

连续氩离子激光的暗心光束

Abstract: This paper studies the central dark-space of CW Ar⁺ laser beams. The relationship between dark-space of beam cross section and discharge current has been measured, the spectrum of laser beam observed, and the forming cause for the central dark-space discussed.

激光电磁场的模式通常是用一个简单的 Laguerre-Gaussian 或 Hermite-Gaussian 函数来描述。但是氩离子激光器的振荡模式(尤其是在高激发电流情况下),与理论预期的结果有明显差别。国外已有许多工作者对脉冲氩激光的振荡模式进行了研究^[1-3]。他们观察到,在较高的放电电流情况下,脉冲氩激光的输出光斑花样是由细环花样组成的环形模式,并研究了毛细管的直径、管内气压、激励电流密度及磁场电流对环形模的影响。在这些研究中,均未涉及连续运转的氩激光的模式。下面报道我们关于连续氩激光的输出光斑花样的研究结果。

实 验

测试系统如图 1 所示。氩离子激光器输出的光束被分束器分为两束,一束经透镜发散后在 E 处用白屏观察光斑花样,或在 E 处用一合光强扫描仪对光斑进行扫描,以记录光斑强度分布的轮廓。另一束光经光电接收器引至频谱分析仪,记录其光束的频谱结构,以检测输出模式是否与常规电磁场模相符。

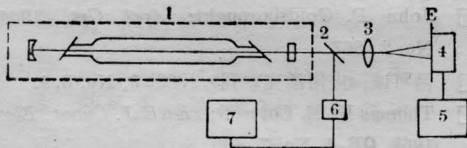


图 1 测试系统

- 1—氩离子激光器; 2—光束分束器; 3—聚光镜; 4—白屏或光强扫描仪; 5—记录仪;
6—光电接收器; 7—频谱分析仪

实验结果

实验中使用了不同厂家生产的连续氩离子激光器,腔长约 1.5m。平凹腔结构,凹面镜的曲率半径有三种,它们分别为 3m、5m 和 7m。毛细管直径为 2.7mm,管内总气压为 0.3 Torr。激光器的放电电流在 16 A 至 21 A 之间调节。实验表明,放电电流由小变大时,激光光斑的中心区域极易出现暗区,我们称为暗心光束,与 Laguerre-Gaussian 函数描

述的 TEM₀₁* 并不完全相同。

1. 不同激光器出现暗心光束时的放电电流的值不同。一般说来,新出厂的激光器出现暗心光束时对应的电流值较高,使用时间较长的激光器对应的电流值较低。

2. 中心暗区随放电电流的变化如图 2 所示。随着放电电流的增加暗区的黑度增加,暗区的大小略有增加但变化不明显。

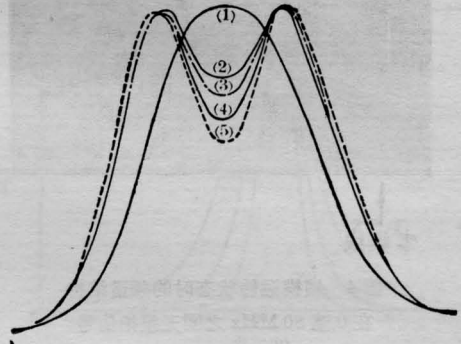


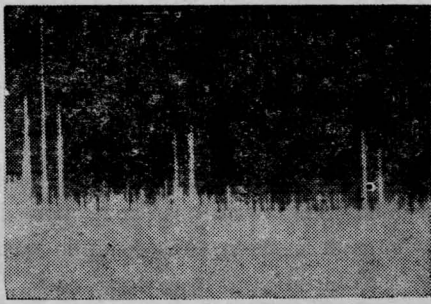
图 2 激光束强度分布与放电电流的关系

- 曲线(1)高斯分布(基模), $I=17\text{ A}$, $W=240\text{ mW}$
曲线(2)、(3)、(4)、(5)为暗心光束,其 I 和 W 值为:
曲线(2): $I=18\text{ A}$, $W=350\text{ mW}$
曲线(3): $I=19\text{ A}$, $W=420\text{ mW}$
曲线(4): $I=20\text{ A}$, $W=500\text{ mW}$
曲线(5): $I=21\text{ A}$, $W=700\text{ mW}$

