

# 内腔 He-Ne 激光的磁致差拍噪声

吕可诚 巴恩旭 张金英

(南开大学物理系)

**提要:** 本文报导了内腔 He-Ne 激光器的一种特殊噪声, 它是由空间磁场(主要是地磁)引起的。根据 Zeeman 激光理论和激光介质的色散特性, 解释了这种噪声产生的机制和变化规律。最后给出了消除此类噪声的方法。

## Magnetic induced beat noise in an intracavity He-Ne laser

Lu Kecheng, Ba Enxu, Zhang Jinying

(Physics Department, Nankai University)

**Abstract:** This paper reports the investigation on special noise in an intracavity He-Ne laser. It is induced by a spatial magnetic field which consists mainly of earth magnet. Based on the theory of Zeeman laser and dispersion character of laser medium, the production mechanism and the regularity of magnetic induced beat noise are explained. Finally some methods for eliminating this noise are suggested.

### 一、实验观察

将内腔 He-Ne 激光器输出的光束分为两路, 一束经偏振器射入光电接收器, 再将信号引入一频谱分析仪(TF 2370)观察其频谱; 另一束经球面扫描干涉仪组合系统观察激光模谱, 或将光束引入光电接收器和示波器, 观测激光输出中交流成分的具体波形和测信噪比。实验装置与[1]类似。

#### 1. 差拍噪声谱的特征

(1) 特征谱由基频和高次谐波组成(图1), 有时也出现连续谱。偏振器的方位不同, 频谱也不一样。去掉偏振器, 噪声幅度大大

降低, 一般情况下, 其幅度高出白噪声 60 分贝。若用示波器显示其交流分量, 可得如图 2 所示的波形, 测得噪信比为 1~10%。

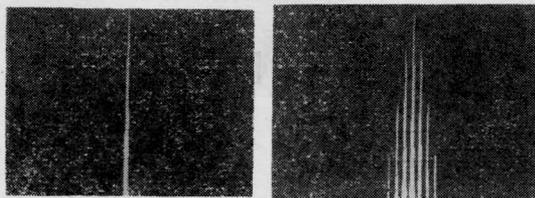
(2) 特征谱的出现是随机的。同一支激光管不同的点燃时间, 出现差拍谱的几率很不相同。

(3) 频谱的频率范围一般在零至几十千赫。同一台激光器, 不同的运转时间, 频率变化范围不相同, 一般是在零与某一最大值之间往复变化, 图 1 为一个变化周期。进一步研究发现, 这种变化周期与腔调谐紧密相连。

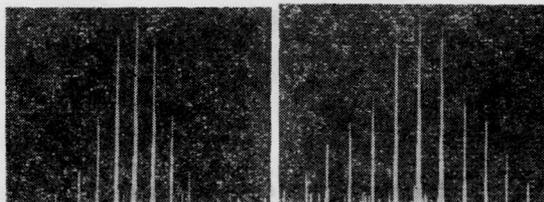
(4) 特征谱出现时, 激光振荡模的幅度变化不定(如图 3 所示)。

收稿日期: 1982年6月7日。

(5) 特征谱出现的几率与激光器放置的方位有关。激光管轴向南北方向放置时, 差拍噪声严重。



(a)  $t_1$  (b)  $t_2$



(c)  $t_3$  (d)  $t_4$

图1 随时间变化的特征噪声谱

(横坐标为频率, 10 千赫/每大格; 纵坐标为噪声幅度, 10 分贝/每大格, 图中央一谱线是仪器的零频线)

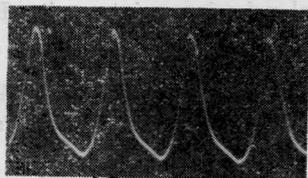
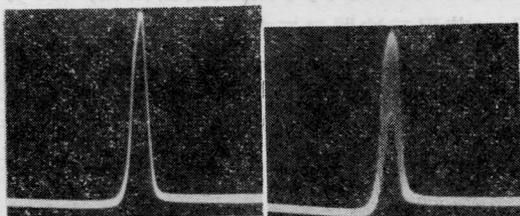


