

文章编号: 0258-7025(2003)04-0300-03

掺 Yb 光纤激光器输出波长温度漂移 补偿的研究

乔启全, 陈柏, 陈嘉琳, 范薇, 李学春, 薛绍林, 林尊琪

(中国科学院上海光学精密机械研究所高功率激光物理国家实验室, 上海 201800)

摘要 报道了一种利用介质反射镜对掺 Yb 光纤激光器的输出激光因温度变化引起波长漂移的简单补偿方案, 并对这种方案的原理进行了简要的理论分析。

关键词 光电子学; 光纤激光器; 介质反射镜; 光纤光栅; 波长漂移

中图分类号 TN 248.1 **文献标识码** A

Compensation for Wavelength Change of Yb-doped Fiber Laser Caused by Temperature Variation

QIAO Qi-quan, CHEN Bai, CHEN Jia-lin, FAN Wei,

LI Xue-chun, XUE Shao-lin, LIN Zun-qi

(National Laboratory on High Power Laser and Physics, Shanghai Institute of
Optics and Fine Mechanics, The Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800, China)

Abstract This paper proposed a method to compensate the wavelength change of Yb-doped fiber laser caused by temperature variation by controlling the dielectric reflector position.

Key words optoelectronics; dielectric reflector; fiber laser; FBG; wavelength change

1 引言

采用光纤光栅结构的光纤激光器的关键是用分布布拉格反射光纤光栅作为选频元件。温度变化时, 光纤光栅反射谱会产生变化, 使得光纤光栅激光器的输出激光波长产生漂移。因此, 光纤光栅激光器的频率稳定性取决于光纤光栅选频的温度稳定性。

光纤光栅受玻璃折射率对温度的依赖性及其线性膨胀特性影响^[1], 中心波长的温度变化特性为 0.014 nm/°C, 这样就易使光纤光栅激光器产生错误激光波长输出。为此人们进行了关于光纤光栅温度稳定性的大量研究^[2]: 1) 折射率和光栅周期均随温度上升而上升, 导致中心波长向长波长侧漂移, 而光

栅受压时中心波长向短波长侧移动, 若能在温度上升的同时令周期缩小, 即可实现温度补偿效应。基于这一理论的解决方法主要体现在安装结构方面: 把光纤光栅固定在两种具有不同线性膨胀系数的材料上和把光纤光栅固定于具有负的线性膨胀系数(理想值为 $-7.5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)的材料(如结晶化玻璃, LCP 液晶聚合物)上。这种方法不够安全, 容易损坏光纤光栅。2) 对光纤本身进行改造: 改良光纤折射率分布形状, 使其性能符合光栅特性要求; 在折射率温度依赖性较大的光纤纤芯中掺杂适当浓度的折射率温度依赖性小的材料, 使芯层与包层折射率温度特性相同等。日本藤仓公司曾采用了这种方法。但这种方法不能应用于某些有特殊掺杂要求(如特定的掺杂浓度和掺杂物质)的掺杂光纤。

收稿日期: 2002-01-14; 收到修改稿日期: 2002-04-22

基金项目: 国家高技术(863-804)资助课题。

作者简介: 乔启全(1975—), 男, 中国科学院上海光学精密机械研究所在读硕士, 主要从事光纤激光器的研究工作。E-mail: qqqiao@etang.com

本文报道一种利用介质反射镜间接作用于光纤光栅的温度补偿方法。

2 实验过程与结果

掺 Yb 光纤光栅激光器的结构如图 1 所示。整个激光器由带尾纤的半导体激光器, 980/1053 nm 波分复用器(WDM), 掺 Yb 光纤, 光纤光栅和 1053 nm 介质反射镜构成。980 nm 的带尾纤半导体激光器输出的抽运功率 ($P_{out} = 64 \text{ mW}$, $I_{out} = 143 \text{ mA}$) 由波分复用器入射到掺 Yb 光纤中, 掺 Yb 光纤长 21 m, 掺杂浓度为 700×10^{-6} 。光纤光栅长度为 $\sim 10 \text{ cm}$, 反射率 $\sim 90\%$, 反射中心波长在 $\sim 1053 \text{ nm}$, B

