

文章编号: 0253-2239(2008)01-0128-04

半导体光放大光纤环形激光器的偏振混沌与相干性

方 捻 郭小丹 王春华 王陆唐 黄肇明

(上海大学特种光纤与光接入网省部共建教育部重点实验室, 上海 200072)

摘要 研究了基于半导体光放大器(SOA)的光纤环形激光器的偏振混沌光的特性及其相干性。实验采集激光器的输出功率和偏振度,得到了基于半导体光放大器的光纤环形激光器的输出从自发辐射到受激辐射、再到偏振态混沌激光辐射的演化过程。利用马赫-曾德尔(M-Z)干涉仪验证了混沌激光的相干性,并发现混沌干涉只有零级。测量不同光程差时干涉仪的输出功率,计算相应的干涉条纹可见度,进一步算得混沌激光的相干时间约为 40 ps。这一结果与根据光谱计算的该混沌激光的相干时间 43 ps 基本一致。实验还测得该混沌激光的相干性与半导体光放大器的电流无关。并指出了混沌激光相干应用于低相干光源探测领域的灵敏度和分辨力优势。

关键词 激光器; 偏振混沌; 相干时间; 光纤环形激光器; 干涉条纹可见度; 半导体光放大器

中图分类号 TN24; O415.5 **文献标识码** A

The Characteristic of Polarization Chaos and Coherence of Semiconductor Optical Amplifier-Based Fiber Ring Laser

Fang Nian Guo Xiaodan Wang Chunhua Wang Lutang Huang Zhaoming

(Key Laboratory of Special Fiber Optics and Optical Access Networks, Ministry of Education, Shanghai University, Shanghai 200072, China)

Abstract The characteristic of polarization chaos laser and coherence of semiconductor optical amplifier (SOA)-based fiber ring laser are investigated. By detecting the power and degree of polarization (DOP) output of the laser in laboratory, the process from amplified spontaneous emission (ASE) to stimulated emission of radiation, and to polarization chaos laser output is evolved. The coherence of chaotic light is verified employing Mach-Zehnder interferometer, and only the zero-order coherence is observed. Adjusting the optical-path difference of two arms, power output of the interferometer is measured, and visibility of interference streak is computed accordingly. The coherence time of 40 ps is got, which is basically consistent with the time of 43 ps computed by optical spectrum of chaotic laser. It is measured that the chaotic laser's coherence is independent of current of SOA. The superiority of chaotic laser's coherence in resolution and sensitivity is indicated when it is applied in the field of low coherence optical source detection.

Key words lasers; polarization chaos; coherence time; fiber ring laser; visibility of interference streak; semiconductor optical amplifier

1 引 言

近几年利用混沌光作载波实现保密通信的研究正方兴未艾,根据 Rajarshi Roy 等^[1]的研究成果,在一个由掺铒光纤放大器(EDFA)所组成的光纤环形激光器混沌系统中,光波具有高速、高维数(多态)的偏振态变化,因此利用混沌系统的偏振态调制可以实现高保密性、高码率的信息传输。王陆唐等^[2~5]已报道了采用偏振技术实现光混沌通信的研究结

果。主要采用光混沌系统的偏振态移位键控(Polarization Shift Keying, PolSK)调制技术实现信息的保密通信。在文献[6]中,作者利用三种判据判定了偏振态移位键控光混沌保密通信实验系统中传输的激光是偏振态混沌光,并分析了通信系统的保密性。本文从实验上直观地展示了基于半导体光放大器的光纤环形激光器的输出光的偏振态混沌性,并初步探讨了它的相干特性。

收稿日期: 2007-03-27; 收到修改稿日期: 2007-07-06

基金项目: 国家自然科学基金(6057704)和上海市重点学科(T0102)资助课题。

作者简介: 方 捻(1972—),女,回族,河南西华人,副教授,博士,硕士生导师,主要从事混沌光通信与光传感技术方面的研究。E-mail: nfang@staff.shu.edu.cn

2 混沌光源工作原理简介

混沌光源的结构如图 1 所示,是一个基于半导体光放大器(SOA)的光纤环形激光器,主要器件为半导体光放大器,这里采用的是 OptoSpeed 公司的半导体光放大器模块(SOA1550MRI-XI1500)。由于光纤内部存在着双折射效应且随机分布,因此造成光纤环中传播的光束在不同的部位具有不同的偏振态,且随着循环次数的增加,偏振态不断地发生变化。另一方面,由于半导体光放大器工作状态变化,以及外界一些因素变化,如温度、震动等对光纤的影响都会导致光束偏振态随时间发生改变。因此,光纤环形激光器是一个混沌动力学系统,其输出的光信号是一种偏振混沌信号。在光纤环中传播的光束通过半导体光放大器时得到放大,最终形成混沌激光输出,其工作波长由光滤波器的中心波长决定。偏振控制器(PC)采用 General Photonics Corporation 公司的光纤挤压器(PLC-001),用于调整光纤环的偏振态。图 1 中 OC 为光耦合器。

