

滤光器特性的实验研究

卢益民 郭振华 王又青 孙奕 朱晓 杨克成 李再光

(华中理工大学激光技术国家重点实验室, 武汉, 430074)

摘要: 用实验方法研究了滤光器的性能。给出了在环境温度变化和入射角偏离正常值(0°)时, 滤光器中心波长和整个通带形状的变化规律, 并对实际操作过程中应注意的问题进行了论述。

关键词: 滤波器 中心波长 温度系数

Experimental study on the characteristics of the optical filters

Lu Yimin, Guo Zhenhua, Wang Youqing, Sun Yi

Zhu Xiao, Yang Kecheng, Li Zaiguang

(National Lab. of Laser Tech, HUST)

Abstract: The characteristics of the optical filters were studied. When the circumferential temperature is changing or the incident angle was deviation from normal angle 0° , the shift-law of ceteral wavelength and whole curve-shape of the optical-fillter character were given. Also the practical skill of the operation process was described.

Key words: optical-filter ceteral wavelength temperature coefficient.

一、引 言

双折射滤光器具有带宽窄, 波长可调、大视场角等优点^[1], 但在体积和重量等方面干涉滤光器却占有优势。所以干涉滤光器在现代测量中得到更多应用。例如用蓝绿光从飞机或舰船上探查水下目标或测量海床河床地形时, 就常常使用中心波长为 532.0nm 窄带相干滤光器^[2]。它们的带宽通常是 0.2nm, 0.4nm 和 0.6nm。为了能严格控制它们的性能, 这类滤光器往往还附加有电子恒温控制装置。干涉滤光器在其他方面的应用更是多种多样, 例如在生命科学研究中, 使用它可以精密鉴别生物机体在各种情况下发出的荧光特性; 在遥感技术中用于检测各种特殊的辐射源; 在彩色显象技术中用于测量色度和分离不同颜色等, 用这类滤光器可以十分方便而快捷地测出近乎实时的波谱分布。在军事方面, 现代蓝绿激光水下战略通讯^[3]就是利用卫星在外层空间迅速扫描大面积海域和水下核潜艇联系, 深水潜艇使用的接收装置中, 特定中心波长的高质量窄带滤光器是必不可少的器件之一。

由于制作这类滤光器属于高新镀膜技术, 膜层设计和工艺操作都比较复杂, 因此一般说来这类滤光器的成本费比较高。国际市场上, 象 Melles 公司, Day Star 公司, Ealing-Electro Optics 公司等报价约在数千美元到一万美元左右。前苏联科学院劳动红旗公司的报价也在 9~10 千美元之间, 正因为其价格比较昂贵, 而每个滤光器的精确性又有小的差异。所以每个滤光器在出售时都应附有专门的近期测试数据和曲线。即便如此, 经过运输、转手和保管欠妥或较长时间使用之后, 其性能都会发生一些变化, 因此仔细分析研究这种滤光器就十分必需了。

二、实验研究

图 1 是实验装置。进行测量前,首先用细 He-Ne 激光束(632.8nm 红光)准直光路(也可用平行光管复查)。在未插入滤光器之前,通过两个小孔光阑到达法国 THR1500 单色仪入射狭缝面板的光,反射回来又能经过两个小孔而到达 He-Ne 激光器的出射点后成像,复盖在出射点周围,插入滤光器之后,从滤光器迎光面反射回的光也应该再次通过两个小孔光阑 2, 1, 然后到达 He-Ne 激光器出射口对称位置,这样才能保证滤光器的起始位置是垂直于理想光轴的。用钨灯代替 He-Ne 激光器时,仍需重复调节满足上面的要求,以保证光路的正确可靠性。THR1500 的重复精度 0.01nm, 鼓轮上读数精度是 0.02nm。数据获取与处理装置是美国进口的 MC68010 和 IBM-XT 台式电脑系统。

