

基于 REC 技术的激光器阵列光源模块设计

倪屹¹, 刘森¹, 陆骏², 曾盼¹

(1. 江南大学 物联网工程学院, 江苏 无锡 214132;
2. 南京大学 现代工程与应用科学学院, 江苏 南京 210093)

摘要: 近年来, 单片集成的多波长激光器阵列作为波分复用(WDM)系统的理想光源而成为研究热点。通过重构-等效啁啾(REC)技术实现了一种低成本的分布反馈式(DFB)激光器阵列光源模块, 采用掺铒光纤放大器(EDFA)对该激光器阵列的输出进行了光学放大, 并通过 PID 控制程序对光源输出进行稳定化调节。光源模块中各通道激光器的中心波长间隔均匀, 平均间隔为 1.64 nm, 波长间隔的误差小于 0.2 nm。光源所输出的总光功率大于 50 mW, 输出光功率变化小于 0.02 dBm。

关键词: DFB 激光器; 波分复用; 激光器阵列; 重构-等效啁啾

中图分类号: TN248.4 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3788/IRLA201645.1105004

Design of laser array light source module based on REC technology

Ni Yi¹, Liu Sen¹, Lu Jun², Zeng Pan¹

(1. School of IoT Engineering, Jiangnan University, Wuxi 214132, China;
2. College of Engineering and Applied Sciences, Nanjing University, Nanjing 210093, China)

Abstract: In recent years, monolithic integrated multi wavelength laser array (MLA) has become a hot research topic, as an ideal light source in the wavelength division multiplexing system. A low-cost distributed-feedback (DFB) laser array light source module based on reconstruction-equivalent-chirp(REC) technology was demonstrated. The output of this module was amplified by Erbium-doped fiber amplifier (EDFA) and adjusted by PID control program. The center wavelength spacing of the light source module was uniform. The average interval was 1.64 nm, and the wavelength spacing deviation was less than 0.2 nm. The total output power of the light source was more than 50 mW and the output light power change was less than 0.02 dBm.

Key words: DFB lasers; WDM; laser array; reconstruction-equivalent-chirp

收稿日期: 2016-03-25; 修订日期: 2016-04-13

基金项目: 江苏省六大人才高峰计划(DZXX-023); 江苏省产学研联合创新资金-前瞻性联合研究项目(BY2014023-11)

作者简介: 倪屹(1970-), 男, 教授, 硕士生导师, 主要从事光电子学方面的研究。Email: niy2011@163.com

0 引言

伴随着光通讯网络传输量的急速上升与各种多媒体业务的不断涌现,用户对于通信带宽系统容量的增长需求逐步提高。WDM 是光纤通讯中的一种传输技术,通过一根光纤可以对多种波长的激光进行组合传输,随着单根光纤中信道数的成倍增加,光纤通讯网络的数据容量可以得到极大的提高。多波长激光光源是 WDM 系统的一个重要组成部分,其中,单片集成的多波长 DFB 激光器阵列被认为是 WDM 系统中理想的光源。相比于分立器件的组合,多波长激光器阵列具有体积小、功耗低和低成本的优势。目前,有多种技术被用于制作多波长激光器阵列,如选择外延生长(SAG)^[1],纳米压印^[2],电子束光刻^[3-4],以及等效-重构啁啾(REC)技术^[5-7],等等。这些技术中,REC 技术具有成品率和波长控制精度高,工艺简单快速的优势。采用 REC 光栅的激光器,比起常规相移 DFB 光栅,理论上将加工误差对波长的影响减小了 2 个数量级^[8],特别适合于对波长间隔精度要求高的密集波分复用(DWDM)系统,通过 REC 技术制作阵列式激光器芯片可极大降低生产中的工艺成本与生产设备需求^[7],在下一代光通信网络中有着很大的应用潜力。文中所设计的光源模块使用 REC 技术制作的激光器阵列作为光源器件,结合无源合波元件与掺铒光纤放大器,通过混合封装制作了用于 DWDM 系统的多波长激光器。封装中,针对激光器结构特点设计制作了驱动控制电路,实现了所有通道高度稳定的波长输出。为 WDM 系统中高性能集成多波长光源的实现提供了一种经济可行的方案。

