

强模竞争效应导致振荡模谱的变化

Abstract: Variations of mode intensity spectra of a semi-intracavity He-Ne laser put into an axial magnetic field at higher total gas pressure were investigated. A conclusion different from the previous ones was obtained. The experimental phenomena are explained based on strong competition effect between modes.

已有许多文章研究了处于纵向磁场中的气体激光的特性。W. Culshaw 等人详细报道了在纵向磁场的作用下,内腔 He-Ne 激光的相干效应^[1], Akira Shimauchi 等人研究了处于纵向磁场中的外腔 He-Ne 激光器的交替模花样^[2]。我们将半内腔 He-Ne 激光器充入较高的激活介质的气压,并置于纵向磁场中,研究其输出模谱的变化规律,看到了与文献[2]报道的类似的现象,也得到与他们所报道不同的结论。

一、实验装置

实验装置如图 1 所示。用于实验的激光器是一支半内腔的 He-Ne 激光器,放电毛细管的长度为 850 mm,内径为 2.8 mm。管内充入氦氖气的总气压为 2.8 Torr,氦氖气压比为 9 比 1。输出功率约 4 mW。平凹腔结构,凹面反射镜的曲率半径为 3200 mm。螺旋管通入直流电流,用于产生纵向磁场。调节电流可使磁场在 0 至 187 Gs 内连续变化。用球面扫描干涉仪观测振荡模谱,用射频频谱分析仪测量纵模差拍信号。

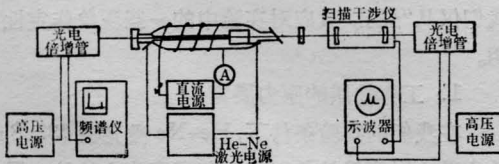
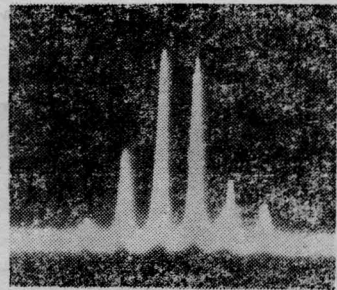


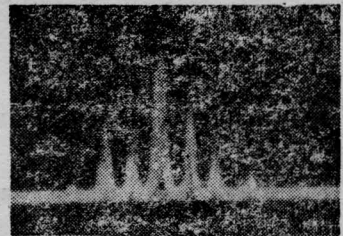
图 1 实验装置

二、实验结果

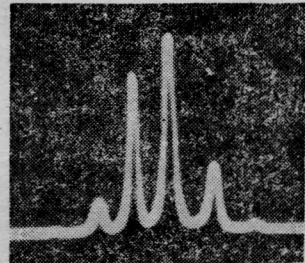
1. 在零磁场时,激光腔长 L 由 1105 mm 增至 2031 mm 的过程中,振荡模谱发生了有趣的变化。图 2 示出了三个典型的模谱照片。图 2(a)为腔长 L 等于 1414 mm 时有六个纵模振荡,相邻纵模的间隔为



(a) $L=1414$ mm 通常模谱



(b) $L=1614$ mm 非稳一级间隔模谱



(c) $L=2031$ mm 稳定的一级间隔模谱

图 2 在零磁场下增加腔长 L 模谱变化的情况

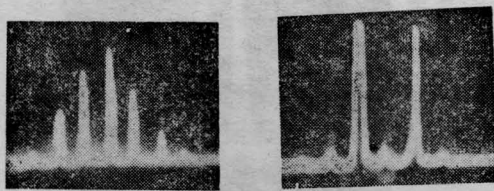
106 MHz,与通常理论所预期的模谱是相同的。随着腔长增加,相邻纵模的间隔逐渐减小,模间耦合越来越强,激光振荡强度猛烈起伏,出现一种强弱相间的不稳定模谱,如图 2(b)所示。在这种情况下,频谱

