文章编号: 1001-3806(2012)04-0463-04

用于 CO_2 探测的高功率 1572nm 可调谐光源

程 杰[1,2], 傅焰峰[2*], 龚 威[3]
(1. 武汉邮电科学研究院 光纤通信技术和网络国家重点实验室, 武汉 430074; 2. 武汉光迅科技股份有限公司, 武汉 430074; 3. 武汉大学 测绘遥感信息工程国家重点实验室, 武汉 430079)

摘要: 为了研发一种应用于 CO_2 探测激光雷达的全光纤宽带可调谐高功率光源, 以 CO_2 的超精确吸收谱为基础, 结合外腔可调谐激光器和 L 波段光纤放大器, 进行了理论分析和实验验证, 取得了针对 1572nm 附近吸收峰的连续调谐窄线宽光源的数据, 并通过铒镱双包层光纤放大器将输出光功率提升到瓦级以上。结果表明, 光源输出功率大于 10dBm, 边模抑制比大于 50dB, 线宽 500kHz 左右, 1572nm 放大器最大增益可达 25.13dB, 输出光功率达到 1W 以上。该光源具有体积小、低功耗和低成本的优势, 对实现更大范围的空间 CO_2 浓度探测分析有一定的帮助。

关键词: 激光器; 可调谐光源; 差分吸收; 光纤放大器
中图分类号: TN248 **文献标识码:** A **doi:** 10.3969/j.issn.1001-3806.2012.04.008

1572nm high power tunable laser source for atmospheric CO_2 measurement

CHENG Jie[1,2], *FU Yan-feng*[2], *GONG Wei*[3]
(1. State Key Laboratory of Optical Fiber Communication Technology and Network, Wuhan Research Institute of Post and Telecommunications, Wuhan 430074, China; 2. Wuhan Accelink Technologies Co. Ltd., Wuhan 430074, China; 3. State Key Laboratory of Information Engineering in Surveying, Maping and Remote Sensing, Wuhan University, Wuhan 430079, China)

Abstract: An all fiber, compact high power tunable laser source for atmospheric CO_2 measurement was investigated. Based on the ultra precise atmospheric CO_2 absorption spectrum, a tunable seed laser was designed with the peak absorption around 1572nm, and then its output power was amplified to the order of watt level with an Er-Yb double cladding fiber amplifier. The experimental results show that the laser can provide 10dBm output power with 50dB side mode suppression, 500kHz linewidth; the max gain of the fiber amplifier is 25.13dB, output power is 1W. This laser possesses a small size, low power consumption and low cost it builds a steady foundation for the wider range of Atmospheric CO_2 measurements.

Key words: lasers; tunable laser source; differential absorption; fiber amplifier

版权所有 © 《激光技术》编辑部

引 言

近几十年来, 人类活动对地球的影响越来越大, 经济的高速发展和人口的剧烈膨胀带来了一系列的负面影响, 所造成的直接后果就是大气中温室气体和污染气体急剧增加[1]。而温室气体, 尤其是 CO_2, 是造成全球气候变暖的重要因素。我国目前正处于经济高速发展时期, 工业规模和人均消费的日益扩大使 CO_2 排放量逐年增加。监测空间 CO_2 含量, 控制大气污染是我国的一项长期国策, 是确保经济可持续发展和人民群众拥有一个健康的生活环境的一项艰巨而又必不可少的工作[2]。目前 CO_2 探测多采用差分吸收探测技术, 它是一种理想的主动式大气污染气体和其它微量成分的遥感探测技术, 具有灵敏度高、作用距离远、范围广等优点。但是这个方法系统复杂、造价昂贵, 且测量精度受到探测方案限制[3]。作者着眼于改进差分吸收结构的发射系统, 用窄线宽可调谐激光器作为激光雷达的种子光源, 辅以高功率光纤放大器, 工作在 1572nm 的 CO_2 吸收线附近。该光源体积小、功耗低、成本低, 较之于以往的光源系统有着更大的的输出功率和探测范围, 具有一定的应用前景[4-11]。

