

文章编号: 0258-7025(2004)11-1293-03

正弦相位调制下多波长掺铒光纤 激光器的研究

孙国勇, 瞿荣辉, 方祖捷, 王向朝

(中国科学院上海光学精密机械研究所信息光学实验室, 上海 201800)

摘要 通过理论分析并实验验证了一种能在室温下实现稳定的掺铒光纤激光器(EDF)多波长输出的方法。通过在线形谐振腔中引入正弦相位调制器,抑制了由于掺铒光纤的均匀展宽效应引起的模式竞争,从而避免了在室温情况下不稳定的单波长激射。与此同时,线形谐振腔引起的空间烧孔效应也有利于抑制均匀展宽效应。通过取样光纤光栅(SBG)的选频作用,实验中观察到稳定的 5 个波长的同时激射,相邻波长间隔为 0.8 nm,符合 ITU 标准。

关键词 激光技术;光纤激光器;相位调制;多波长;模式竞争

中图分类号 TN 248.1 文献标识码 A

Study on Multiwavelength Erbium-doped Fiber Laser with Sinusoidal Phase Modulation

SUN Guo-yong, QU Rong-hui, FANG Zu-jie, WANG Xiang-zhao

(Laboratory for Information Optics, Shanghai Institute of Optics and
Fine Mechanics, The Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800, China)

Abstract A method for realizing a stable multiwavelength erbium-doped fiber laser at room temperature is analyzed theoretically and obtained experimentally. A sinusoidal phase modulation is inserted in the linear cavity, which suppresses the mode competition owing to the homogeneous broaden line in erbium-doped fiber and eliminates the unstable single-wavelength lasing at room temperature. What's more, the spatial hole burning in linear cavity is propitious to suppress the homogeneous broaden line. Simultaneous five-wavelength lasing is obtained with 0.8 nm intervals defined by the sampled fiber Bragg grating, which is anchored on the ITU frequency grid.

Key words laser technique; fiber laser; phase modulation; multiwavelength; mode competition

1 引 言

近年来随着密集波分复用器在光纤通信系统中的广泛应用,作为其中关键器件之一的 C 波段多波长掺铒光纤激光器成为人们研究的热点。

掺铒光纤在室温下是均匀展宽的增益介质^[1],为了获得稳定的多波长激光输出,需要抑制掺铒光纤的均匀展宽效应,避免由于模式竞争和外界影响引起的不稳定单波长激射。由于低温下掺铒光纤变成非均匀展宽介质,一种常用的方法是将其浸入液

氮(77K)^[2]。但是这种方法会提高成本,而且长期运行系统会缺乏稳定性。为了获得室温下稳定的多波长输出,可使用特殊的掺铒光纤结构^[3]、光反馈与非线性结构^[4]。最近,人们提出了一种在激光环形谐振腔中引入一个声光频移器以阻止激光器不稳定的单波长激射的方法^[5],室温下获得了稳定的多波长输出。但是声光频移器具有高的插入损耗,而且需要大约 100 MHz 的频率驱动源。本文通过理论分析并实验验证了一种室温下能稳定运行的多波长线形腔光纤激光器,从而提高了激光输出,降低了成本。

收稿日期:2003-11-30;收到修改稿日期:2004-02-04

基金项目:国家自然科学基金(编号:60207004)和上海市启明星计划(编号:02QD14050)资助项目。

作者简介:孙国勇(1978—),男,中国科学院上海光学精密机械研究所博士研究生,主要从事光纤激光器与光纤放大器方面的研究。E-mail:caad1437@sohu.com

2 实验装置与理论分析

实验装置如图 1 所示,取样光纤光栅(SBG)与三端口环形器构成了线形谐振腔的两个反射镜,1 与 3 端口之间通过一个 3 dB 的输出耦合器(OC)相连。在谐振腔里有一段掺铒光纤(EDF)作为激光器的增益介质,利用 980 nm 激光二极管(LD)通过 980/1550 波分复用器(WDM)耦合进谐振腔进行抽运。与此同时,有一段盘绕在压电陶瓷(PZT)上的长度约为 3.5 m 的光纤位于掺铒光纤与取样光纤光栅之间,加上正弦驱动电压后用作相位调制器。

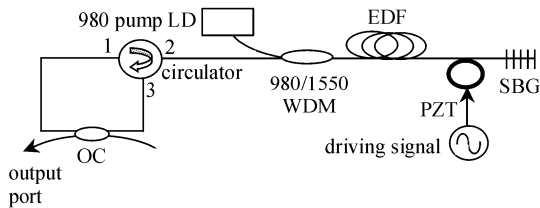


图 1 线形腔的实验装置图
Fig.1 Schematically experimental diagram of the linear cavity

假设激光器运行时,从掺铒光纤入射进压电陶瓷的光信号为 $\exp(j\omega_0 t)$,其中 ω_0 为角频率, j 为复数虚因子。当周期性的正弦调制信号驱动压电陶瓷时,会引起通过绕在压电陶瓷上的光纤的光信号相位按形式 $\phi(t) = \Delta \cos(\omega_m t)$ 发生周期性的变化,其中 ω_m 为调制信号的角频率, Δ 为调制幅度。被取样光纤光栅反射回的光信号再次通过压电陶瓷回到掺铒光纤中,此时的光信号为 $\sqrt{R(\lambda)} \exp\{j[\omega_0 t + 2\phi(t)]\}$, $R(\lambda)$ 为取样光纤光栅的反射率, λ 为波长。其中取样光纤光栅引起的相位变化不随时间改变,可以忽略,同时也可以忽略光第二次到达压电陶瓷时的传输延迟。 $\exp[j2\Delta \cos(\omega_m t)]$ 可以被展开为

$$\begin{aligned} \exp[j2\Delta \cos(\omega_m t)] = & \sum_{n=-\infty}^{\infty} j^n J_n(2\Delta) \exp(jn\omega_m t) = \\ & J_0(2\Delta) + [jJ_1(2\Delta) \exp(j\omega_m t) - \\ & J_2(2\Delta) \exp(j2\omega_m t) - \\ & jJ_3(2\Delta) \exp(j3\omega_m t) + \dots] + \\ & [jJ_1(2\Delta) \exp(-j\omega_m t) - \\ & J_2(2\Delta) \exp(-j2\omega_m t) - \\ & jJ_3(2\Delta) \exp(-j3\omega_m t) + \dots] \end{aligned} \quad (1)$$

