

氦-镉激光器电离波频率噪声的研究

吕建华 唐武 蒋家麟 傅菁

(上海激光技术研究所)

提要: 通过对氦-镉激光器激光噪声谱上不连续振荡噪声分量的测试,发现放电管的边界条件、放电电流和镉密度对电离波频率特征峰的功率、频率、调制度、 $1/f$ 噪声范围和其余噪声均有影响。得到电离波频率特征峰处 100% 的调制度结果。

Frequency noise of the ionization wave in He-Cd lasers

Lü Jianhua, Tang Wu, Jiang Jialin, Fu Qiang

(Shanghai Institute of Laser Technology)

Abstract: By measuring the discontinuous oscillation components of the continuous frequency spectrum for the beam noise of He-Cd lasers, it has been discovered that the boundary conditions of the laser tube, the discharge current and Cd atom density have influences on the frequency and the power output of the characteristic peak of the ionization wave frequency, the depth of modulation, the $1/f$ noise bandwidth and other noise amplitudes. A 100% depth of modulation at that characteristic peak has been obtained.

氦-镉激光器的功率起伏和噪声均较大,对氦-镉激光器的噪声产生机理目前有不同的解释。Hernqvist^[1]认为是放电管内镉蒸气密度起伏所致;Silfvast^[2]强调潘宁碰撞引起氦亚稳态密度和电子密度起伏,造成很大放电噪声;Johnston^[3]和铃木健夫^[4]则认为行走辉纹是造成噪声的原由。特别是对于噪声谱中 80 千赫附近的不连续振荡小幅值,有人曾认为不是放电噪声谱,而是和氦亚稳态粒子数相联系的声学等离子体振荡有关^[5,6],然而却并未提及它们的频率范围及观察条件。

我们通过对氦-镉激光器激光噪声谱分布实验测试,着重研究连续谱噪声上的不连

续振荡噪声分量。使我们倾向认为该噪声分量主要系空间电荷以正柱形式移动引起增益呈低频波动的电离波所致。

我们实验所用的激光器为外腔式结构,玻璃管壁,石英布氏窗,腔长 180 厘米,放电管内径 2.7 毫米,有效毛细管区 150 厘米,氦压 3 托,镉炉在阳极附近,输出端平面镜反射率 95%;另一端反射镜曲率半径 6 米,反射率 99.7%,激光器工作在 TEM₀₀ 模。采用硅光电二极管 GT101 作接收器,并用外差频谱仪 B&K 2010 分析记录激光噪声频谱。

工作电流为 110 毫安所得噪声谱为连续频谱(图 1),在 80 千赫附近有一不连续振荡

收稿日期: 1982 年 2 月 9 日。

噪声小幅值, 为电离波特征频率。谱中 1 千赫以下为幅值很大的低频噪声, 1 千赫到 50 千赫频率范围幅值具有 $\frac{1}{f}$ 线性特性, 大于 100 千赫时基本上属量子噪声电平。至于谱中 50 赫及其谐波振荡分量(300 赫, 600 赫) 则跟电流噪声谱中位置相应, 系激光电源为非稳流剩余纹波波动所致。

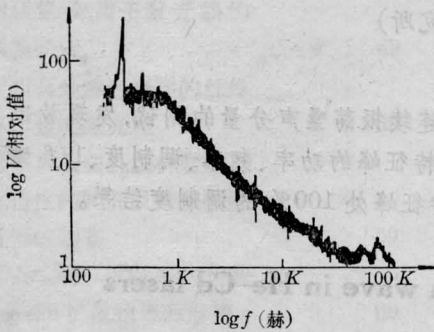


图 1 氦-镉激光输出噪声谱

放电管外边界条件等对上述噪声谱有较大影响, 我们是采用如下述的实验验证的。用矩形薄壁铝罩壳封闭放电管, 罩壳为三段式分装, 一、三两段为 $5 \times 4.5 \times 70$ 厘米, 中段为 $5 \times 4.5 \times 5.5$ 厘米。图 2 所示工作电流仍为 110 毫安的激光噪声谱, 低频段幅值有明显减小, 而电离波频率特征峰值有明显增加, 5 千赫到 20 千赫范围呈 $\frac{1}{f}$ 线性。激光器工作电流由 90 毫安渐增到 120 毫安时, 整个噪声谱幅值均有显著降低, 电离波频率特征峰迅速增高, 该特征峰频率随激励电流增大逐渐向高频移动(图 3)。线性范围则随工作电流增大而减小(图 4)。

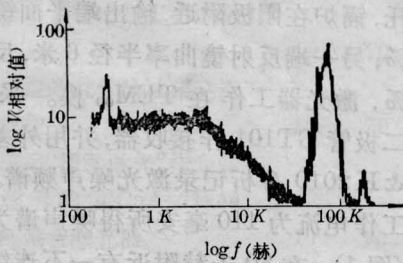


图 2 结构改变时 110 毫安的噪声谱

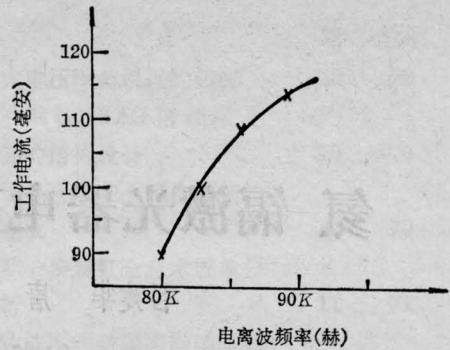


图 3 电离波频率和工作电流关系

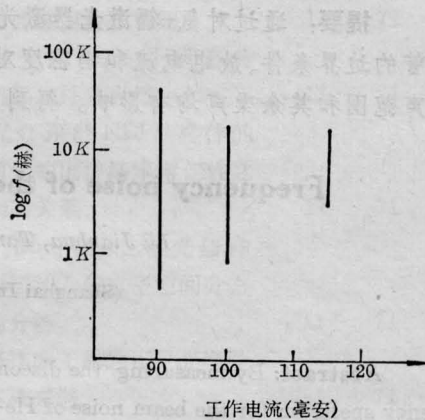
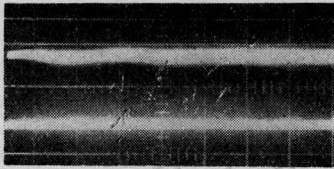


