

可调谐环形腔光纤光栅激光器*

葛春风 赵东晖 杨秀峰 刘志国 吕可诚 董孝义

(南开大学现代光学所, 天津 300071)

郑建成

(香港城市大学电子工程系, 香港)

摘 要 采用新颖的调谐方式, 实现了可调谐光纤光栅(Fiber Bragg Grating, FBG)环形腔激光器的运转, 得到了稳定的可调谐、窄线宽激光输出, 调谐范围为 5.7 nm, 线宽小于 0.1 nm。

关键词 掺铒光纤, 可调谐光纤光栅激光器, 悬臂梁调谐。

1 引 言

在高速大容量光通信系统中, 由于光纤的色散和环境温度漂移对器件的影响, 要求使用窄线宽可调谐激光作为载波。在分布反馈温度传感系统中, 需要用波长扫描光源, 可调谐激光恰好能满足这一要求。宽带可调谐激光器是这些系统中的关键部件, 有着重要意义和广泛的应用前景。

半导体激光二极管(LD)有多种实现调谐的方法。然而各种调谐方法都存在着各自无法消除的弊端, 在调谐过程中会出现许多问题, 如: 热效应使波长稳定性变差, 导致模牵引等等。光纤激光器与激光二极管相比, 具有很多优点: 阈值相当低, 效率比较高; 在各种稀土类掺杂光纤激光器中, 掺铒光纤(EDF)激光器的波长恰好在光通信窗口 1500 nm 波段。在光纤激光器的诸多优点中, 较宽的增益带宽尤其引人注目, 加之实现调谐的设计和制作工艺都比较简单, 所以近年来可调谐光纤激光器的研究得到了十分迅速的发展, 并逐渐成为激光器研制领域的一个热点。

2 调谐方法

近年来国际上有关光纤调谐激光器常用的调谐方法有: 旋转光栅、调节腔内标准具的角度、利用声光滤波器、电调液晶标准具等等, 调谐范围通常能达到几十纳米。这些调谐方法都存在着一个无法消除的弊端: 非光纤的调谐器件与光纤的耦合效率通常很低, 从而增大了插入损耗, 导致激光器的低斜率效率和高阈值。而光纤光栅是光纤器件, 可以弥补这些不足。

众所周知布拉格条件为

* 国家自然科学基金重点项目资助。

收稿日期: 1998-02-19; 收到修改稿日期: 1998-04-22

$$\lambda_B = 2\Lambda n_{\text{eff}} \quad (1)$$

其中, λ_B 为光纤光栅的工作波长, Λ 为光纤光栅的周期, n_{eff} 为光纤光栅的有效折射率。欲使 λ_B 发生改变, 必须改变光纤光栅的周期或折射率变化幅度。基于这一理论, 提出了利用应力、压电陶瓷、铁电体、温度变化等方法提供轴向应力进行光纤光栅拉伸调谐^[1]或轴向压缩调谐^[2]。但进行轴向应力调谐时, 光纤光栅容易发生皱折。如果对其施加垂直压力实现调谐, 在一定程度上可减少光纤光栅的损伤^[3]。这里使用了一种简单的悬臂梁调谐方法。

调谐装置如图 1(a) 所示, 将光纤光栅固定在一长度 L 为 60 mm 的长悬臂梁上, 悬臂梁是用双螺纹差动调节器进行细微调谐的, 两螺距分别为 0.4 mm 和 0.5 mm, 旋转一周推进量 Δx 为 0.1 mm。

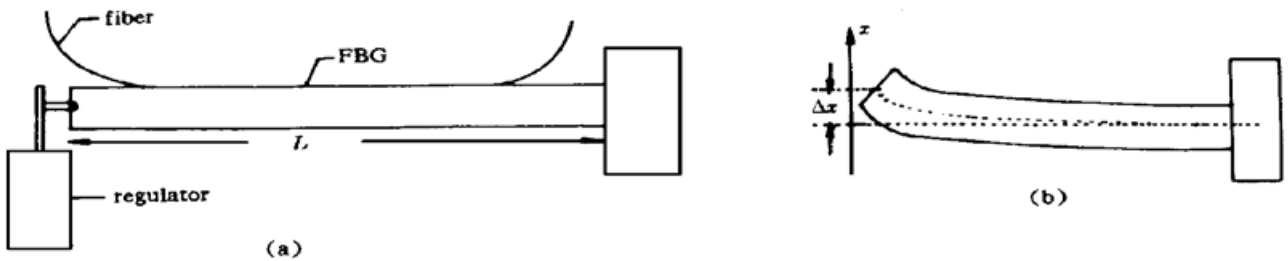


Fig. 1 Schematic of FBG tuning device with cantilever beam. (a) FBG tuning device, (b) Tuning principle of cantilever beam

根据材料力学原理, 梁弯曲时内侧材料因被压缩而缩短, 外侧被拉伸而伸长, 中性层面不受力, 长度保持不变。当梁弯曲时, 据文献[6]光波相位变化 $\Delta\phi$ 为

$$\Delta\phi = nk_0L \{ \epsilon_3 - \frac{1}{2}n^2[(p_{11} + p_{12})\epsilon_1 + p_{12}\epsilon_3] \} \quad (2)$$

