

文章编号 : 0258-7025(2002)10-0868-03

由高双折射光纤环镜构成的可变波长输出的 L -波段掺铒光纤激光器

杨石泉, 蒙红云, 袁树忠, 董孝义

(南开大学现代光学研究所, 天津 300071)

提要 报道了一种结构简单的可变波长输出的 L -波段线型腔掺铒光纤激光器。其中的波长选择器件为一包括两段高双折射光纤在内的光纤环镜, 通过调整环镜内偏振控制器的状态可以改变环镜对不同波长的反射率以获得可变波长输出的效果。线型腔内用 980 nm 激光抽运铒光纤产生的 ASE 作二次抽运源, 使腔内铒光纤的增益谱由 C -波段位移到 L -波段。实验中观察到波长在 1583 ~ 1600 nm 范围内可变的稳定激光输出, 波长调谐范围为 17 nm。

关键词 光纤激光器, 高双折射光纤, L -波段, 光纤环镜

中图分类号 TN 248.1 文献标识码 A

Wavelength Changeable L -band Er-doped Fiber Laser Using a High-birefringence Fiber Loop Mirror

YANG Shi-quan, MENG Hong-yun, YUAN Shu-zhong, DONG Xiao-yi

(*Institute of Modern Optics, Nankai University, Tianjin 300071*)

Abstract A linear cavity erbium-doped fiber laser operating in L -band, which utilizes amplified spontaneous emission (ASE) as a secondary pump source, is presented. The output wavelength can be changed from 1583 nm to 1600 nm by using a high-birefringence fiber loop mirror as a wavelength filter and the stability of the output laser was very good.

Key words fiber laser, high-birefringence fiber, L -band, fiber loop mirror

随着大容量光纤通信网的发展, L -波段(1570 ~ 1610 nm)的波分复用(WDM)技术及其相关器件的研究逐渐受到人们的青睐。其中, 可用作通信光源和放大器测试光源的 L -波段光纤激光器的研究在最近一段时间正成为热点。目前, 已有用光纤 F-P 滤波器和声光移频器等可调谐滤波器器件实现的 L -波段可调谐光纤激光器, 但这些器件昂贵的价格也限制了其在实际中的应用。另外, 由于铒光纤在 L -波段增益系数相对于 C -波段(1530 ~ 1565 nm)来说小 3 ~ 4 倍^[1], 因此需要在腔内用功率较大的抽运源和较长的铒光纤以获得 L -波段的激光输出, 这也提高了光纤激光器的成本。本文报道了一种利用高双折射光纤环镜作滤波器件的 L -波段线型腔掺铒光纤激光器, 通过调整环镜内偏振控制器的状态以获得

波长可变的激光输出。线型腔内采用二次抽运方式, 降低了对抽运源功率和铒光纤长度的要求。这种光纤激光器成本低, 输出激光功率稳定, 可作为实验室中对 L -波段放大器及其他光器件的测试光源。

1 实验装置及原理

L -波段线型腔光纤激光器的实验装置如图 1 所示。其线型谐振腔由两个光纤环镜组成, 其中环镜 2 由一 3 dB 耦合器, 一个偏振控制器(PC3)和 1.5 m 单模光纤组成, 相当于一宽带反射镜。环镜 1 由一 3 dB 耦合器, 长度为 9 cm 和 20 cm 的两段在 1100 nm 处拍长为 3.1 mm 的高双折射光纤(HiBi fiber)以及两个偏振控制器(PC1 和 PC2)组成, 是腔内的波

收稿日期 2001-08-13; 收到修改稿日期 2001-10-22

作者简介 杨石泉(1975—)男, 天津人, 现为南开大学现代光学研究所博士生。主要从事光纤激光器与光纤放大器方面的研究。E-mail: kso911@sina.com

