating

生产厂家的定标过程:首先在单色仪内安装 1200 line/mm 的闪耀光栅,闪耀波长 600 nm。以标准汞灯为定标光源,在单色仪的出射狭缝,用光电倍增管接收汞灯特征谱线 435.835 nm(蓝光),546.074 nm(绿光)。在单色仪的扫描范围 200~900 nm 内,可测量到这两条特征谱线的一级谱和 435.835 nm 的二级谱<sup>[9]</sup>。调整单色仪字轮读数和计算机软件中当前位置波长值,使二者与实际谱线值一致。令光栅静止在衍射波长 546.074 nm 处,更换为 50 line/mm 的红外光栅,闪耀波长 12 μm,在出射狭缝处观察到绿光即操作完毕。测量红外光谱时,光谱值为字轮读数×24 nm。但在实际操作中发现,单色仪内的光栅槽有一定的活动范围,导致更换光栅后并不一定是定标特征谱线的第 24 级次。以连续波 CO<sub>2</sub> 激光进行实验检测,同时用谱线分析仪监测,发现单色仪和谱线分析仪的测量值相差很大,该单色仪需采取其他方法重新定标。

本文分析可见光范围内的标准光源的特征谱线的多级衍射分布特性,利用已定标的可见光范围内的标准光源经红外光栅单色仪的多级衍射谱作为标准谱线对红外光栅单色仪进行定标。

## 2 测量过程

He-Ne 激光照射到光栅单色仪的入射狭缝(狭缝高 5 mm,宽 0.015 mm)。调整光路,使入射光照射到光栅中央处。然后光栅单色仪进行半波扫描(从 7000 nm 到 12000 nm 之间,采样间隔为 0.05 nm)和全波扫描(4800~21600 nm),则 He-Ne 激光经光栅衍射到反射镜,再反射到出射狭缝,由出射狭缝处的光电倍增管接收光信号。光电倍增管的输出信号经计算机内的单色仪控制卡(具有数据采集卡功能)采集、处理,显示所有的谱线峰值。测量汞灯多级衍射谱线的光路图中,增加了聚焦透镜和滤光片。加透镜的目的是汇聚入射光束,以提高汞灯入射光的强

度,便于测量。因为汞灯的特征谱线有数条,加入滤光片,是为了测量抽运灯的一条特征谱线 365.015 nm 的多级衍射谱线,如图 2 所示为所测汞灯多级衍射谱分布,图 3 所示为所测 He-Ne 激光 632.8 nm 多级衍射谱分布。

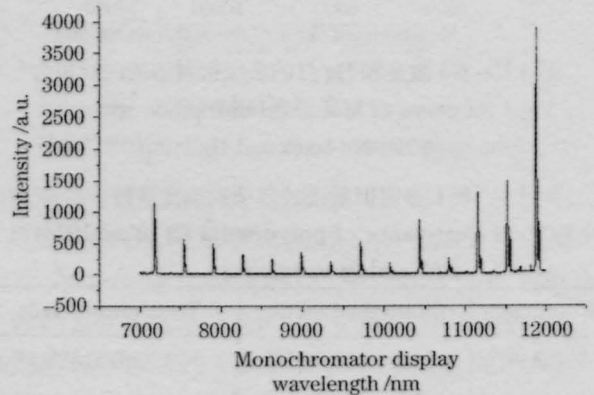


图 2 抽运灯多级衍射谱分布(365.015 nm)  
Fig.2 Multilevel diffraction spectrum distribution of Hg lamp (365.015 nm)

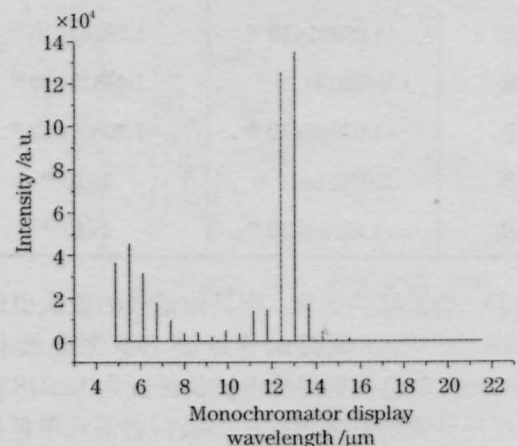


图 3 He-Ne 激光多级衍射谱分布  
Fig.3 Multilevel diffraction spectrum distribution of He-Ne laser

所得到的多级衍射谱,相邻谱线的间隔并不严格等于特征谱线的波长。衍射级次愈大,相邻谱线间隔变小,与特征谱线波长的差在 5nm 以内。该误差的产生来源主要由单色仪的结构影响、光电倍增管的测量误差以及光栅转动的机械误差等因素造成的。

