

引用格式: CHEN Zifeng, WANG Kuankuan, JIANG Chun, et al. Control System of Multi-channel Interference Widely Tunable Laser (Invited)[J]. Acta Photonica Sinica, 2022, 51(2):0251207

陈子枫,王宽宽,蒋春,等.多通道干涉大范围可调谐激光器控制系统(特邀)[J].光子学报,2022,51(2):0251207

多通道干涉大范围可调谐激光器控制系统(特邀)

陈子枫,王宽宽,蒋春,陈泉安,陆巧银,国伟华

(华中科技大学 武汉光电国家研究中心,武汉 430074)

摘 要:多通道干涉大范围可调谐半导体激光器是波分复用系统中的新型关键器件,设计了一套针对此激光器高精度电流注入、温度控制、波长锁定等问题的控制系统。将该激光器的整套控制方案集成单板。在该控制系统下,测试得到激光器输出波长在 1 524~1 572 nm 中每间隔 0.4 nm 的 120 个 ITU 标准波长光谱图,调谐范围超过 48 nm,并且在整个调谐范围内,边模抑制比超过了 45 dB,波长偏差与 ITU 标准波长相差小于 ± 10 pm,线宽小于 100 kHz。

关键词:调谐激光器;波分复用;微处理器;温度控制;波长锁定;线宽

中图分类号:TN29

文献标识码:A

doi:10.3788/gzxb20225102.0251207

0 引言

在光通信领域,波分复用(Wavelength Division Multiplexing, WDM)技术使得多个波长的光载波可以同时在一根光纤中传输,从而有效地利用信道带宽,极大地提高通信容量。在 WDM 系统中,设计一个通用的大范围可调谐激光器可以满足产生所有子载波的需要,极大地降低光源的管理成本^[1]。

1994 年美国加州大学-圣塔芭芭拉分校的 COLDREN L A 提出了取样光栅分布式布拉格反射(Sample Grating Distributed Bragg Reflector, SG-DBR)可调谐半导体激光器^[2]。2003 年日本宇都宫大学的 HATAKEYAMA H 等将不同调谐范围的分布式反馈(Distributed Feedback, DFB)激光器的光耦合到同一根波导中,从而利用 DFB 阵列实现调谐激光器^[3]。但是二者都是基于光栅进行选模的,光栅的制作需要高精度的曝光和刻蚀工艺,光栅的掩埋对二次外延的要求也比较高。

近年来,一些制作简单、低成本的大范围可调谐半导体激光器被提出。如基于双微环的可调谐半导体激光器^[4]、基于表面槽光栅的可调谐半导体激光器^[5]、V 耦合腔激光器^[6]以及基于迈克尔逊干涉仪的可调谐半导体激光器^[7]等。这些激光器虽然在制作工艺上有所简化,但是其性能还不足以和基于光栅的大范围可调谐半导体激光器相比。

为了降低工艺成本,同时保证激光器的性能,2016 年华中科技大学武汉光电国家研究中心提出并实验验证了一种多通道干涉大范围可调谐半导体激光器(Multi-Channel Interference Widely Tunable Laser, MCI-WTL)。和现有的商用器件相比,具有成本低、制作容差大以及性能好等优点。MCI-WTL 的工作原理见文献^[8-9],制作工艺见文献^[10-11]。

本文设计了一套针对此激光器高精度电流注入、温度控制、波长锁定等问题的控制系统。将 MCI-WTL 控制的一套完整方案集成于单板,实现控制的小型化和集成化,对推动该型激光器的产业化具有重要意义。

1 控制系统简介

MCI-WTL 是基于 8 臂干涉进行调谐,包括电调谐和热调谐两种方式,其本质都是向 8 路臂相位区注入

基金项目:国家重点研究发展计划(No. 2018YFB2201201)

第一作者:陈子枫(1998—),男,博士研究生,主要研究方向为光电集成技术。Email: chenweifeng@mails.ccnu.edu.cn

导师(通讯作者):国伟华(1976—),男,教授,博士,主要研究方向为新型光电子器件。Email: guow@hust.edu.cn

收稿日期:2021-07-20;录用日期:2021-09-22

<http://www.photon.ac.cn>

可控电流来实现的。此外还需要对有源区和半导体光放大(Semiconductor Optical Amplifier, SOA)区注入电流实现激光的产生和光功率放大。通过控制芯片工作温度和锁定波长保证输出波长的稳定和精确。

本系统硬件部分单板集成了10路可控电流的输出模块、温度控制模块、波长锁定模块、与上位机的通讯接口以及与TOSA封装激光器的连接口。最终PCB版图尺寸为 $8\text{ cm} \times 8\text{ cm}$,层数为6层,整板使用+5 V单电源供电^[12-13]。硬件部分如图1(a)。

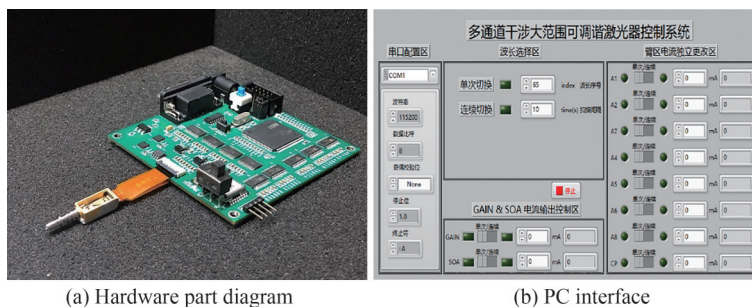


图1 系统结果

Fig. 1 System result

控制软件部分,开发了上位机界面。包括串口配置区,波长切换区,多路电流输出控制区^[14]。可以对激光器进行实时独立的波长通道切换和输出光功率的调节。上位机界面如图1(b)。

