

文章编号: 1001-3806(2004)05-0466-03

LD 抽运 1319nm 单频激光器的调谐和噪声抑制研究

赵 严, 高春清, 曹 磊, 李家泽, 魏光辉
(北京理工大学 光电工程系, 北京 100081)

摘要: 研究了 LD 抽运单块非平面行波环形腔 Nd:YAG 激光器的调谐特性, 通过控温法实现了 1319nm 单频激光的宽范围调谐, 调谐范围 14GHz。实验研究了影响 1319nm 单频激光器功率噪声主要因素, 测量了激光功率噪声谱, 并通过光电反馈抑制弛豫振荡功率噪声, 弛豫振荡中心频率噪声抑制了 30dB, 提高了测量精度。

关键词: 非平面环形腔; 单频; 调谐; 噪声
中图分类号: TN248.1 文献标识码: A

Study on laser-diode pumped 1319nm single frequency laser tuning and noise suppression

ZHAO Yan, GAO Chun-qing, CAO Yi-lei, LI Jia-ze, WEI Guang-hui
(Department of Photo Electronic Engineering, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China)

Abstract: The frequency tuning of LD pumped non planar ring Nd:YAG resonator laser is studied. The output power of the 1319nm single frequency laser is tuned broadly in 14GHz by temperature control. Further more, the main cause of single frequency laser's intensity noise is studied. The intensity noise is measured and the result for an active feedback loop that suppresses the relaxation oscillation noise is presented. The intensity noise is suppressed 30dB at the central frequency of relaxation oscillation, measurement precision is improved.

Key words: non planar ring resonator; single frequency; frequency tuning; noise

引 言

采用单频稳频激光器进行相干测量可以将测量精度大幅提高, 是测量学中的重要手段。LD 抽运的单块非平面环形激光器集增益介质、光学单向器和输出耦合于一身, 结构紧凑、稳固可靠, 并可得到较高功率^[1-5], 是近年来获取单频激光输出的优选方案。

单块非平面单向环形腔单频固体激光器最早由 KANE 等人提出, 并在 Nd:YAG 单块晶体中实现了 1064nm 的单频激光振荡^[1-3]。此后 FREITAG 等人也对非平面环形激光器进行了深入研究, 使激光器的频率稳定性、功率稳定性大大提高^[4,5]。

1319nm 是 Nd:YAG 的一条重要辐射谱线, 由于

基金项目: 国防“十五”预研基金资助项目 (00362010106)

作者简介: 赵 严 (1976), 男, 博士研究生, 主要从事新型激光器及相关技术研究。

E-mail: laserzhaoyan@bit.edu.cn

收稿日期: 2003-10-17; 收到修改稿日期: 2004-02-24

其位于光纤传输窗口, 在光纤传感相干测量中具有重要的应用前景。在光纤传感测量中, 提高单频激光器频率稳定性与功率稳定性, 并在此基础上实现频率的可调谐, 扩展了其应用领域, 且可提高测量精度。基于上述目的, 作者研制了 LD 抽运 1319nm 单频可调谐固体激光器, 并通过激光晶体进行精密温控、改善抽运源的稳定性获得了低噪声、高稳定性的单频激光输出。

1 单频可调谐激光振荡的实验研究

图 1 是单块非平面环形激光器原理图。实验采

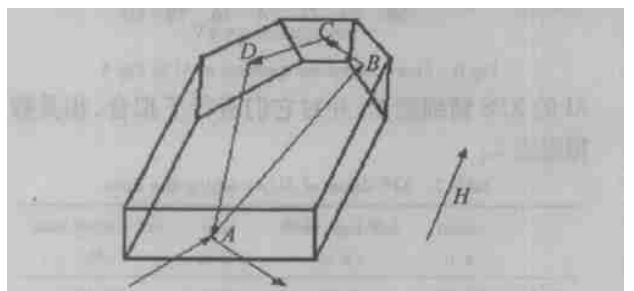


Fig. 1 Scheme of the monolithic non planar ring laser
A—point of input pump light and output laser B, C, D—points of holophote H—magnetic field

