

可编程波长选择与扫描全光纤行波 环形腔激光器 *

刘志国 张艺兵 王 江 葛春风 唐 涛 董孝义
(南开大学现代光学研究所 天津 300071)

郑建成 李家安
(香港城市大学电子工程学系)

摘要 利用可编程控制装置对光纤光栅的中心波长进行了线性调谐,在此基础上实现了可控波长行波环形腔激光器的运转,波长线性调谐范围可达 5.9 nm。通过精确控制,波长选择的复现性可达 5.13×10^{-3} nm,在检测仪器的精度范围内,波长调谐的线性度达 $R^2 = 0.999$,波长选择间隔为 0.156 nm。

关键词 光纤光栅,线性调谐,环形腔激光器

1 引 言

为充分利用光纤的潜在传输能力,进行光纤波分复用(WDM)是增加信道容量的一种有效方式。在这种新式通信系统中,全光纤宽波段可调谐激光器是不可缺少的元器件。光纤光栅作为直接在光敏光纤中制作的具有波长编码、解码能力的光纤无源器件,与普通光纤具有天然的兼容性,加之其插入损耗低,使用寿命长以及工作波长对周围环境的温度变化与应变敏感,通过适当手段可以实现其工作波长的线性调谐,利用各种光纤光栅调谐技术已经制作了可调谐光纤激光器。如通过对光纤光栅轴向拉伸、轴向压缩应变调谐、取样布喇格光纤光栅调谐、光纤光栅标准具应力调谐^[1~4]等方式制作出了可调谐全光纤激光器。

本文在已有光纤光栅“悬臂梁”应力调谐的基础上^[5],巧妙地利用与计算机相结合的步进马达电调谐结构,在掺铒光纤较宽的增益带宽范围内,制作出高性能可编程精确控制波长选择与线性扫描的全光纤掺铒行波环形腔激光器。由于掺铒光纤激光器的工作波长恰好与光纤通信的第三窗口相匹配,光传输损耗小,此项工作不仅为全光纤波分复用(WDM)通信系统提供了潜在的光源,而且为光纤传感系统尤其是光纤时分复用(TDM)传感系统的实现解决了重要的技术问题。

2 可编程光纤光栅行波环形腔激光器

该激光器原理图如图 1 所示。选择这种结构是考虑到可获得高性能的激光输出^[6]以及激光输出波长的可调谐性。所用光纤光栅及其调谐机构完全是我们自行设计和研制的。调谐部

* 国家自然科学基金重点基金资助项目(项目批准号:69637050);国家攀登计划预选项目。

收稿日期: 1998-04-07; 收到修改稿日期: 1998-05-25

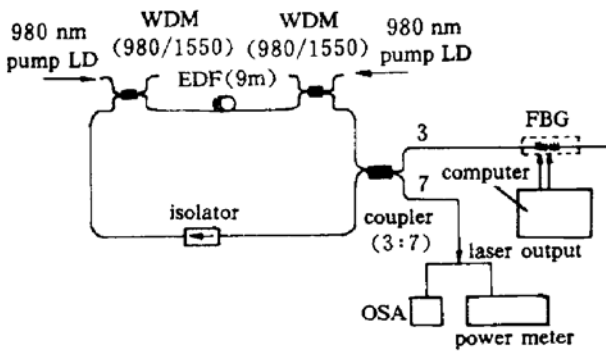


图1 可编程光纤光栅的行波型环形腔全光纤激光器
EDF: 钕光纤; WDM: 波分复用器;
OSA: 光谱分析仪; FBG: 光纤光栅

Fig. 1 Programmable-controlled structure of the all-fiber travelling-wave erbium doped ring laser incorporating a fiber Bragg grating

EDF: Er-doped fiber; WDM: wavelength division multiplexer; OSA: optical spectrum analyzer; FBG: fiber Bragg grating

分采用了一种新型小巧的步进马达电调谐机构,通过计算机控制,实现了在较大范围内对激光器输出波长的准确控制,并可进行精确控制时间间隔的时分复用(TDM)波长连续扫描。实现波长选择与线性扫描的关键是光纤光栅的线性调谐。

文献[5]利用光纤光栅工作波长的变化与外界的温度变化 ΔT 及应变 ϵ 满足的线性关系,并在室温恒定条件下 ($\Delta T = 0$) 进行了简化,根据实际设计的悬臂梁结构,利用圆形形变近似进行计算,并假定光纤光栅与悬臂梁紧密牢固粘合,共粘合连接系数为 $\eta (0 \leq \eta \leq 1)$,光纤光栅及粘接胶对悬臂梁弯曲的影响用系数 η' 表示 ($0 \leq \eta' \leq 1$),得到

$$\Delta\lambda = - (3\eta\eta' d\lambda_B/a^2)h \tag{1}$$

λ 为弹光效应系数。对于给定悬臂梁,括号中各参数为常数, d 为悬臂梁中性层面距粘贴光栅的距离, λ_B 为光纤光栅在自由状态下的工作波长, a 为悬臂梁长度,梁自由端的横向位移为 h 。由上式可知 $\Delta\lambda$ 与 h 是线性关系。悬臂梁形变情况如图2所示,A端固定,B端可以自由横向移动,光纤光栅靠近梁固定端A粘贴。步进马达精确控制B端的横向移动量 h ,可以实现光纤光栅的轴向拉伸与压缩,从而进行光纤光栅工作波长的精确双向线性调谐。