1 差分吸收探测空间 CO_2 原理

激光雷达发射的激光脉冲, 在大气传输的过程中, 一部分与大气物质产生强烈共振吸收而衰减, 一部分被气溶胶散射, 散射回波信号与本振信号混频后被接收机检测, 经过信号处理得到大气物质的浓度信息。在差分吸收探测空间 CO_2 系统中, 既利用气溶胶散射

作者简介: 程 杰(1987-), 男, 硕士研究生, 主要从事光电子器件的研究。
* 通讯联系人。E-mail: yanfeng.fu@accelink.com
收稿日期: 2011-10-14; 收到修改稿日期: 2011-11-21

形成的回波信号，也利用气体吸收而获得 CO_2 的吸收信息，其吸收信号强弱反映了 CO_2 浓度的大小。

CO_2 超精细吸收谱线如图 1 所示，其主要的吸收范围在 1568nm ~ 1575nm 内，且有多个吸收峰，在 1572nm 附近吸收率最高。传统的差分吸收发射系统，采用两个窄线宽激光器发射两束波长相近的激光，其中一束与 CO_2 吸收光谱峰值波长 λ_{on} 重合，为消除大气中的其它物质及光学仪器对该波长的吸收和仪器参量等因素对测量精度的影响，另一束选在 CO_2 吸收峰附近吸收较小的外延 λ_{off}，由两束光的输出光功率和回波光功率结合不同波长的 CO_2 吸收截面参量，即可算出空间 CO_2 的浓度[12]。

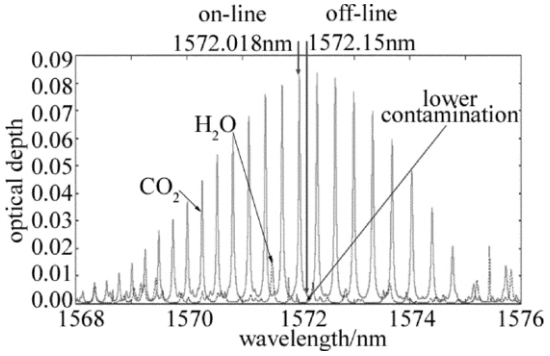

Fig. 1 Space carbon dioxide absorption lines

2 可调谐光源方案

针对空间 CO_2 吸收谱 1572nm 附近的差分检测应用需求，设计了以可调谐激光器为种子光源，辅以 1572nm 光纤放大器提升光功率的发射系统方案，改进的发射系统覆盖 CO_2 的主要吸收范围，进行多个吸收峰的差分吸收探测，这样可以有效地提高探测精度。

2.1 可调谐激光器

作者提出了用一个可调谐激光器作为种子光源的方案，调节可调谐激光器使其输出波长为 CO_2 多个吸收峰的波峰、波谷位置，进行多次差分探测，可提高系统的探测精确性。该可调谐激光器采用外腔结构，满足了空间 CO_2 探测系统光源窄线宽、波长高精度的要求，其结构如图 2 所示。它由平面镜、液晶、微电机系统(micro-electro-mechanical systems，MEMS)光滤波器、透镜和增益芯片组成。增益芯片的一端镀有部分反射膜(反射率 90%)，另一端镀增透膜，光在增益芯片部分反射膜端与平面镜之间反馈振荡。MEMS 可调谐滤波器的法布里-珀罗(Fabry-Perot，F-P)腔由两块内表面镀高反膜、外表面镀增透膜的平面玻璃板平行放置构成。在 F-P 腔一侧的两个电极上加驱动电压，通过静电改变其 F-P 腔腔长进而改变透过峰位置，起到粗调激光器输出波长的作用。在该结构中用液晶来相位