图2 用示波器显示的声波形



(a) 无差拍噪声时的模谱 (b) 有差拍噪声时的模谱

图3 噪声与振荡模式的变化关系

## 2. 特征谱与激光器结构的关系

(1) 测量了腔长为 146、170、230 和 350 毫米不同厂家生产的内腔管, 发现激光器长度的变化不影响此类噪声谱的基本特征, 但腔长的增加使特征谱变得复杂些。

(2) 对不同阴极材料(铝、钼)、不同阴极

尺寸(阴极筒  $\phi 20 \sim 30$  毫米, 长 50~100 毫米)的激光器测量结果表明, 阴极材料及尺寸与此类噪声无关。

不同的阴极结构(同轴和旁轴型)对噪声的频率变化范围有些影响, 旁轴阴极结构的激光器频率变化范围略大。

(3) 激光器管内总气压对此类噪声的影响。在保证激光器相对强度变化不大的情况下, 诱发此类噪声所需要的磁场强度与管内总气压的关系如图 4 所示, 即管内总气压越高, 诱发此类噪声的磁场强度就越大。

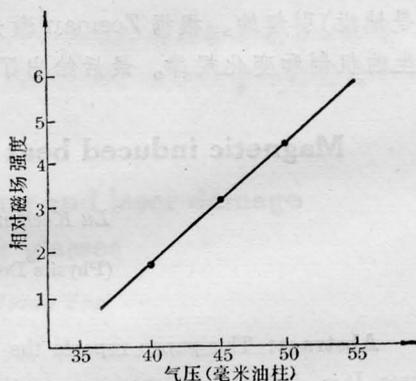


图4 管内总气压与诱导差拍噪声所需磁场强度的关系

(4) 分段毛细管器件仍存在此类噪声。

(5) 半内腔和全外腔器件无此类噪声。

## 3. 磁场对噪声谱的影响

若用一永久磁铁置于内腔激光器附近, 并改变其方向和大小。实验证明, 激光器本身已不出现噪声, 在某些取向的磁场作用下, 则可使噪声出现; 激光器本身有噪声输出时, 磁场使噪声谱的频率变化范围和幅度增大。磁场所诱发出的噪声谱与随机出现的噪声谱完全一致。

用密绕螺旋管式电磁场试验, 证明是纵向(平行于激光管轴)磁场诱导了此类噪声。

## 二、理论分析

W. J. Tom Lison 等人<sup>[9]</sup> 在假定激光为

单纵模运转,并忽略腔的各向异性的情况下,将由 Lamb 理论导出的基本结果简化为:

$$\dot{E}_+ = E_+(\alpha_+ - \beta_+ E_+^2 - \theta_+ E_-^2) \quad (1)$$

$$\dot{E}_- = E_-(\alpha_- - \beta_- E_-^2 - \theta_- E_+^2) \quad (2)$$

$$\nu_+ = \Omega + \sigma_+ + \rho_+ E_+^2 + \tau_+ E_-^2 \quad (3)$$

$$\nu_- = \Omega + \sigma_- + \rho_- E_-^2 + \tau_- E_+^2 \quad (4)$$

式中  $E_+$ 、 $E_-$ 、 $\nu_+$ 、 $\nu_-$  分别表示右旋和左旋偏振光的电场和频率;  $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\theta$  分别表示激光介质的信号增益、自饱和系数与互饱和系数;  $\sigma$ 、 $\rho$ 、 $\tau$  分别表示模牵引系数、自排斥系数和互排斥系数。  $\Omega$  为两圆偏振光的无源腔振荡频率,并假定  $\Omega_+ = \Omega_- = \Omega$ 。

