

实验技术

扫描球面-平面干涉仪*

权 夕 祖

(中国科学院物理研究所)

一、前 言

在近代光学研究中,高分辨率光谱仪占有十分重要的地位,例如光谱精细结构研究,激光振荡器模分析,激光同位素分离等都要求分辨率高达 10^7 — 10^9 的光谱仪.若采用通常的光栅技术,则光栅尺寸将为数百米.若使用一般的 Fabry-Perot 标准具,则难于克服衍射损耗.

近年来发展了一种称为扫描干涉仪的仪器^[1-4],分辨率可高达 2.5×10^9 .由于使用了被动腔光场本征模的耦合及压电陶瓷体空间扫描技术,故不须将被测光束发散,入射到反射镜面上光点的直径很小(约为 0.1mm).这就降低了对反射镜面质量的要求;放宽了所允许的反射镜面倾斜角度;并且由于采用光电倍增管代替照相底板作接收器,观察灵敏度将大大提高.

扫描干涉仪应用很广,除上述外,还可用于研究 Lamb 凹陷, Zeemann 效应, Raman 散射以及精密地测量谱线形状等.

我们利用气体激光器谐振腔介质反射镜制作了一台扫描球面-平面干涉仪,分辨率为 6.7×10^7 ,精细度为 180,并用来对 He-Ne 激光器进行了一些实验观察.

二、干涉仪的描述

光源发出的较恒定的行波场在通过被动腔时,能有效地耦合为被动腔的低衍射损耗模,被动腔出射的可能频率为

$$\nu_{mnq} = \frac{c}{2L} \left[q + \frac{1}{\pi} (1 + m + n) \cos^{-1} \sqrt{\left(1 - \frac{L}{R_1}\right) \left(1 - \frac{L}{R_2}\right)} \right],$$

其中 L , R_1 和 R_2 分别为被动腔的光学长度及二反射面的曲率半径, c 为光速, m , n , q 为整数,称模序数.在匹配条件下,能量全部耦合到被动腔的低序模,即 TEM_{00q} 模.匹配条件是: (1) $2L = k\lambda$ (λ 为入射光波长, k 为整数); (2) 入射波的方向同被动腔的轴线在同一直线上; (3) 入射光的波阵面的曲率半径与首先相遇的被动腔第一个反射面的曲率半径相等.若 L 足够小,则 $\frac{c}{2L}$ 大于待测光谱宽度,在此情况下,均匀改变 L ,并使改

* 1975 年 3 月 12 日收到.

变范围为一自由光谱程,待测光谱范围内的谱线即按频率高低逐一通过被动腔.为满足匹配条件(3),在光路中引入焦距 f 的双凸薄透镜^[3,5,6],并使下列两式成立:

$$\frac{d_1}{f} = 1 \pm \frac{\omega_L}{\omega_s} \sqrt{1 - \frac{f_0^2}{f^2}},$$

$$\frac{d_2}{f} = 1 \pm \frac{\omega_s}{\omega_L} \sqrt{1 - \frac{f_0^2}{f^2}},$$

对此两式必须选取相同的符号,式中 d_1, d_2 分别为激光器束腰和被动腔(即扫描干涉仪)

束腰到透镜的距离, ω_L, ω_s 分别为激光器和扫描干涉仪束腰的半径(图1), $f_0 = \pi \left(\frac{\omega_L \omega_s}{\lambda} \right)$ 称为特征长度.在一反射镜为球面,另一反射镜为平面的情况下,

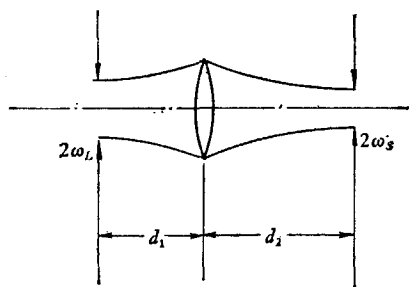


图 1

$$\omega_L = \sqrt{\frac{\lambda}{\pi} \sqrt{l_L(R_L - l_L)}},$$

$$\omega_s = \sqrt{\frac{\lambda}{\pi} \sqrt{l_s(R_s - l_s)}},$$

式中 λ 为光波波长, l_L, R_L, l_s 和 R_s 分别为激光器和扫描干涉仪的腔长和球面反射镜的曲率半径.

为消除激光器谐振腔和扫描干涉仪被动腔之间的耦合,两个腔之间引入了偏振片和 1/4 波片组成的隔离器. 1/4 波片的光轴和偏振片偏振方向成 45° ,使得由扫描干涉仪反回的光在通过 1/4 波片后偏振方向与偏振片的偏振方向正交.