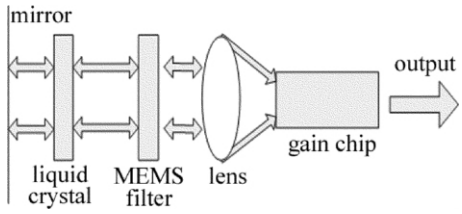

Fig. 2 Structure of a tunable laser source

补偿，改变加在液晶上的电压可以改变液晶的折射率，进而改变激光器外腔腔长，达到微调输出波长的效果。当激光器的输出波长与目标波长有小范围偏差时，通过单片机控制加在液晶上的电压，可使输出波长逼近目标波长。

2.2 1572nm 光纤放大器

光纤放大器是光纤通信系统中最常用的放大设备，但是由于铒离子的受激辐射特性，在 1572nm 处的增益很低。为了将增益转移到 1572nm 附近，通常采用的方法是使用很长的掺铒光纤作为增益介质，但是单纯延长掺铒光纤的长度会带来一些负面影响，比如：光纤过长会增加光纤的吸收损耗和后向放大自发辐射(amplified spontaneous emission，ASE)的积累、降低放大器的抽运转换效率、增加噪声指数等[3]。因此，本设计中采用了级联结构，将高掺杂的掺铒光纤并分为两段，分别作为前级和后级，通过匹配两段掺铒光纤的长度使铒离子维持在较低的粒子数反转程度，进而达到了将增益偏移到 1572nm 附近的目的。在两级之间添加隔离器，避免了后级的反向 ASE 反射回前级，同时使前级的正向 ASE 可以进入后级作为抽运参与后级的放大，提高了抽运的转换效率并优化了放大器的噪声特性。

2.3 实验和结果

调节可调谐激光器，使其输出波长先后与 CO_2 吸收光谱峰值波长 λ_{on} 和 CO_2 吸收峰附近吸收较小的外延 λ_{off} 重合，激光器输出光谱如图 3 所示，其输出功率大于 10dBm，边模抑制比大于 50dB，具有较好的单纵模、单横模特性，线宽 500kHz 左右，调谐精度可达 5pm。

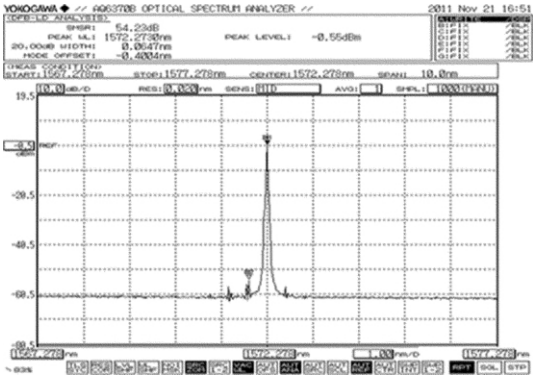

Fig. 3 Output spectra of a tunable laser

版权所有 © 《激光技术》编辑部

根据 Giles 模型进行理论计算，通过实验对比验证，级联结构前级采用 10m 常规掺铒光纤，后级采用 12m 的双包层铒镱共掺光纤，增益较高的后级设计提高了光纤放大器的输出功率。

调谐可调谐激光器输出波长与 CO_2 吸收谱线的峰值波长 1572.014nm 重合，将光功率为 10dBm 的信号光输入光纤放大器上进行放大。前级掺铒光纤使用抽运功率为 200mW 的 980nm 抽运激光器进行抽运；后级双包层铒镱共掺光纤使用两个 940nm 的多模抽运激光器抽运，通过调节抽运激光器的驱动电流，调整抽运功率。当两个抽运激光器驱动电流为 2500mA 时，用功率计测得放大器输出功率达到 30.22dBm，放大器增益 20.22dB，继续增加驱动电流达到 4500mA 时，增益可以达到 25.13dB。因为光谱仪的单波输入功率不能超过 15dBm，所以将放大器的输出接了 17dB 的固定衰减器，用光谱仪测得其输出光谱图如图 4 所示。