用了波长为 808nm 的 100 μ m 光纤耦合输出的 LD 作为单块环形激光器的抽运源, 光纤耦合输出的抽运功率最大为 3.1W。单频振荡的激光输入输出功率曲线见图 2, 激光器阈值抽运功率为 780mW, 阈值电流为 2.3A, 斜效率 18%。当抽运功率为 3.1W 时, 最大单频输出为 402mW。

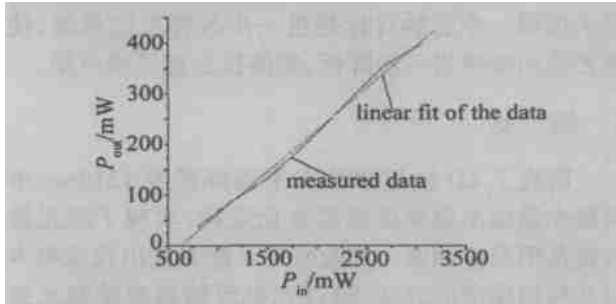


Fig. 2 The output power vs. pump power of the single frequency laser

使用光纤光谱仪(安立公司 MS96A) 测量了输出激光的波长。在 1.0 μ m~1.4 μ m 范围内产生激光振荡的谱线只有 1 条(1319nm), 抑制了 NdYAG 最强的跃迁谱线 1064nm, 与 1319nm 邻近的 1338nm 谱线也没能起振。

进而用扫描 F-P 法测量了输出激光的频谱分布, 测量系统采用的是清华大学 1319nm F-P 光学频谱分析仪, 该频谱仪自由光谱区为 4.4GHz, 分辨率 30kHz。图 3 是用示波器观察扫描 F-P 频谱仪测量的激光器的频谱图。经计算, 激光器的横模间隔约为 0.8GHz, 纵模间隔为 5.4GHz, 可以看出, 在 F-P 频谱仪的一个自由光谱区内只有一个模式输出, 说明激光器为单横模振荡; 在 F-P 频谱仪的两个自由光谱区内仍然只有一个模式输出, 表明该激光器为单纵模运转。

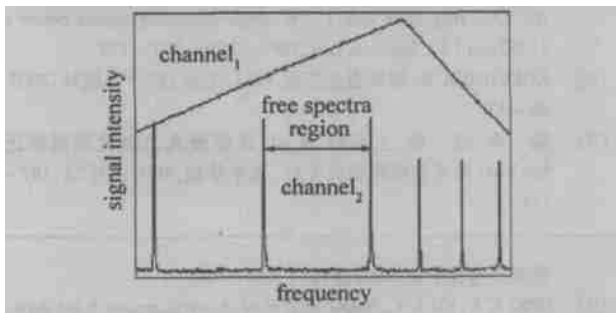


Fig. 3 Monolithic non planar ring laser frequency spectrum
channel₁—signal of drive voltage of scan F-P spectroscopy channel₂—signal of laser spectrum

激光器频率稳定性与激光晶体温度起伏有关。纵模频率为 $\nu_q = q \cdot c / nl$, 式中, ν_q 表示模阶次为 q 的激光器纵模振荡频率, c 表示光速, n 表示 NdYAG 晶体折射率, l 表示激光器腔长。对频率全微分可

得 $\Delta \nu_q = -\nu_q (\Delta n/n + \Delta l/l)$, 其中 $\Delta n/n$ 和 $\Delta l/l$ 分别为 NdYAG 晶体的折射率和谐振腔长随温度的变化率, 查 NdYAG 晶体物理特性可知, $\Delta n/n = 4.05 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$, 在 300K 的温度下, YAG 晶体的平均热膨胀系数为 $\Delta l/l = 7.5 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ ^[6], 因此, 频率温度漂移系数为 $-2.6\text{GHz}/^\circ\text{C}$ 。利用上述性质, 可实现激光器的温度调谐。作者设计了一套精密控温装置对激光晶体实施温控, 温度稳定性为 $\pm 0.01^\circ\text{C}$, 控温范围可达 32°C 。