1 原理及设计

1.1 REC 原理及激光器封装设计

REC 技术是一种通过微米量级大尺寸取样结构就可以实现纳米量级小尺寸光栅结构优良性能的激光器芯片制造技术,利用这种技术能够大大降低激光器芯片中复杂光栅结构的制作难度。在激光器芯片的制作过程中,将啁啾引入到芯片的取样结构中,会相应改变光栅结构中某一傅里叶级次(一般±1 级)的反射谱,进而影响光栅的折射率分布。在种子光栅均匀的前提下,利用均匀的啁啾相位模板实现取样光栅的制作,在这个过程中对微米量级的取样结构进行基于 REC 技术的设计,就可以等效产生所需反

射效应的光栅^[9-10]。文中采用的 8 通道激光器阵列芯片由南京大学陈向飞教授研发团队自主研发设计,武汉华工正源光子技术有限公司代工制作,共有 8 个间距激光波长等间距的激光器通道,各通道设计间隔为 200 GHz,图 1 为该阵列芯片封装前的实物照片。

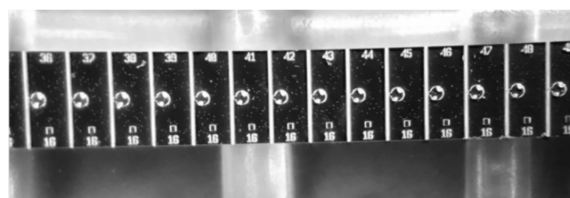
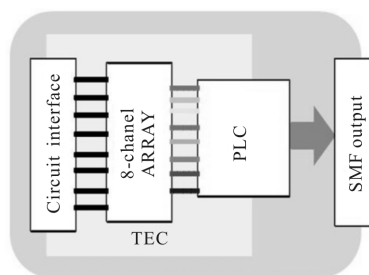


图 1 芯片实物照片

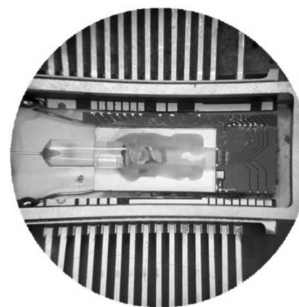
Fig.1 Photo of the chip

采用这种芯片所封装的激光器结构示意图如图 2 所示,阵列芯片各个通道的电极与封装管壳引脚相连,进而连接外部驱动电路,以实现电流驱动与温度调节,8 通道光波导阵列(PLC)与阵列芯片出光口对接,最终所合成的光通过单模光纤输出。该种封装方式简单高效,是实现低成本激光器封装的可行方法^[11],但通过 PLC 进行耦合将产生较高的损耗(约 98%),因此输出光将通过 EDFA 得到进一步的放大,获得稳定的大功率输出。



(a) 封装结构示意图

(a) Schematic diagram of the package



(b) 封装实物图

(b) Photo of the package

图 2 激光器阵列的封装结构

Fig.2 Package structure of the laser array

1.2 光源模块系统设计

光源模块系统的结构示意图如图 3 所示, 该光源系统的微处理器控制单元通过 RS-232 串口通讯的方式接收上位机指令和信息反馈, 根据指令要求设置外部电路驱动激光器阵列与泵浦激光器。