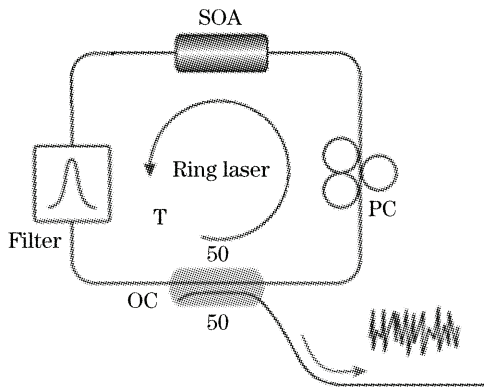


图 1 基于半导体光放大器的光纤环形激光器示意图

Fig. 1 Schematic diagram of semiconductor optical amplifier (SOA)-based fiber ring laser

3 基于半导体光放大器的光纤环形激光器输出功率和偏振度的不同状态

按照图 1 光路系统,首先在大电流下,调整偏振控制器处于偏振度(DOP)趋于零的位置,然后逐渐改变半导体光放大器的工作电流,用偏振分析仪(Santec 公司的 PAM-10 Polarization analysis module)采集光纤环形激光器输出的功率和偏振度,结果如图 2 所示。随着半导体光放大器工作电流的增加,环形激光器的输出功率逐渐增大,在激光器的阈值附近,输出功率突然增大,偏振度也瞬间达到最大值。这说明环形激光器由自发辐射过渡到了受激辐射。但是,随着半导体光放大器的工作电流

再增大,激光器输出功率一直持续增大,而偏振度却逐渐减小,减小到一定值之后,电流再增加,偏振度数值几乎不再变化,在一个较小值附近摆动,说明环形激光器进入了混沌状态。

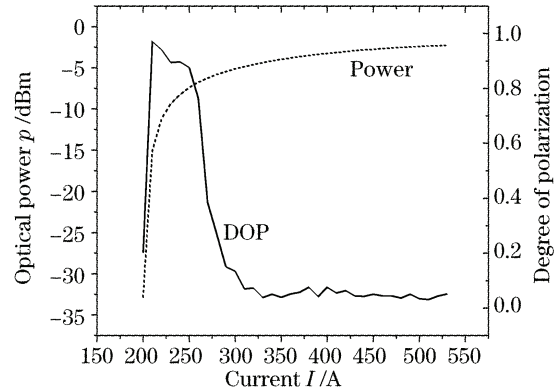


图 2 环形激光器的输出功率与偏振度随半导体光放大器电流的变化

Fig. 2 Relationship between power, degree of polarization (DOP) of fiber ring laser and current of SOA

输出光的偏振度变低是由于我们所使用的偏振分析仪的速率较慢,而混沌光的偏振态却在高速变化,在瞬时激光的偏振态快速变化,几乎是各态经历的,在慢速偏振分析仪上观察到的是偏振态变化叠加的平均效果,即各种偏振态相互抵消,最后看到激光退(消)偏,偏振度约为 0 的输出。从图 3 可直观地看到,激光器的输出处于退偏状态时,三个斯托克斯(Stokes)参量 S_1 、 S_2 和 S_3 的值都接近于零,在庞加莱球上显示为中心一点,偏振度数值显示 2.554%,非常接近于零,偏振态参数 S_1 、 S_2 和 S_3 随时间变化的曲线几乎重叠在一起。微调偏振控制器,偏振度数值甚至可达到 0.8%。