MCI-WTL是近几年才研发的新型可调谐半导体激光器,暂无针对该器件的单板集成控制系统的研究。本文实现该大范围可调谐激光器控制系统的小型化,集成化并推进商用。同时验证了此激光器的电控参数,对于进一步设计控制用的专用集成电路(Application Specific Integrated Circuit, ASIC)具有重要意义。

2 系统原理与设计

系统框图如图2。硬件部分包含主控芯片STM32F429ZGT6;2片ADN8810输出2路0~300 mA可控电流工作于有源区和SOA区实现激光的产生和光功率放大;8片AD9744输出8路0~20 mA高速可控电流工作于公共相位区和7个臂相位区实现波长调谐^[15]。使用数字比例-积分-微分(Proportion-Integration-Differentiation, P-I-D)算法进行温度控制;波长锁定部分,提出了独特的反射峰锁定技术进行波长偏差补偿。通过上位机软件进行主机与控制模块之间的交互。

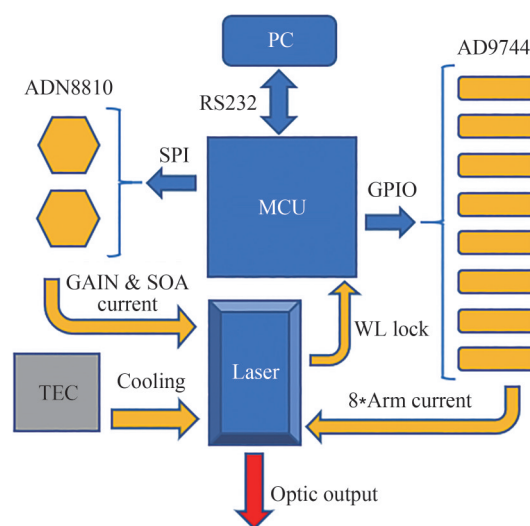


图2 系统框图

Fig. 2 System block diagram

2.1 温度控制原理分析

调谐激光器对于温度非常敏感,芯片温度的波动会直接导致波长的漂移,进而影响通信质量。温度控制系统框图如图 3。

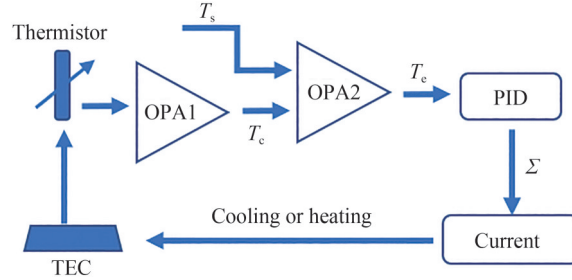


图 3 温度控制系统

Fig. 3 Temperature control system

温度控制的原理可以分为 4 块:温度检测,误差放大,P-I-D 计算,输出电流。

温控系统使用了 2 个运算放大器 (Operational Amplifier, OPA)。首先利用 OPA1 进行温敏电阻值检测,将当前温度转化成电压信号 T_c ;其次利用差分放大器 OPA2,将当前温度 T_c 与设定温度 T_s 进行误差放大;然后将误差电压 T_e 输入至 P-I-D 环路由式 (1) 计算出用于制冷电流的补偿值 Σ ,最后由 Σ 控制制冷电流的大小^[16-17]。

$$\Sigma = K_p T_e(t) + K_i \int_0^t T_e(t) dt + K_d \frac{dT_e(t)}{dt} \quad (1)$$

通过优化 K_p 、 K_i 、 K_d 参数,可以实现激光器芯片温度与设定温度的偏差小于 ± 10 mK。

2.2 波长锁定原理分析

用于 WDM 系统的调谐激光器,需要波长严格稳定。在 MCI-WTL 的封装中加入了波长锁定器,包括 F-P 标准具和 2 路光电探测器。通过分析 F-P 标准具原理可推得其透射率表达式

$$T(\nu) = \left[K \sin^2 \left(\pi \frac{\nu - \nu_{ITU}}{\Delta \nu_{ITU}} - \phi_{ITU} \right) + 1 \right]^{-1} \quad (2)$$

式中, ν 为实时的光信号频率, ν_{ITU} 为标准 ITU 通道频率,也是锁定点频率, $\Delta \nu_{ITU}$ 是标准 ITU 通道间隔,为 ϕ_{ITU} 通道匹配相位, K 是滤波器的精细度^[18]。

通过 F-P 标准具的光为透射光 (Transmission Light),由探测器接收后的光电流 I_t 的频域特性如图 4(a),是随光频率变化的周期性曲线,频率周期就是谱线的自由谱宽 (FSR)。 I_t 经跨阻放大器 (Trans-Impedance Amplifier, TIA) 后得到透射光电压信号 V_t 。

被 F-P 标准具反射的光称为反射光 (Reflected Light),由探测器接收后的光电流为 I_r , I_r 的频域特性与 I_t 互补, I_r 经 TIA 后得到反射光电压信号 V_r 。