式中 ϵ_1 、 ϵ_3 分别为光纤的横向应变和纵向应变, p_{11} 、 p_{12} 为光纤的光弹系数, k_0 为波数, n 为光纤纤芯的折射率。

由推进量 Δx 在梁上引起的应力 p 为^[6]

$$p = - \frac{3EI\Delta x}{L^3} \quad (3)$$

式中 E 为材料的杨氏模量, I 为梁的惯量矩。

把(2)式、(3)式代入(1)式, 整理可得工作波长改变量 $\Delta\lambda$ 和推进量 Δx 的关系

$$\Delta\lambda = 6 \frac{L\Lambda}{L^3} \{ 1 - \frac{n^2}{2}[-\nu p_{11} + (1 - \nu)p_{12}] \} \Delta x \quad (4)$$

式中 ν 为泊松比。

对于某一特定形状的梁, 由于上式中材料的具体参数(如应变、光弹系数、杨氏模量等)均为常数, 所以可以得到: 工作波长改变量 $\Delta\lambda$ 与推进量 Δx 是成线性关系的。

3 实验装置与结果

实验装置如图 2 所示, 实验中使用的泵浦激光器是由中国科学院半导体所国家光电子器件工程研究中心提供的半导体激光器, 峰值波长为 974.5 nm, 半宽度为 2.4 nm, 尾纤的最大输出功率为 38 mW, 经 980/1550 波分复用器(WDM)耦合到掺铒光纤的功率约为 27 mW; 掺铒光纤是由天津电子部 46 所提供的, 考虑到掺铒光纤的增益特性与光纤的长度、掺杂浓度、

泵光功率以及输出耦合分束比等的关系, 本实验选用了 9 m 长的掺铒光纤; 光纤光栅是自行研制的, 使用的掺铒光纤是由天津电子部 46 所提供的, 中心波长为 1557 nm, 光纤光栅的反射率为 98%, 半宽度为 0.1 nm; 折射率匹配液(Index Matching Gel, IMG)的作用是减少光纤端面的反射, 端面反射有时会产生 1560 nm 附近的激光输出^[7], 造成竞争, 使输出不稳定。

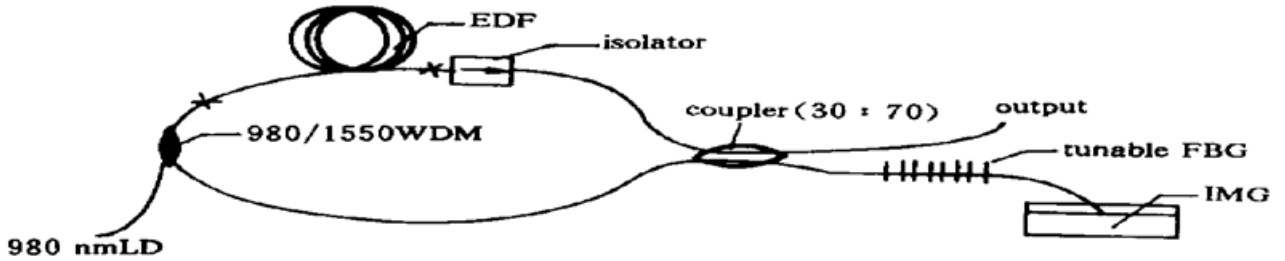


Fig. 2 Schematic of the tunable FBG laser

实验中得到的激光阈值为 10 mW 左右, 因每次焊点不同等造成腔总的损耗的不同而有近 1 mW 的浮动。为了保护光纤光栅, 实验中仅调谐了 5.7 nm, 在调谐范围内的激光半宽度小于 0.1 nm(因实验中使用的光谱仪分辨率为 0.1 nm, 无法观测到激光光谱半宽度与工作波长的关系), 图 3 是环形腔激光器的工作波长随调节器推进量的调谐曲线, 通过数据拟合可得线性拟合度为 0.9997, 说明工作波长与推进量在一定范围内成线性关系, 这与(4)式的结论相符。图 4 是在 27 mW 的 980 nm 的泵浦条件下, 激光输出功率与工作波长的关系, 其中最大输出功率为 2.514 mW, 最小输出功率为 2.360 mW, 平均值为 2.447 mW, 方差为 0.0007。