改变单块激光晶体的温度, 监测激光频谱变化。实验中, 温度调谐范围为 15°C ($10^\circ\text{C} \sim 25^\circ\text{C}$), 仍采用上述 F-P 标准具观察, 在示波器上记录下频率变化曲线, 如图 4 所示。其中, 中间 3 段为完整的两次跳模发生之间频率变化曲线。图中纵坐标以 10°C 时频率值为测量起始点, 其余各点为频率相对改变量。如图所示, 未发生跳模时温度调谐系数约为 $-2.4\text{GHz}/^\circ\text{C}$, 与理论计算值比较吻合, 总的调谐范围为 14GHz 。

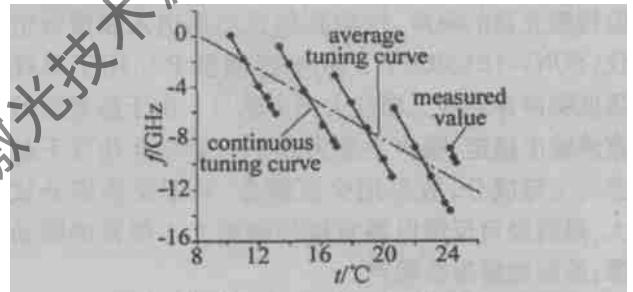


Fig. 4 Frequency tuning curve vs. temperature

2 抑制激光器强度噪声的实验研究

由于采用了单块结构, 谐振腔机械稳定度高; 对激光晶体进行精密温控保证其具有很高的热稳定性 ($\pm 0.01^\circ\text{C}$) 和频率稳定性 (50MHz 以内); 同时因为保证了抽运源的高稳定性, 使激光器的低频噪声与高频噪声(因模式竞争引起) 最大限度地被抑制。

作者测量了 LD 抽运的单频固体激光器强度噪声。采用 Burleigh 公司的 DA-100 型光电探测器测量, 用频谱仪测量 0~20kHz 的噪声谱。首先测量了激光器二极管功率在 1.2W 时以及单频激光 80mW 输出时各自的低频噪声, 探测器光功率对应电压值均为 0.7V。探测器无激光照射时的系统本底噪声为 -120dBm , 用白炽光照射光电探测系统的得到散粒噪声 -110dBm , 等效为探测系统的量子噪声极限, 然后用激光照射, 激光器的低频噪声约为 -85dBm , 表明 LD 低频噪声高于量子极限约 35dBm 。

进一步测量激光器强度噪声, 使用带宽为

1GHz 的 NewPort 高灵敏光电探测器, 在频谱仪上观察, 发现输出噪声主要为 30kHz~ 300kHz 之间的弛豫振荡, 并且呈一定规律变化: 当晶体温度一定时, 弛豫振荡频率随抽运功率增加向高频方向移动; 若抽运功率一定, 改变晶体温度, 则弛豫振荡频率随温度升高向低频方向移动。关于上述实验规律, 陈梁等人已有报道^[7]。

为了抑制该弛豫振荡噪声, 采用光电反馈法, 实验装置如图 5 所示。实验装置分为控制和监视激光

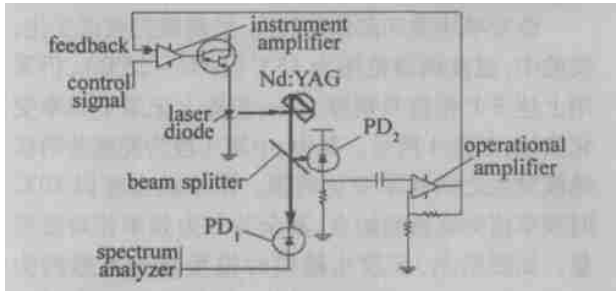


Fig. 5 Photorelectric feedback circuit schematic

噪声两部分, 光电探测器 PD₁ (NewPort 光电探测器) 监视激光器的噪声, 探测到的光功率送入频谱分析仪 (SONY-TEK3026)。光电探测器 PD₂ 用于采样强度噪声并经放大器放大噪声信号。由于激光器的直流输出稳定, 噪声主要为几十千赫兹至几百千赫兹的交流成分, 故采用交流耦合, 只把交流成分放大, 最后经负反馈电路直接控制激光二极管的驱动源, 抑制弛豫振荡噪声。