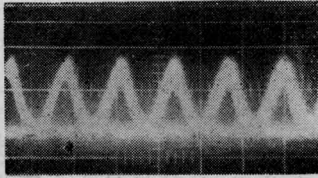
图 4 $1/f$ 幅值线性频率范围和工作电流关系

基于行走辉纹是气体放电中的电离波, 在连续激光输出中表现为噪声特性。当激光器以电离波频率作调制输出时, 由于其余噪声频率幅值逐渐被抑制, 故激光输出测得的平均功率起伏将有所改善。另外, 图 5 还表示了不同工作电流参数下的激光输出波形。随着工作电流增大, 低频 50 赫及其谐波的调制度迅速降低。但是电离波的调制度则相反, 它随工作电流的增大而增大, 电流增加到 120 毫安时, 调制度达 100% (图 6)。

实验还发现, 工作电流从一数值改变到另一数值时, 调制度需要一定的时间才能达到平衡时的值(见图 7), 这是由于镉蒸气需要一定的弛豫时间来建立新的平衡。实验中将镉密度调整到偏离最佳值太低时, 这种现象便极不明显, 电离波频率仅表现为常规噪声起伏。说明激光以电离波频率作调制输出



(a) 工作电流 90 毫安
水平: 5 微秒/厘米
垂直: 1 伏/厘米



(b) 工作电流 120 毫安
水平: 0.01 毫秒/厘米
垂直: 1 伏/厘米

图 5 在不同工作电流下激光输出波形

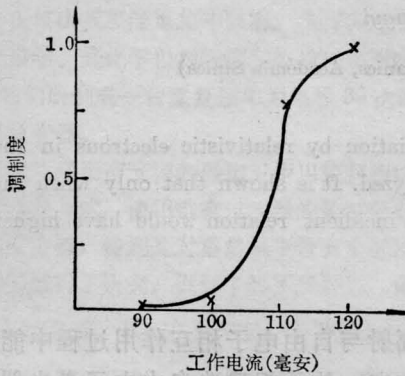


图 6 电离波频率调制度和在工作电流的关系

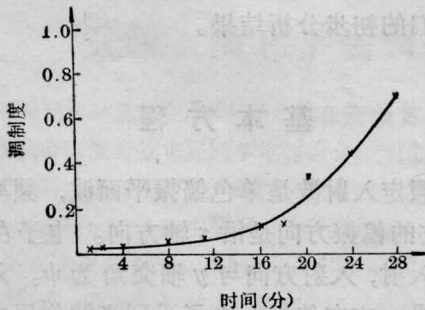
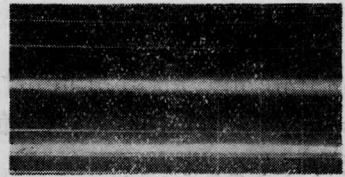


图 7 工作电流改变时调制度随时间的变化

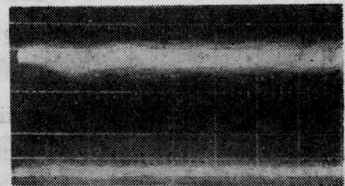
时要求镉有一定的浓度。

为了进一步确认电离波频率传输边界条件的影响,维持激光器所有参数不变,仅去除

铝罩壳,测得的激光噪声谱如图 1 所示。整个噪声谱跟有罩壳时相比,幅值均有增大,但电离波频率峰值迅速减小。该噪声幅值远小于电源纹波的影响。图 8 为激光连续输出时电离波频率的波形(拍摄条件同图 5)。当工作电流为 90 毫安时,该频率处的调制度为 5%,工作电流为 115 毫安时调制度为 6%。



(a) 工作电流 90 毫安
水平: 5 微秒/厘米
垂直: 0.5 伏/厘米



(b) 工作电流 115 毫安
水平: 5 微秒/厘米
垂直: 0.2 伏/厘米

图 8 无铝罩壳时电离波频率处的波形

可见若要求氦-镉激光器以电离波频率作调制输出,则采用铝罩壳封闭放电管,在正常镉密度下即能实现。反之,若激光器要求作连续输出,就必须改用陶瓷套管,或人为控制铝壳的边界约束作用,使电离波频率噪声幅值大为降低。

参 考 文 献

- [1] K. G. Hernqvist; *IEEE J. Quant. Electr.*, 1972, **QE-8**, 740.
- [2] W. T. Silfvast; *Appl. Phys. Lett.*, 1971, **19**, 445
- [3] T. E. Johnston; *IEEE J. Quant. Electr.*, 1976, **QE-12**, 482.
- [4] 铃木健夫;《应用物理》,1978, **47**, 1046.
- [5] W. T. Silfvast; *Phys. Rev. Lett.*, 1971, **27**, 1489.
- [6] D. C. Brown; *Appl. Phys. Lett.*, 1974, **24**, 287.