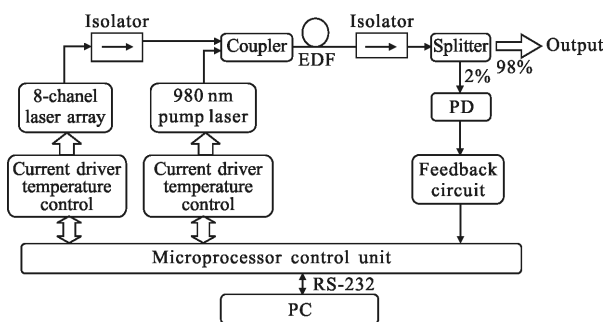


图 3 系统结构示意图

Fig.3 Schematic diagram of the system

为保障光源光路的稳定, 在激光器阵列与EDFA的输出端加入隔离器(Isolator), 避免了 EDFA 可能带来的自激振荡与光反馈影响。为实现可用于 WDM 的激光器阵列光源, 将根据实际工作要求对激光器阵列的各通道进行切换以及必要的温度调谐, 使得激光器阵列输出为理想波长。激光器阵列与泵浦激光器的输出经光学耦合器(Coupler)合波后连接掺铒光纤(EDF), 为使 EDFA 获得较大的增益, 电路为泵浦激光器提供大电流驱动, 使得 EDF 中的更多铒离子实现粒子数翻转, 激光器阵列输出的特定波长信号光诱发铒离子发生受激辐射, 进而获得放大^[12]。在原理上并联的激光器阵列可以实现各通道独立信号调制, 但文中所封装的器件由于成本与系统复杂度的考虑, 暂未涉及关于各通道阻抗匹配的高频电路设计。文中设计方案采用恒流驱动的方式, 在光通讯系统中提供各信道波长激光的恒定功率输出, 配合外部调制设备实现信号调制, 需保证光源稳定可靠的大功率输出。利用分光器(Splitter)将输出光的 2% 光功率通过光电探测器(PD)反馈采集, 根据反馈值利用 PID 控制算法调节泵浦激光器驱动电流的大小, 实现光源输出的稳定, 图 4 为光源模块实物图。

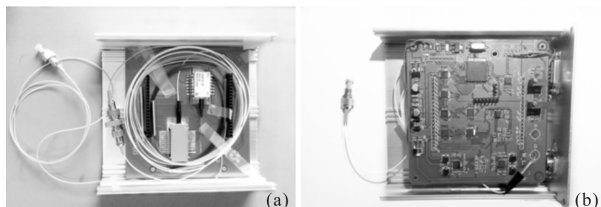


图 4 光源模块实物图

Fig.4 Photo of light source module

图 4(a)为光源模块的光学部分, 图 4(b)为光源模块的电路部分。

1.3 PID 程序设计

半导体激光器对驱动电流与工作温度有极高的敏感性, 文中设计的光源系统中包含了 980 nm 泵浦激光器与 1 550 nm 激光器阵列, 虽然光源电路已经提供了高精度的电流与温控的驱动电路, 但是为保证光源输出激光的高度稳定, 利用 PD 的分光反馈值进行 PID 算法。图 5 为 PID 程序控制流程图, 每当光

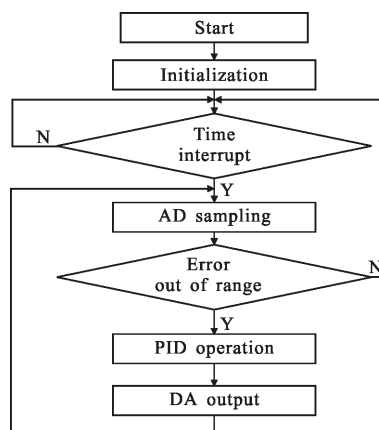


图 5 PID 控制程序流程图

Fig.5 Flow chart of PID control program

源系统稳定后, MCU 将会启动定时器, 每 10 ms 定时器发生中断, 采集 PD 的反馈值, 若反馈值超出了标准误差, PID 控制程序启动。为保证泵浦激光器驱动电流平稳变化, 采用增量式 PID 控制方式进行调节:

$$\Delta u_n = K_p(e_n - e_{n-1}) + K_I \cdot e_n + K_D(e_n - 2e_{n-1} - e_{n-2}) \quad (1)$$

$$u_k = \sum_{n=0}^k \Delta u_n + u_0 \quad (2)$$

式中: Δu_n 为输出增量; K_p 、 K_I 、 K_D 分别为比例系数、积分系数与微分系数, 在对驱动电流加以限制的前提下, 以上参数通过工程实验方法测得^[13]; e_n 为第 n 次 AD 采集值与功率标准值的差值, 通过公式(1)所求得增量, 与 DA 输出初始值 u_0 进行累加, 所得 u_k 即为 DA 输出值, 调控泵浦激光器电流, 直至功率输出小于误差范围。

2 测试结果

对未经放大的激光器阵列进行测试, 设置各通道驱动电流 50 mA, 激光器工作温度 25 °C, 图 6 为激光器温控稳定后输出的光谱图, 各通道波形良好, 平

均边模抑制比大于 45 dB,间隔成线性等距,各通道输出光功率为微瓦级别(约 30 μW),对其进行 EDFA 放大后的光谱图如图 7 所示,各通道输出波长皆在放大范围内,放大后的输出稳定,波形依旧良好,平均边模抑制比略有降低。