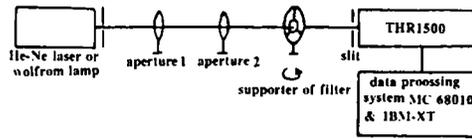


Fig. 1 The scheme of an experimental set-up for study on the optical filters

1. 对从美国进口的滤光器测试:正入射情况下测量温度的影响。温度 $t = 26.5^{\circ}\text{C}$: 信号读数 41mV/5.6mV, 中心波长 $\text{CWL} = 532.12\text{nm}$, 透过率 $T = 13.7\%$, 波带宽度 $\text{FWHM} = 1.22\text{nm}$, 资料存储号 Dc37。温度 $t = 34^{\circ}\text{C}$: 信号读数 41mV/5.5mV, 中心波长 $\text{CWL} = 532.38\text{nm}$, 透过率 $T = 13.4\%$, 波带宽度 $\text{FWHM} = 1.22\text{nm}$, (Dc38)。

通过数据获取与处理系统得到的测量曲线示于图 2。由图中 Dc37 和 Dc38 的比较,可以看出温度的影响,即温度升高时,通带向长波方向移动。实测的移动量是 $\Delta\lambda = 532.38\text{nm} - 532.12\text{nm} = 0.26\text{nm}$, 平均温度系数为 $\Delta\lambda/\Delta t = 0.26/(34 - 26.5) = 0.035\text{nm}/^{\circ}\text{C}$ 。

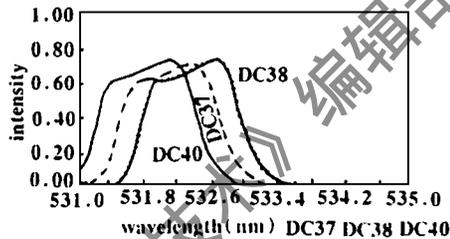


Fig. 2 The characteristics of an optical filter from overseas

一般说带通滤光器中心波长随温度的变化率是小的,而且中心波长越短,变化率越小,表 1 给出了一组典型的高质量滤光器的位移温度系数值^[4]。可以看出对应于中心波长 530, 557nm, 其位移温度系数为 0.021nm 比我们实测的值要小。

Table 1 Temperature dependence of center wavelength

wavelength(nm)	400	476	508	530	557	608	630	643	710	820
temperature coefficient of shift (nm/ $^{\circ}\text{C}$)	0.016	0.019	0.020	0.021	0.021	0.023	0.023	0.024	0.026	0.027

尽管有些商品滤光器可以在 -50°C 到 $+70^{\circ}\text{C}$ 的环境中使用,特殊的产品甚至还可高到 120°C 也能工作。但是它不能忍受大于每分钟 5°C 变化率的热冲击。通常情况下应该保证高级滤光器在 $+20^{\circ}\text{C}$ 温度下工作最为有利,为此常常给高级滤光器附加上一套保持温度恒定的装置以避免中心波长位移。恒温装置一般都是用电热器加热的方法造成局部的恒温小气候。在使用恒温装置时,要特别注意必须把恒定温度指标定在比周围温度稍高一点儿的温度上(例如高出 0.5°C 左右)。这样不但耗能少,对旁边其他仪器设备的热影响也小,而滤光器本身经受的热冲击也很小,能够安全、稳定、长时间不间断地正常工作。

这个滤光器售出前在 1991 年 4 月 18 日和 22 日由 New England 公司测量的数据是: $t =$

20℃, 中心波长 CWL = 532.0nm, 531.98nm; 波带宽度 FWHM = 1.0nm, 透过率 $T = 50\%$, 分别使用不同的仪器 Spcy1704 和 Cary2400。如果以中心波长 531.98nm 为基准把它换算到 34℃时的对应值, 则有: 取位移温度系数 $0.021\text{nm}/^\circ\text{C}$, $531.98 + 0.021 \times (34 - 20) = 532.27\text{nm}$; 取位移温度系数 $0.035\text{nm}/^\circ\text{C}$, $531.98 + 0.035 \times (34 - 20) = 532.49\text{nm}$ 。

