文章编号:1001-5078(2004)03-0186-03

用于激光稳频的精密温控系统设计

赵 严,高春清,李家泽,魏光辉
(北京理工大学信息科学技术学院,北京 100081)

摘 要:单块非平面环形激光器可用于产生单频激光。该激光器的频率随温度漂移系数理论值为 - 2.6GHz/℃。设计了一套精密温控装置,对该单频激光器温控以实现稳频。采用单片机结合 PID 模块的方法构造温控系统,实现了 32 ℃范围内 ±0.01 ℃的控温精度,激光频率稳定性达到 50MHz,在此基础上进行了激光器温度调谐试验研究。上述方法构建的温控系统可以提高控制精度并大大缩短调试周期。

关键词:温控;稳频;单片机
中图分类号:TP273;TN24 **文献标识码**:B

Design on Accurate Temperature Control for Laser Frequency Stabilization

ZHAO Yan, GAO Chun-qing, LI Jia-ze, WEI Guang-hui
(School of information science & technology, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China)

Abstract: The monolithic non-planar ring cavity is applied to produce single frequency laser, while the laser frequency fluctuates with temperature of laser crystal. An apparatus to control the temperature of the laser crystal in order to stabilize the laser frequency is designed. By combining single-chip microcomputer and PID module, the temperature is stabilized within ±0.01 ℃ in 32 ℃, and the laser frequency fluctuates within 50MHz correspondingly. Furthermore, the frequency tuning of the single frequency laser was also studied by adjusting the temperature of the crystal. In this temperature control system, more stabilized temperature is realized effectively.

Key words: temperature control; frequency stabilization; single-chip microcomputer

1 引 言

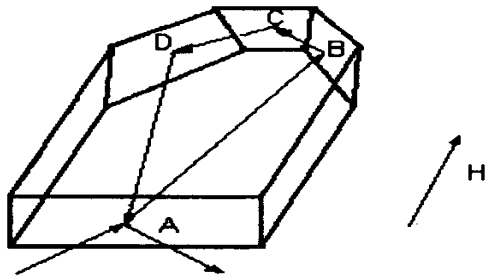
温度控制是激光技术中常用的辅助手段。例如,对倍频晶体温控以保证相位匹配,对光参量振荡晶体温控调谐波长,对激光工作物质温控实现稳频降噪等[1]。在波分复用技术中,也往往采用温控,保证半导体激光器的波长稳定性。很多情况下,温控精度是决定激光器性能的关键因素。

我们设计了一种 Nd:YAG 晶体单块非平面环形激光器,利用其单向行波腔的特点实现单频激光运转[2],如图 1 所示。该激光器频率稳定性与激光晶体温度起伏有关,由纵模频率公式 $v_q = q \cdot c/nl$,对

作者简介:赵 严(1976 -),男,现就读于北京理工大学光电工程系,攻读博士学位。E-mail:laserzhaoyan@bit.edu.cn

收稿日期:2003-11-07

© 1994-2006 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net



A:泵浦光及出射光位置　*B*,*C*,*D*:全反射点　*H*:磁场

图 1　单块非平面环形激光器原理图

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腔长随温度的变化率。经计算激光频率随温度的漂移系数为 - 2.6 GHz/℃。为了获得高度稳定的单频稳频激光输出,我们设计了一套精密温控设备对晶体实施温控。

2　精密温控电路设计

进行精密温控的前提条件是能够高精度高分辨率的检测温度值。由于我们设计的温控装置用于激光器的稳频,设计温控精度要求达到 ±0.02 ℃,因此相应的测温分辨率至少应高出一个数量级。通常的集成温度传感器或半导体温度传感器,达不到如此精度;热敏电阻具有较高的温度系数,但非线性很大,信号处理不很方便;最终我们选用铂电阻 PT1000,其在 0～100 ℃范围内线性度好,温度系数为 0.4 %,且体积小,材质轻薄,适于表面或窄缝测温使用。