分析仪上显示的相邻纵模的差拍信号强弱变化不定。当激光腔长增至 2031 mm 时,一些模的强度下降到零,出现一种十分稳定的模谱,如图 2(c)所示。值得注意的是,该模谱图中相邻模的间隔不是 $4f_0$,而是 $24f_0$ 。因为出现该模谱时,在频谱仪上找不到 $4f_0$ (73.8 MHz)的信号(因我们所用的频谱分析仪的测量范围是 0~110 MHz,因此 $24f_0$ 观测不到。但从模谱图随腔长 L 的增加而发生的变化过程,我们可以十分肯定地判断图 2(c)相邻模的间隔是 $2 \cdot 4f_0$,而不是其他值)。我们称这种稳定的模谱是一级间隔模谱。

2. 固定腔长 L , 改变磁场强度可得到如下结论:

半内腔 He-Ne 激光器在纵向磁场作用下,处于以下两种情况之一时,可出现一级间隔模谱。

第一种情况(图 3)



(a) $\Delta\nu=0$ (b) $\Delta\nu \approx 4f_0$

图 3 第一种情况的模谱结构
($L=1305$ mm, $4f_0=114.9$ MHz)

(1) 零磁场下,某一振荡模的中心频率与原子中心线近似重合;

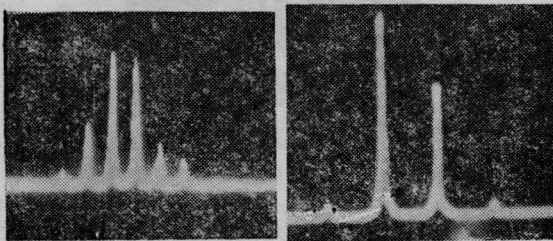
(2) 加磁场使其 Zeeman 分裂为相邻纵模间隔 $4f_0$ 的奇数倍。

第二种情况(图 4)

(1) 零磁场下,振荡模相对于原子中心线对称;

(2) 加磁场使其 Zeeman 分裂为相邻纵模间隔 $4f_0$ 的偶数倍。

Akira Shimauchi 等人只得到了第一种情况的



(a) $\Delta\nu=0$ (b) $\Delta\nu \approx 24f_0$

图 4 第二种情况的模谱结构
($L=1305$ mm, $4f_0=114.9$ MHz)

结论,我们的实验证实满足以上两组条件之一即可实现一级间隔模谱。另外我们还看到,当激光器有较小扰动时,稳定的一级间隔模谱发生跳变现象,跳模的频率间隔为 $4f_0$,如图 5 所示。实验中还观察到当 $\Delta\nu=5 \cdot 4f_0$ 时,可出现二级间隔模谱,如图 6 所示。

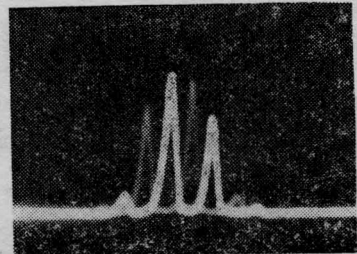


图 5 “跳模”瞬间模谱

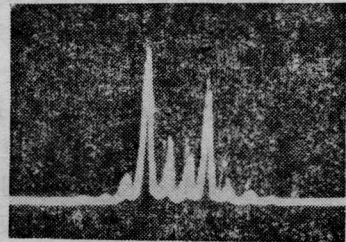


图 6 二级间隔模谱
($L=1897$ mm, $4f_0=79.0$ MHz, $\Delta\nu \approx 5 \cdot 4f_0$)

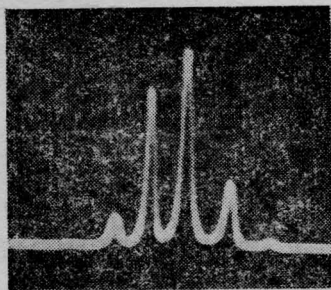
如果进一步增高管内气压,或稍加大腔内损耗,适当调节磁场强度可实现单模运转(图 7)。