实验结果见图 6, 开环为自由运转激光器强度

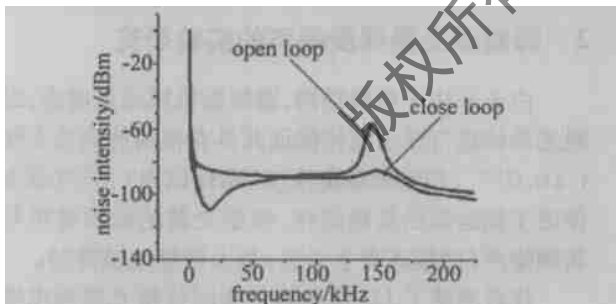


Fig. 6 Single frequency laser relaxation oscillation noise spectrum and noise suppression spectrum

(上接第 465 页)

为将来多组分掺杂金属氧化物薄膜的制备提供实验支持, 并能够促进陶瓷薄膜微观大晶粒生长的微量金属精密掺杂技术的发展。

参 考 文 献

[1] 戴明, 宋全胜, 曾晓雁. 脉冲激光沉积 (PLD) 薄膜技术的研究现状与展望 [J]. 真空科学与技术, 2003, 23(1): 22~ 26.

噪声谱, 闭环为光电反馈抑制噪声后的激光强度噪声谱。频谱仪上弛豫振荡噪声谱峰值处噪声约为 -50dBm, 反馈后弛豫振荡噪声峰约为 -80dBm, 抑制噪声幅度达到 -30dB。此外, 在低于弛豫振荡中心频率的地方也表现出一定的反馈抑制噪声效果, 在 20kHz 处反馈后激光噪声达到约 -110dBm, 接近量子极限。今后的目标是进一步改善反馈系统, 使激光输出噪声进一步降低, 整体接近量子噪声限。

3 结 论

研究了 LD 抽运单块非平面环形腔 1319nm 单频激光器输出频率随温度变化规律, 实现了激光器的宽范围温度调谐。实验研究了激光输出强度噪声以及抑制噪声的方法, 通过光电反馈系统使激光弛豫振荡强度噪声下降了 30dB, 在低频段也表现出一定噪声抑制效果。

参 考 文 献

[1] KANE T J, BYER R L. Monolithic unidirectional single mode Nd:YAG ring laser [J]. Opt Lett, 1987, 10(2): 65~ 67.
 [2] SAMPAS N M, GUSTAFSON E K, BYER R L. Long-term stability of two diode laser pumped non planar ring lasers independently stabilized to two Fabry-Perot interferometers [J]. Opt Lett, 1993, 18(12): 947~ 949.
 [3] WIECHMANN W, KANE T J, HASEROT D *et al.* 20W diode pumped single frequency Nd:YAG MOPA for the laser interferometer gravitational wave observatory [A]. Conference on Lasers and Electro Optics Europe Technical Digest [C]. San Francisco: IEEE, 1998. 432~ 433.
 [4] FREITAG I, HENKING R, TUNNERMANN A *et al.* Quasi three level room temperature Nd:YAG ring laser with high single frequency output power at 946nm [J]. Opt Lett, 1995, 20(4): 2499~ 2501.
 [5] FREITAG I, TUNNERMANN A, WELLING H. Intensity stabilized Nd:YAG ring laser with 1.5W single frequency output power at 1.357μm [J]. Electron Lett, 1997, 33(9): 777~ 778.
 [6] KOECHNER W. 固体激光工程 [M]. 北京: 科学出版社, 2002. 40~ 42.
 [7] 陈梁, 过振, 王石语 *et al.* 连续激光二极管端面抽运 Nd:YAG 激光器噪声研究 [J]. 光学学报, 2000, 20(2): 167~ 174.

[2] 刘晶儒, 白婷. 脉冲准分子激光淀积薄膜的实验研究 [J]. 强激光与粒子束, 2002, 14(5): 646~ 650.
 [3] ONG C K, XU S Y, ZHOU W Z *et al.* A novel approach for doping impurity in thin film in situ by dual beam pulsed laser deposition [J]. Review of Scientific Instruments, 1998, 69(10): 3659~ 3661.
 [4] ZHOU W Z, CHUA D H C, XU S Y *et al.* The distribution of Ag in Ag doped YBa₂Cu₃O_{7-δ} thin film prepared by dual beam pulsed laser deposition [J]. Supercond Sci Technol, 1999, 12(6): 388~ 393.