第一个值比我们实测的值低, 第二个比我们实测的又高, 若取平均值 $0.028\text{nm}/^\circ\text{C}$, 则得到 $531.98 + 0.028 \times (34 - 20) = 532.37\text{nm}$ 与我们实测的值 532.38nm 几乎完全一致。可见这个滤光器的性能是属于中等水平。我们实测的透过率 T 偏小很多。 T 显著下降有多种因素: (1) 光路准直不够严格, 不是真正地垂直入射, (2) 表面不清洁, 表面损伤不光滑造成吸收或散射, (3) 仪器电子线路不稳造成读数误差, (4) 光源稳定性不够, (5) 中心波长没有对准, (6) 偶然误差。

入射角的影响。保持光轴固定不变, 滤光器绕垂直轴旋转角度 $\alpha = 4^\circ$ 时, 在 $t = 27^\circ\text{C}$ 温度下测得的带通曲线 Dc40 也画在图 2。与垂直入射 $\alpha = 0^\circ$ 时的曲线 Dc37 比较, 可以发现一个明显的规律, 曲线整个地向短波方向移动。在 α 角较小时 ($\alpha < 10^\circ$), 其移动量可由式 $\lambda = \lambda_m \sqrt{1 - (\sin\alpha/n)^2}$ 进行计算。式中 λ_m 是垂直入射时中心波长; n 是有效折射率, 它与波长、膜层材料和光的级数有关。在 $\alpha = 4^\circ$ 偏转角时, 由实验曲线可知测量到的向短波位移是 0.27nm 。这样相对于中心波长 CWL = 532.0nm 的透过率也就与 0° 入射角时不同了。

带宽越窄, 入射角对透过率的敏感性就越强, 另外滤光器面积大时, 其均匀性就难以保证, 这些都会引起误差。理论计算出了对于带宽 1.0nm 的滤光器, 随着入射角 α 变化其透过率 T 的相应数值(表 2)。

Table 2 Transmittance vs incidence α

incidence angle α	0°	5°	10°	20°
transmittance T	100	54	7.5	0.6

在实际使用中, 入射角 α 控制在 5° 以内是比较适宜的, 在特殊情况下, 如果非要大面积的滤光器不

可, 那么可以考虑把单片做成方形, 从大量产品中优选出一些本身均匀性好又彼此性能接近的方片, 侧壁抛光后用光胶的办法组合起来, 外沿加上固定框架即可。

2. 对于国产滤光器样品的测量数据是: $t = 27.5^\circ\text{C}$, CWL = 533.37nm, FWHM = 0.96nm (Dc32); $t = 33^\circ\text{C}$, CWL = 533.63nm, FWHM = 0.93nm (Dc33); $t = 36.2^\circ\text{C}$, CWL = 533.69nm, FWHM = 0.97nm (Dc34)。

$\Delta t = 36.2^\circ\text{C} - 27.5^\circ\text{C} = 8.7^\circ\text{C}$, 中心波长位移是 $533.69\text{nm} - 533.37\text{nm} = 0.32\text{nm}$, 透过率 $T = 33.4\%$, 由此得到温度变化率为 $0.32\text{nm}/8.7^\circ\text{C} = 0.037\text{nm}/^\circ\text{C}$ 。

与进口的滤光器相比, 国产的滤光器的带宽较窄, 透过率较高, 但是温度变化率太大。

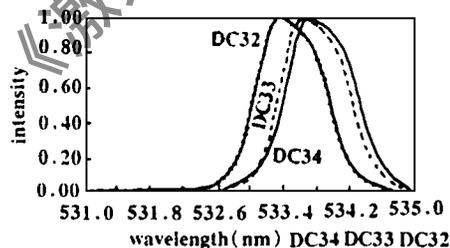


Fig. 3 The characteristics of an optical filter from homegrown

参 考 文 献

- 1 Mao Sh Q, Sun Y, Li Z G *et al.* Proc. SPIE, Lasers and Optoelectronics, 1992; 1979:773~778
- 2 Penny M F, Abbot R H, Philipe D M *et al.* Appl Opt, 1986;25(13)
- 3 郭振华. 兵器激光, 1984; (3): 7~14
- 4 Melles J A. Optics Guide 5, Chapter 11.25, Melles Griot, 1994