三、讨论

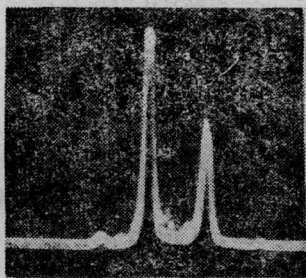
上述振荡模谱的出现是振荡模强烈竞争的结果。由于工作物质的气压效应和斯塔克效应,增高激光管内气压和施加纵向磁场,可使谱线均匀展宽,宽度增加。当均匀展宽的宽度远大于相邻纵模的间距时,振荡模之间的竞争非常剧烈。从理论上对实验中出现的现象作出满意的解释是较困难的。以下我们仅从“烧孔”效应对实验中的一些现象作定性说明。

1. 工作物质的压力展宽

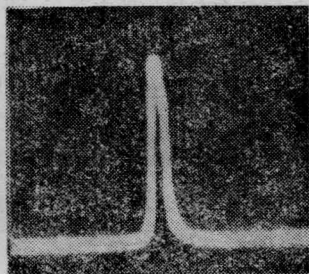
在我们的实验条件下,He-Ne 激光在 632.8 nm 处的谱线展宽仍然是以非均匀展宽为主的综合展宽线型。由于受激辐射的作用,在增益曲线上出现“烧孔”。管内气压增高,“烧孔”宽度也增大,这就导致相邻模的“烧孔”重迭。气压 P 越大,重迭部分就越大,其结果必然加剧振荡模之间的竞争。“烧孔”的宽度与振荡模强度有关。此外,在增益曲线中心附近的两个相邻模,离中心较近的模有较强的强度。该



(a) $\Delta\nu = 0$



(b) $\Delta\nu \approx 5\Delta f_0$



(c) $\Delta\nu \approx 5\Delta f_0$, 腔镜稍调偏

图7 实现单纵模振荡的过程
($L=2031\text{mm}$, $\Delta f_0=73.8\text{MHz}$)

模的“烧孔”宽度较大，结果是使该模的强度进一步增加，而另一个模则被消弱。在一定的条件下，强模

增至最大，弱模则熄灭，形成如图 2(c)所示的一级间隔模谱。

2. 纵向磁场的作用

在纵向磁场的作用下，激光能级产生 Zeeman 分裂。在带布儒斯特窗的激光器中，对应于一个纵模仅有一个线偏振光振荡，而这一线偏振光应包括分别对应于 Zeeman 分量的不同成份，激光上能级的粒子数对 ν^+ 和 ν^- 均有贡献，加之驻波效应，一个振荡模即可在增益曲线上“烧”出八个“孔”来^[2]。所以多个模振荡时“烧孔”必然严重重叠，这就加剧了模之间的竞争。在一定条件下，即可出现图 3(b) 和图 4(b)所示的一级间隔模谱。

应该说明的是，增加管内气压而不施加纵向磁场，或在正常管内气压下施加纵向磁场均可得到强弱交替或一级间隔模谱，两种方法同时使用时，出现一级间隔模谱或获得单模振荡所需要的气压比不加磁场时小。这就可以使激光器输出更强的光，且运转状态更加稳定。

我们的工作得到了清华大学无线电系高以智副教授的热情帮助，我校李宝珍、姚玉兰同志精心制作了实验用的激光器，在此表示感谢。

参 考 文 献

- [1] W. Culshaw *et al.*; *Phys. Rev.*, 1966, **141A**, 229, 237.
- [2] Akira Shimauchi *et al.*; *Science of Light*(Japan), 1970, **19**, No. 1, 14; 1972, **21**, No. 1, 22; *Japan. J. Appl. Phys.*, 1976, **15**, No. 3, 493.

(南开大学物理系 吕可诚 徐海英 刘 钧
1984年11月2日收稿)

超短光脉冲与折射率匹配液的相互作用

Abstract: A train of ultrashort pulse at 530 nm and $1.06\mu\text{m}$ was focused into a 16cm long liquid cell. The measured spectral broadening and stimulated Raman scattering of polychlorotrifluoroethylene shows it is a very good index matching liquid.

在大功率激光器发展中，无论电光调 Q、削波、单脉冲选择及倍频等，均用到电光晶体如 KDP、KD*P、ADP 等，为防止晶体潮解，通常将它们放

置在装有玻璃窗口的特制盒中。这将引起激光的透过损耗和由表面费涅尔反射造成的干涉效应，降低了光束空间分布的均匀性。