

光栅选支共电极双通道射频激励波导 CO₂ 激光器

田兆硕 王 骥 王雨三 李自勤 陆 威

(哈尔滨工业大学可调谐激光技术国家级重点实验室 哈尔滨 150001)

提要 报道了光栅选支射频激励共电极双通道波导 CO₂ 激光器。双通道输出激光方向相反,在复杂环境下,未采取任何稳频措施时,其短期外差频率稳定性可达 1×10^{-9} ,在 1 min 内外差频率漂移小于 2 MHz。

关键词 共电极双通道,射频波导 CO₂ 激光器,光栅选支,外差频率稳定性

1 引 言

具有高外差频率稳定性的激光光源已广泛应用于激光雷达、高分辨分子光谱学、计量测试、气体成分分析等许多领域^[1-5]。目前,获得高频率稳定的外差信号,多采用两台独立的激光器,装配较为复杂的稳频装置及偏频锁定装置,使激光器体积较大,造价高。Abramki 和 Colley 等报道了采用射频激励波导 CO₂ 激光器列阵获得外差信号的方法^[3-5],其外差频率稳定度可达 10^{-10} ,但是由于采用平-平谐振腔,不易确定激光器工作在哪一条谱线上,另外双通道输出激光同向且间距较近,不易在腔内或腔外加调制晶体等光学元件。

为了克服这些缺点,我们研制了光栅选支射频激励共电极双通道波导 CO₂ 激光器,激光输出方向相反,在复杂环境下,未采取任何稳频措施时,其短期外差频率稳定性可达 1×10^{-9} ,长期外差频率稳定性可达 10^{-8} 。

2 设计原理

激光器电极采用上下铝合金电极压紧三片陶瓷片,形成共电极双通道波导结构,每通道电极长 400 mm,波导截面 $2.25 \text{ mm} \times 2.25 \text{ mm}$,两波导通道间距 14 mm。双通道波导电极放置在水冷不锈钢真空容器内。在距每个通道波导口 10 mm 处,相对放置两块光栅,光栅常数为 150 线/mm,一级反射率为 95%,在每个通道的波导口另一端放置透过率为 10% 的 ZnSe 平面输出镜,光栅和平面输出镜可用氟橡胶“O”型圈调节角度。光栅与平面输出镜固定在同一底座上,两底座相对放置(见图 3)。为使射频电压沿电极纵向分布均匀,电极两侧分别对称并联 5 个等值等间距的电感,电感对称排列可以保证每通道工作气体放电状态相同,并且易于双通道同时放电^[7]。

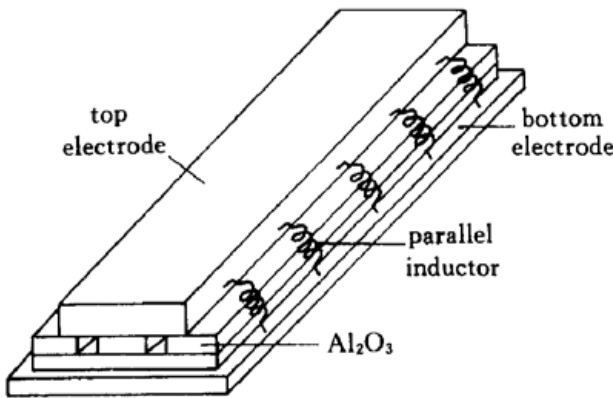


图 1 激光器电极结构图

Fig. 1 Structure of the laser electrode

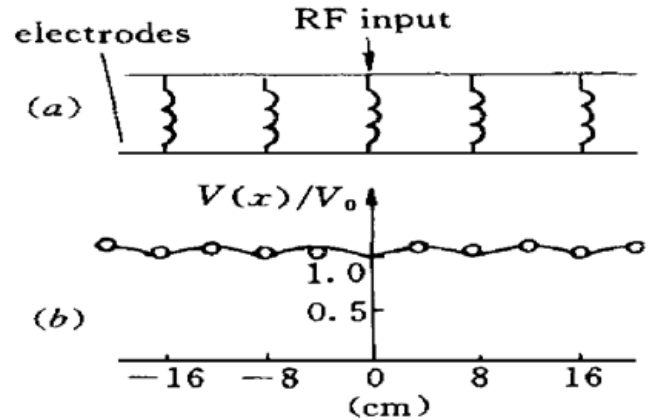


图 2

(a) 沿电极所加电感的位置; (b) 加感电极电压分布

Fig. 2

(a) Position of the inductors along the electrodes; (b) Voltage distribution along the electrodes with the shunt inductors