长选择器件。为了避免外界环境变化对激光稳定性的影响,实验中将环境 1 中除两个偏振控制器以外的光纤盘到一个盒子里并加以固定。腔内的激光增益介质为两段不同掺杂浓度的掺铒光纤(EDF),其中 EDF1 是约为 11.5 m 的高掺铒光纤,在 980 nm 抽运波段内所测得的峰值吸收约为 3.8 dB/m;EDF2 是约 22 m 长的低掺铒光纤,在 980 nm 处测得的峰值吸收约为 1.5 dB/m。一输出功率约为 90 mW 的 980 nm 抽运激光器经 WDM 耦合进 EDF1 对其进行抽运。通过调节两个环境中的偏振控制器(PC1, PC2 和 PC3)可以调节环境对不同波长的反射率,使某些波长的光在腔内增益达到阈值条件,形成激光振荡,并通过环境 1 的输出端输出。

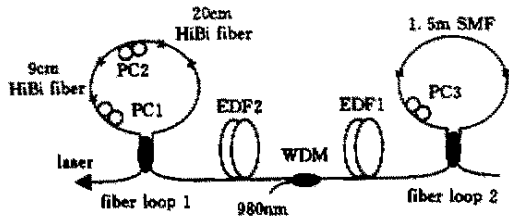


图 1 L -波段线性腔掺铒光纤激光器结构示意图

Fig.1 Experimental setup of linear cavity Er-doped fiber

下面对这种高双折射光纤环境的波长选择原理和铒光纤在 L -波段的工作原理进行简要的分析。

1.1 高双折射光纤环境的波长选择原理

为方便讨论,先考虑环境中只有一段高双折射光纤和一个偏振控制器的情况。入射到高双折射光纤环境的光经 3 dB 耦合器出射后,分为功率相等但沿环路分别为顺时针和逆时针传输的两束光。每束光在经过一段高双折射光纤后可分解为电矢量沿光纤快轴和慢轴两个相互垂直方向的分量光,它们之间具有 $\Delta\phi = 2\pi BL/\lambda$ 的相位差,其中 B 为光纤的双折射系数, L 为光纤的长度, λ 为波长^[2]。如果把高双折射光纤的快轴方向定为 x 轴,慢轴方向定为 y 轴,并且假定调整偏振控制器到正好将通过它的光的电矢量方向旋转 90° ,那么在环境中沿顺时针方向传输的光的 x 分量先沿高双折射光纤的快轴传输,经偏振控制器旋转 90° 后再进入 3 dB 耦合器时变为 y 方向;而在环境中沿逆时针方向传输的光的 x 分量先经偏振控制器旋转 90° 变为 y 方向,再沿高双折射光纤的慢轴传输后进入 3 dB 耦合器。这两束光之间具有 $\Delta\phi$ 的相位差,可以在耦合器中发生干涉。同样,相对传输的两束光之间的 y 分量再次在耦合器中汇合时也因为具有 $\Delta\phi$ 的相位差而发生干涉。

因此最终环境的输出特性是由 x 分量的光和 y 分量的光分别相干后再叠加的结果而决定的。其光的透射特性可以用下式表示^[3]

$$T = [1 - \cos\Delta\phi(\lambda)]/2 \quad (1)$$

可以看出最终的干涉结果使环境具有梳状滤波的特性。如果偏振控制器的状态不是恰好将光的电矢量方向旋转 90° ,则只有部分光能在耦合器中发生干涉,因而会使最终干涉条纹的对比度降低。

将上面的讨论推广到由 n 段高双折射光纤和 n 个偏振控制器组成的环境,则在环境中顺时针和逆时针传输的光都可以分解为 2^n 束分量光,这些光在环境中传输一周后再次在耦合器中汇合时,方向相同的两束分量光之间因为有相位差而发生干涉,因此环境的输出特性可以看作是由 2^n 个干涉结果的叠加^[4]。通过选取每段高双折射光纤的长度和调整各个偏振控制器的状态,可以得到各种形状的符合人们需要的滤波特性。图 2 为在实验中采用的由两段高双折射光纤和两个偏振控制器构成的环境滤波器的透射光谱图,通过调整两个偏振控制器的状态可以使其反射峰在一定波长范围内移动。虽然这种环境滤波器的滤波特性和调节范围相对于光纤 F-P 滤波器和声光移频器等滤波器件来说有一定差距,但其容易被实现,并且制作成本低,在要求不很严格的情况下可以用作激光器的波长选择器件。

