

文章编号: 0253-2239(2007)12-2200-5

一种新型自激发布里渊掺铒光纤激光器

汪平河 廖 弦 饶云江

(电子科技大学光电信息学院, 成都 610054)

摘要: 利用级联的受激布里渊效应, 自激发布里渊掺铒光纤激光器可以实现常温下的多波长激光输出。通过在自激发掺铒光纤激光器中引入一个高双折射萨尼亚克(Sagnac)环形滤波器, 调节萨尼亚克环形滤波器的偏振控制器(PC), 实现了可调谐多波长输出, 同时在实验中观测到双布里渊多波长带的现象。研究了这种光纤激光器中萨尼亚克环形滤波器的带宽和 980 nm 抽运光功率对输出波长数的影响, 在萨尼亚克环形滤波器的带宽为 83.3 nm 以及 980 nm 抽运光功率为 260 mW 时, 得到了 52 个间隔为 0.088 nm 的多波长激光输出。

关键词: 激光器; 光纤激光器; 多波长; 受激布里渊散射

中图分类号: TN248 文献标识码: A

A Novel Self-Exciting Brillouin Erbium-Doped Fiber Laser

Wang Pinghe Liao Xian Rao Yunjiang

(School of Opto-Electronic Information, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 610054)

Abstract: Using cascaded stimulated Brillouin scattering (SBS), the self-exciting Brillouin erbium-doped fiber laser (BEDFL) is a multi-wavelength source at room temperature. The multi-wavelength output of the BEDFL with a high-birefringence Sagnac loop filter is tunable by adjusting the polarization controller (PC) in the Sagnac loop. At the same time, dual Brillouin bands appear during the experiment. The influences of the bandwidth of the Sagnac loop and the pump power at the 980 nm on the multi-wavelength output are investigated in detail. A multi-wavelength band with 52 lines is achieved when the bandwidth of the Sagnac loop filter is 83.3 nm and the pump power at the 980 nm is 260 mW.

Key words: lasers; fiber laser; multi-wavelength; stimulated Brillouin scattering

1 引 言

低阈值、等间隔、窄线宽、相邻峰值功率稳定平坦的多波长光纤激光器在光谱测量、光纤传感、波分复用光通信系统等领域有着广泛的应用。由于掺铒光纤是均匀加宽介质, 在常温下要得到多波长输出, 需要采用相应的技术来抑制均匀加宽带来的模式竞争^[1~5]; 如采用液氮对掺铒光纤(EDF)进行冷却^[1]、采用双芯掺铒光纤^[2]或者利用偏振光的烧孔效应^[3]等。布里渊掺铒光纤激光器(BEDFL)结合了掺铒光纤的线性增益和受激布里渊散射的非线性增益, 是在室温下产生稳定的、窄线宽、固定间隔的多波长输出的有效方法^[6~10]。传统的布里渊掺铒光纤激光器需要一个窄线宽激光器进行布里渊抽运。在文

献[8]中, Song 等利用萨尼亚克(Sagnac)反射镜的滤波作用和单模光纤中瑞利散射的动态分布反馈效应, 在没有窄线宽布里渊抽运的情况下, 实现了自激发多波长输出。

本文研究了带有透射型萨尼亚克环形滤波器的新型自激发布里渊掺铒光纤激光器的输出特性。在文献[8]中, 萨尼亚克环是反射型滤波器, 同时也可以用作透射型滤波器, 它可以用作多波长光源中的梳形滤波器^[11]和调谐器件^[10]等。本文研究了透射型萨尼亚克滤波器对激光器性能的影响, 主要包括激光器的可调谐特性和萨尼亚克环形滤波器带宽对激光器性能的影响。同时报道了 980 nm 抽运光功率对多波长输出的影响和该布里渊掺铒光纤激光器