小电流时偏振度趋近 1 是因为略微超过阈值电流时振荡模式较少,环腔内部光强也很小,不足以产

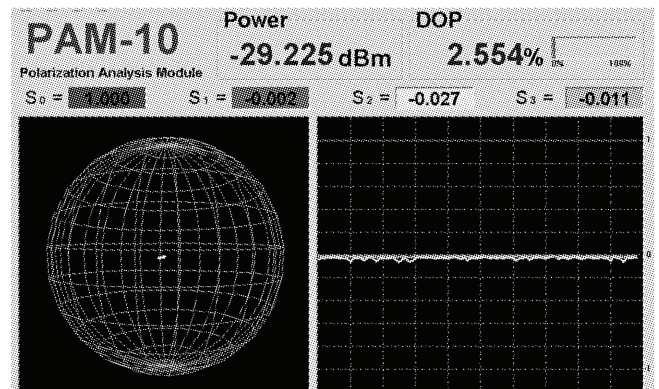


图 3 基于半导体光放大器的光纤环形激光器的退(消)偏状态

Fig. 3 Depolarization state of SOA-based fiber ring laser

生光纤的非线性双折射,所以偏振度较大;随着电流增大,环腔内部光强足以产生光纤的克尔(Kerr)效应时,输出偏振态就改变了,使偏振度趋于0。

4 基于半导体光放大器的环形激光器的混沌光相干性探讨

可调滤波器中心波长为 1549.2 nm,半导体光放大器电流为 330 mA 时,用安立公司的光谱仪 MS9720A 测得的混沌激光光谱如图 4 所示。它的 3 dB 谱宽约为 0.18 nm。虽然混沌激光在时域波形上呈现类随机性,属于非周期信号,但在光谱上,相对于一般的激光,混沌激光光谱的形状和谱宽都无显著差异。为了了解混沌激光的相干特性,计算了它的相干长度与相干时间,根据相干长度与光谱宽度的关系式^[7], $L=\lambda^2/(\Delta\lambda)$,其中 λ 表示准单色光的中心波长, $\Delta\lambda$ 表示谱线宽度, $L\approx 13$ mm。相应地,相干时间为 $t=L/c\approx 43$ ps。其中 c 表示真空中的光速。

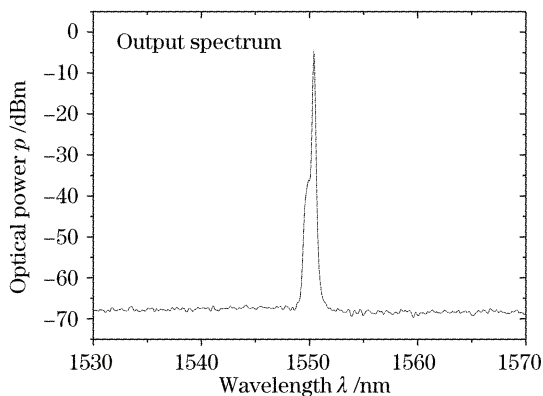


图 4 混沌激光的光谱

Fig. 4 Optical spectrum of chaotic laser

从 290 mA 到 530 mA(偏振混沌状态对应的电流区间),每间隔 30 mA 分别选取 9 个半导体光放大器的电流值,测得不同半导体光放大器电流下混

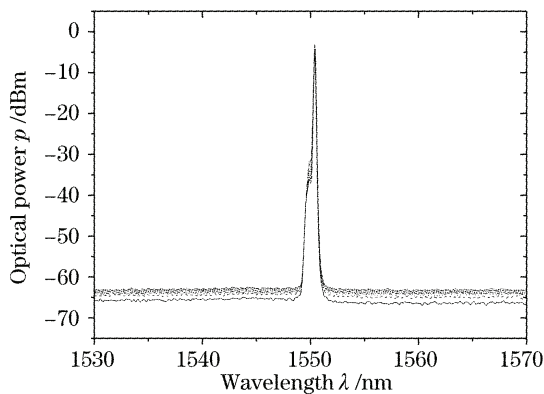


图 5 不同半导体光放大器电流下混沌激光的光谱

Fig. 5 Optical spectra of chaotic laser in different current of SOA

沌激光的光谱,如图 5 所示。从图 5 可明显看出,半导体光放大器电流对混沌激光的谱宽几乎没有影响,只是电流越大,输出功率越大,光谱的顶部越高。从谱宽与相干长度的关系可以得知,不同半导体光放大器电流下混沌激光的相干性几乎没有发生变化。这是因为偏振混沌激光系统并没有改变激光的相干特性,所改变的仅仅是光波的偏振状态。

设计了一个混沌激光的马赫-曾德尔(M-Z)干涉实验:用两个 3 dB 耦合器,一段 2 m 长的光纤作参考臂,两端各带 1 m 长尾纤的可调光纤延迟线作测量臂,构造了马赫-曾德尔干涉仪,如图 6 所示,来测量它的条纹可见度和相干时间。用 Santec 公司的 Optical delay line module ODL-330 作可调光纤延迟线,其可调范围为 0~300 ps。逐点改变可调光纤延迟线的延迟时间,用 Santec 公司的偏振分析仪模块采集马赫-曾德尔干涉仪输出信号的功率。

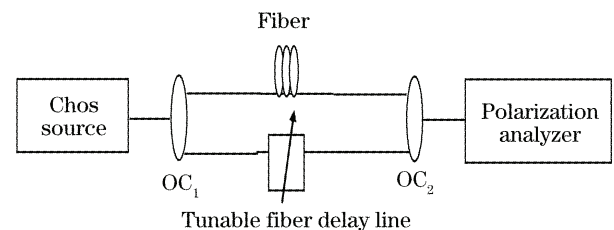


图 6 混沌激光的马赫-曾德尔干涉实验装置图

Fig. 6 Experimental setup of chaotic laser Mach-Zehnder interferometer

根据不同延迟时间采集的干涉信号光功率,利用干涉条纹的可见度计算式^[8] $V = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}}$,其中 I_{\max} 和 I_{\min} 分别是干涉仪输出信号光强的极大值和极小值。