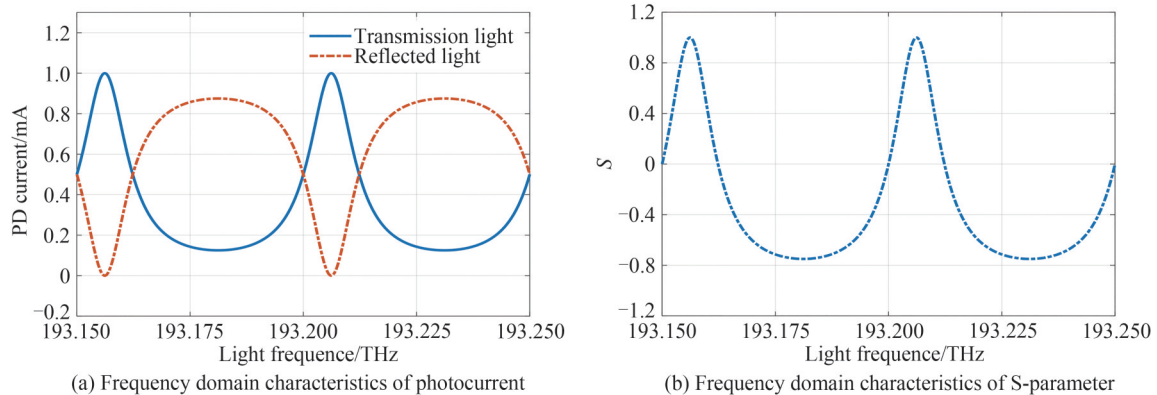


图 4 波长锁定系统频域特性

Fig. 4 Frequency domain characteristics of wavelength locking system

定义参数 S 为

$$S = \frac{V_t - V_r}{V_t + V_r} \quad (3)$$

S 的频域特性如图 4(b)。

该 F-P 标准具是根据 ITU-T 通道标准设计,通道间隔为 50 GHz。透射光电流与反射光电流强度相等,即 S 参数为 0 时的频率点为标准波长的锁定点,通过实时计算 S 参数的值即可检测波长偏差。波长锁定系统框图如图 5。

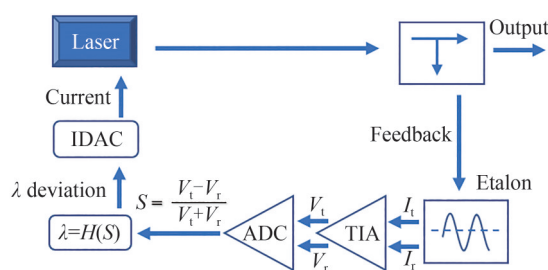


图 5 波长锁定系统
Fig. 5 Wavelength locking system

输出光经过分光器将小部分光作为反馈信号送入波长锁定器,剩余大部分光通过光纤耦合出射。 I_t 和 I_r 分别为透射光电流和反射光电流,经 TIA 变为电压信号 V_t 和 V_r ,由微处理器片上模数转换器(Analog to Digital Converter, ADC)采样并计算 S 参数。将 S 参数通过图 4(b)的频域特性计算得到当前的波长漂移情况,然后先调整公共相位区的电流 I_{cp} 实现波长的拉回,后调整 7 路臂相位区的电流实现激光器反射峰的锁定。反射峰锁定是 MCI-WTL 在波长锁定中的独特技术。反射峰锁定技术的算法框图如图 6。

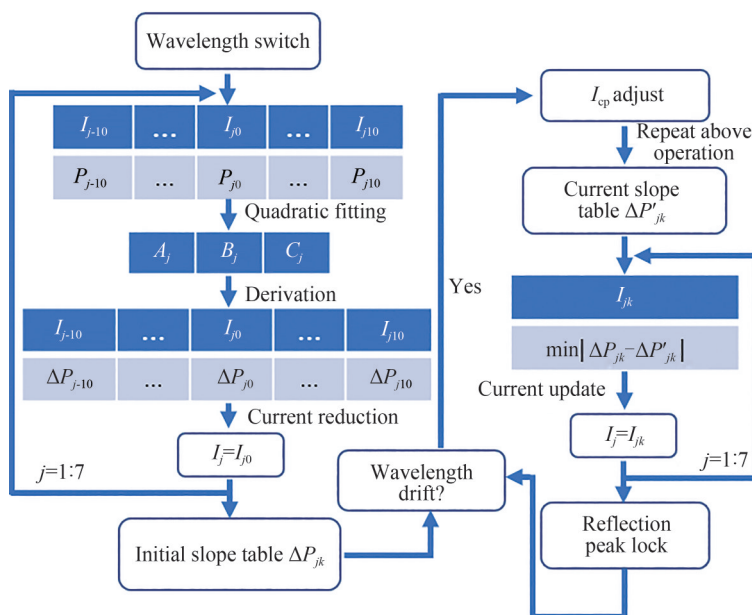


图 6 反射峰锁定技术算法流程
Fig. 6 Flow of reflection peak locking technology algorithm

反射峰锁定技术如下:在波长切换完毕时,此时波长为标准波长,此时反射峰的位置为初始标准位置,由 7 路臂相位区的初始电流 $I_j(j=1, \dots, 7)$ 决定。以第 j 臂的初始电流 I_j 为扫描中心 I_{j0} ,以控制该臂相位区的 DAC 的分辨率为步进,依次增大和减小 10 次电流的输出,扫描完毕后还原至初始电流值 I_{j0} ,可以得到 21 个电流值 $I_{jk}(k=-10, \dots, 10)$ 与对应输出光功率值 P_{jk} 的映射表,光功率由波锁系统中探测器的输出电流表示,将映射表作二次拟合可以得到各个臂区电流与光功率的抛物线关系

