

文章编号: 1001-3806(2016)05-0727-03

基于无源腔多波长单模布里渊光纤激光器

肖平平, 邓满兰, 胡红武

(宜春学院 物理科学与工程技术学院, 宜春 336000)

摘要: 为了实现一种单模多波长布里渊光纤激光器, 采用了将掺铒光纤放大器放置于 1 个 10m 左右的无源光纤振荡腔外, 各阶布里渊激光通过耦合器可反馈回送到掺铒光纤放大器中再次放大, 作为下一阶布里渊激光的抽运光来产生多阶布里渊激光的方法, 并进行了理论分析和实验验证。结果表明, 在现有掺铒光纤放大器输出功率的水平, 在这种多波长单模布里渊光纤激光器中观察到了 7 个布里渊激光波长。预计其在光生微波、密集波分复用系统、光学惯性旋转传感和超高精度光谱分析等领域将会有着极其广泛的应用。

关键词: 光纤光学; 布里渊激光器; 无源腔; 单纵模; 多波长

中图分类号: TN248.1

文献标志码: A

doi: 10.7510/jgjs.issn.1001-3806.2016.05.022

Multiwavelength and single longitudinal mode Brillouin fiber lasers based on passive cavities

XIAO Pingping, DENG Manlan, HU Hongwu

(College of Physics Science and Engineering Technology, Yichun University, Yichun 336000, China)

Abstract: In order to obtain a multiwavelength and single longitudinal mode Brillouin fiber laser, an erbium-doped fiber amplifier was placed outside of an about 10m passive optical cavity. Each order Brillouin laser was fed back to the erbium-doped fiber amplifier to amplify again through the coupler. And then, it was used as pumping laser for the next order Brillouin laser to produce multi-order laser Brillouin laser. After theoretical analysis and experimental verification, the result shows that more than seven orders of Stokes signals are observed in the multi-wavelength single-mode fiber Brillouin laser under the condition of current output power of the erbium-doped fiber amplifier. The study will have very wide range of applications in optical generations of microwave, dense wavelength division multiplexing, optical inertial rotation sensor, ultra high precision spectral analysis and so on.

Key words: fiber optics; Brillouin fiber laser; passive cavity; single longitudinal mode; multiwavelength

引言

因布里渊光纤激光器具有天然的噪声抑制、线宽窄化^[1]和高稳定等诸多优点, 使其在光纤测量、光纤传感、光生微波、微波光子滤波器以及光通信等领域获得了极其广泛的应用前景^[2-7]。

传统的布里渊光纤激光器大多数是利用有源振荡腔来产生, 光束质量受到了较大的限制。例如超过 20m 腔长的有源腔布里渊光纤激光器就很难输出单纵模激光; 而小于 20m 腔长的有源腔布里渊光纤激光器尽管可以输出单纵模, 但由于有源腔中的自发辐射影响大大降低了单纵模激光的信噪比。更为不足的是,

有源腔光纤布里渊激光器调谐宽度有限, 一般都只有 2nm ~ 3nm 的调谐宽度, 这使得它应用范围的拓展大大受到限制^[8]。

马来西亚大学电子工程系的 HARUN 研究小组于 2009 年 1 月报道了一种基于有源腔的产生布里渊光纤激光器^[9]。同年 10 月, GUAN 研究小组又报道瓦量级单纵模输出的高性能光纤布里渊激光器^[10]。然而, 这些有源腔输出激光的中心波长严重受到了有源腔内自由振荡腔模的限制; 当腔长大于 20m 后, 这些较高质量的布里渊光纤激光器不能保证单纵模和多波长输出。如要输出高质量的多波长布里渊激光^[11], 就要考虑采用复杂的级联结构来实现。2012 年 1 月, 上海交通大学 LIU 研究小组曾报道了一种无源腔级联的方法输出双波长布里渊激光, 并利用该装置输出的双波长激光拍频获得了高质量的微波信号^[12]。但要想获得更多多波长的布里渊激光, 使用级联结构的方法就将成为一项庞大的系统工作, 成倍数消耗光纤元器件, 成本也大大提高, 显然这不是一种多波长布里渊光纤激