电极上并联电感位置如图 2 (a) 所示, 当并联电感与电极电容并联, 谐振频率为射频电源频率时, 每个并联电感的感抗为

$$Z = \frac{Z_{ce}}{2} \cot \frac{\beta \Delta d}{2} \tag{1}$$

式中 Z_{ce} 为电极特性阻抗, β 为相移常数, 电感间距 $\Delta d = 0.08 \text{ m}$, 由 $Z = 2\pi f L$, 可得出每个并联电感的电感量为

$$L = \frac{Z}{2\pi f} \tag{2}$$

此时电压分布如图 2 (b) 中实曲线所示, 电压变化小于 4%。调节高频信号发生器到 120 MHz, 代替射频源, 模拟气体未放电时电压沿电极纵向分布, 图 2 (b) 中 “ \circ ” 代表用高频电压表测量的电压相对值, 可以看出电压沿电极分布均匀。根据文献[6], 当放电等离子体阻抗满足条件 $R \gg 1/\omega\epsilon$ 时, 工作气体在放电与未放电情况下电极上电压分布基本相同。

根据理论分析, 激光器的频率漂移 $\Delta\nu$ 受腔长变化 ΔL 及工作气体折射率变化 Δn 的影响可表示为^[8]

$$\Delta\nu = -\nu_0 \left[\frac{\Delta n}{n_0} + \frac{\Delta L}{L} \right] \tag{3}$$

式中 n_0 为工作气体折射率平均值, L 为腔长。由于采用共电极结构, 并且两通道间距较近, 所以加在两通道上的电压相等, 当射频注入功率变化时, 两通道气体放电等离子体折射率变化相等, 使两通道激光外差频率几乎不受电源功率变化的影响。腔长的变化主要受气体放电发热、外界温度变化等因素的影响。假定不锈钢材料的线膨胀系数为 α , 则^[9]

$$\frac{\Delta L}{L} = \alpha\tau \frac{dT}{dt} \tag{4}$$

式中 τ 为观察时间, dT/dt 为材料温度随时间的变化率。对于不锈钢 $\alpha = 15 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ 。设激光器的两通道腔长分别为 L_1, L_2 , 在本激光器中 L_1 与 L_2 相差小于 6 mm, 假若由于气体放电发热、外界温度变化, 致使不锈钢的温度变化速率为每分钟起伏 0.1°C , 由 (3), (4) 式可得出对于每一通道激光频率变化 $\Delta\nu_1 \approx \Delta\nu_2 = 43 \text{ MHz}$ 。由于光栅与平面输出镜固定在同一底座上, 两底

座相对放置, 固定在激光器外壳两端, 因此气体放电发热、外界温度变化时, 腔长变化相等, 由 (3), (4) 式可得出两通道激光外差频率变化

$$\Delta\nu_c = \nu_0 \Delta L \left[\frac{1}{L_1} - \frac{1}{L_2} \right] \quad (5)$$

则当温度变化率为每分钟起伏 0.1℃, $L_1 - L_2 = 6 \text{ mm}$ 时, $\Delta\nu_c = 0.6 \text{ MHz}$, 可见两通道激光外差频率变化远小于每一通道激光频率变化, 而且当 $L_1 - L_2 \rightarrow 0$ 时, $\Delta\nu_c \rightarrow 0$, 所以此种双通道结构的激光器外差频率稳定度较高。

激光器频率偏差可以用双取样阿仑方差表示

$$\sigma^2(2, \tau) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left[\frac{\nu_{2i} - \nu_{2i-1}}{2} \right]^2 \quad (6)$$