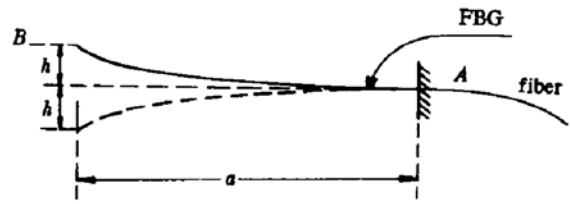


图2 悬臂梁形变图

Fig. 2 Bending of the cantilever beam

实验中具体参数是 $a = 69 \text{ mm}$, $h = \pm 10 \text{ mm}$, $\lambda_B = 1558 \text{ nm}$, $\eta\eta' = 0.64$, $d = 0.5 \text{ mm}$ 。理论计算得到光纤光栅拉伸与压缩波长移动总量 $\Delta\lambda_{\gamma\gamma} = 6.28 \text{ nm}$,与得到的激光输出波长的整体变化范围相符。实验所用 OSA 为国产 AV6361 型光谱仪,在使用测量范围内,波长间隔分辨精度为 0.04 nm 。在本实验所应用的光纤光栅调谐机构中,步进马达调谐步数目前采用 40 步,实现了调谐波长每步的平均间隔为 $\Delta\lambda_s = 0.157 \text{ nm}$,与实际得到波长扫描范围内波长间隔 $\Delta\lambda$ 的平均值 0.156 nm 十分接近。因为调谐装置采用丝杠传动,进行同向扫描可以减小机械传动误差。改变步进马达调谐步数或改变调谐梁结构,可以进一步缩小调谐波长间隔,但这对光谱仪测试波长精度提出了高要求,若改用多波长计作为测量仪器,或其他测试手段^[7],可以对更高性能的调谐装置进行研究。该实验还可以通过改变调谐梁长度及截面形状改变波长调谐范围,改善调谐输出谱线形状。

3 波长可编程控制扫描环形腔光纤激光器

选择基于光纤光栅的行波环形腔结构组成可调谐激光器是因为其具有泵浦效率高、输出

激光强度稳定、无空间烧孔现象、输出线宽较窄等优点^[6],而且输出波长可以通过光纤光栅的调谐来进行选择。激光器如图 1 所示。

利用输出波长为 980 nm 的两个半导体激光器 LD(输出功率 20 mW 左右)进行双向泵浦, 辑光纤(长 $l=9\text{m}$, 数值孔径 $NA=0.21$, 直径 $\phi=2.8\ \mu\text{m}$, 掺杂浓度为 2×10^{-4})作增益介质, 再计入腔内其余的普通光纤, 行波腔长为 13 m。实验中利用隔离器与光纤耦合器的结合, 替代了价格昂贵的光纤环形器, 实现了激光腔单向行波振荡。采用 7:3 的光纤耦合器, 3 输出端提供正反馈, 7 端提供激光输出, 得到大于 2 mW 的激光输出功率。图 3 给出了一典型激光输出谱线, 它是利用国产 AV6361 型光纤光谱仪测定的。横轴表示波长, 纵轴表示光强。采用光谱分辨率为 0.2 nm 档(实际分辨率在 0.1 nm 左右)。图中指示激光器输出中心波长 $W_c=1.55745\ \mu\text{m}$, 半宽度 $\text{FWHM}=W_2-W_1=0.09\ \text{nm}$ 。根据光谱仪测量原理, 可知测定的谱线宽度是待测谱线函数与光谱仪标准函数的卷积的结果。所以, 实际激光谱线宽度可能小于或等于图示的 FWHM 值 0.09 nm。

