

$$D(s) = \frac{(-2i)\lambda^2 \sqrt{n(n-1)}}{x[x(x+V) - 2\lambda^2(2n-1)]} \quad (A9)$$

$$C(s) = B(s) \quad (A10)$$

$$E(s) = B(s) \quad (A11)$$

$$I(s) = \sqrt{\frac{n-1}{n}} B(s) \quad (A12)$$

$$F(s) = \frac{(-i)[x^2 - (2n-1)\lambda^2]}{[x(x+V) - 2(n-1)\lambda^2](x-V)} \quad (A13)$$

$$G(s) = \frac{i[xV - (2n-1)\lambda^2]}{(x-V)[x(x+V) - 2(2n-1)\lambda^2]} \quad (A14)$$

$$J(s) = B(s) \quad (A15)$$

$$K(s) = G(s) \quad (A16)$$

$$L(s) = F(s) \quad (A17)$$

$$R(s) = \sqrt{\frac{n-1}{n}} B(s) \quad (A18)$$

$$O(s) = R(s) \quad (A19)$$

$$M(s) = I(s) \quad (A20)$$

$$S(s) = \frac{(-i)[x(x+V) - 2n\lambda^2]}{x[x(x+V) - 2\lambda^2(2n-1)]} \quad (A21)$$

$$N(s) = D(s) \quad (A22)$$

### 参 考 文 献

- 1 Jaynes E T, Cumming F W. *Proc. IEEE*, **51**, 89 (1963)
- 2 Stoler D. *Phys. Rev. D*, **1**, 3217(1970)
- 3 Slusher R E et al. *Phys. Rev. Lett.*, **55**, 2409(1985)
- 4 Milburn G J. *Opt. Acta*, **31**, 671(1984)
- 5 邹明亮 郭光灿. 第二届全国量子光学会议, 青岛, 1986
- 6 Yuen H P. *Phys. Rev. A*, **13**, 2226(1976)
- 7 郭光灿, 王善祥. *中国激光*, **13**, 517(1986)

(收稿日期: 1987年4月29日)

## 等离子体的移动辉纹和 He-Ne 激光的混沌发射

吕可诚 刘志国 巴恩旭

(南开大学)

### Moving striation in plasma and chaos emission of He-Ne lasers

Lü Kecheng, Liu Zhiguo, Ba Enxu

(Nankai University, Tianjin)

**Abstract:** Moving striation in plasma and chaos emission of He-Ne laser light was studied by varying the total pressure of laser tube, pressure ratio between helium and neon, and discharge current. The relationship between the moving striation and chaos emission was discussed.

### 一、引 言

我们在低增益的 He-Ne 激光的 632.8 nm 辐射中看到了各种形式的混沌路径<sup>[1]</sup>, 并设想激光辐射的不稳定性及混沌运转可能与等离子体的特性有关。为了搞清两者之间的联系, 我们作了一系列的实验观测, 试图解释气体激光器的混沌发射机制。

实验中选用了不同厂家生产的 632.8 nm He-Ne 激光器, 将其辉光频谱与激光频谱进行对比观测。用观测激光管侧壁辉光的频谱研究等离子体的特性, 而激光的不稳定性及混沌发射的观测则通过

测量激光频谱来完成, 其频率范围在 0~600 kHz。测试装置示于图 1。

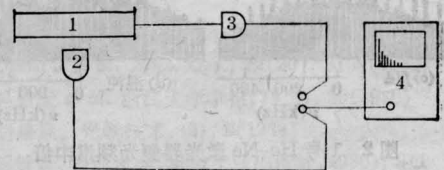


图 1 测试系统简图

1—激光器; 2—侧壁辉光接收器;

3—激光接收器; 4—频谱分析仪

## 二、等离子体的移动辉纹及其频谱

早期的许多研究表明<sup>[3~4]</sup>,在惰性气体的辉光放电中,外貌十分均匀的辉光正柱的特性是十分复杂的,在 He-Ne 激光管的等离子区中,存在着被称为移动辉纹的非稳定状态。多数作者认为,移动辉纹是在低气压气体放电中产生的等离子体振荡,它是在阴极一端产生的空间电荷的小扰动向阳极传播的波动,到达阳极后,随即又通过回路向阴极反馈,进一步引起电荷密度的变化,从而导致电场、电子温度、电子密度的起伏。移动辉纹的特征将会在等离子体辉光频谱中反映出来。最近更精细的观测表明,辉光频谱由尖峰信号过渡到展宽带的过程中,存在着明显的层次结构,实际上这正是些理论所预期的混沌路径。在实验中通过改变等离子体的某些宏观参数来观测其内部特征的变化,并分别观测侧壁辉光的频谱。实验结果概括如下:

