

# 氦-镉激光深度自调制机理研究

吕建华 唐武 蒋家麟  
(上海激光技术研究所)

## 提 要

本文从氦-镉激光(4416Å)的离子波特征频率深度自调制这一实验现象出发对其机理进行了初步讨论。认为自调制输出由移动辉纹引起亚稳态氦原子密度起伏经潘宁碰撞而产生。深度调制相应于正柱阳极端具有较强的初始扰动,但沿管轴的放大系数并不大。

## 一、引 言

正柱型氦-镉激光(4416Å)输出具有较大功率和过量噪音,但产生噪音的机理迄今尚未完全清楚。Hernquist认为放电管内镉蒸汽浓度起伏导致噪音;Silfvast强调潘宁碰撞引起氦亚稳态密度和电子密度起伏造成放电噪音;铃木健夫<sup>[1]</sup>则认为行走辉纹是噪声源由。我们在放电管外设置矩形铝罩壳后,在激光器通常工作电流条件下,获得以噪音谱中离子波特征频率深度调制激光输出的新现象<sup>[2]</sup>。本文主要对这种深度自调制输出机理进行初步探讨。

## 二、实验结果

实验用的激光器是恒流源控制放电电流和镉炉电流的外腔式结构,其玻璃放电管的内径为2.8mm,氦压为3Torr。正柱区长度150cm,放电管外放置与此等长的薄壁矩形铝罩壳(宽和高分别为50mm与60mm)。激光器的腔长180cm,工作在TEM<sub>00</sub>模。实验装置如图1所示。

激光连续输出时的噪音谱如图2所示。它为连续频谱,极低频处幅值较大,且受激光器电源整流后输出纹波的影响;在几千赫到几十千赫范围内随 $f$ 线性降低,该范围随放电电流上升而逐渐变小;上述区域的趾部附近有一个幅值不大的峰值噪音,其频率相应于激光管离子波噪音的特征频率;更高频率则趋于量子噪音水平。

放电毛细管外设置矩形铝罩壳后,激光深度自调制输出的噪音谱如图3所示。它与图2的差异在于除特征频率(64kHz)外,还有相继不同的特征次峰(128kHz, 192kHz),尤其是电离波特征频率幅值急剧增大。

对纯氦放电侧光测出的噪音谱如图4所示,其特征峰幅值与激光输出噪音谱图2相似,

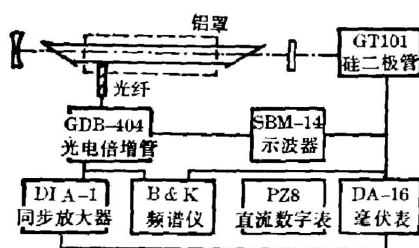


图1 实验装置

Fig. 1 Experimental arrangement

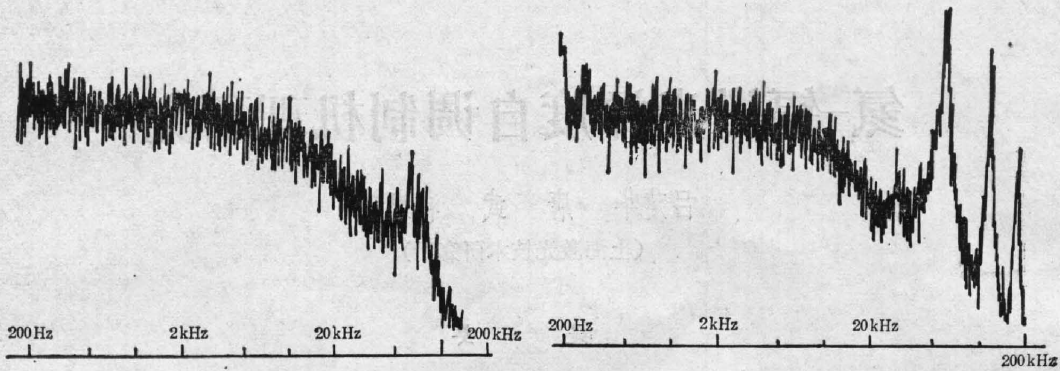


图 2 激光连续输出频谱(80 mA)

Fig. 2 The output successive frequency spectrum of the cw laser (80 mA)

图 3 激光深度自调制输出频谱(100 mA)

Fig. 3 The frequency spectrum of the laser output with deep self-modulation (100 mA)

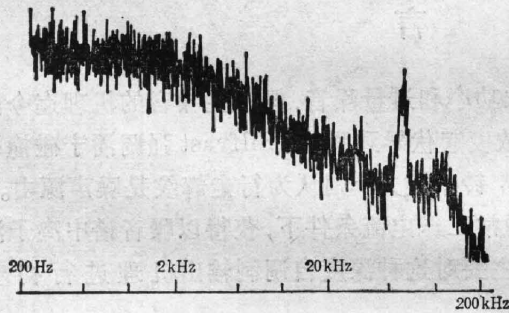


图 4 纯氦放电频谱(73 mA)