## 3 定标结果分析

利用光栅单色仪扫描连续波 CO<sub>2</sub> 激光,同时用谱线分析仪监测,可测出 CO<sub>2</sub> 激光的峰值位置。与 He-Ne 激光和 Hg 灯的多级衍射谱相比较,可确定 CO<sub>2</sub> 激光峰值波长附近的标准光源衍射谱的级次。

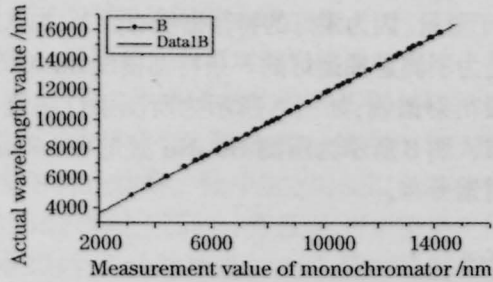


图4 He-Ne激光和Hg灯的多级衍射谱的曲线拟合  
Fig.4 Fit curve of Multilevel diffraction spectrum  
of He-Ne laser and Hg lamp

表1 多级衍射谱的多项式拟合系数

Table 1 Constants of polynomial fit of multilevel  
diffraction spectrum

Coefficient	Numerical value	Truncation error
A	-3015.897581	19086.51385
B <sub>1</sub>	1.95818	17.00297
B <sub>2</sub>	-2.95009×10 <sup>-4</sup>	0.000647
B <sub>3</sub>	4.96442×10 <sup>-8</sup>	1.3731×10 <sup>-6</sup>
B <sub>4</sub>	-4.96991×10 <sup>-12</sup>	1.78164×10 <sup>-10</sup>
B <sub>5</sub>	3.02314×10 <sup>-16</sup>	1.44813×10 <sup>-14</sup>
B <sub>6</sub>	-1.07967×10 <sup>-20</sup>	7.20886×10 <sup>-19</sup>
B <sub>7</sub>	2.02555×10 <sup>-25</sup>	1×10 <sup>-20</sup>
B <sub>8</sub>	-1.45294×10 <sup>-30</sup>	1×10 <sup>-20</sup>

确定了一条谱线的级次,则其他谱线的级次也即确定。谱线分析仪测得的连续波CO<sub>2</sub>激光波长为10.57 μm,单色仪测得峰值波长位置为12.218 μm。根据理论计算的特征谱线的多级衍射谱和单色仪测量得到的多级衍射谱数据,用数学软件进行多项式拟合。对He-Ne激光的多级衍射谱和抽运灯的多级衍射谱一起进行多项式拟合,所得的拟合曲线如

图4所示。拟合的结果较为理想,理论计算值与测量值呈线性关系。

所得的多项式拟合为:

$$Y=A+B_1X+B_2X^2+B_3X^3+B_4X^4+B_5X^5+B_6X^6+B_7X^7+B_8X^8$$
式中, $X$ 为单色仪的测量值(即单色仪的字轮读数), $Y$ 为对应于 $X$ 的计算值。多项式中的系数数值见表1。

通过以上实验和理论计算过程,最终得到单色仪字轮读数与波长的对应关系。当 $X=12218$  nm,则计算值 $Y=10570.997893$  nm,这与实际测量的自由振荡TEA CO<sub>2</sub>激光波长10571 nm非常接近,误差为±0.0021 nm,在误差允许范围内。计算机驱动光栅旋转到12218 nm位置,软件更改单色仪当前位置为10571 nm,完成单色仪定标。

### 参 考 文 献

- 1 Cheng Kaifang. Monochromator calibration with CO<sub>2</sub> laser[J]. *Infrared & Laser Technology*, 1995, 24(5): 53-56  
程开芳. 应用CO<sub>2</sub>激光器校正单色仪[J]. 红外与激光技术, 1995, 24(5): 53-56
- 2 Yang Zhichang, Wang Jianhua. Experimental review on monochromator calibration[J]. *Physics Experiment*, 1995, 15(3): 116-120  
杨之昌, 王建华. “单色仪定标”实验的综述[J]. 物理实验, 1995, 15(3): 116-120
- 3 Ren Qinsheng. CA control of grating-monochromator-spectrum measurement[J]. *J. Jimei Navigation Institute*, 1998, 16(1):1-3  
任勤生. 光栅单色仪光谱测量的计算机控制[J]. 集美航海学院学报, 1998, 16(1): 1-3
- 4 Deng Shihu, Zhang Rongjun, Ni Weiming et al. Development of intelligentized multi-grating monochromator [J]. *J. Infrared Millim. Waves*, 2002, 21(suppl): 133-137  
邓世虎, 张荣君, 倪卫明等. 智能化多光栅单色仪的研制[J]. 红外与毫米波学报, 2002, 21(增刊): 133-137
- 5 W. D. Bare, J. N. Demas. Monochromator wavelength calibration standards extending into the near-infrared using second- and third-order emission lines from mercury vapor lamps [J]. *J. Fluorescence*, 2000, 10(4): 317-324