作者简介: 汪平河(1976—), 男, 湖北天门人, 讲师, 博士, 主要从事光纤通信与光纤传感等方面的研究。

E-mail: wphsci@uestc.edu.cn

收稿日期: 2007-01-08; 收到修改稿日期: 2007-08-06

中的双布里渊多波长带输出的现象。

2 工作原理

自激发布里渊激光器结构如图 1 所示。腔中的掺铒光纤放大器(EDFA)由一段长约 8 m 的掺铒光纤,一个波长为 980 nm 的半导体激光器和一个 980 nm/1550 nm 的波分复用(WDM)器构成,为该激光器提供线性增益。掺铒光纤放大器在激光器中也可以位于环形器一端口之前的光路上。一段长约 2 km 的单模光纤(SMF)为布里渊增益介质,环形器(Circulator)为单模光纤中产生的受激布里渊散射提供后向反馈回路。一个 10/90 的耦合器将多波长的一部分输出到分辨力为 0.01 nm 的光谱分析仪,进行实时的数据分析。高双折射光纤萨尼亚克环形滤波器由一个 50/50 的耦合器,一段保偏光纤(PMF)和一个偏振控制器(PC)组成。萨尼亚克环形滤波器的一端连接到单模光纤,另一端通过一个 50/50 的耦合器的连接到激光腔内,构成一个透射式的滤波器。通过调节萨尼亚克环中的偏振控制器可以改变萨尼亚克环滤波器的传输特性,因此该激光器是可调谐的。

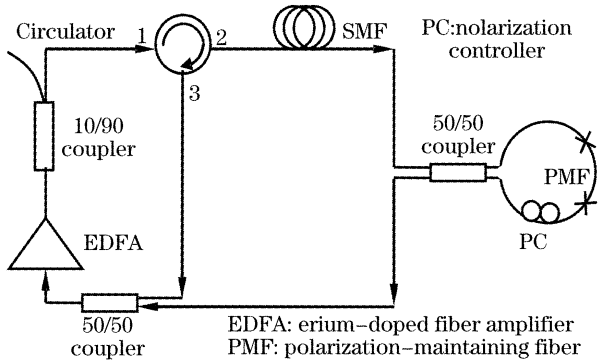


图 1 自激发布里渊光纤激光器的结构

Fig. 1 Configuration of the self-exciting Brillouin erbium-doped fiber laser

该激光器的工作原理如图 1 所示,振荡模式首先沿着箭头的方向建立起来,随后被单模光纤中的瑞利散射的动态分布反馈效应所窄化^[12]。窄化后的振荡激光在通过单模光纤时激发出受激布里渊散射(SBS)。受激布里渊散射产生了后向的窄线宽布里渊斯托克斯光。产生的斯托克斯光通过环形器的 3 端口在掺铒光纤放大器中被放大,然后作为下一阶斯托克斯光的抽运源。产生的斯托克斯光不断地在腔内循环,不断被放大,并不断地激励下一阶的斯托克斯光,最终产生布里渊多波长输出。在文献[8]中,高双折射光纤萨尼亚克环形滤波器是一个反射

式滤波器,如图 2 所示,此时产生的激光会同时从两个方向通过单模光纤,光纤中很容易产生四波混频效应。而图 1 中的萨尼亚克环形滤波器是透射式滤波器,这是两种布里渊掺铒光纤激光器的主要差别所在。

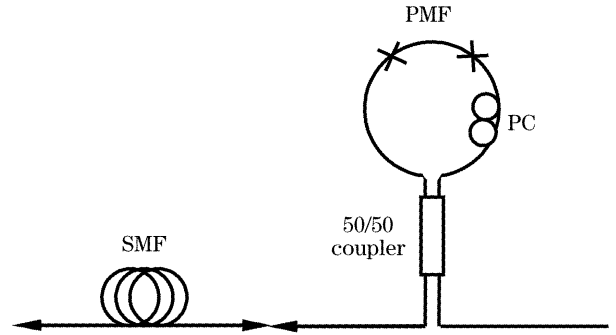


图 2 反射式萨尼亚克环形滤波器与单模光纤示意图

Fig. 2 Schematic diagram of the reflective Sagnac filter and single-mode fiber

3 实验结果与分析

调节萨尼亚克环中的偏振控制器,可以改变萨尼亚克环的传输特性。图 3 显示了调节偏振控制器时萨尼亚克环传输特性的变化。该萨尼亚克环中保偏光纤的长度是 51 cm(该保偏光纤与后文的萨尼亚克环中的保偏光纤的拍长不一样)。从图 3 可以得到该萨尼亚克环的带宽为 10 nm。图 3 中 a 为该萨尼亚克环的初始滤波曲线,b 为调节过程中损耗最大的传输曲线,c 为偏振控制器调到最后的传输曲线。比较图 3 中的三条滤波曲线,可以看到调节偏振控制器对萨尼亚克环主要有两个作用:一是使萨尼亚克环的透射谱发生平移,二是使萨尼亚克环的损耗发生变化。