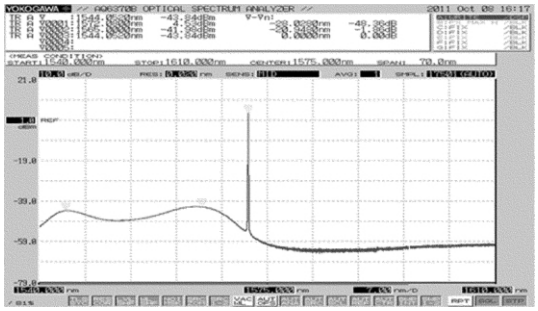

Fig.4　Output spectrum of two-cascade structure

由图 5 可知，该光纤放大器在短波方向 ASE 较大。为解决这个问题，在第 2 级后端再加一段长度合适的高掺杂铒纤抑制短波 ASE。最终的光纤放大器结构图如图 6 所示。在同等 1572.014nm 输入信号光的

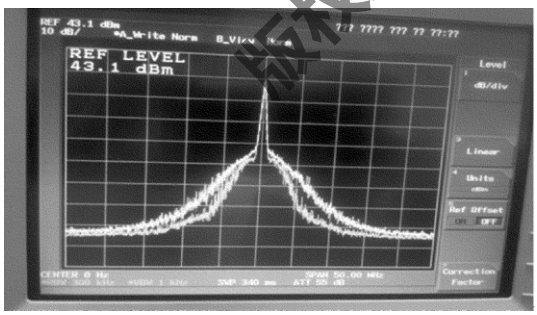

Fig.5　Linewidth

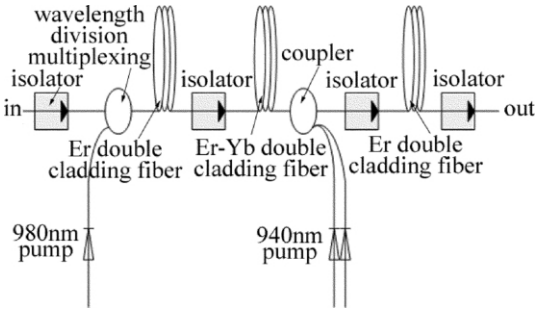

Fig.6　Structure of a fiber amplifier

情况，光纤放大器的输出光谱如图 7 所示，短波 ASE 得到有效的抑制，测得放大器的噪声指数为 6.638dB。

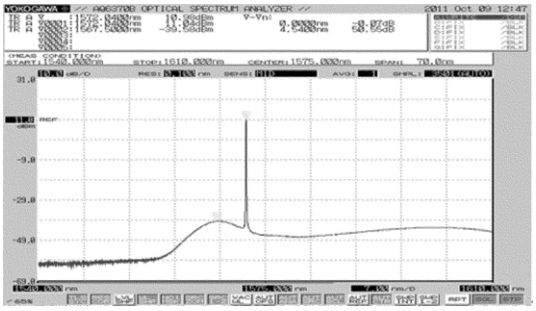

Fig.7　Output spectrum of three-cascade structure

调谐可调谐激光器使其输出波长为 CO_2 的超精细吸收谱线，其中吸收效果最明显的 3 组吸收的峰值和谷值波长分别为：1571.754nm，1571.886nm；1572.018nm，1572.15nm；1572.282nm，1572.414nm。

用图 6 所示结构的高功率光纤放大器对这 6 个波长分别进行放大，放大后的光谱图如图 8 所示，可以发现光纤放大器对它们的增益基本相等，避免了在实际探测的过程中由于放大器增益的不平坦所导致的探测误差。