$$P_j = A_j I_j^2 + B_j I_j + C_j \quad (4)$$

存储7条抛物线的系数 A_j, B_j, C_j 值,对抛物线求导,可以得到21个电流值与对应输出光功率变化率 ΔP_{jk} 的映射表——初始斜率表。在完成公共相位区电流调整后,重复上述操作可以得到当前斜率表 $\Delta P'_{jk}$,并得到斜率差绝对值 $|\Delta P_{jk} - \Delta P'_{jk}|$,找到斜率差绝对值最小时对应的 I_{jk} ,依次将7臂的电流更新为 I_{jk} 即可完成反射峰的锁定。在实测中增加反射峰锁定比仅靠调整公共相位区可以得到更大波长锁定范围。

3 系统测试与分析

3.1 测试环境搭建

控制PCB板经由FPC柔性板与TOSA封装的MCI-WTL连接。电路部分通过RS232转USB线连接至PC,直流电源提供+5 V供电;输出光先经过10:90的耦合器进行分束,90%的光进入光功率计,10%的光再经过50:50的耦合器分别接入到光谱仪和波长计中,所有测量仪器通过GPIB总线连接至PC。测试系统如图7。

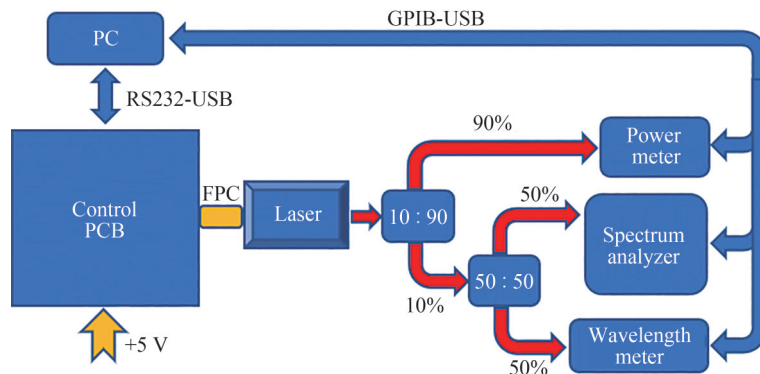


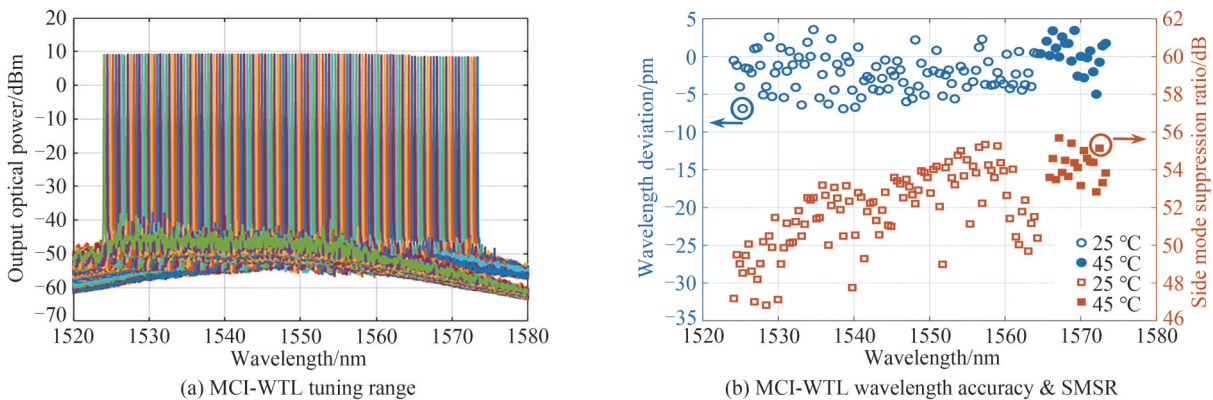
图7 系统测试
Fig. 7 System test

3.2 测试结果

对TOSA封装的MCI-WTL有源区注入100 mA电流,SOA区注入300 mA电流。以下的测试均在此条件下进行。

3.2.1 调谐范围、波长精度、边模抑制比和功率测试

通过对MCI-WTL激光器进行标定,得到双温度(25°C/45°C)下大于48 nm的调谐范围,边模抑制比(Side-Mode Suppression Ratio, SMSR)大于45 dB,波长偏差与ITU-T标准波长偏差小于±10 pm,在整个调谐范围内的输出功率最大可达51 mW。测试结果如图8。



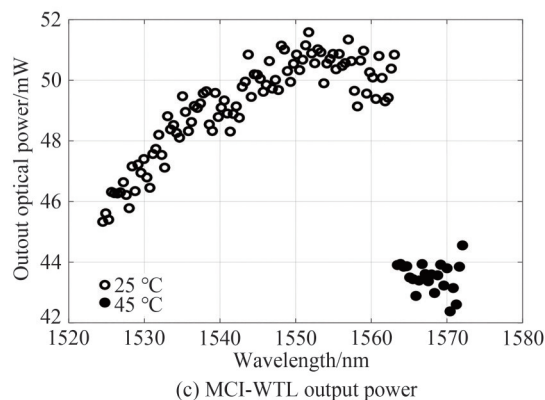


图 8 MCI-WTL 调谐范围、波长精度、SMSR 和功率测试结果
Fig. 8 Tuning range, wavelength accuracy, SMSR and output power test results of MCI-WTL