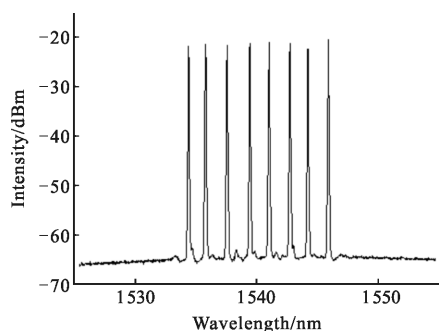


图 6 未经放大的 8 通道光谱图

Fig.6 Spectrum of 8 channel without amplification

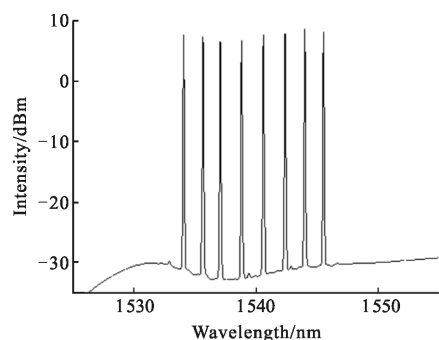


图 7 放大后的 8 通道光谱图

Fig.7 Spectrum of 8 channel with amplification

图 8 为光源各通道切换输出所合成的光谱图,各通道之间独立性良好,放大后波长稳定无跳变,波长漂移小于 $\pm 4 \text{ pm}$,平均边模抑制比大于 40 dB,平均

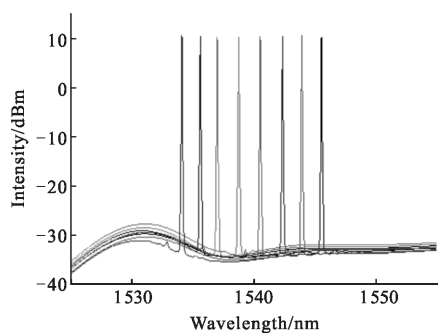


图 8 各通道输出光谱图

Fig.8 Spectrum of each channel output

放大倍数约为 32.5 dB。根据激光器阵列各通道中心波长值所拟合的直线如图 9 所示,各通道平均间隔 1.64 nm,与 200 GHz 间隔相比,各中心波长偏差小于 $\pm 0.2 \text{ nm}$,仅需对激光器工作温度进行细微调整即可满足 WDM 系统要求。

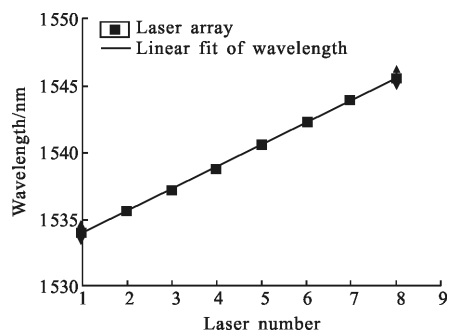


图 9 根据各通道中心波长值所拟合的直线图

Fig.9 Line fitted with the center wavelength of each channel

泵浦激光器的输出光功率决定了 EDFA 的增益,如图 10 所示,光源单通道输出的光功率随泵浦激光器驱动电流值成线性变化,EDFA 放大效果显著。在泵浦激光器 P-I 特性的线性范围内,仅通过计算改变泵浦激光器驱动电流的大小,即可获得实际要求的光功率输出。

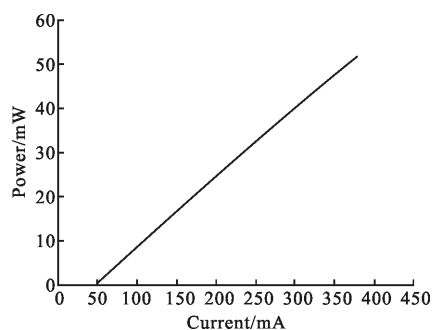


图 10 输出光功率随泵浦电流变化图

Fig.10 Change of output optical power with the pump current

通过光功率计读取光源输出的光功率,并与未开启 PID 程序采用恒流控制的结果进行对比,以该方法对光源的输出进行 400 min 长时间测试,以此验证该光源输出稳定性。结果如图 11 所示,与恒流驱动相比,通过 PID 程序控制,输出光功率的极值之差小于 0.02 dBm,且在长时间内功率维持于设定值,无渐变趋势。稳定性得以保证,满足实际使用要求。