Fig. 4 The frequency spectrum of pure helium discharge (73 mA)

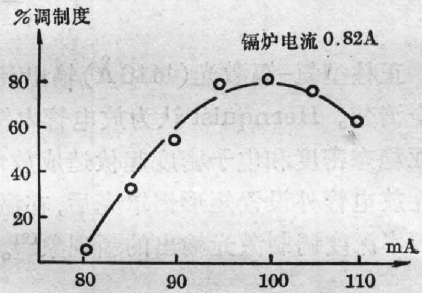


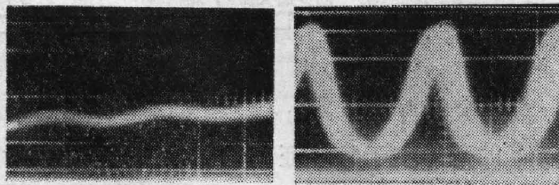
图 5 输出激光调制度变化曲线

Fig. 5 The modulation index of the laser output vs the discharge current

峰值要高一些, 纯氦放电中移动辉纹引起的离子波特征频率和激光自调制频率一致, 也是 64 kHz。当放电电流过大或过小时, 特征峰幅值均变小。撤除放电管外铝罩壳对纯氦的噪声谱影响不大。

图 5 为辐射电流不变时, 不同放电电流下激光输出特征频率 64 kHz 的调制度变化曲线。在 100 mA 时调制度达到极大。图 6 为激光输出强度随时间变化的波形照片。

在输出激光深度自调制时, 维持辐射电流不变, 瞬态减小放电电流时, 输出激光调制度迅速减小, 当调回到原先放电电流时, 激光调制度可恢复到原先值。此时, 在放电管附近区域



85 mA (5 μs/div)

100 mA (5 μs/div)

图 6 输出激光调制波形

Fig. 6 The modulated output of the laser

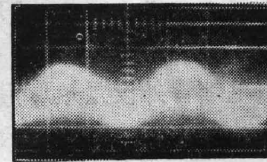


图 7 特征频率的辐射(5 μs/div)

Fig. 7 The radiation of the characteristic frequency

经示波器探头检测,在示波器上可观察到这一特征频率的辐射(图7),其辐射强度与激光调制成正比。

在不同镉炉电流时,从输出激光调制度变化的曲线(图8)可知,要获得较高的输出调制,必需有一定的镉离子浓度。另外,增大镉炉电流时,激光输出调制度需经一定时间才能达到稳态。

激光深度调制输出时,放电管侧光经光纤导向 GDB-404 光电倍增管,并经有源带通滤波器和 DLA-1 型同步放大器进行选频放大。测量了特征频率 64 kHz 的侧光相对强度与正柱区位置的曲线(图9)。

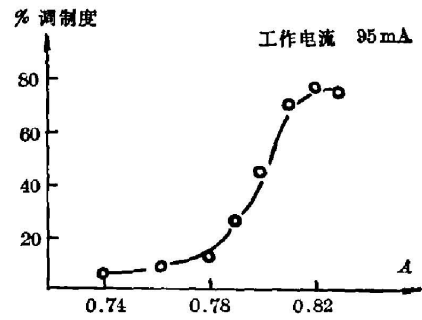


图8 输出激光调制度变化曲线  
Fig. The modulation index of the laser output vs the oven current

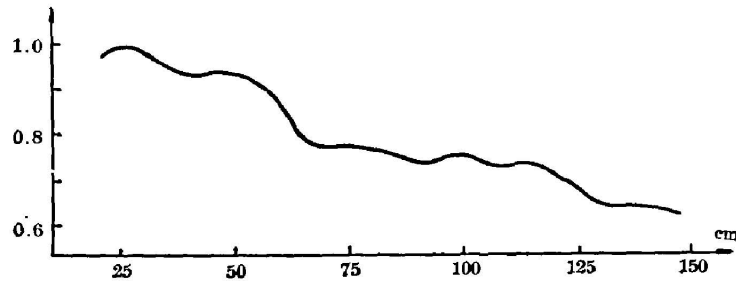


图9 64 kHz 侧光相对强度变化(归一化)  
Fig. 9 The normalized intensity of the side light vs the discharge position

### 三、讨 论

图2的噪音谱分布和铃木健夫描述的相似。可认为噪音主要由移动辉纹及其与此相关的漂移引起。激光输出强度  $I$  是增益  $g$  和谐振腔损耗  $\gamma$  的复杂函数。若  $\gamma$  恒定,则输出噪音和增益噪音之比  $M_n$  为

$$M_n = \frac{dI/I}{dg/g} = \left(1 - \frac{\gamma}{g}\right)^{-1}。$$

对于放电毛细管的几何尺寸和所充的氦气压力不同,移动辉纹在噪音谱中的相应频率数值是不同的。改变放电管边界条件后出现的图3中特征次峰系非线性“自作用”产生的谐波成份<sup>[3]</sup>,而离子波特征频率幅值急剧增大的现象很值得我们探讨。