计算了不同延迟时间对应的干涉条纹的可见度,如图 7 所示。根据部分相干光理论,干涉条纹可

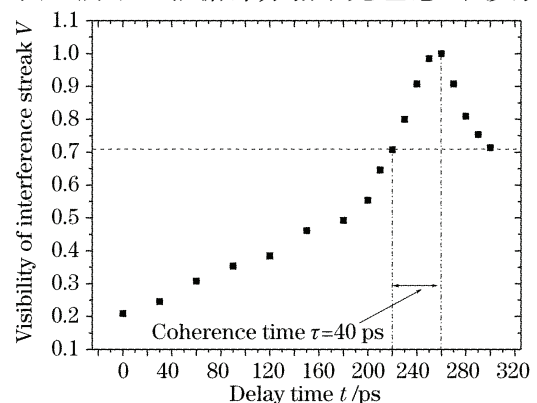


图 7 干涉条纹的可见度随延迟时间的变化

Fig. 7 Relationship between visibility of interference streak and delay time

度 V 下降到最大值的 0.707 倍时, 对应的时间就是相干时间^[9], 由此得出, 混沌激光的相干时间约为 40 ps。与混沌激光光谱(图 4)算得的相干时间(43 ps)基本一致。

5 结 论

主要研究了基于半导体光放大器的光纤环形激光器的偏振态混沌激光的特性及其相干性。从实验上得到了基于半导体光放大器的光纤环形激光器的输出从自发辐射到受激辐射、再到偏振态混沌激光辐射的演化过程。实验验证了混沌光的相干性。测量了不同光程差对应的干涉条纹可见度, 计算了混沌光的相干时间约为 40 ps。可见, 基于半导体光放大器的光纤环形激光器确实可以输出偏振混沌光, 而且该混沌光具有相干性。

另外, 由于混沌光的非周期性, 两束混沌光之间只会产生零级干涉。如果把混沌激光代替一般的白光用于低相干光源探测领域, 在光探测和光传感领域具有较好的应用前景, 能提高探测的灵敏度和分辨力。

参 考 文 献

- Gregory D. Van Winggeren, Rajarshi Roy. High-speed fiber-optic polarization analyzer; measurements of the polarization dynamics of an erbium-doped fiber ring laser[J]. *Opt. Commun.*, 1999, **164**: 107~120
- Lutang Wang, Weijia Wu, Nian Fang *et al.*. Experimental study on chaotic optical communication with PolSK modulation technology[C]. *Proc. SPIE*, 2005, **6021**: 60210S-1~7
- Lutang Wang, Zhaoming Huang. Optical chaos communication with a dynamical SOA-based fiber ring laser[C]. *Proc. SPIE*, 2003, **5281**: 619~627
- Liu Jing, Wang Lutang, Wu Weijia *et al.*. Experimental study on chaos secure optical communication with PolSK modulation technology[J]. *Opt. Commun. Technol.*, 2005, **29**(9): 58~60
刘 静, 王陆唐, 巫玮佳 等. PolSK 调制混沌保密光通信的实验研究[J]. *光通信技术*, 2005, **29**(9): 58~60
- Yang Xiuli, Wang Lutang, Huang Zhaoming. Summarization of chaos communication[J]. *Microcomputer Information*, 2004, **20**(12): 120~122
杨秀丽, 王陆唐, 黄肇明. 混沌通信技术概述[J]. *微计算机信息*, 2004, **20**(12): 120~122
- Fang Nian, Wang Lutang, Guo Shuqin *et al.*. Security of polarization-shift keying chaos optical communication system[J]. *Acta Optica Sinica*, 2006, **26**(6): 812~817
方 捻, 王陆唐, 郭淑琴 等. 偏振态移位键控光混沌通信系统的保密性[J]. *光学学报*, 2006, **26**(6): 812~817
- Li Juntao, Zhu Jian, Wang Zixin *et al.*. Study of temporal and spatial coherence of light emitting diode[J]. *Chin. J. Lasers*, 2005, **32**(1): 31~34
李俊韬, 朱 健, 王自鑫 等. 发光二极管的时间与空间相干性研究[J]. *中国激光*, 2005, **32**(1): 31~34
- Huang Zhaoming. *Photonics and optical communication Introductory* [M]. Shanghai: Shanghai University Press, 2001. 36
黄肇明. *光子学与光通信导论* [M]. 上海: 上海大学出版社, 2001. 36
- He Anzhi, Yan Dapeng. *Laser Instantaneous Coherence Metrology* [M]. Beijing: China Machine Press, 1993. 90~94
贺安之, 阎大鹏. *激光瞬态干涉度量学* [M]. 北京: 机械工业出版社, 1993. 90~94