3. 暗心光束出现时,输出光的频谱结构如图 3 所示。图中五条谱线的频率分别为 3.2 MHz、28.2 MHz、31.6 MHz、67.6 MHz 和 71.0 MHz,这正好是 TEM₀₀+TEM₀₁* 模的频谱结构^[4,5]。

4. 暗心光束的出现与腔镜的曲率半径无关。

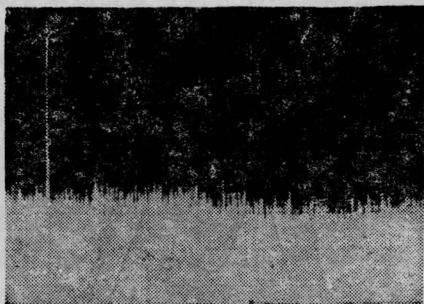
5. 激光器处于锁模运转(主动锁模,放电电流为 21 A,输出功率为 280 mW)时,光束的暗区消失,输出光斑的强度分布为高斯型(如图 2(1)所示),输出频谱如图 4 所示。因此可以断定,锁模运转条件下,激光输出为基模。而在同样的放电电流情况,非锁定运转(700 mW)时,则出现暗心光束。



零频线

图3 暗心光束的频谱结构

零频线右方的五条频线的频率分别为: 3.2 MHz、28.2 MHz、31.6 MHz、67.6 MHz、71.0 MHz



零频线

图4 锁模运转状态时的频谱结构
在 0 至 80 MHz 之间无差拍信号

讨论

从图3的频谱结构看,这种暗心光束与 TEM_{01}^* 模的特征基本一致。但是它的光强分布随放电电流的变化出现如图2所示的情况,并且它的出现与腔镜的曲率半径无关,因此可以认为,这种暗心光束并不完全是空腔选模的结果。联系到一些作者观察到的环形模式^{1-3]},我们认为,暗心光束是常规腔模向环形模式发展的过渡形式,形成的物理机制比较复杂。

文献[6]的作者假定,在氩离子激光器内等离子体截面上,介质的增益与放电电流密度之间的函数关系取下述形式

$$G = K(J - \beta J^2 - J_1)$$

式中 J 为电流密度,其分布取贝塞尔函数的形式。 K 为与管内气压、毛细管直径、光学腔的参数有关的常数。 β 为正比于上、下激光能级的激发常数之间的比例。用这样的函数关系作出的增益径向分布的理论曲线与我们实验中得到的图2极为相似。因此我们认为,在氩离子激光器中,振荡模由 Laguerre-Gaussian 函数描述的常规模式向环形模式的发展过程中,氩离子激光的介质的增益径向分布的变化起了决定作用。但是应该强调指出的是,我们的实验证明介质增益的径向变化不是放电电流密度的变化所致,而是受功率密度控制。因为在我们的实验中,在放电电流相同的情况下,功率密度大(自由运转)时,输出光斑中出现暗区;而功率密度小(锁模运转)时,输出光斑中无中心暗区。因此介质增益的径向变化应取下述形式

$$G = K(\omega - \beta\omega^2 - \omega_1)$$

式中 ω 为激光功率密度。

参 考 文 献

- [1] Lee. W. Casperson; *Opt. and Quant. Electr.*, 1976, **8**, No. 4, 317.
- [2] P. K. Cheo *et al.*; *Appl. Phys. Lett.*, 1965, **6**, No. 9, 177.
- [3] I. Gorog *et al.*; *Appl. Phys. Lett.*, 1966, **9**, No. 1, 61.
- [4] John P. Goldsbrough; *Appl. Opt.*, 1964, **3**, No. 2, 267.
- [5] 吕可诚;《应用激光联刊》,1983, **3**, No. 3, 9.
- [6] Thomas H. E. Cottrell; *IEEE J. Quant. Electr.*, 1968, **QE-4**, No. 7, 435.

(南开大学物理系 吕可诚 盛秋琴
刘志国 吕福云

1985年6月17日收稿)