干涉仪腔长的改变采用锯齿波电压激励的压电陶瓷完成^[4]. 光电倍增管接收到的信号输入示波器,示波屏上就显示出被测光源的频谱.

干涉仪结构示于图 2. 干涉仪采用球面-平面结构. 此种结构比采用双平面结构具有较小的衍射损耗,较好的调整稳定性;较之采用双球面结构具有不需同轴调整设备的优点.

干涉仪镜面的平行调整采用粗、细、精三级调整系统,粗调用一般气体激光腔的细牙螺丝调节方向环设计;细调用尖劈调节方向环,精度约为粗调的 10 倍;精调用 PZT 压电陶瓷电调,范围约数秒. 实验证明,这样的三级调节系统可保证将干涉仪调至足够的精度.

干涉仪腔长的稳定性用钢筒保证.

由于采用球面-平面结构,除用匹配透镜进行输入匹配外,为防止高序模的出现,干涉仪腔中加了一个光栏,孔径约为 0.6mm.

光电接收器选用高灵敏度度测量光电倍增管. 显示用一般通用示波器,示波器扫描输出同时用于驱动干涉仪扫描. 扫描器采用 PZT-5 接收型压电陶瓷管,长 29mm,直径 20mm. 谱线显示位移用电池在扫描器上加直流偏压完成.

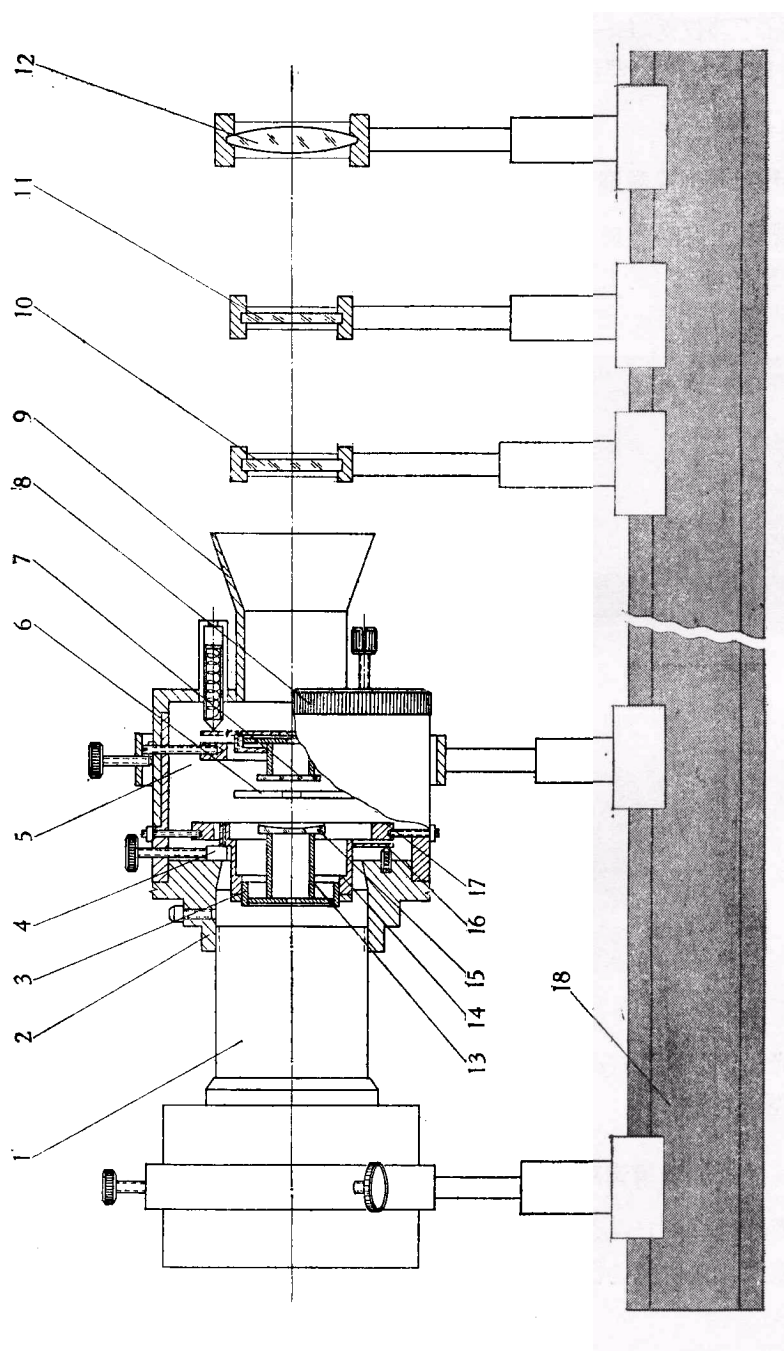


图 2

图中 1——光电接收器; 2, 8——法兰; 3——晶体座; 4——晶体; 5——滑块; 6——连接筒; 7——光栏; 12——平面镜;
 9——挡光筒; 10——1/4波片; 11——偏振片; 12——匹配透镜; 13——压电陶瓷; 14——晶体盒;
 15——球面镜; 16——晶体盒架; 17——方向环; 18——导轨