测温电路如图 2。采用桥路放大采样。首先用精密电压源 AD587 给电桥电路供电,精密电压基准源 AD587 提供 10V 电压输出,精度高于 5×10^{-6}。电桥由三个 1kΩ 的电阻和 Pt1000 组成。AD7711 是采用 Σ - Δ 转换技术的 24 位低噪声可编程模数转换器[3]。该芯片主要由 Σ - Δ 模拟调制器、可编程数字低通滤波器、可编程增益放大器、校准控制器、寄存器组和时钟发生器等组成。AD7711 采用 + 5V 电源,具有分辨率高、线性度好(±0.0015 %FS)、温度稳定性高、速度快和输入电压范围宽等特点。其内部集成的高精度可编程增益放大器将桥路提供的温度信号放大,经数字滤波后再经可编程的 Σ - Δ 模数转换器变为数字信号,送给单片机。同时单片机将温度值送液晶显示屏显示。液晶模块采用的是日本 OPTREX 公司点阵图形式,控制器为 SED1335。采用上述测温电路,实际测温分辨率可以达到 0.001 ℃。

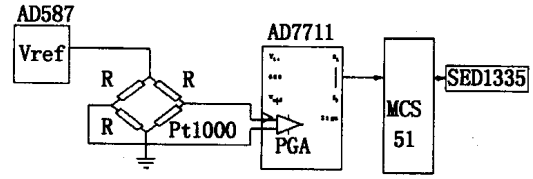


图 2　测温电路原理图

为了实现高精度温控,及缩短调试周期,我们采用工业 PID 模块与单片机结合实现自整定自适应精密温控。具体思路为:PID 模块温控范围大,精度低,但其参数可直接设定或自整定;用单片机对温度进行数字放大,将放大后的信号作为温度值送 PID 模块,用缩小温控范围的方法换取精度的提升,同时利用 PID 模块作为外置算法插件,无需更改程序,调试方便。

根据上述思路,我们设计了如下温控系统,见图 3。首先选取一市售 PID 模块,温控精度为 ±0.1 ℃,此类模块的输入信号一般为多信号兼容型,其中有一档输入信号为 0～5V 的电压信号,对应显示值为 0～500.0 ℃,通过小数点设置可令其显示 0.000～5.000 ℃,同时,将 PID 模块的设定值设为 2.000 ℃恒定不变,保证 PID 模块工作所需的振荡空间为 ±2.000 ℃。

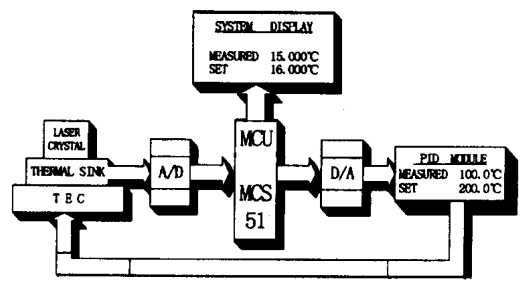


图 3　温控系统原理图

然后,将温度传感器采样并经 A/D 电路数字化的实际温度送单片机,单片机将测量温度值与设置值相减,差值加 2 经 D/A 送 PID 模块。例如温度设为 16.000 ℃,实测温度为 15.000 ℃,则送 PID 模块测量温度为(15.000 - 16.000 + 2.000) = 1.000 ℃;若温

© 1994-2006 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

度设为 16.000 ℃,实测温度为 18.000 ℃,则送 PID 模块测量温度为(18.000 - 16.000 + 2.000) = 3.000 ℃;由于 PID 模块的温度设定值固定在2.000 ℃,模块可自适应进行 PID 控制。当实测温度与设置温度差值大于 ±2.000 ℃时,则 PID 模块温度总显示 4.000 ℃或 0.000 ℃。

上述方案中 D/A 转换器芯片为 Linear 公司的 LTC1291,该芯片为串行 12 位 D/A 转换,内置基准电压,输出范围为 0～4.096V。采用上述方法,理论上温控精度可以达到 ±0.001 ℃,但由于 PID 模块响应速度(本实验采用的 PID 模块响应周期为 2s)等因素影响[4],实际控制精度应低于理论值。