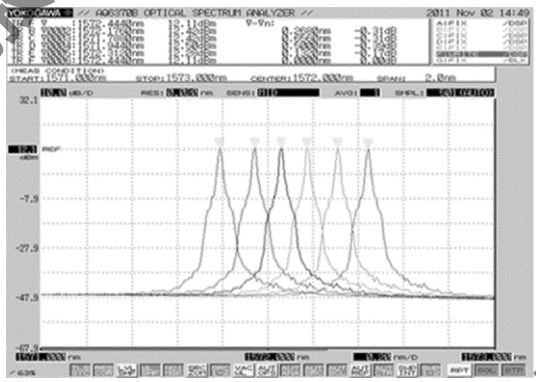

Fig.8　Multi-wave tuning spectral

3　结　论

提出了一种应用于大气 CO_2 探测激光雷达的 1572nm 宽带高功率可调谐光源，可用于长距离大范围的 CO_2 探测分析，种子激光器输出功率大于 10dBm，边模抑制比大于 50dB，线宽 500kHz 左右，拥有较好单纵模横模特性。1572nm 放大器增益最大 25.13dB，输出光功率达到 1W 以上。

参　考　文　献

[1]　SHI G Y, DAI T, XU N. Latest progress of the study of atmospheric CO_2 concentration retrievals from satellite [J]. Advances in Earth Science, 2010, 25(1): 7-13(in Chinese).

[2]　LIU Y, LÜ D R, CHEN H B, *et al*. Advances in technologies and methods for satellite remote sensing of atmospheric CO_2 [J]. Remote Sensing Technology and Application, 2011, 26(2): 247-254(in Chinese).

[3]　ZHAO Y F, ZHANG Y Ch, HONG G L, *et al*. Lidar system for detec-

版权所有 © 《激光技术》编辑部

ting the atmospheric CO_2 [J]. Chinese Journal of Quantum Electronics, 2006, 23(3): 355-359(in Chinese).

[4] TAO X H, HU Y H, ZHAO N X, *et al*. Analysis of coherent lidar system for measurements of atmospheric CO_2 [J]. Chinese Journal of Quantum Electronics, 2008, 25(2): 230-234(in Chinese).

[5] BERGER J D, ZHANG Y W, GRADE J D, *et al*. Widely tunable external cavity diode laser using a MEMS electrostatic rotary actuator [J]. Optical Communication Conference and Exhibit, 2001, 2(3): 198-199.

[6] CHEN X P, HAN M, ZHU Y Zh, *et al*. Implementation of a loss-compensated recirculating delayed self-heterodyne interferometer for ultranarrow laser linewidth measurement [J]. Applied Optics, 2006, 45(29): 7712-7717.

[7] JIA D F, WANG Y Y, BAO H M, *et al*. Optimal design of L-band preamplifier with cascade structure [J]. Journal of Optoelectronics · Laser, 2006, 17(6): 666-668(in Chinese).

[8] LI N, WANG J, PENG Y X, *et al*. High power Er^{3+}/Yb^{3+} co-doped fiber amplifiers with optimum of fiber length optimization [J]. Laser Technology, 2010, 34(6): 757-760(in Chinese).

[9] HEAPS W S. Broadband lidar technique for precision CO_2 measurement [J]. Proceedings of SPIE, 2008, 7111: 711102/1-711102/8.

[10] GEORGIEVA E M, HEAPS W S, WILSON E L. Differential radiometers using Fabry-Perot interferometric technique for remote sensing of greenhouse gases [J]. IEEE Transactions on Geosciense and Remote Sensing, 2008, 46(12): 3115-3122.

[11] ALTUNCU A, BASGUMUS A. Gain enhancement in L-band loop EDFA through C-band signal injection [J]. IEEE Photonics Technology Letters, 2005, 17(7): 1402-1404.

[12] BERGER J D, ZHANG Y W, GRADE J D, *et al*. Widely tunable external cavity diode laser based on a MEMS electrostatic rotary actuator [J]. Optical Fiber Communication Conference and Exhibit, 2001, 2(2): TuJ2/1-TuJ2/3.

版权所有 © 《激光技术》编辑部