3.2.2 波长锁定系统测试

通过改变激光器芯片的温度使其输出波长产生漂移,以此来模拟激光器在工作中由于多种原因导致的波长漂移。对比开启波长锁定系统与不开启波长锁定系统时激光器输出波长的变化情况。

结果如图 9(a)所示,将 MCI-WTL 在 20°C 下进行波长标定,然后在 17.5°C~22.5°C 之间以 0.1°C 为间隔改变激光器的工作温度,测试不同温度下的实际输出波长。可见,在不开启波长锁定系统时,激光器输出波长会随温度正相关变化,波长漂移大约 0.1 nm/°C;而当开启波长锁定系统时,改变芯片温度,激光器输出波长稳定在标定波长,几乎不发生漂移。图 9(b)为在开启波长锁定系统时,不同温度下的实际输出波长与标定波长的偏差情况,波长偏差小于 10 pm。

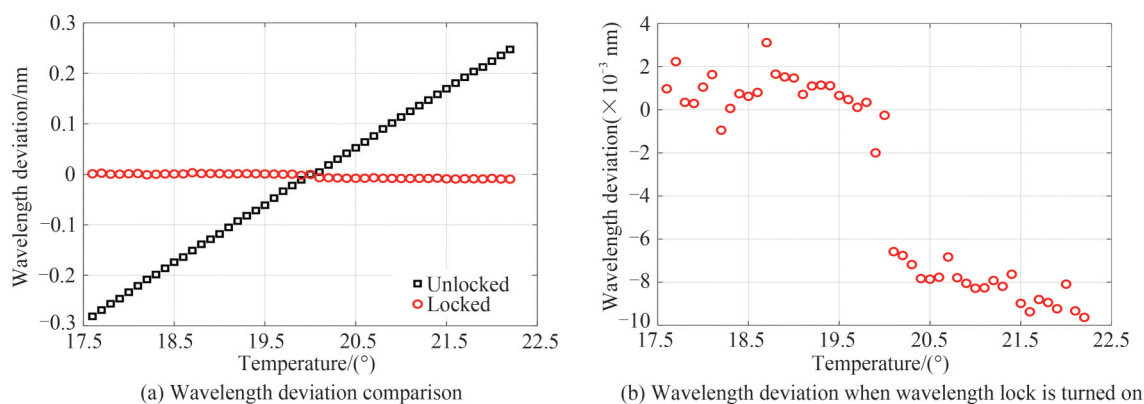


图 9 波长锁定系统测试结果
Fig. 9 Test results of wavelength locking system

在波长锁定测试中加入光电探测器实时读取激光器输出功率的变化情况,得到激光器在检测到波长发生漂移到完成一次波长锁定过程中功率变化。包括在 20.0°C 时,波长未发生漂移下的功率采样;在降温区间中选取的 19.2°C 时波长发生蓝移后开启锁定过程中的功率采样;在升温区间中选取的 21.7°C 时波长发生红移后开启锁定过程中的功率采样。测试结果如图 10。

在 19.2°C、20.0°C、21.7°C 这 3 个测试点上,激光器输出功率相对平均功率的最大变化率分别为 0.29%、0.21%、0.32%。可见,20°C 时模块未开启波长锁定,功率波动最小;模块开启波长锁定后的功率波动会相对增大,但是整体功率稳定。

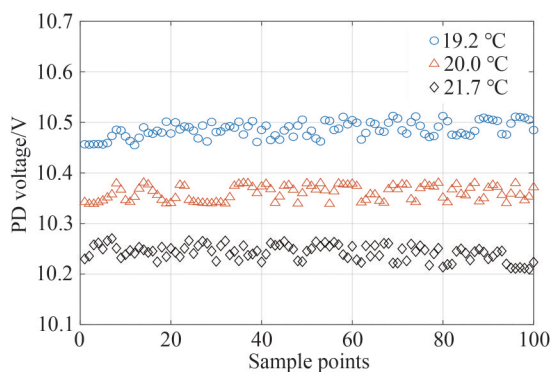


图 10 波长锁定过程中的功率变化测试结果

Fig. 10 Test results of power changes during wavelength locking

3.2.3 线宽测试

MCI-WTL 激光器线宽测试系统框图如图 11。

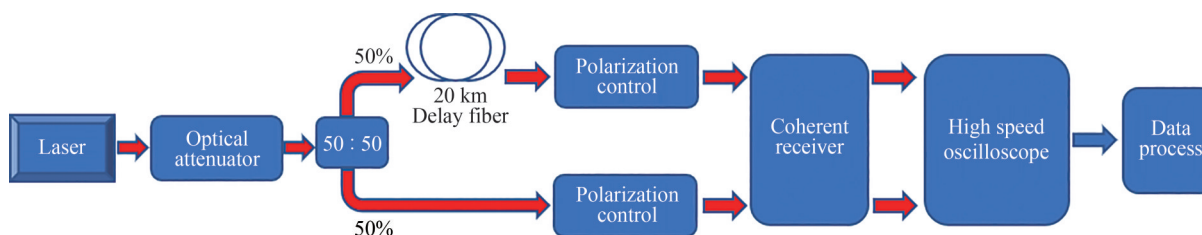


图 11 线宽测试系统

Fig. 11 Test system of line width

MCI-WTL 的线宽使用基于延时自零差法的相干接收系统测量,测试方案如图 11。激光器的输出光先经过光衰减器,再通过 50:50 耦合器一分为二,一路接入偏振控制器,另一路通过 20 km 单模光纤延迟后接入偏振控制器。两路光信号分别进入相干光接收机,通过内部的 90 度正交混合器使得两束光发生干涉,由探测器将干涉后的光信号转换为电信号,获得差分相位噪声的同相分量和正交分量,经过实时高速示波器采样后对数据进行离线数字信号处理。