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(61168002); 江西省自然科学基金资助项目(20132BAB201048)

作者简介: 肖平平(1972-), 男, 博士, 教授, 现主要从事光纤通信、导波光学、集成光学及其应用领域研究。

E-mail: xpp7967@163.com

收稿日期: 2015-07-13; 收到修改稿日期: 2015-09-14

光获得的最有效途径。

为了克服上述方法中的不足、获得多波长单纵模布里渊激光,本文中提出一种将有源掺铒光纤放大器至于无源振荡腔外,掺铒光纤放大器只放大抽运光,振荡腔中增益介质的长度缩短到 10m 左右的短腔的单纵模多波长布里渊光纤激光器。实验研究表明:该结构能够观察到 7 个布里渊激光波长,且每个波长都工作在单模状态。

1 原理

布里渊散射是抽运光和斯托克斯光(Stokes)通过声波进行非线性相互作用,抽运光在光纤中通过电致伸缩效应^[13]产生声波,对介质折射率进行周期性调制,形成一个可以移动的光栅,抽运光通过这种移动的光栅将产生布喇格衍射,由于多普勒位移与以声速 v_a 移动的光栅有关,散射光频率将红移。这个散射过程可看作一个抽运光子的湮灭,同时产生一个 Stokes 光子和一个声频声子。3 个波之间频率关系为:

$$\nu_B = \nu_p - \nu_s = 2n v_a / \lambda_0 \quad (1)$$

式中, ν_B 和 v_a 为单模光纤的布里渊频移和声速, ν_p 和 λ_0 为抽运光频率和其波长, ν_s 为 Stokes 光的频率, n 为光纤材料的折射率。

本文中提出的这种基于被动腔的多波长单模布里渊光纤激光器的原理结构如图 1 所示。

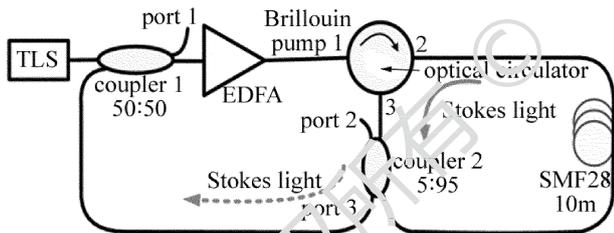


Fig. 1 Principal configuration

可调谐激光光源(tunable laser source, TLS)激光器输出的激光信号经掺铒光纤放大器放大再经过光纤环形器后作为布里渊抽运光输入被动激光谐振腔,谐振腔内为单模光纤,腔长约为 10m,其自由频谱范围(free spectrum ranges, FSR)约为 18.8MHz^[14],与布里渊增益谱的谱宽(20MHz)相当^[15]。当 TSL 输出的抽运光经 EDFA 放大后光功率超过布里渊阈值,就可激发逆时针方向传输的第 1 阶 Stokes 光,第 1 阶 Stokes 光通过耦合器 2 的端口 3 部分反馈到掺铒光纤放大器(erbium-doped fiber amplifier, EDFA)中再次进行放大,当光功率达到 2 阶布里渊阈值后,又可在无源振荡腔中激发第 2 阶 Stokes 光。

在无源光纤谐振腔中激发的第 1 阶、第 2 阶 Stokes 光的频率分别为:

$$f_1 = f_0 - \nu_B \quad (2)$$

$$f_2 = f_1 - \nu_B \quad (3)$$

式中, f_0 为布里渊抽运光频率,即 TSL 的频率。

在该无源振荡腔中,逐阶 Stokes 光的频率依次递减 ν_B ,即:

$$f_n = f_{n-1} - \nu_B \quad (4)$$

因此,与现有报道的相关技术相比该结构不需要使用多个腔级联,就可可在同一个腔中产生多阶 Stokes 光,并且保证各阶 Stokes 光都运行在单纵模状态。

2 测量和结果

2.1 阈值测量

实验测试时,把图 1 中的 TSL 信号源的输出功率调准在 1mW,工作波长为 1550nm,在耦合器的端口 2 和端口 3 分别测量了抽运光功率和 Stokes 光功率,测试结果如图 2 所示。