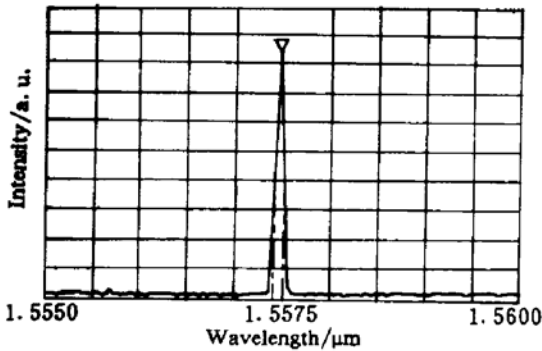


图 3 典型的激光输出谱线

Fig. 3 Typical optical spectrum of the laser output

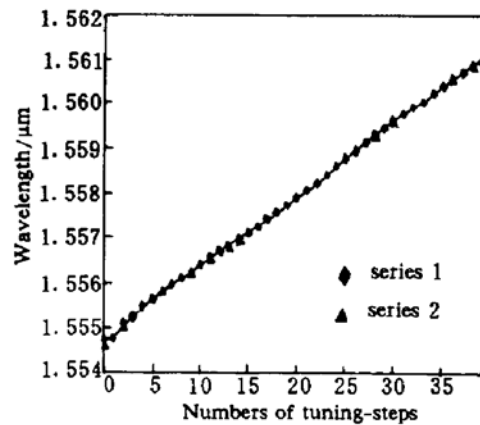


图 4 两次同向调谐光纤激光器输出波长与调谐步数关系曲线

Fig. 4 Curves show the relationship between the laser output wavelength and the number of tuning steps tuned in the same direction

图 4 给出了室温条件下, 两次同向扫描光纤激光器输出波长与调谐步数的对应关系。波长总调谐范围 $\Delta\lambda_{\text{total}}=1560.99-1554.69=6.30\ \text{nm}$ (系列 1 和 2 的平均值), 与理论计算相符。由于初始两步的波长读数误差较大, 如果剔除开始两步的调谐结果, 那么系列 1 的调谐范围 $\Delta\lambda_1=1561.00-1555.08=5.92\ (\text{nm})$, 线性拟合度 $R_1^2=0.9991$; 系列 2 的调谐范围 $\Delta\lambda_2=1560.98-1555.04=5.94\ (\text{nm})$, 线性拟合度 $R_2^2=0.999$ 。上述结果证明了该系统波长扫描具有良好的线性和大的线性调谐范围。

对测量结果进行误差分析, 得到系列 1, 2 之间的偏差平均值为

$$\bar{s} = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^{38} (\lambda_{i1} - \lambda_{i2})^2}}{38} = 5.13 \times 10^{-3} \text{ nm}$$

在所用 AV6361 型光谱仪波长间隔分辨精度为 0.04 nm 范围内, 可见波长扫描复现性很好。

实际得到扫描波长间隔 $\Delta\lambda$ 平均为 0.156 nm。值得一提的是,通过采用时分复用(TDM)技术实现波长扫描输出,具体时间间隔的大小可以由计算机控制,其精度及准确性可以满足光纤时分复用(TDM)通信及传感的需要。

参 考 文 献

- 1 G. A. Ball, W. W. Morey. Continuously tunable single-mode erbium fiber laser. *Opt. Lett.*, 1992, 17(6):420~420
- 2 G. A. Ball, W. W. Morey. Compression-tuned single-frequency Bragg grating fiber laser. *Opt. Lett.*, 1994, 19(23):1979~1981
- 3 M. Ibsen, B. J. Eggleton, M. G. Sceats *et al.*. Broadly tunable DBR fibre laser using sampled fiber Bragg gratings. *Electron. Lett.*, 1995, 31(1):37~38
- 4 T. Komukai, M. Nakazawa. Tunable single frequency erbium doped fiber ring lasers using fiber grating etalons. *Jpn. J. Appl. Phys.*, 1995, 34(6A):L679~L680
- 5 Zhi-guo Liu, Yi-bing Zhang *et al.*. New method for fiber-grating linear tuning. *Acta Optica Sinica* (光学学报), 1998, 18(12):1730~1734 (in Chinese)
- 6 A. J. Gloag, N. Langford, I. Bennion *et al.*. Single-frequency travelling-wave erbium doped fibre laser incorporating a fibre Bragg grating. *Opt. Commun.*, 1996, 123:553~557
- 7 A. D. Kersey, T. A. Berkoff, W. W. Morey. High-resolution fiber-grating based strain sensor with interferometric wavelength-shift detection. *Electron. Lett.*, 1992, 28(3):236~238

Programmable Wavelength Selective and Scanning All-fiber Traveling-wave Ring Laser

Liu Zhiguo Zhang Yibing Wang Jiang Ge Chunfeng Tang Tao Dong Xiaoyi

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

K. S. Chiang K. O. Lee

(*Electrical Engineering Department of City University H. K.*)

Abstract A programmable wavelength selective and scanning structure is reported in this paper, which is used to tune the central wavelength of a fiber Bragg grating linearly. Based on such a structure, an all-fiber traveling-wave ring laser is fabricated. The output wavelength can be selected with a computer and can also be continuously scanned in a range of 5.9 nm. The linearity is up to $R^2 = 0.999$, the wavelength-interval is 0.156 nm, and the wavelength reproducibility is 5.13×10^{-3} nm, which is within the measuring limit of the optical spectrum analyzer.

Key words fiber Bragg grating, linearly-tuning, ring fiber laser