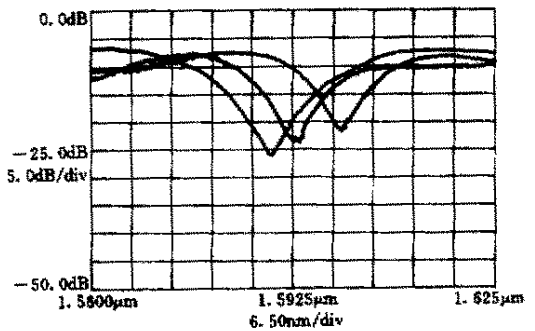


图 2 高双折射光纤环境的透射光谱

Fig.2 Transmission spectra of Hi-Bi fiber loop mirror

1.2 掺铒光纤在 L -波段的工作原理

Juhan Lee 等发现,利用铒光纤在常规波段的放大自发辐射(ASE)可以对另一段铒光纤进行抽运,并且使其增益谱的位置移到 1560 nm 之后^[5]。一般铒光纤的 ASE 在 1532 nm 附近,整个发射带都可以作为另一段铒光纤的抽运,并且这种二次抽运的方法可以降低有害的 ASE 噪声影响而使输出激光的信噪比提高。实验中在谐振腔内利用一 980 nm 激

光器对 EDF1 进行抽运,其产生的 ASE 在腔内又对 EDF1 和 EDF2 同时进行抽运,使它们在 L -波段产生增益谱。对于工作在 L -波段的放大器来说,一般要求钕光纤的长度较长,在 85 ~ 100 m 左右^[6],但对于构成谐振腔的激光器来说,由于光在腔内振荡,所以不需要很长的钕光纤就能使其在 L -波段稳定工作,实验中仅用 10 m + 22 m 钕光纤就可以达到使腔内增益谱位置移到 L -波段的目的。

2 实验结果及讨论

实验中对高双折射环境 1 的输出端用光谱仪 (ADVANTEST Q8383) 进行检测,图 3 为通过调整 PC1 和 PC2 所得到的不同波长的激光光谱图,其输出波长可以在 1583 nm 到 1600 nm 之间变化,调节范围达 17 nm。不同波长的激光强度都在 1 mW (0 dBm) 以上,最大可达 2.04 mW (3.1 dBm),激光线宽小于 0.3 nm,光信噪比超过 40 dB。在波长调节的过程中,输出激光的强度变化小于 1 mW。图 3 (b) 为两次扫描之间的间隔为 1 min,共 16 次扫描得到的输出激光光谱图 (波长为 1594.5 nm),可以看出输出激光的稳定性很好,波长位置与激光强度几乎没有变化。图 4 为激光器的输出特性曲线图,激光阈值为 8.48 mW,斜率效率为 3.76%。其阈值低于已报道的其他 L -波段激光器^[7,8],这主要是因为 EDF2 利用 ASE 能量,尤其是 EDF1 的背向 ASE 能量作抽运,使抽运源能量可比较充分地利用,因而降低了对抽运源能量的要求。由于钕光纤在 L -波段的增益系数小于 C -波段的,所以 L -波段激光器的斜率效率相对于 C -波段激光器来说要低。