3 实 验

采用上述温控装置,我们实现了 32 ℃范围内 ±0.01 ℃的控温精度。用 Burleigh 公司 F - P 扫描干涉仪测量输出激光的频谱分布,图 4 是用扫描 F - P 标准具测量的激光器的频谱图。图中 F - P 标准具的自由光谱区(FSR)为 3GHz,相应的分辨率为 250MHz,可以看出在一个自由光谱区内只有一个模式,表明该激光器为单模运转。实验中,我们控制激光晶体的温度从 10 ℃变化到 25 ℃,仍采用上述 F - P 标准具观察,并在示波器上记录下频率变化曲线,实现了单频稳频基础上激光器的温度调谐[5],如图 5 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 ℃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为 - 2.4GHz/ ℃;考虑跳模后,平均调谐系数为 - 0.8GHz/ ℃。总的调谐范围为 14GHz。

4 总 结

采用单块非平面环形激光器产生了单频激光,利用单片机结合 PID 模块的方法构造温控系统,实现了 32 ℃范围内 ±0.01 ℃的控温精度,激光频率稳定性达到 50MHz。利用该温控系统在稳频基础上,进一步实现了激光器的温度调谐,结果与理论计算值吻合。

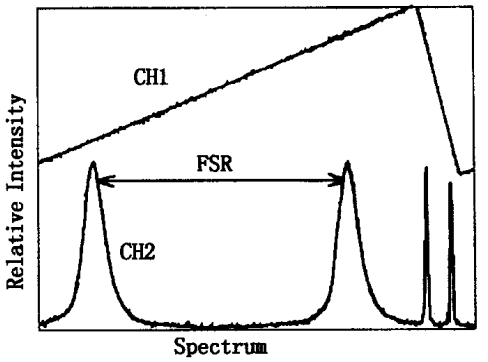


图 4 单块非平面环形激光器输出频谱图

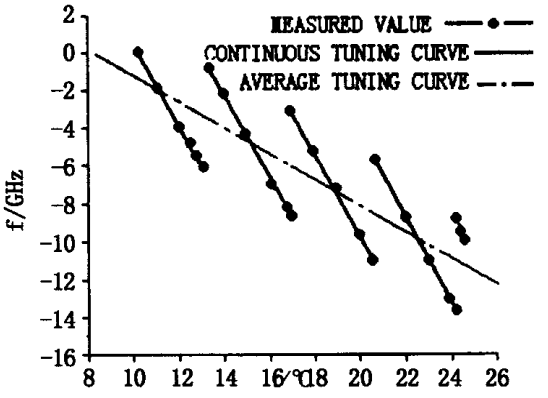


图 5 温度调谐曲线图

在上述方法中,应当强调的是:1) 单片机结合 PID 模块控温方法可以简化单片机程序调试工作,高效高质量的实现精密温控;2) 测温电路属微弱信号探测,电路设计中减小电路噪声,抑制电磁干扰至关重要;3) 温控精度的高低首先依赖于测温精度,此外,与 PID 模块响应周期有很大关系,提高响应速度,还可以进一步提高控温精度。

参考文献:

[1] Koechner W. 固体激光工程[M]. 北京:科学出版社,2002.

[2] 高光天. 模数转换器应用技术[M]. 北京:科学出版社,2001.

[3] Kane T J, Byer R L. Monolithic unidirectional single-mode Nd YAG ring laser[J]. Optics Letters, 1987, 10(2): 65 - 67.

[4] 王君立. 全固态激光器温控系统的研究进展[J]. 光机电信息, 2002, 11: 12 - 16.

[5] 赵严, 高春清, 王青, 等. 激光二极管泵浦 1319nm 单频可调谐激光器技术研究[J]. 北京理工大学学报, 2003, 23(4): 484 - 487.

© 1994-2006 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net