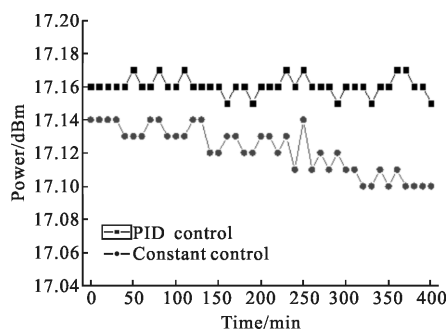


图 11 输出功率波动图

Fig.11 Wave figure of output power

3 结论

使用基于 REC 技术制造的 8 通道激光器阵列,设计了一种基于 REC 技术的大功率阵列式激光器光源模块,通过 EDFA 放大实现了激光器阵列光源的大功率输出,输出激光波形良好,波长偏移小于 ± 4 pm,各通道平均间隔 1.64 nm,与 200 GHz 的设计标准偏差小于 ± 0.2 nm。通过 PID 程序控制对所输出的光功率进行稳定化控制,功率波动小于 0.02 dBm,输出光功率大于 50 mW。该光源模块结构简单,成本低廉,电路的软硬件系统保证了光源输出的稳定可靠,可应用于未来 WDM 光源发射机与系统光源备份方面。

参考文献:

[1] Zhang C, Liang S, Zhu H, et al. Monolithically integrated 4-channel-selectable light sources fabricated by the SAG technology[J]. *IEEE Photonics Journal*, 2013, 5(4): 1400407.

[2] Zhao J, Chen X, Zhou N, et al. Experimental demonstration of monolithically integrated 16 channel DFB laser array fabricated by nanoimprint lithography with AWG multiplexer and SOA for WDM-PON application [J]. *Optics Communications*, 2015, 339: 78-85.

[3] Lee T P, Zah C E, Bhat R, et al. Multiwavelength DFB laser array transmitters for ONTC reconfigurable optical network testbed [J]. *Journal of Lightwave Technology*, 1996, 14(6): 967-976.

[4] Ishii H, Kasaya K, Oohashi H, et al. Widely wavelength-tunable DFB laser array integrated with funnel combiner[J]. *IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics*, 2007, 13(5): 1089-1094.

[5] Shi Y, Chen X, Zhou Y, et al. Experimental demonstration of eight-wavelength distributed feedback semiconductor laser array using equivalent phase shift [J]. *Optics Letters*, 2012, 37(16): 3315-3317.

[6] Lu L, Shi Y, Chen X. First demonstration of 1.3 μ m quarter-wavelength shift distributed feedback (DFB) semiconductor laser based on conventional photolithography [J]. *Science China Technological Sciences*, 2013, 56(3): 554-557.

[7] Shi Y, Li S, Chen X, et al. High channel count and high precision channel spacing multi-wavelength laser array for future PICs[J]. *Scientific Reports*, 2014, 9(4): 7377.

[8] Shi Y, Li S, Li L, et al. Study of the multiwavelength DFB semiconductor laser array based on the reconstruction-equivalent-chirp technique [J]. *Journal of Lightwave Technology*, 2013, 31 (20): 3243-3250.

[9] Shi Yuechun, Chen Xiangfei, Zhou Yating, et al. Experimental demonstration of the three phase shifted DFB semiconductor laser based on reconstruction-equivalent-chirp technique[J]. *Optics Express*, 2012, 20(16): 17374-17379.

[10] Li Jingsi, Wang Huan, Chen Xiangfei, et al. Experimental demonstration of distributed feedback semiconductor lasers based on reconstruction-equivalent-chirp technology [J]. *Optics Express*, 2009, 17(7): 5240-5245.

[11] Ni Yi, Kong Xuan, Gu Xiaofeng, et al. Packaging and testing of multi-wavelength DFB laser array using REC technology[J]. *Optics Communications*, 2014, 312: 123-126.

[12] Yao Bin, Tong Zhengrong, Yang Xiufeng, et al. Tunable multiwavelength fiber laser based on stimulated brillouin scattering [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2012, 41 (4): 919-923. (in Chinese)

[13] Dai Junke, Jiang Haiming, Zhong Qirun, et al. LD temperature control system based on self-tuning fuzzy PID algorithm [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2014, 43 (10): 3287-3291. (in Chinese)