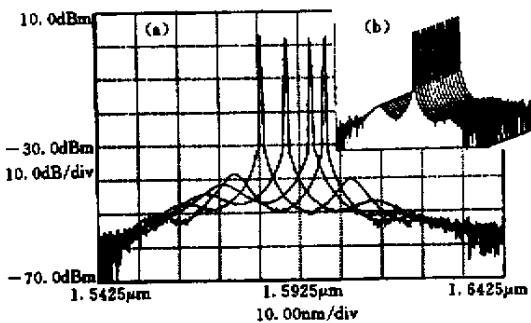


图 3 激光器输出的不同波长的激光光谱图

(a) 从左到右分别对应为: 1583.1 nm, 1589.3 nm, 1595.3 nm 和 1599.1 nm; (b) 16 次重复扫描结果

Fig.3 Spectra of output laser

(a) from left to right: 1583.1 nm, 1589.3 nm and 1599.1 nm; (b) 16 times repeated scans

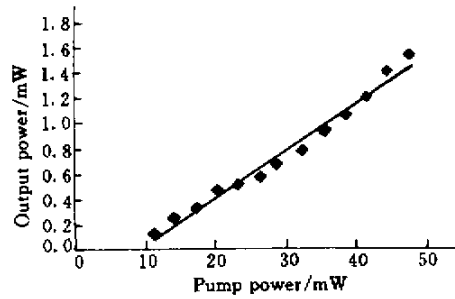


图 4 激光器的输出特性曲线

Fig.4 Lasing characteristic from the L -band laser

实验中注意到输出激光的性质与环境 1 的滤波特性有很大关系。由更多段高双折射光纤和偏振控制器所组成的环境可以调整出更好的滤波特性,有可能获得更好性能的激光输出。但由于熔接技术的限制,高双折射光纤和普通单模光纤之间熔接后会有比较大的损耗。如果环境内高双折射光纤数目太多,会使激光器腔内损耗加大,影响输出激光的强度。实验中曾经在环境中使用 3 段高双折射光纤,虽然能得到带宽更窄的反射峰和获得波长变化范围更大的激光输出,但由于腔内损耗变大,激光器阈值提高,并且输出激光的强度也很难达到 1 mW 以上。另外,如果环境内光纤段数太多的话,会给固定带来困难,这会影响到输出激光的稳定性。如果能够解决熔接损耗和光纤固定的问题,环境内采用 3 段以上的高双折射光纤有望获得更为理想的激光输出。

参考文献

- 1 F. A. Flood. L -band erbium-doped fiber amplifiers [C]. Proc. of OFC '2000, 2000, Paper WG1
- 2 D. N. Payne, A. J. Barlow, J. R. Hansen. Development of low- and high-birefringence optical fibers [J]. *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, 1982, **30**(4): 323 ~ 334
- 3 David B. Mortimore. Fiber loop reflectors [J]. *IEEE J. Lightwave Technol.*, 1988, **6**(7): 1217 ~ 1224
- 4 S. Li, K. S. Chiang, W. A. Gambling. Dynamic gain flattening of an erbium-doped fiber amplifier using a high-birefringence fiber loop mirror [C]. Proc. of OFC '2001, 2001, paper TuA5
- 5 J. Lee, U. Ryu, S. J. Ahn *et al.*. Enhancement of power conversion efficiency for an L -band EDFA with secondary pumping effect in the unpumped EDF section [J]. *IEEE Photon. Tech. Lett.*, 1999, **11**(1): 42 ~ 44
- 6 A. Buxens, H. N. Poulsen, A. T. Clausen *et al.*. Gain flattened L -band EDFA based on upgraded C -band EDFA using forward ASE pumping in an EDF section [J]. *Electron. Lett.*, 2000, **36**(9): 821 ~ 823
- 7 J. M. Oh, H. B. Choi, D. Lee *et al.*. Efficient tunable fiber ring laser for 1580 nm band with a fiber Bragg grating [C]. Proc. of OFC '2001, 2001, paper WA6
- 8 S. K. Kim, M. J. Chu, J. H. Lee. L -band multi-wavelength erbium-doped fiber laser [C]. Proc. of OFC '2001, 2001, paper WDD19