图 4 显示了在采用该萨尼亚克环形滤波器时,调节偏振控制器,激光器输出光谱的变化情况。在掺铒

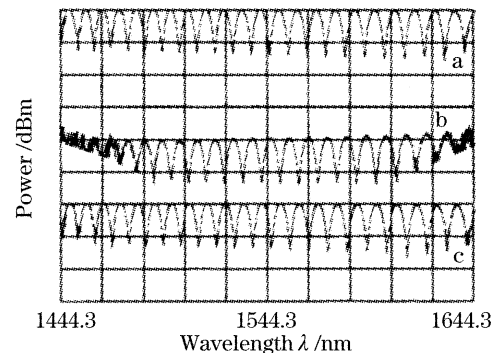


图 3 调节偏振控制器时萨尼亚克环传输特性的变化

Fig. 3 Transmission characteristics change of the Sagnac loop with the adjustment of the polarization controller

光纤放大器的抽运功率为 120 mW 时,激光器达到阈值,产生稳定的多波长输出,继续增大掺铒光纤放大器的抽运功率到 200 mW,调节偏振控制器。图 4 中, a 图中中心波长约在 1567.8 nm 的多波长带是激光器的初始输出波形,调节偏振控制器时,该波带一直向左移动,在移动到 e 图中的图 6 后消失;在调节偏振控制器的过程中, c 图中出现了一个中心波长位于

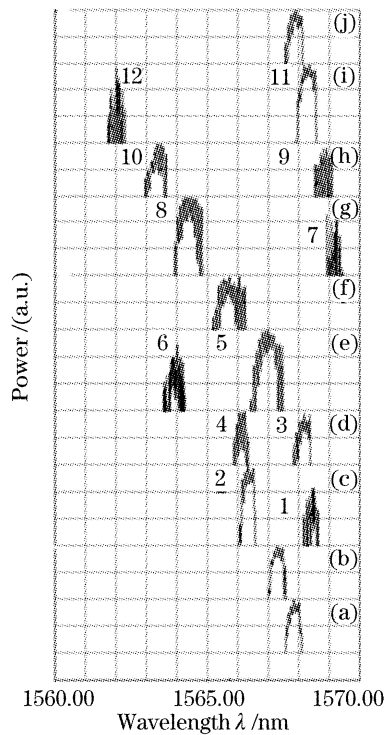


图 4 输出光谱的变化图

Fig. 4 Schematic movement of the multi-wavelength band

1568.5 nm 的多波长带,该波长带在调节偏振控制器时的移动路线为:1-3-5-Fig. 4(f)-8-10-12,从出现到消失,该波长带的可调谐范围约为 6.5 nm。

偏振控制器调节过程中的另一个有趣的现象是在图 4 中(d)图和(h)图中出现了稳定的双布里渊多波长带,他们的精细光谱分别如图 5 和图 6 所示。产生这种现象的原因在于萨尼亚克环形滤波器的周期性滤波特性。从图 4 可以看出,掺铒光纤放大器在 1568.5 nm 附近有一个增益峰值。在前一个波带经过 1568.5 nm 后逐步向左移动时,这个波带的损耗逐渐增加;而后一个滤波曲线的损耗逐渐减小,在接近 1568.5 nm 附近时,某一波长超过了激射阈值,在掺铒光纤放大器和单模光纤的共同作用下形成新的多波长带。因此双波长带位于萨尼亚克环形滤波器的相邻滤波曲线上。

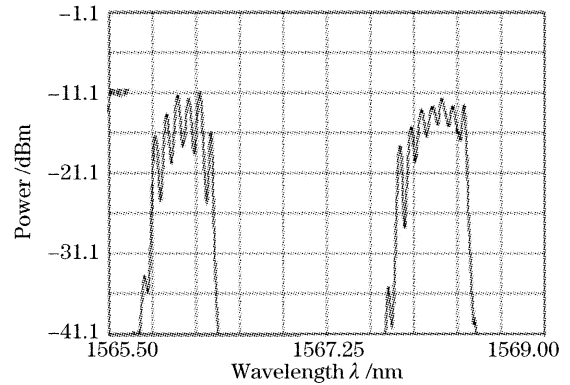


图 5 图 4 中 d 图的精细光谱

Fig. 5 Fine spectra of the Fig. 4(d)