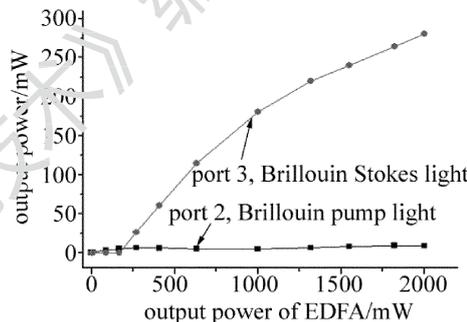


Fig. 2 The output power curve of Brillouin pump and Stokes signal

从测试图中可以清楚地看出,这种结构的抽运光功率约达 150mW 时,就可在这种短无源谐振腔中激发 Stokes 光。作者所在实验室 EDFA 的最大输出功率只有 2W。当抽运功率达到最大 2W 时,输出的 Stokes 光功率可以达到 300mW,转换效率可达 15%。

2.2 信噪比测量

对本文中提出的这种被动增强短腔光谱的特性进行了实验测试,测试仪器使用的是日本横河公司生产的 AQ6370D 光谱分析仪,其波长分辨率为 0.065nm,抽运光和 Stokes 光测分别取自耦合器 2 中的端口 2 和端口 3。测试结果如图 3 所示。

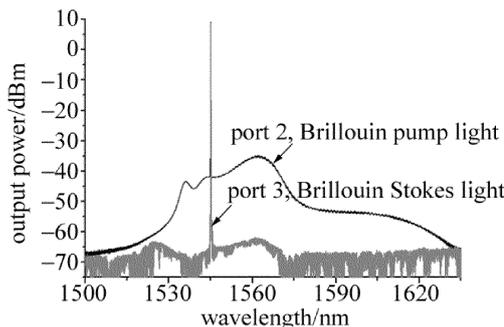


Fig. 3 The signal-to-noise ratio curve of Brillouin pump and Stokes signal

从测试曲线计算得布里渊抽运光信噪比约为42dB,布里渊 Stokes 光的信噪比约72dB。布里渊 Stokes 光的信噪比可比布里渊抽运光信噪比提高近1.7倍。这也充分说明了受激布里渊散射过程中的噪声抑制效果。

2.3 线宽测量

对耦合器2中端口3输出的 Stokes 光线宽进行了实验测试,由于光谱分析仪的波长分辨有限,实验中测量利用电谱分析仪并用延时自差方法来测量布里渊 Stokes 光的线宽,将耦合器2中的端口3直接与光电探测器相连,其1阶布里渊 Stokes 光的线宽测试结果如图4所示。从测试曲线看出,自差拍频谱的半峰全宽小于10kHz,因此布里渊光纤激光器输出线宽小于5kHz。

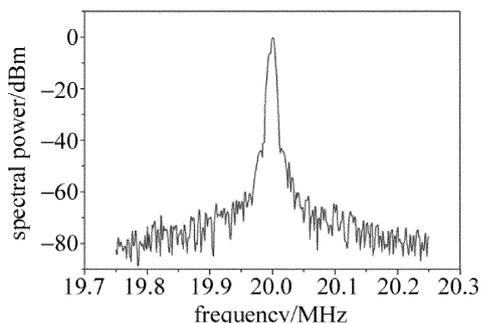


Fig. 4 The line-width curve of Brillouin Stokes signal

2.4 波长数测量

实验测试时,先把图1中的 TLS 信号源的输出功率调在1mW,工作波长为1550nm,把 EDFA 的增益调到最大,使其输出功率为2W(实验空最大的功率),在耦合器2的端口3来测量 Stokes 光的波长数。测试结果如图5所示。