用一个偏振器将两个相反方向的圆偏振振荡混合,设偏振器的轴与所选坐标系的  $x$  轴的夹角为  $\theta$ ,可以证明两圆偏振光的合成光强为:

$$I = (E_+^2 + E_-^2)/2 + E_+ E_- \cos(\psi - 2\theta) \quad (5)$$

$$\psi = (\nu_+ - \nu_-)t + (\varphi_+ - \varphi_-) \quad (6)$$

由(5)式可以看出,合成光强是在直流分量上迭加一交流成分。交流成分对激光调制,结果使激光噪声谱中包含基频和高次谐波。

在忽略腔的各向异性影响的条件下,左旋和右旋偏振振荡的差频为:

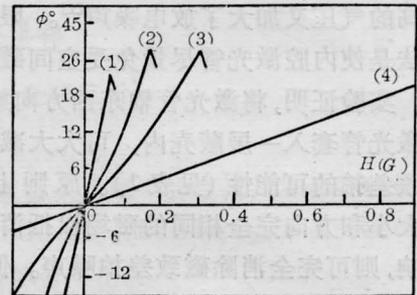
$$\Delta\nu = \nu_+ - \nu_- = (\sigma_+ - \sigma_-) + (\rho_- - \tau_+) E_+^2 - (\rho_+ - \tau_-) E_-^2 \quad (7)$$

可以看到,  $\Delta\nu$  取决于激光介质的一级和三级色散函数的具体形式,也取决于它们的振荡强度。

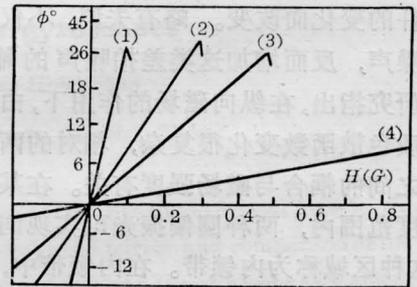
由以上分析可知,这类差拍噪声的产生完全由激光介质的特性所决定,磁场是诱发差拍噪声的外部原因。因此,内腔激光器的结构形式不影响噪声谱的基本特征。

差拍谱的出现与磁场强度的变化关系,受激光振荡强度、腔调谐和管内总气压的影响。图4和图5示出了这几种变化关系<sup>[3]</sup>。图中  $\phi$  是激光振荡为线偏振时,在纵向磁场的作用下偏振面的旋转角度( $\phi$  的坐标不是线性的)。曲线的拐点为差拍出现的位置,  $\Delta f$  是腔调谐偏离增益线形中心的位置,  $\Delta f$  为零

时,即腔调谐在线形中心。由图看出,磁场在 0.1~0.6 高斯时,在一定的条件下就可能出现差拍噪声。一般地磁为 0.5 高斯,在激光放置的方位上,可能获得的纵向磁场分量的大小正好处在这一范围内。因此,空间磁场的存在完全可能使内腔激光器出现这类磁致差拍噪声。激光振荡强度越大,腔调谐越接



(a)  $\phi$ - $H$  曲线与激光强度的关系。  $\Delta f \approx 0$ ;  
相对强度: (1)13.4, (2)11.7, (3)6.6, (4)3.0



(b)  $\phi$ - $H$  曲线与腔调谐的关系。相对强度: 10;  
 $\Delta f$ (兆周/秒)

(1)0 (2)160 (3)120 (4)200

图5  $\phi$ - $H$  曲线与激光振荡强度、腔调谐的关系

近中心频率,以及管内总气压越低,差拍出现所需的磁场强度就越小。因此即使是在固定强度的磁场中,不同激光管,或同一支激光管在不同的运转时间,这种差拍噪声出现的可能性也不一样。