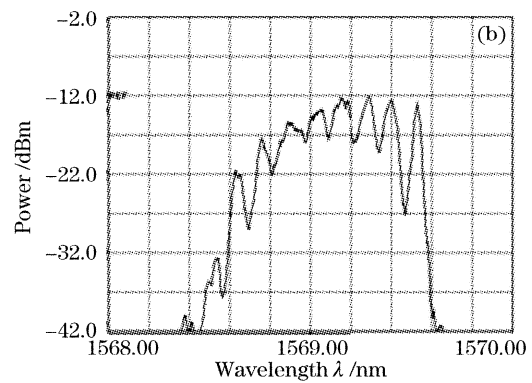
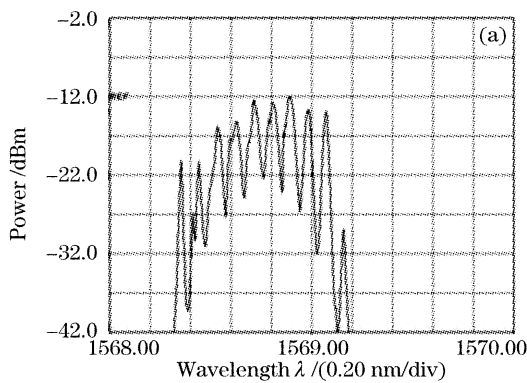


图 6 图 4 中(h)图的精细光谱。(a)图 4(b)-9 的精细光谱,(b)图 4(h)-10 的精细光谱

Fig. 6 Fine spectra of the Fig. 4(h): (a) the fine spectra of the Fig. 4(h)-9, (b) the fine spectra of the Fig. 4(h)-10

由于在该激光器中总的增益由掺铒光纤放大器的增益,布里渊增益和萨尼亚克环的滤波特性共同决定,因此增加萨尼亚克环的带宽并不一定能增加多波长带的可调谐范围;同时当萨尼亚克环的带宽增加时,相邻滤波带间的间隔将变大,双布里渊多波长带的现象也会因此消失。图 7 显示了萨尼亚克环的带宽为 83.3 nm,抽运光功率为 260 mW 时,多波

长带的调谐范围。图 7(a)为整个调节偏振控制器过程中多波长梳处在最左端时的频谱,其中心波长大约为 1563.5 nm;图 7(b)为多波长梳处在最右端时的频谱,其中心波长大约为 1570 nm;在调节偏振控制器的过程中,多波长梳只有约 6.5 nm 的可调范围。同时在调节过程中也没有出现双布里渊多波长带输出。