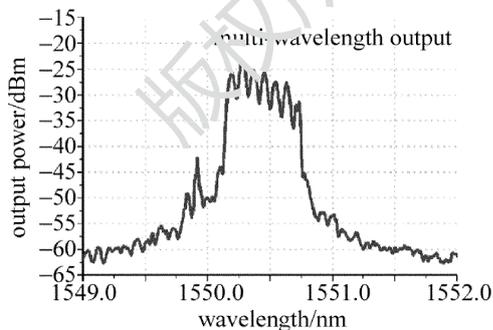


Fig. 5 The wavelength of Brillouin Stokes signal

从测试曲线可以看出,作者所在实验室目前的 EDFA 输出功率水平,已经观察到7个布里渊激光波长。

3 结论

对这种无源被动短光纤谐振腔产生的第1阶 Stokes 激光的阈值、信噪比和线宽都进行了测量,尽管

实验中只观察7阶 Stokes 光波长,这是受到实验室 EDFA 输出功率的限制所致,如果进一步提高抽运光的功率,更多阶的 Stokes 光波长是很容易得到的。同时只要改变 TSL 信号源的工作波长和更换对应工作波长的掺铒光纤放大器,比如1560nm处,相应各阶 Stokes 光波长同时增加0.084nm左右,这样就很容易实现输出波长的调谐。预计其在光纤传感,光生微波特别是密集光波分复用领域可获得极其广范的应用前景。

参考文献

- [1] HU H W, XIAO P P. Study on highly stable single-frequency Brillouin fiber laser [J]. Science China Physics, Mechanics & Astronomy, 2012, 42(7):731-736(in Chinese).
- [2] KUANG F, YE Zh Q. Self-seeded tunable wavelength switchable erbium-doped fibre laser [J]. Acta Photonica Sinica, 2012, 41(12):1460-1463(in Chinese).
- [3] MIAO X F, WANG T Sh, ZHANG X F. A tunable multiwavelength Brillouin erbium fiber laser [J]. Chinese Journal of Lasers, 2012, 39(6):0602010(in Chinese).
- [4] FENG X H, LI C, TAM Y, et al. Reconfigurable microwave photonic filter using multiwavelength erbium-doped fiber laser [J]. IEEE Photonics Technology Letters, 2007, 19(17):1334-1336.
- [5] ZHANG P, WANG T Sh, JIA Q S, et al. Tunable microwave signal generation based on a multi-wavelength Brillouin fiber laser in a figure of eight configuration [J]. Chinese Journal of Lasers, 2014, 41(12):1202006(in Chinese).
- [6] KE T B, LIN L, LI Y Q, et al. Study on denoising method of Brillouin optical time domain reflectometry signal of submarine cable [J]. Laser Technology, 2014, 38(3):311-315(in Chinese).
- [7] XIAO P P, HU H W, QI M. Controllable time delay using slow/fast light in active fiber ring resonators with gain manipulation [J]. Science China Physics, Mechanics & Astronomy, 2013, 56(6):1085-1089(in Chinese).
- [8] LIU Y H. Fiber amplifier anti-radiation technology based on annealing effect [J]. Optical Communication Technology, 2014, 38(8):39-41(in Chinese).
- [9] HARUN S W, SHAHI S, AHMAD H. Compact Brillouin-erbium fiber laser [J]. Optics Letters, 2009, 34(1):46-48.
- [10] GUAN W, MARCIANTE J. Single-frequency 1W hybrid Brillouin/ytterbium fiber laser [J]. Optics Letters, 2009, 34(20):3131-3132.
- [11] LIU Y, JI L, WANG H J, et al. Tunable multi-wavelength Brillouin fiber laser in based on feedback fiber loop [J]. Chinese Journal of Lasers, 2014, 41(2):0202003(in Chinese).
- [12] LIU J M, ZHAN L, XIAO P P, et al. Optical generation of tunable microwave signal using cascaded Brillouin fiber lasers [J]. Photonics Technology Letters, 2012, 24(1):22-24.
- [13] YIN Ch Q, TIAN H, LI Y Q, et al. Design of ultrahigh-speed square wave pulser in a Brillouin sensing system [J]. Laser Technology, 2014, 38(5):679-683(in Chinese).
- [14] WU Zh J. Ultra-fine frequency tunable Brillouin fiber laser and its application in microwave photonics [D]. Shanghai: Shanghai Jiaotong University, 2011:49-51(in Chinese).
- [15] WANG G M. Widely tunable watt-level single longitudinal mode and multi-wavelength Brillouin fiber laser [D]. Shanghai: Shanghai Jiaotong University, 2013:1-5(in Chinese).