式中 ν_{2i}, ν_{2i-1} 为在取样平均时间 τ 内连续测量两个相邻的激光外差频率, N 为激光外差频率对数, 则激光器的外差频率稳定度为

$$S = \frac{\sqrt{\sigma^2(2, \tau)}}{\nu_0} \quad (7)$$

3 实验结果及讨论

采用如图 3 所示的实验装置。激光器充入比例为 $\text{CO}_2 \cdot \text{N}_2 \cdot \text{He} = 1 \cdot 1 \cdot 3$ 的混合气体, 充气气压为 8 kPa, 射频电源输出功率 0~300 W 可调, 频率为 120 MHz。调节光栅角度可以在每通道上选支输出 $P(16) - P(32)$ 支激光, 激光输出方向相反。在射频注入功率 280 W 时, 每通道输出 $P(20)$ 支激光功率 4 W。两束 $P(20)$ 支激光合束后, 经衰减入射到液氮冷却带宽为 120 MHz 的 Hg Cd Te 光伏探测器上, 经前置放大器放大后由 TR4110M 频谱分析仪观测其频谱, 数字频率计记录外差频率, 由带宽为 1 GHz 的 TDS684A 数字存储示波器观察外差波形。在示波器上观察到的双通道激光外差波形如图 4 所示。在取样时间间隔 200 ms 时, 取 100 个激光外差频率, 由 (6), (7) 式可计算出短期外差频率稳定度为 1×10^{-9} 。在 1 min 时间内, 从数字频率计上观察其外差频率变化小于 2 MHz, 说明其长期外差频率稳定性可达 10^{-8} , 测得其外差频率随时间变化如图 5 所示。因此采用双通道共电极结构的射频波导 CO₂ 激光器可以获得很高的频率稳定度。

采用双通道共电极激光器结构, 可以补偿由电源功率变化、腔长变化及激光器同向震动等因素产生的激光频率变化, 但由于每一通道各为独立的腔, 因此对于各自腔的独立随机震动起伏而产生的激光频率变化不能补偿。但是由于可以补偿引起激光频率变化的主要因素, 所以激光外差频率稳定性较高。另外本实验结果是在射频电源风扇的震动及噪音很大的情况下测量的, 并且未采取任何稳频措施。如果消除射频电源风扇的震动及采取一些稳频措施(如用热膨胀系数小的材料制作激光器, 冷却水恒温等), 那么激光器的外差频率稳定度会更高。