地磁方向是固定的,显然,激光器的方位不同,所获得的纵向磁场分量也不同,因此出现磁致差拍谱的几率与激光管的方位有关。

以上的理论分析是在假定激光单纵模运转情况下进行的。多模激光在磁场的作用下,出现的不只是一对圆偏振振荡,差拍谱将是几组简单的谐波谱的迭加。所以激光管越

长,差拍谱也就可能越复杂。

### 三、抑制磁致差拍噪声的方法

综合实验和理论分析,改变内腔激光器的结构形式不能避免磁致差拍噪声。虽然稍高的管内气压可减小这类噪声出现的几率,但较高的气压又加大了放电噪声<sup>[1]</sup>。限制它的方法是使内腔激光管尽量免受空间磁场的影响。实验证明,将激光管轴东西方向放置,或将激光管套入一屏蔽壳内,可大大减小出现磁致差拍的可能性(见表1)。原则上讲,施加大小和方向完全相同的磁场以抵消地磁的影响,则可完全消除磁致差拍噪声。但是,因为诱导该噪声的磁场强度很弱,外加磁场必须精心调节,且应随激光的放置方向和运转条件的变化而改变。略有失调,不仅不能抑制噪声,反而增加这类差拍噪声的输出。一些研究指出,在纵向磁场的作用下,由于激光介质色散函数变化很复杂,相对的两圆偏振光之间的耦合与磁场强度有关。在某一磁场强度范围内,两种圆偏振光可实现同步振荡,这种区域称为内锁带。在内锁带中,激光输出是只有一个频率的线偏振光,无差拍出现。磁场的作用,只是使偏振面转了一个角度。随着磁场的增加,两圆偏振振荡之间的耦合程度减弱,出现差拍。磁场再增加又可出现第二个内锁带。因此,可以给内腔激光管施加稍大的磁场,使之处于第二个内锁带,则可消除磁致差拍噪声。我们将不同类型的激光管套入长为200毫米,直径为50毫米的密绕螺旋管内(见图6),实验结果也列于表1。可以看到,对于同轴阴极的激光管,此种方法也是消除磁致差拍噪声的有效方法。但对旁轴阴极的激光管,效果不够理想。实验表明,以上方法不能彻底消除此类噪声。

理论分析表明,输出单一线偏振光的激光管在弱磁场的作用下,不产生上述差拍噪声。实验情况列于表2。实验结果表明,要

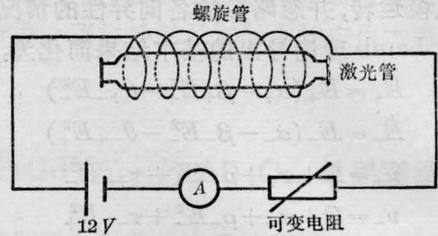


图6 使激光振荡处于第二内锁带的方法

表1 抑制磁致差拍噪声的实验结果

激光管号	2886#	8133#	8215#	8115#
阴极材料	铝	铝	铝	铝
阴极结构	同轴	同轴	同轴	旁轴
腔长(毫米)	230	250	350	170
毛细管类型	不分段	不分段	分段	不分段
激光管轴东西方向	无差拍噪声	无差拍噪声	噪声幅度减小,频率范围缩小	无差拍噪声
激光管外加屏蔽壳	无差拍噪声	无差拍噪声	无差拍噪声	噪声幅度降低,频率范围缩小
第二内锁带所需磁场(高斯)	1.5~4.5	1.9~5.0	2.5~9.0	不稳定

彻底消除磁致差拍噪声,必须把激光管设计成半内腔或全外腔结构。

表2 消除磁致差拍噪声的实验结果

激光管号	8213#	4755#	8202#	8014#	8022#
腔长(毫米)	146	230	300	1000	1800
腔结构	半内腔	半内腔	半内腔	全外腔	全外腔
差拍噪声测试	无噪声	无噪声	无噪声	无噪声	无噪声

沈寿春教授给予了热情指导,姚玉兰、李宝珍同志协助了实验工作,在此表示感谢。

### 参 考 文 献

- [1] 吕可诚,巴恩旭等;《激光》,1981, 8, No. 10, 13.
- [2] W. J. Tom Lison, R. L. Fork; *Phys. Rev.*, 1967, **164**, No. 436, 466.
- [3] W. Culshaw, J. Rannelaud; *Phys. Rev.*, 1966, **141**, No. 229, 237.