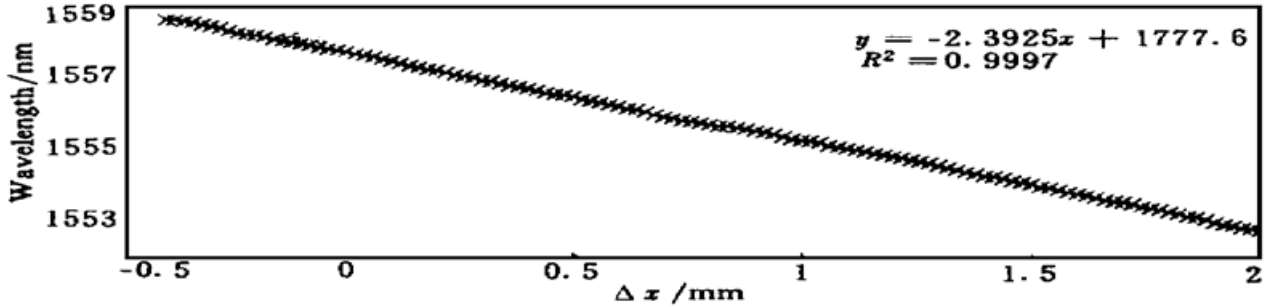


Fig. 3 Function of the wavelength vs the displacement (Δx) of regulator. \times : experimental data, —: result of fitting process

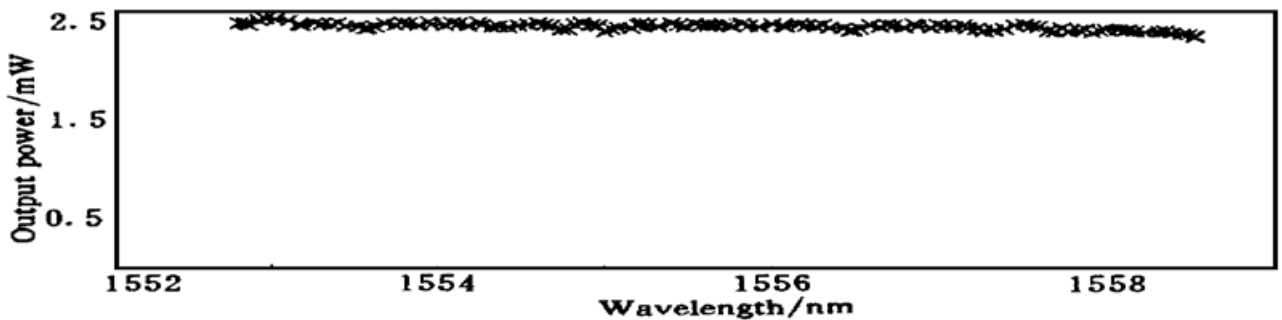


Fig. 4 Function of the output power vs the wavelength

结 论 使用悬臂梁方法调谐光纤光栅来调谐环形腔光纤光栅掺铒激光器, 实现了窄线宽可调谐激光输出, 调谐范围为 5.7 nm, 其线宽小于 0.1 nm, 输出功率可达 2.4 mW, 斜率效率约为 14%。虽然得到了功率方差很小的激光输出, 但突发性最大噪声仍可达 3.6%, 相当于

14.5 dB 的信噪比, 因而还需进一步抑制噪声, 优化调谐装置, 减少机械误差, 以期得到更好的结果。

可调谐光纤激光器为光纤波分复用、时分复用通信、传感系统和现代光谱技术提供了良好的光源。实验中的调谐方法是人为手动调谐的, 可以通过计算机编程控制步进电机等技术调谐光纤光栅以实现可编程控制工作波长的调谐激光输出。

参 考 文 献

- [1] Ball G A, Morey W W. Continuously tunable single-mode erbium fiber laser. *Opt. Lett.*, 1992, **17**(6) : 420~ 421
- [2] Ball G A, Morey W W. Compression-tuned single-frequency Bragg grating fiber laser. *Opt. Lett.*, 1994, **19**(23) : 1979~ 1980
- [3] Komukai T, Miyajima Y, Nakazawa M. In-line fiber grating-type optical bandpass filter tuned by applying lateral stress. *Jpn. J. Appl. Phys.*, 1995, **34**(3A) : 306~ 307
- [4] Komukai T, Miyajima Y, Nakazawa M. An in-line optical bandpass filter with fiber gratings and an optical circulator and its application to pulse compression. *Jpn. J. Appl. Phys.*, 1995, **34**(2B) : 230~ 231
- [5] 张志鹏著. 光纤传感器原理. 北京: 中国计量出版社, 1991. 9
- [6] 渥美光(日). 材料力学. 张少如译. 北京: 人民教育出版社, 1981. 90
- [7] 庞 勇, 叶 勇, 蒋佩璇等. 端面附近缺陷在掺铒光纤中引起的振荡. *光学学报*, 1996, **16**(8) : 1133 ~ 1135

Tunable FBG Ring Laser

Ge Chunfeng Zhao Donghui Yang Xiufeng

Liu Zhiguo Lu Kecheng Dong Xiaoyi

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

Zheng Jiancheng

(*Department of Electronic and Engineering, City University of Hong Kong, Hong Kong*)

(Received 19 February 1998; revised 22 April 1998)

Abstract A tunable fiber Bragg-grating (FBG) ring laser with stable, narrow linewidth and tunable output is demonstrated. Its tuning range is up to 5.7 nm, linewidth less than 0.1 nm.

Key words erbium-doped fibre, tunable fibre Bragg-grating laser, cantilever beam tuning.