三、实验结果

我们用此扫描干涉仪对 He-Ne 激光器进行了一系列观察。干涉仪镜片选用上海海光玻璃制品厂产 He-Ne 激光器谐振腔介质膜片(球面镜 $R = 1000 \text{ mm}$, 17 层, 平面镜 11 层)。

1. 稳频 He-Ne 激光器轴模观察

实验用激光器系上海海光玻璃制品厂出品, 腔长约 16 cm。我们用干涉仪观察到稳定的单轴模输出 [图 3(a) 和 (b)]。使用清华大学产激光稳定器稳频后观察到的稳定度为 10^{-7} — 10^{-8} 。

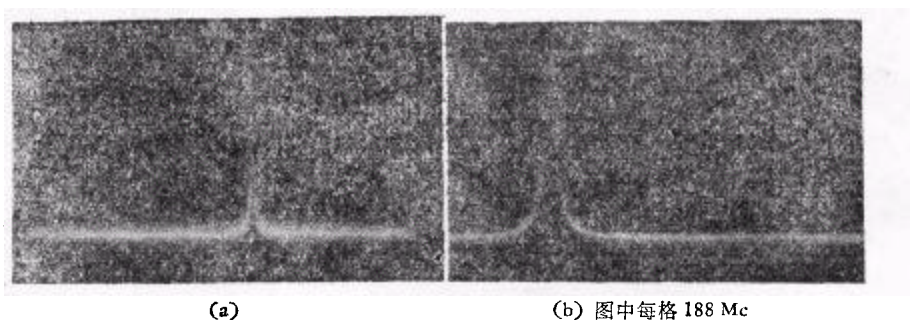


图 3

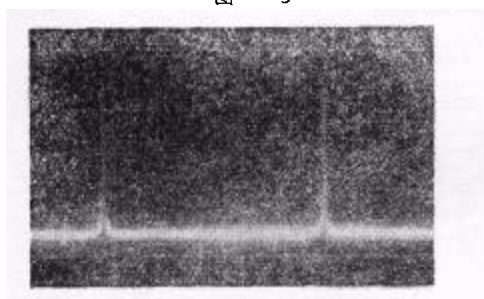


图 4 图中每格 1886 Mc

图 4 为自由光谱程, 由图 3(a), (b) 和图 4 测得此扫描干涉仪的精细度约为 180。在本实验中干涉仪腔长为 1.5 cm。

2. HN₂ 型 He-Ne 激光器轴模谱观察

激光器是上海灯泡一厂产品, 内腔式, 腔长约 24 cm。我们用 1.5 cm 腔长的干涉仪观察到输出激光轴模大部分时间为两个(图 5), 有时也出现单轴模(图 6)。

3. 轴模选择观察

实验用激光器为清华大学产 24 cm 长的外腔式 He-Ne 激光器。我们使用的激光器腔长为 85 cm, 干涉仪腔长是 11 cm。未加轴模选择元件前, 激光器输出 3—7 个轴模(图