FM 噪声谱被定义为瞬时频率的功率谱,瞬时频率的功率谱可以通过对相位噪声的微分得到。待测激光器的 FM 噪声谱主要由 $1/f$ 噪声、白噪声和环境噪声三部分组成。环境噪声和 $1/f$ 噪声一般在 100 MHz 以下,通过滤波电路可以消除环境噪声;而白噪声大致对应于 100 MHz~400 MHz 频率范围内的频率噪声,对应于洛伦兹线宽。从 FM 噪声谱线的白噪声区域可以计算得到洛伦兹线宽值。测试结果如图 12,可知在整个调谐范围内洛伦兹线宽小于 100 kHz,满足 400 G 高速相干光通信的要求,展现出了该激光器在相干光通信领域的应用潜力。

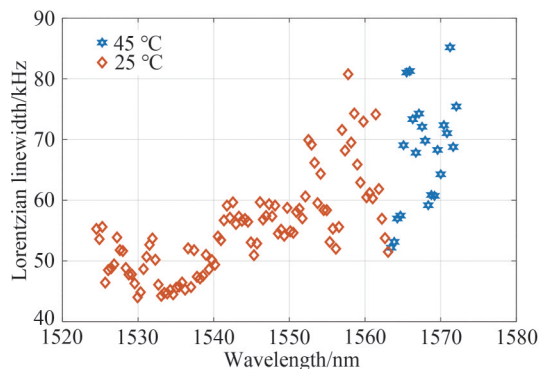


图 12 MCI-WTL 线宽测试结果

Fig. 12 Line width test result of MCI-WTL

3.2.4 高低温测试

为了验证模块的可靠性,提高测试温度,测试环境为高低温试验箱。记录了9个波长在 -5°C 、 25°C 、 50°C 和 60°C 这4个温度下的波长、功率以及SMSR的变化情况。模块高低温测试结果如图13。图13(a)为波长锁定功能关闭时的测试结果,主要为测试TOSA内的温控在环境温度变化时的控温能力。由图可以看出,当环境温度从 -5°C 增加到 60°C 时,波长变化大约 0.07 nm ,反应到温度上大约是 0.7°C 。虽然原则上TEC的温控精度可以到 0.01°C ,但实际激光器芯片温度受到热敏电阻位置的影响,芯片封装内存在温度分布,温敏电阻无法精确反映激光器芯片的温度,实际激光器芯片的温度略高于温控系统所测量到的温度。由图9(a)的波长锁定结果可知,波长锁定的范围远大于这个温度变化范围。