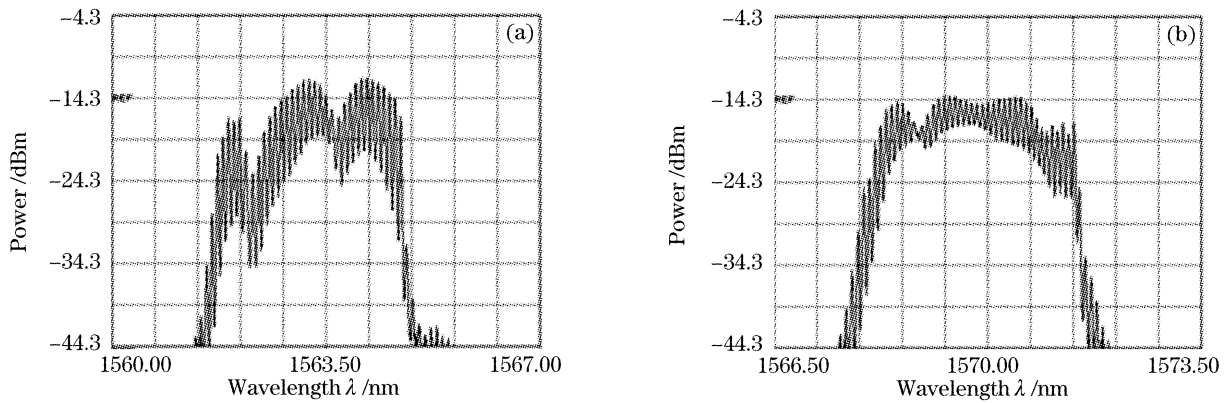


图 7 萨尼亚克环的带宽为 83.3 nm 时多波长梳的变化范围

Fig. 7 Tunable range of the Brillouin erbium-doped fiber laser when the bandwidth of the Sagnac filter is 83.3 nm

萨尼亚克滤波器的传输带宽 $\Delta\lambda$ 和环中的保偏光纤的长度 L 之间的关系为： $\Delta\lambda = \lambda^2 / \Delta n \cdot L$ ，式中 Δn 为保偏光纤在长轴方向和短轴方向的折射率差， λ 为光的波长^[11]。如图 8 所示，保偏光纤为 25 cm 时，萨尼亚克滤波器的带宽约为 30 nm；由此可以算出保偏光纤长度分别为 9 cm, 17 cm, 36 cm 时，萨尼亚克滤波器的带宽分别为 83.3 nm, 44.1 nm, 20.8 nm。在该激光器中，掺铒光纤的增益曲线受到萨尼亚克环形滤波器的调制。可以预见当萨尼亚克滤波器的带宽越大时，与掺铒光纤的增益谱叠加后超过阈值的部分将越宽，则能起振的波数就越多。图 9 分别显示了保偏光纤为 9 cm、17 cm 和 36 cm 时输出的最大波长数和其幅度。测量过程中掺铒光纤放大器的抽运功率为 260 mW，除了保偏光纤的长度不同，其他参量均相同，其中最大波长数是偏振控制器调节过程中目测得到的。图 9 中输出的多波长的数目分别为：52（-24.3 dBm 以上），48（-25.7 dBm 以上），35（-25.4 dBm 以上）。由此可以看出，产生的最大波长数随着萨尼亚克环形滤波器带宽的增加而增加。

掺铒光纤放大器中 980 nm 抽运光的功率对输出的多波长梳影响很大。当保偏光纤的长度为

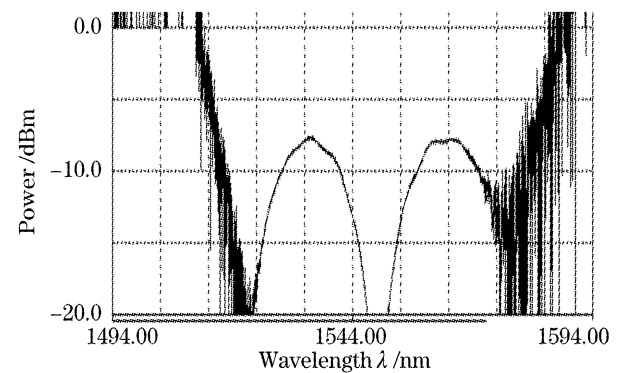


图 8 保偏光纤为 25 cm 时，萨尼亚克环的滤波特性

Fig. 8 Transmissive characteristic of the Sagnac loop with 25 cm polarization-maintaining fiber

9 cm 时，首先将抽运光的功率固定在 260 mW，调节萨尼亚克滤波器中的偏振控制器，多波长梳的强度和波长数随着偏振态的改变会发生变化，图 9(a) 显示了调节过程中波长数最多的多波长梳。保持偏振控制器的状态不变，调节掺铒光纤放大器中抽运光功率的大小，图 10 中的分别是抽运光功率为 140 mW, 170 mW, 200 mW, 230 mW 时输出的光谱图，图中多波长的数目分别为 33, 45, 49, 50（-24.3 dBm 以上）。由此可见，随着抽运光功率的增加多波长的数目随之增加。