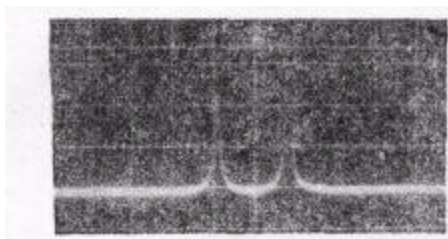


图 5 图中每格 356 Mc

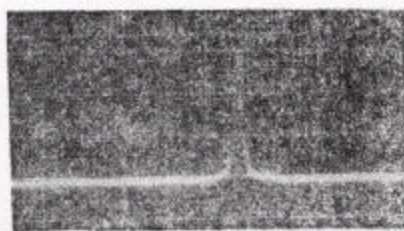


图 6 图中每格 356 Mc

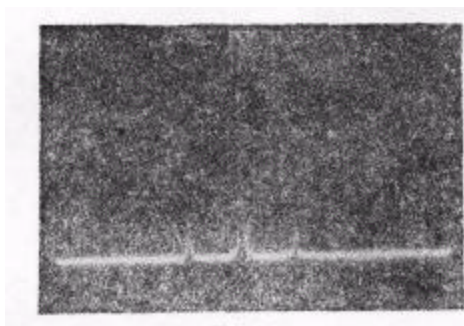


图 7

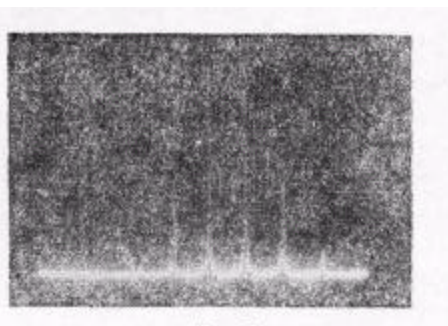


图 8

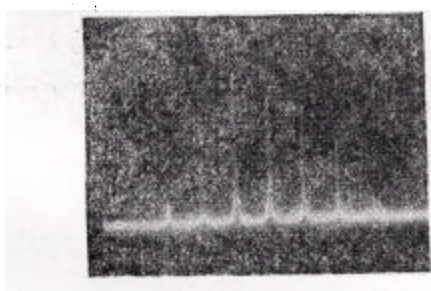


图 9

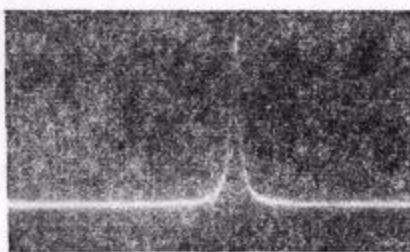


图 10 图中每格 24.8 Mc

7—9). 在激光器腔内插入一个 1 cm 厚的石英平行平晶充当选模标准具时, 输出的轴模减少到 1—2 个, 大部分时间是单轴模(图 10 和 11).

图 12 为单轴模输出时测得的干涉仪自由光谱程. 由图 10 和 12 测得此干涉仪在腔长为 11 cm 时精细度大于 180.

由图 10 测得干涉仪输出脉宽约为 7 Mc, 由此确定仪器分辨率优于 6.7×10^7 (未考虑光源谱线宽度), 即分辨率优于 $0.0001 \text{ \AA}$.

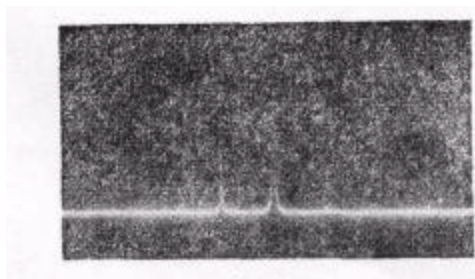


图 11

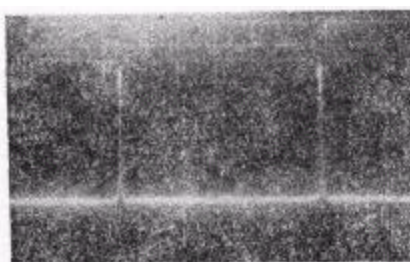


图 12 图中每格 248 Mc

4. Lamb 凹陷观察

我们在干涉仪腔内放入一支 He-Ne 激光管(除去腔内光栏),观察到 Lamb 凹陷(如图 13),使用的干涉仪腔长为 16 cm.

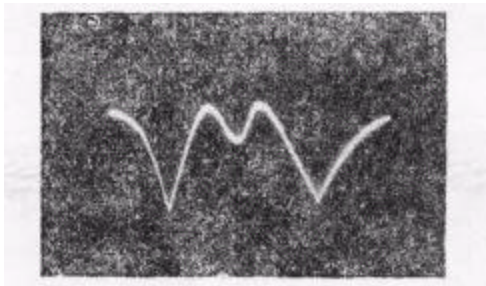


图 13

四、结 语

由上述实验可看出:用气体激光器谐振腔介质膜片制作的球面-平面扫描干涉仪作为连续波激光器轴模谱观察工具是适用的. 由于我们使用的扫描元件是长度仅为 29 mm 的压电陶瓷,其压电伸长小于 $1\text{ }\mu\text{m}$,故此仪器仅能用于紫外至近红外波段. 进一步改进介质膜片质量,扫描干涉仪的分辨率将会有所提高.

参 考 文 献

- [1] P. H. Hindle, N. K. Reay, *J. Sci. Instrum.*, **44** (1967), 360.
- [2] D. R. Herriott, *Appl. Opt.*, **2** (1963), 865.
- [3] R. L. Fork, D. R. Herriott, H. Kogelnik, *Appl. Opt.*, **3** (1964), 1471.
- [4] D. A. Jackson, E. R. Pike, *J. Phys. E, Series 2*, **1** (1968), 394.
- [5] H. Kogelnik, *Bell Syst. Tech. J.*, **44** (1965), 455.
- [6] H. Kogelnik, *Bell Syst. Tech. J.*, **43** (1), Part 1 (1964), 334.