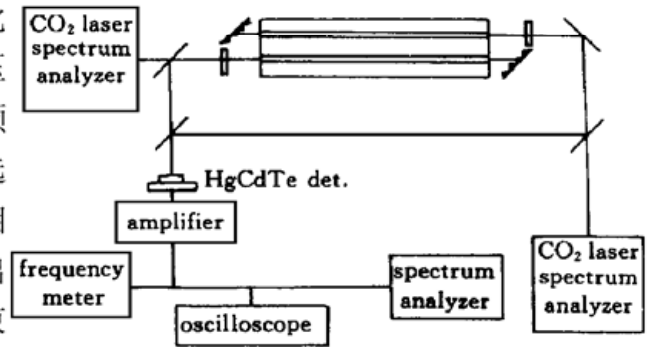


图 3 实验装置图

Fig. 3 Schematic diagram of the experimental arrangement

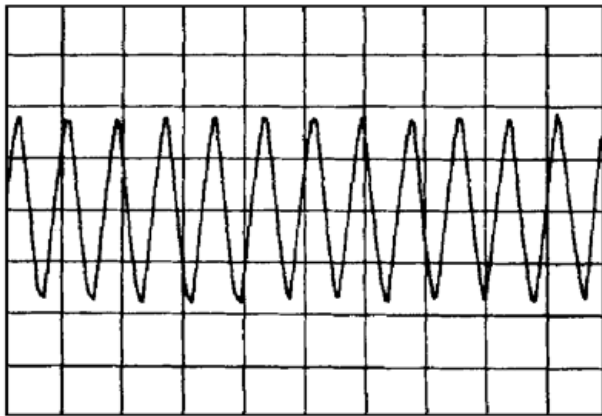


图 4 双通道激光器外差信号

Fig. 4 Offset signal of laser from the two channels

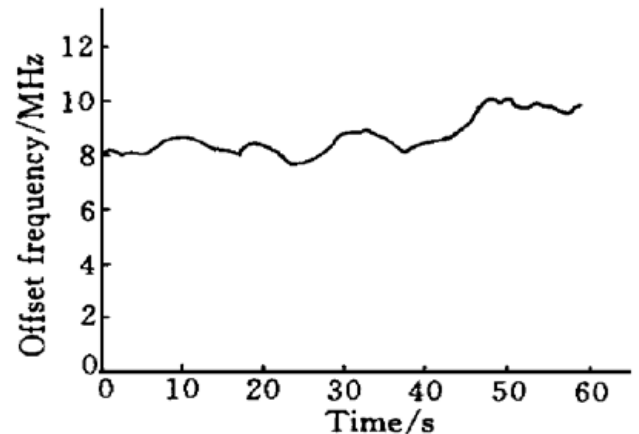


图 5 长期外差频率变化

Fig. 5 Deviation of offset frequency in long term

参 考 文 献

- 1 G. N. Pearson, B. J. Rye. Frequency fidelity of a compact CO₂ Doppler lidar transmitter. *Appl. Opt.*, 1992, **31**(30): 6475~ 6484
- 2 Wen Donxu, Guo Jingru. Analysis of signal of infrared laser heterodyne gas analyser. *Acta Optica Sinica* (光学学报), 1983, **3**(2): 138~ 145 (in Chinese)
- 3 K. M. Abramski, Alan D. Colley, H. J. Baker *et al.*. Stable frequency offset of parallel RF-excited CO₂ waveguide lasers. CLEO '88, Anaheim, CA, paper ThM 61
- 4 K. M. Abramski, Alan D. Colley, H. J. Baker *et al.*. Offset frequency stabilization of RF excited waveguide CO₂ laser arrays. *IEEE J. Quantum Electron.*, 1990, **26**(4): 711~ 717
- 5 Alan D. Colley, Krzysztof M. Abramski, H. J. Baker *et al.*. Discharge-induced frequency modulation of RF excited CO₂ waveguide lasers. *IEEE J. Quantum Electron.*, 1991, **27**(7): 1939~ 1945
- 6 D. He, D. R. Hall. Longitudinal voltage distribution in transverse rf discharge waveguide lasers. *J. Appl. Phys.*, 1983, **54**(8): 4367~ 4373
- 7 Tian Zhaoshuo, Wang Yusan, Liu Fengmei *et al.*. The measurement of electrode parameters of RF waveguide lasers. *Chinese J. Lasers* (中国激光), 1999, **A26**(2): 135~ 140 (in Chinese)
- 8 Zhou Bingkun, Gao Yizhi, Chen Jiahua *et al.*. Theory of Laser, the first edition. Beijing: National Defence Industry Press, 1987. 98~ 117 (in Chinese)
- 9 He Guangsheng, Lei Shizhan. Basic Design of Laser, the first edition. Shanghai: Science and Technology Press, 1979. 96~ 100 (in Chinese)

Study of RF Excited Waveguide CO₂ Laser with Two Channels Tuned by Grating

Tian Zhaoshuo Wang Qi Wang Yusan Li Ziqin Lu Wei

(National Key Laboratory of Tunable Laser Technology, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001)

Abstract RF excited waveguide CO₂ laser with two-channels tuned by grating is present. The direction of laser from the two channels is opposed. The offset frequency stability of short term can be up to the order of 10⁻⁹ without any measures to stabilize the frequency being taken. The offset frequency deviation in a minute is less than 2 MHz.

Key words two-channels with com-electrode, RF excited waveguide CO₂ laser, grating tuning, offset frequency stability