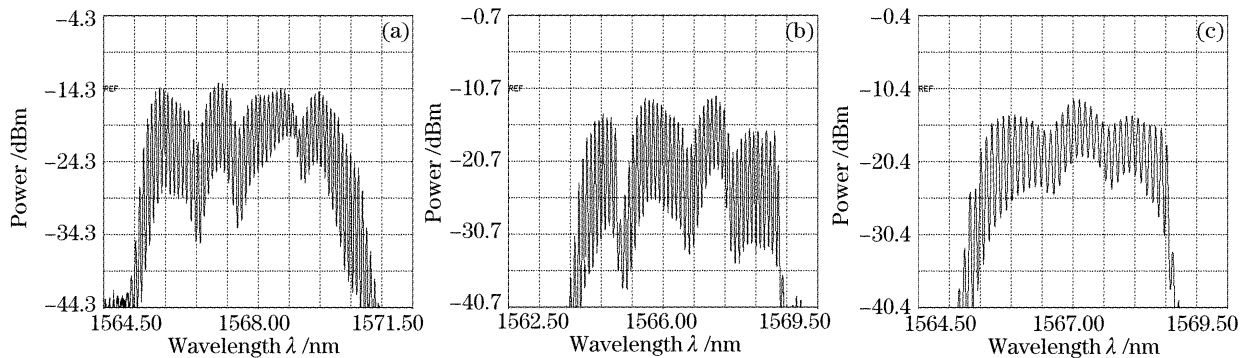


图 9 不同保偏光纤长度的多波长输出比较。(a) 9 cm, (b) 17 cm, (c) 36 cm

Fig. 9 Output spectrum of the Brillouin erbium doped fiber laser with different PMFs: (a) 9 cm, (b) 17 cm, (c) 36 cm

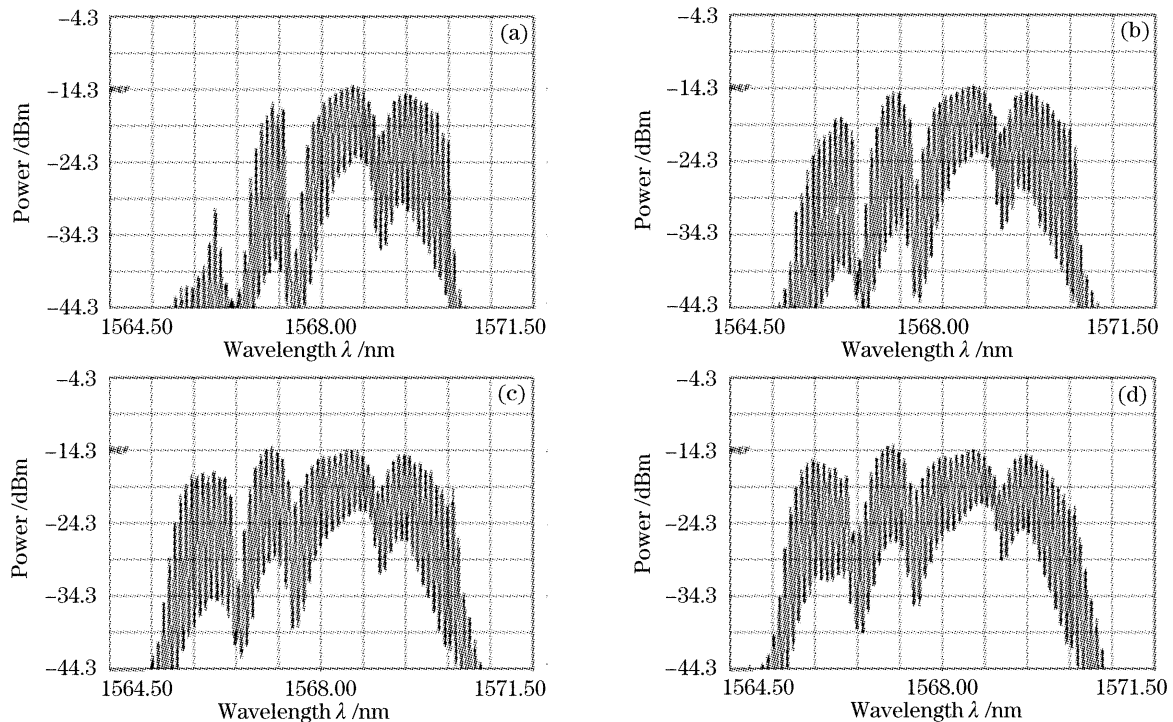


图 10 不同抽运功率时得多波长梳。(a) 140 mW, (b) 170 mW, (c) 200 mW, (d) 230 mW

Fig. 10 Multi-wavelength combs respectively at (a) 140 mW, (b) 170 mW, (c) 200 mW, (d) 230 mW