由改变放电管边界条件的噪音谱(图3)与图2的比较中,得知铝罩壳的作用在于能明显增加激光输出的自调制现象。我们认为该边界条件的存在,使激光器的工作电流处于通常移动辉纹出现的上临界电流和下临界电流的范围之内,从而实现激光深度自调制。

纯氦放电侧之噪音谱(图4)与激光输出噪音谱(图2)是相似的。并且,激光输出调制度的变化与相应纯氦放电中 64 kHz 幅值变化也是一致的。这使我们认为激光自调制现象在于正柱区域内氦的移动辉纹的存在。实际上在合适的放电电流时,氦的亚稳态原子在移动辉纹影响下有相当的密度起伏。

由于镉离子浓度受加热镉源所控制, 仅与镉炉电流有关, 所以放电电流瞬态减小时, 镉离子浓度无显著变化。因此减小放电电流, 相应于减小纯氦放电电流, 从而导致特征频率为 64 kHz 的振荡幅值的降低, 影响输出激光的调制度。由图 8 可知, 要获得较高的输出调制, 必需具备一定的镉离子浓度。增大镉炉电流时, 激光输出调制度达到稳态的时间相应于镉离子在整个正柱区重建稳态分布所需的弛豫时间。氦-镉激光是氦的亚稳态原子和镉原子潘宁碰撞电离所致, 一定的镉离子浓度是获得较大的碰撞截面所必须的条件。可以认为激光的深调制输出正是基于上述产生激光机理的结果。

我们认为在直流激励正柱型辉光放电激光器中, 在一定放电条件下可出现自激励辉纹, 引起正柱放电区中连续移动辉纹。移动辉纹随电子温度及其它等离子体参数而变化。辉纹通过正柱时, 造成电子温度和电子密度的可观变化, 这种非线性现象造成正柱的不稳定和均匀性, 其特征频率与放电毛细管内径、氦气压和正柱区长度有关。而对于大振幅自激励移动辉纹而言, 稳态时可假定沿放电管侧壁观察到的光强度跟正柱中电荷密度和相互作用的电场强度的乘积成正比<sup>[4]</sup>, 其中电荷密度  $n(t)$  和沿管轴以速度  $v_0$  行进的电场波分别为

$$n(t) = n_0 \left\{ 1 + \sum_k \eta_k \sin(k\omega t + \varepsilon_k) \right\},$$

$$E(xt) = E_0 \left\{ 1 + \sum_k \rho_k \sin(k\omega\tau + \delta_k) \right\},$$

式中  $\tau = t - (x/v_0)$ ,  $\omega$  为电场角频率,  $\varepsilon_k$  和  $\delta_k$  为相应  $k$  次谐波的相位常数,  $n_0$  和  $E_0$  分别是平均电荷密度和平均电场强度。轴向坐标  $x$  选取阴极端为坐标原点, 正  $x$  由阴极指向阳极, 由此, 可得光强

$$I(xt) = I_0 + I_1 [A(t) + B(xt)],$$

这里  $I_1 = n_0 E_0$ ,  $I_0$  是  $I$  的时间平均强度,  $A(t)$  是与位置无关的强度振荡项,  $B(xt)$  是向阴极运动的行波, 因而  $A(t) + B(xt)$  相应于移动辉纹。上述考虑与图 4 的实验基本一致。由图 4 可知, 正行走辉纹占优势, 沿正柱区向阴极方向有放大特性。激光深调制相应于阳极端有较强扰动, 但沿管轴传播时的放大系数未必很大。

综上所述, 氦-镉激光的离子波特征频率深度自调制输出, 可归之于大电流直流辉光放电移动辉纹引起亚稳态氦原子密度起伏, 经潘宁碰撞从而呈现出激光的自调制现象。这有助于进一步探索氦-镉激光器的噪音机理, 并有助于通过改变激光器结构和工作参数来达到控制氦-镉激光输出方式的目的。

### 参 考 文 献

- [1] 铃木健夫;《应用物理》, 1978, **47**, No. 11 (Nov), 1046.
- [2] 吕建华等;《激光》1982, **9**, No. 12 (Dec), 761.
- [3] B. J. 金兹堡;《电磁波在等离子体中的传播》§ 39.
- [4] H. Yoshikoto *et al.*; *J. Phys. Soc. Japan*, 1958, **13**, No. 7 (Jul), 741.

## Mechanism study of deep self-modulation in He-Cd laser

LU JIANHUA TANG WU AND JIANG JIALIN

(*Shanghai Institute of Laser Technology*)

(Received 8 November 1982, revised 5 January 1983)

### Abstract

In this paper, the mechanism of deep self-modulation 4416 Å output in He-Cd laser at ion-wave characteristic frequency is roughly discussed. The output of self-modulation is produced through penning collision because the moving striation causes the fluctuation of metastable He atom density. Deep modulation means strong initial disturbance at the positive column near the anode, but there is no considerable amplification factor along the tube axis.