端输出用光谱分析仪观测。

开始将光纤端面处理好并将包层剥去, 将介质反射镜调整到离光纤端面耦合较为理想的状态, 光纤端面与介质反射镜的端面间隔为 $100 \mu\text{m}$ 。25℃ 时, 将介质反射镜逐步向里推进, 每推进 $20 \mu\text{m}$ 时光谱仪扫描一次, 图 2(a) ~ (e) 的间隔分别为 $100 \mu\text{m}$, $80 \mu\text{m}$, $60 \mu\text{m}$, $40 \mu\text{m}$, $20 \mu\text{m}$ 时的光谱图, 激光波长分别为 1052.59 nm , 1052.915 nm , 1053.15 nm , 1053.28 nm , 1053.58 nm 。在 25℃ 时, 将介质反射镜拉开, 得到相反的结果, 即波长从 1053.58 nm 变化到 1052.59 nm 。实验中介质反射镜放在一个底部固定在实验台上的可前后移动、调节距离可测定的调节台上, 通过调节台移动介质反射镜。

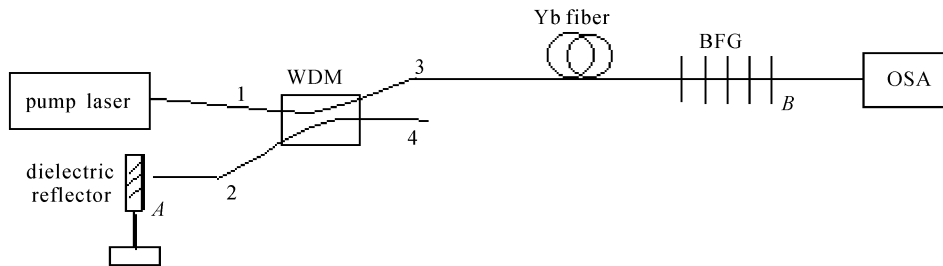


图 1 掺 Yb 光纤激光器温度补偿装置图

Fig. 1 Temperature compensation configuration of Yb-doped fiber laser

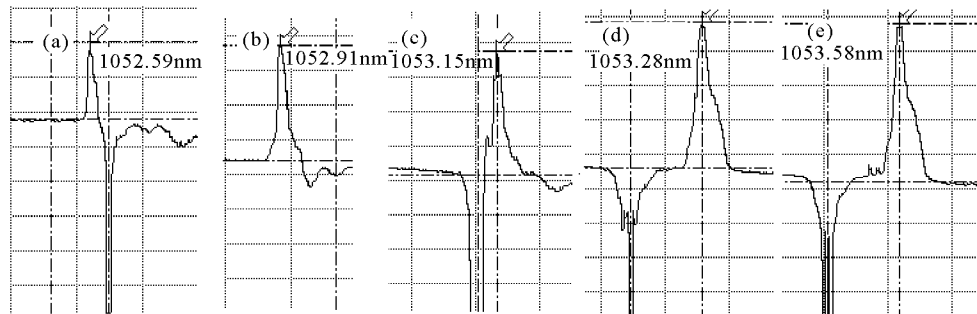


图 2 介质镜移至不同位置时所得到的不同波长的激光输出

Fig. 2 Different wavelength output spectrum corresponding the mirror at different position

将介质反射镜移动到 $40 \mu\text{m}$ 时, 使其固定不再移动, 在温度分别为 45°C , 25°C , 15°C , -5°C 时从光谱仪得到输出激光波长分别为: 1053.58 nm , 1053.28 nm , 1053.15 nm , 1052.91 nm , 如图 2(e), (d), (c), (b) 所示。

上述实验结果表明: 温度不变时, 移动介质反射镜会改变激光输出波长; 介质反射镜固定在某一位置时, 调节温度变化也会改变激光输出波长。温度变化或介质反射镜的移动都能改变激光输出波长, 故而可以利用介质反射镜的移动来补偿因光纤光栅