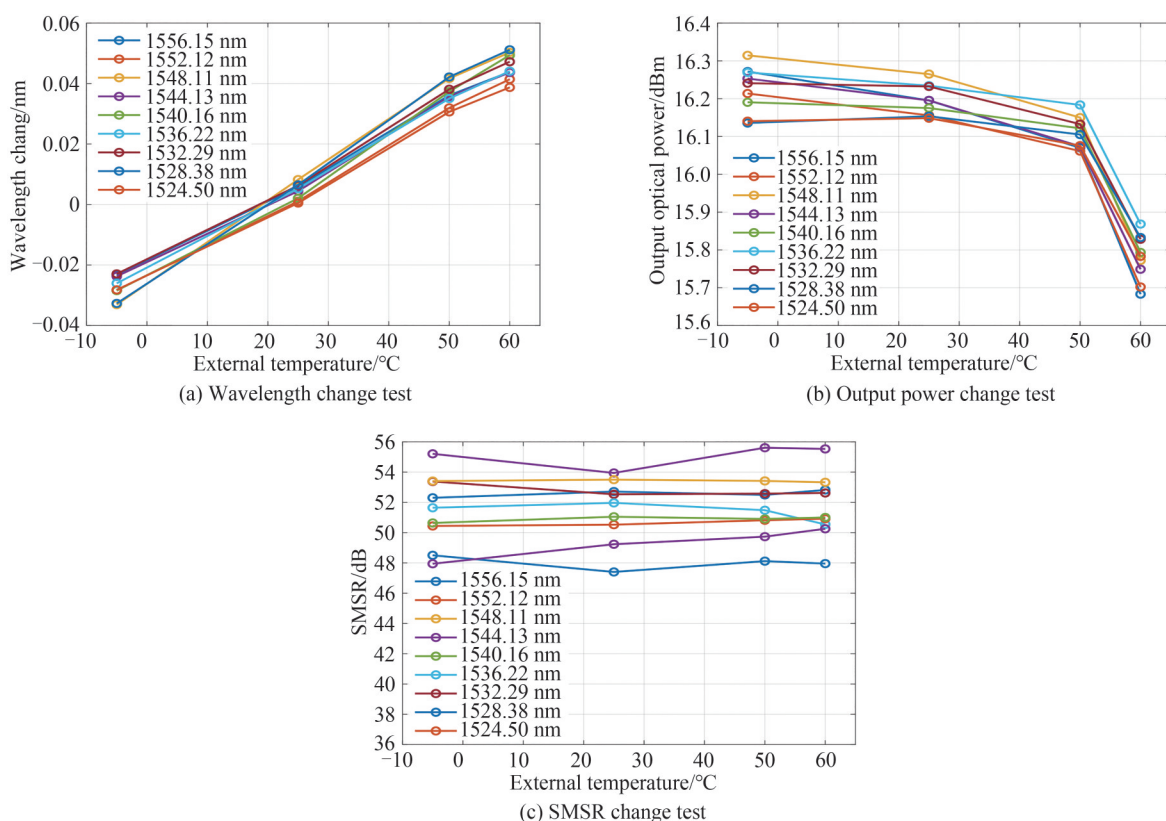


图13 模块高低温测试结果

Fig. 13 High and low temperature test results of module

4 结论

本文设计了一套针对MCI-WTL高精度电流注入、温度控制、波长锁定等问题的控制系统。系统以STM32F429ZGT6为微控制器,使用AD9744和ADN8810电流型DAC,输出10路高精度可控电流;设计温度控制电路和波长锁定电路,保证激光器输出波长的稳定。使用LabView制作上位机界面,可以实时切换激光器输出波长,调整输出光功率。将MCI-WTL激光器的整套控制方案集成单板,推进商用。在单板集成的控制电路下,激光器可以实现大于 48 nm 的调谐范围,边模抑制比大于 45 dB ,波长偏差小于 $\pm 10\text{ pm}$,输出光功率最大可达 51 mW ,洛伦兹线宽小于 100 kHz ,展现出了MCI-WTL的良好性能以及在相干光通信领域的卓越潜力。

参考文献

- [1] 陈泉安.多通道干涉大范围可调谐半导体激光器的研究[D].武汉:华中科技大学,2018.
- [2] JAYARAMAN V, CHUANG Z M, COLDREN L A. Theory, design, and performance of extended tuning range semiconductor lasers with sampled gratings[J]. IEEE Journal of Quantum Electronics, 1993, 29(6):1824-1834.
- [3] HATAKEYAMA H, YOKOYAMA Y, NANIWAE K, et al. Wavelength-selectable microarray light sources for S-, C-, and L-band WDM systems[J]. IEEE Photonics Technology Letters, 2003, 15(7):903-905.
- [4] MATSUO S, SEGAWA T. Microring-resonator-based widely tunable lasers[J]. IEEE Journal of Selected Topics in

- Quantum Electronics, 2009, 15(3):545-554.
- [5] BYRNE D C, ENGELSTAEDTER J P, GUO W H, et al. Discretely tunable semiconductor lasers suitable for photonic integration[J]. IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics, 2009, 15(3):482-487.
- [6] HE J J, LIU D. Wavelength switchable semiconductor laser using half-wave V-coupled cavities[J]. Optics Express, 2008, 16(6):3861-3911.
- [7] D D'AGOSTINO, D LENSTRA, AMBROSIUS H, et al. Widely tunable coupled cavity laser based on a michelson interferometer with doubled Free Spectral Range. IEEE, 2015.
- [8] CHEN Q, LU Q, GUO W. Theory and simulation of multi-channel interference (MCI) widely tunable lasers[J]. Optics Express, 2015, 23(14):18040-18051.
- [9] CHEN Q, JIANG C, WANG K, et al. Narrow-linewidth thermally tuned multi-channel interference widely tunable semiconductor laser with thermal tuning power below 50 mW[J]. Photonics Research, 2020, 8(5):47-52.
- [10] CHEN Q, JIANG C, XIANG M, et al. 1×8 MMI based multi-channel interference laser integrated with SOA through a 2-port multimode interference reflector[J]. Optics Express, 2018, 26(16):19940.
- [11] JIANG C, CHEN Q, WANG K, et al. Narrow-linewidth thermally tuned multi-channel interference laser integrated with a SOA and spot size converter[J]. Optics Express, 2021, 29(9) : 13246-13255.
- [12] WU Tao, PANG Tao, TANG Yuquan, et al. Design of semiconductor laser driver circuit and analysis of loop noise - suppression[J]. Infrared and Laser Engineering, 2020, 49(6):162-171.
吴涛, 庞涛, 汤玉泉, 等. 半导体激光器驱动电路设计及环路噪声抑制分析[J]. 红外与激光工程, 2020, 49(6) : 162-171.
- [13] MIAO Cunxiao, XING Guozhu, LIU Jianfeng, et al. Design of current drive and alternating current temperature control system for high-precision laser[J]. Infrared and Laser Engineering, 2019, 48(9):0905004.
缪存孝, 邢国柱, 刘建丰, 等. 高精度激光器电流驱动与交流温控系统设计[J]. 红外与激光工程, 2019, 48(9) : 0905004.
- [14] WEI Yihu, CHEN Lei. Serial port communication based on LabVIEW-VISA[J]. Electronic Design Engineering, 2015, 23(24):129-131.
魏义虎, 陈雷. 基于LabVIEW-VISA方式的串口通信研究[J]. 电子设计工程, 2015, 23(24):129-131.
- [15] REN Yongfeng, JIANG Xiyang, JIAO Xinquan, et al. System design of high-precision signal source based on FPGA and AD9744[J]. Instrument Technique and Sensor, 2019(6):101-105.
任勇峰, 姜喜洋, 焦新泉, 等. 基于FPGA与AD9744的高精度信号源的系统设计[J]. 仪表技术与传感器, 2019(6) : 101-105.
- [16] WANG Feihu, HU Zhaohui, LIU Quanpu, et al. Semiconductor laser drive system for SERF atomic magnetometer[J]. Laser Journal, 2020, 41(3) :52-58.
王飞虎, 胡朝晖, 刘全普, 等. SERF原子磁强计用半导体激光器驱动系统[J]. 激光杂志, 2020, 41(3) :52-58.
- [17] ZUO Pengsha, REN Huan, REN Peian. Study on temperature automatic control technology for analog laser based on ADN8834[J]. Measurement & Control Technology, 2017, 36(5):74-76.
左朋莎, 任欢, 任培安. 基于ADN8834的模拟激光器自动温度控制技术研究[J]. 测控技术, 2017, 36(5):74-76.
- [18] 林屹. 可调谐半导体激光器波长检测与控制的研究[D]. 武汉:华中科技大学, 2015.