4 结 论

报道了一种可调谐多波长布里渊掺铒光纤激光器,该激光器中的调谐器件是一个高双折射萨尼亚克环形滤波器。实验中,通过调节萨尼亚克环中的偏振控制器不仅可以实现多波长的可调谐输出,还观察到双布里渊多波长带现象。实验结果表明萨尼亚克环形滤波器的带宽和 980 nm 抽运光源对多波长的数目有明显的影 响,带宽越大,抽运光功率越高,输出的多波长的数目就越多。实验中得到了波长数为 52 的多波长梳。该布里渊掺铒光纤激光器在密集波分复用系统和光纤传感系统有较大的应用价值。

参 考 文 献

- 1 S. Yamashita, K. Hotate. Multiwavelength erbium-doped fiber laser using intracavity etalon and cooled by liquid nitrogen[J]. *Electron. Lett.*, 1996, **32**(14): 1298~1300
- 2 O. Graydon, W. H. Loh, R. I. Laming *et al.*. Triple-frequency operation of an Er-doped twin-core fiber lasers [J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 1996, **8**(1): 63~65
- 3 H. L. An, X. Z. Lin, E. Y. B. Pun *et al.*. Multiwavelength operation of an erbium-doped fiber ring laser using a dual-pass Mach-Zehnder comb filter[J]. *Opt. Commun.*, 1999, **169**: 159~165
- 4 Qiu Yishen, Lin Haifeng, Li Dengfeng. Multi-wavelength fiber laser using M-Z interferometer and composite cavity[J]. *Chin. J. Lasers*, 2004, **31**(12): 1421~1424 (in Chinese)
- 邱怡申,林海峰,李登峰. 利用 M-Z 干涉仪和复合腔共同选频的多波长光纤激光器[J]. *中国激光*, 2004, **31**(12): 1421~1424
- 5 Sun Guoyong, Qu Ronghui, Yang Jing *et al.*. Study on stable multi-wavelength erbium-doped fiber laser at room temperature [J]. *Acta Optica Sinica*, 2005, **25**(6): 821~824 (in Chinese)
- 孙国勇,瞿荣辉,杨敬等. 室温下稳定的多波长掺铒光纤激光器的研究[J]. *光学学报*, 2005, **25**(6): 821~824
- 6 Gregory J. Cowle, Dmitrii Yu. Stepanov, Multiple wavelength generation with Brillouin/erbium fiber lasers[J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 1996, **8**(11): 1465~1467
- 7 Shinji Yamashita, Gregory J. Cowle. Bidirectional 10 GHz optical comb generation with an intracavity fiber DFB pumped Brillouin/erbium fiber laser[J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 1998, **10**(6): 796~798
- 8 Y. J. Song, L. Zhan, J. H. Ji *et al.*. Self-seeded multiwavelength Brillouin-erbium fiber laser [J]. *Opt. Lett.*, 2005, **30**(5): 486~488
- 9 Hu Song, Wei Shikang, Zhan Li *et al.*. 15-wavelength Brillouin erbium-doped fiber laser[J]. *Acta Optica Sinica*, 2005, **25**(2): 212~215 (in Chinese)
- 胡松,尉仕康,詹黎等. 15 波长输出的布里渊掺铒光纤激光器[J]. *光学学报*, 2005, **25**(2): 212~215
- 10 Y. J. Song, L. Zhan, S. Hu *et al.*. Tunable multiwavelength Brillouin-erbium fiber laser with a polarization-maintaining fiber Sagnac loop filter [J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 2004, **16**(9): 2015~2017
- 11 Nathaniel J. C. Libatique, Ravinder K. Jain. A broadly tunable wavelength-selectable WDM source using a fiber Sagnac loop filter[J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 2001, **13**(12): 1283~1285
- 12 Andrei Fotiadi, Roman V. Kiyani. Cooperative stimulated Brillouin and Rayleigh backscattering process in optical fiber[J]. *Opt. Lett.*, 1998, **23**(23): 1805~1807