温度变化引起的激光输出波长的漂移。实验中, 当需要 1053.28 nm 激光输出时, 由于温度从 25°C 变化到 45°C , 激光波长飘移到 1053.58 nm , 这时可以移动介质反射镜将 1053.58 nm 的激光波长变成 1053.28 nm , 得到所需的激光波长, 如图 2(e) 和 (d) 所示。

3 理论分析

光纤激光器的腔结构由介质反射镜 (图 1 中 A

端)和光纤光栅(B端)构成,B端反射率约90%,A端反射率约99%,腔内WDM损耗较小,可以忽略,此时腔结构是F-P直腔,腔损耗函数^[3]

$$\delta(\lambda) = -\frac{1}{2} \ln r_1 r_2 + \delta_c(l) \quad (1)$$

其中 l 为光纤端面与介质反射镜的间距, $\delta_c(l)$ 为光纤与介质反射镜之间的耦合损耗, r_1 为介质反射镜的反射率, r_2 为光纤光栅的反射率。

激光阈值条件^[3]

$$G_o(\lambda, l) = \delta(\lambda) \quad (2)$$

激光波长与阈值之间的函数关系^[3]

$$1 + \frac{Z_l}{Z_u} \exp\left(\frac{E_{ul} - hc\lambda^{-1}}{kT}\right) = \exp\left\{lN\sigma_{ap} - \ln\left[\beta_{\min} \frac{I_p^{\text{th}}(0)}{I_c}\right] - \frac{I_p^{\text{th}}(0)}{I_c}\right\} \quad (3)$$

Z_u, Z_l 为上、下两组能级间的配分函数, E_{ul} 为激光上下能级因斯塔克分裂而成的两组能级中高低能级之差, h 为普朗克恒量, c 为光速, λ 为激光波长, k 为玻尔兹曼常数, T 为温度, σ_{ap} 表示抽运波长的微分吸收截面, N 为掺杂浓度, $I_p^{\text{th}}(0)$ 为阈值条件下输入光纤中的光强。

β_{\min} 表示要使抽运光透明,所需上能级粒子数与总粒子数的最小百分比

$$\beta_{\min} = \frac{\sigma_{ap}}{\sigma_{ep} + \sigma_{ap}}$$

式中 σ_{ep} 表示抽运波长的微分发射截面。

I_c 由下式给定

$$I_c = \frac{h\nu_p}{(\sigma_{ap} + \sigma_{ep})\tau}$$

其中 ν_p 表示抽运频率, τ 为上能级平均寿命。

A端光纤包层已剥去,纤芯为微米量级,所以通过调节端口2处的介质反射镜可以控制光纤与介质反射镜之间的耦合损耗 $\delta_c(l)$ 。在掺镱光纤激光器中,由公式(1)知光纤与介质反射镜之间的 $\delta_c(l)$ 变化直接影响到腔损耗 $\delta(\lambda)$ 的变化,由公式(2)知腔损耗的变化会引起阈值的变化,由公式(3)知阈值的变化引起激光谐振波长的变化。当 l 增大时,光纤与介质反射镜之间的 $\delta_c(l)$ 增大,从而导致腔损耗增大,阈值随之增大,由公式(3)可以得到激光谐振波长向短波漂移。反之,当 l 变小时, $\delta_c(l)$ 减少, $\delta(\lambda)$ 减小,阈值降低,激光谐振波长向长波漂移。

参 考 文 献

- 1 Qin Yuwen, Chen Genxiang, Zhao Yucheng *et al.*. Fiber Bragg gratings and its temperature stability investigation [J]. *Journal of Optoelectronics · Laser* (光电子·激光), 1998, **9**(3):173~176 (in Chinese)
- 2 Chen Liming. Technology of FBG and its development [C]. Collection of Thesis, OFCIO'99, 157~160
- 3 Chen Bai, Lin Zunqi. Relationship between lasing wavelength and threshold in ytterbium-doped fiber [J]. *Acta Optica Sinica* (光学学报), 2000, **20**(6):750~754 (in Chinese)