(1) 放电电流对侧壁辉光(以下简称侧光)频谱的影响:将放电电流调至略高于辉光放电的临界电流,然后再逐渐减小电流值,将出现倍周期、双频(Ruelle-Takens)混沌路径,如图 2 和图 3 所示。同一支激光器在重复实验的过程中,可能以不同的路径达到混沌。

(2) 侧光频谱特征与管内总气压有关。实验将管内总气压充至约 6 m Pa,然后逐渐减小看其频谱变化。实验表明,总气压较高时(高于 5 m Pa),侧光频谱总是呈现展宽带形式;总气压低于 4 m Pa 时,等离子体呈现稳定状态或只出现简单的尖峰频

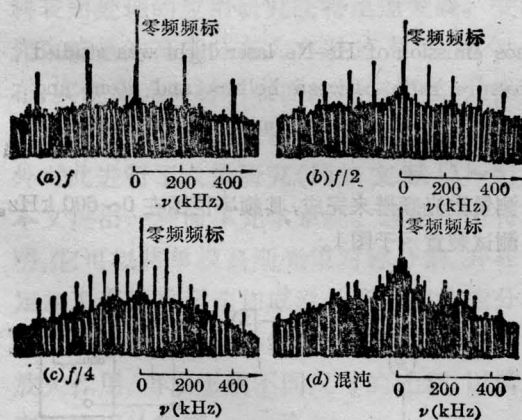


图 2 1 号 He-Ne 激光器侧光频谱中倍周期混沌路径

频率范围:0~50 kHz; 总气压:46.7 m Pa;  
He:Ne=7:1。放电电流:(a) 3.8 mA;  
(b) 3.6 mA; (c) 3.5 mA; (d) 3.4 mA

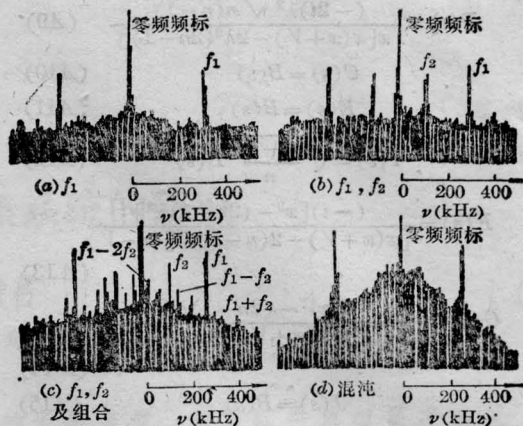


图 3 2 号 He-Ne 激光器侧光频谱的双频混沌路径

频率范围:0~500 kHz; 总气压:49.3 m Pa;  
He:Ne=7:1。放电电流:(a) 4.0 mA;  
(b) 3.8 mA; (c) 3.6 mA; (d) 3.4 mA

谱;而总气压处在 5 m Pa 至 4 m Pa 之间时,易出现一些混沌路径的典型频谱,这一气压范围正好是 He-Ne 激光器的最佳气压范围。

(3) 侧光频谱结构与氦氖气压比有关。实验中将氦氖气压比由 9:1 变至 5:1,测试结果表明,比例较高时易出现典型的混沌路径。

(4) 侧光频谱与激光器的结构有关。实验证明旁阴极结构的激光器与同轴阴极的激光器相比,前者较易产生混沌发射。

由以上实验结果可以看到,改变激光管的总气压、氦氖分气压比以及放电电流这些宏观参数,可明显改变等离子体的状态。此外,不同结构的激光管反映了等离子体边界条件的差异,造成对移动辉纹的影响,这是在不同结构的激光器内观察到不同侧光频谱的内在原因。

## 三、激光的不稳定性和混沌运转

实验中用探测激光功率频谱的方法获得了激光混沌运转的信息。关于 632.8 nm He-Ne 激光的不稳定性和混沌特性,我们曾作过较详细的报道<sup>[2]</sup>,结合最近的实验可概括以下两点:

(1) 在激光器的横模为基模,且多个纵模相对于增益轮廓中心分布很不对称时,侧光频谱与激光功率谱完全一致,就是说,凡是在侧光频谱中出现的信号,在激光功率谱中也能被探测到。激光功率谱的特征与激光器的结构、管内总气压、氦氖气压比及放电电流有关,其变化规律与在等离子体辉光中观测到的完全一致(如图 2 和图 3 所示),只是尖峰信号的

幅度更大,因为接收到的能量远大于侧光能量。

(2) 当激光振荡在高阶横模,或多个纵模相对于增益轮廓中心分布近似对称时,激光功率谱的结构更复杂。图4示出了激光为高阶横模输出时激光频谱(图4(a))和侧光频谱(图4(b))。可以看到,激光频谱中的一些尖峰在侧光频谱中并不出现,这是由于反常色散的进一步加剧使振荡模之间竞争激烈所致。实验表明,激光频谱中的一些附加的信号与横模阶次、纵模个数及纵模在增益线中的位置有关。

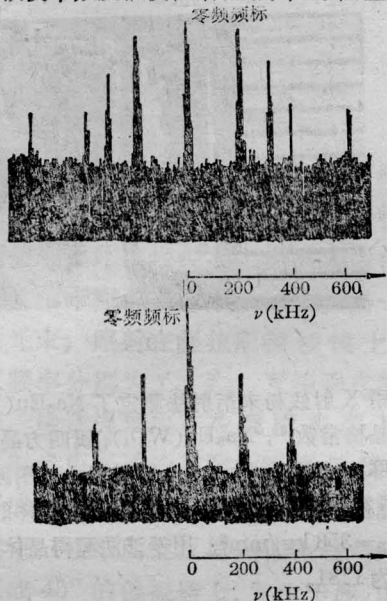


图4 同一支激光器(3号)同一运转时刻的激光频谱(a)和侧光频谱(b)

#### 四、讨论

(1) 尽管等离子体的移动辉纹与激光混沌之间的关系相当复杂,但是在上述实验中,等离子体的辉光频谱能完全反映激光频谱的实验事实表明,在He-Ne激光器中,移动辉纹与激光的不稳定性确实存在着内在联系。从激光的发射原理考虑,最可能的物理机制是等离子体移动辉纹调制了激活介质的粒子数布居,从而使激光发射产生脉动,在一定条件下,这种脉动发展成混沌状态。可以认为,这类混沌发射与以所谓“坏腔条件”为判据的那种混沌现象是两类不同物理机制的混沌发射,因为在低增益632.8 nm He-Ne激光器中是不满足“坏腔条件”的。

(2) 激光振荡中还存在其他原因产生的自脉动和混沌发射。在弱增益的He-Ne(632.8 nm)激光器中,由于模式耦合产生的脉动和混沌也是经常出现的。

82级本科学生董建峰和陈楠鹏同学参加了实验工作。

#### 参考文献

- 1 吕可诚. 物理学报, **34**(10), 1348(1985)
- 2 Garscadden A *et al.* *J. Appl. Phys.*, **35**(12), 3432 (1964)
- 8 Garscadden A. *Appl. Phys. Lett.*, **8**(4), 85(1966)
- 4 上原信吾, 藤井阳一. *Proc. IEEE*, **58**(4), 598(1969)

(收稿日期: 1987年5月26日)

## Na<sub>5</sub>Eu(WO<sub>4</sub>)<sub>4</sub> 发光晶体的光谱特性研究

潘峻 姚连增 陈立高 郭常新 周贵恩 赵贵文

(中国科学技术大学)

### Study on the spectral properties of Na<sub>5</sub>Eu(WO<sub>4</sub>)<sub>4</sub> luminescence crystals

Pan Jun, Yao Lianzhen, Chen Ligao, Guo Changxin, Zhou Guien, Zhao Guiwen

(University of Science and Technology of China, Hefei)

**Abstract:** A novel host laser crystal Na<sub>5</sub>Eu(WO<sub>4</sub>)<sub>4</sub> with a size of up to 4.5 mm grown with gluxing agent slow cooling is reported. Its infrared spectra, absorption spectra, fluorescence spectra, excited spectra and fluorescence lifetime were measured. It shows that the crystal is a promising laser crystal emitting at red spectral range.