Control System of Multi-channel Interference Widely Tunable Laser (Invited)

CHEN Zifeng, WANG Kuankuan, JIANG Chun, CHEN Quanan, LU Qiaoyin, GUO Weihua
(Wuhan National Laboratory for Optoelectronics, Huazhong University of Science and Technology,
Wuhan 430074, China)

Abstract: Monolithic integrated widely tunable semiconductor laser is one of the key devices of photonic integrated circuit and next-generation reconfigurable optical network. In 2016, Wuhan National Laboratory for Optoelectronics of Huazhong University of science and technology proposed and experimentally verified a new type of widely tunable laser multi-channel interference widely tunable laser (hereinafter referred to as MCI-WTL), which has the advantages of low cost, large fabrication tolerance and excellent performance.

In this paper, a set of control system is designed to solve the problems of high-precision current injection, temperature control, wavelength locking and so on. A complete scheme of MCI-WTL control is

integrated into a single PCB board to realize the miniaturization and integration of control, which is of great significance to promote the commercial application of this laser.

Firstly, the control system is introduced, including the control principle and control requirements of MCI-WTL, the physical diagram of software and hardware of the system, innovation and research significance.

Then the principle of the control system is analyzed in detail. The hardware part includes the main control chip STM32F429; 2 ADN8810 output two channels of 0~300 mA controllable current to work in the active section and SOA section to realize laser generation and optical power amplification; 8 AD9744 outputs 8 channels of 0~20 mA high-speed controllable current, which works in the common phase area and 7 arm phase areas to realize wavelength tuning. Digital Proportional Integration Differentiation (P-I-D) algorithm is used for temperature control. In the wavelength locking part, a unique reflection peak locking technology is proposed to compensate the wavelength deviation. In the software part, LabView is used to make the upper computer interface, and the interaction between the host and the control module is carried out through the upper computer software, which can switch the wavelength and adjust the power in real time. Then the principle of temperature control and wavelength locking system are introduced respectively. The principle of temperature control can be divided into four parts: temperature detection, error amplification, P-I-D calculation and output current. The principle of wavelength locking is divided into two parts: longitudinal mode locking and reflection peak locking. The current wavelength drift is calculated by the frequency domain characteristics of F-P etalon, and then the current in the common phase area of the laser is adjusted to achieve the wavelength pullback. After adjusting the current in the 7 arm phase area, the laser peak is locked. Reflection peak locking is a unique technology of MCI-WTL in wavelength locking.

The test results of the whole system are shown at last. Firstly, the construction of the whole test-bed and instrument connection are shown, and the performance indexes of MCI-WTL when injecting 100 mA current in the active area and 300 mA current in the SOA area are tested. The spectrum superposition diagram of 120 standard ITU channels from 1 524 nm to 1 572 nm with an interval of 0.4 nm at double temperatures of 25°C and 45°C is obtained to realize the tuning range of more than 48 nm covering the whole communication C-band, the Side Mode Suppression Ratio (SMSR) is greater than 45 dB, and the wavelength deviation from ITU-T standard wavelength is less than ± 10 pm. The maximum output power in the whole tuning range can reach 51 MW. In the test of the wavelength locking system, when the wavelength locking system is not turned on, the laser output wavelength can change positively with temperature, and the wavelength drift is about 0.1 nm /°C. When the wavelength locking system is turned on and the chip temperature is changed, the laser output wavelength is stable at the calibration wavelength and almost no drift occurs. In the line width test system, the coherent receiving system based on the delayed self homodyne method is used to measure the linewidth of MCI-WTL. The block diagram of the linewidth test system is shown. The linewidth of all wavelengths is less than 100 kHz in the whole tuning range. In the high and low temperature test of the module, the changes of wavelength, power and SMSR of 9 wavelengths at -5°C, 25°C, 50°C and 60°C were recorded.

Key words: Tunable lasers; Wavelength division multiplexing; Microcontroller unit; Temperature control; Wavelength offset; Line width

OCIS Codes: 250.3140; 250.5960; 140.3600; 060.4510