式中, $|J_n(2\Delta)|^2$ 是对应于角频率为 $\omega_0 \pm n\omega_m$ 的光强。 $J_n(2\Delta)$ 为第一类 n 阶贝塞尔函数。

通过如图 2 所示的第一类 n 阶贝塞尔函数的特

性可以看出,正弦相位调制器使得每个激光的波长没有固定的损耗,即将 J_0 对应的波长能量传递给 J_1, J_2, J_3 等对应的波长,从而避免了对于均匀展宽介质来说,损耗固定不变带来的模式竞争。 $|J_n(2\Delta)|^2$ 的大小不仅与 n 有关,而且还随着调制幅度 Δ 的变化而起伏性地变化。通过以上分析可以看出,由于压电陶瓷与取样光纤光栅相连,使得光束离开与下一次返回掺铒光纤时两次通过相位调制器,等效于调制幅度增加了一倍,有利于降低对压电陶瓷响应的要求。而且,光束在谐振腔里每次来回传播,只在光纤环形器中通过一次,降低了谐振腔的损耗。

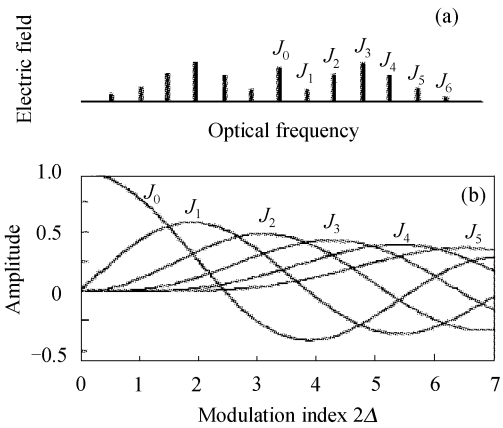


图 2 (a) 频率为 ω_0 的单色光通过调制器后的频谱分布图;(b) 不同调制幅度下每个频谱分量的大小

Fig.2 (a) Change in the electric field amplitude of a monochromatic light at frequency ω_0 after passing through the modulator; (b) Relative amplitude of the different sidebands J_n generated by the phase modulation as a function of modulation index

3 实验结果与讨论

当压电陶瓷没有加上驱动电压时,室温下由于掺铒光纤的均匀展宽效应引起的模式竞争使得激光波长不稳定,如图 3(a) 所示。当频率为 12.5 kHz 的正弦电压驱动时,实验发现,驱动电压的幅度增加到大约为 5 V 时,获得了较好的 5 个波长的同时激光,如图 3(b) 所示。其输出光谱的平坦度取决于诸多因素,如取样光栅反射峰的平坦度,掺铒光纤的长度等。由于取样光纤光栅的选频作用,相邻激光波长之间的间隔为 0.8 nm,符合 ITU 国际标准。图 4 表示连续 5 次在光谱分析仪上显示的输出光谱,可以看出获得了稳定的激光输出。

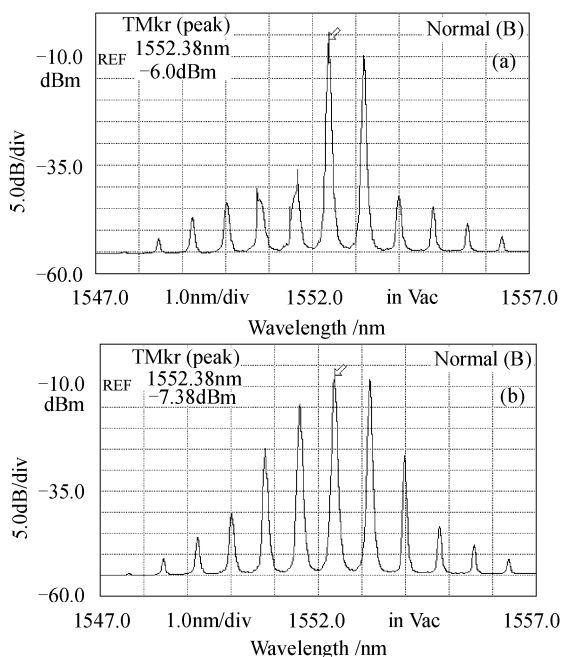


图 3 激光器输出光谱

(a) 没有加驱动电压调制; (b) 加上驱动电压调制

Fig. 3 Laser output spectrum employing a fiber phase modulator

(a) without driving voltage modulation;

(b) with driving voltage modulation

4 结 论

通过在线形谐振腔中引入正弦相位调制器,抑制了由于掺铒光纤的均匀展宽效应引起的模式竞争,从而避免了在室温情况下不稳定的单波长激射。在频率为 12.5 kHz,幅度为 5 V 的正弦驱动电压引起的相位调制下,通过取样光纤光栅的选频作用,获得了间隔为 0.8 nm,即符合 ITU 标准的稳定的多波长激光输出。

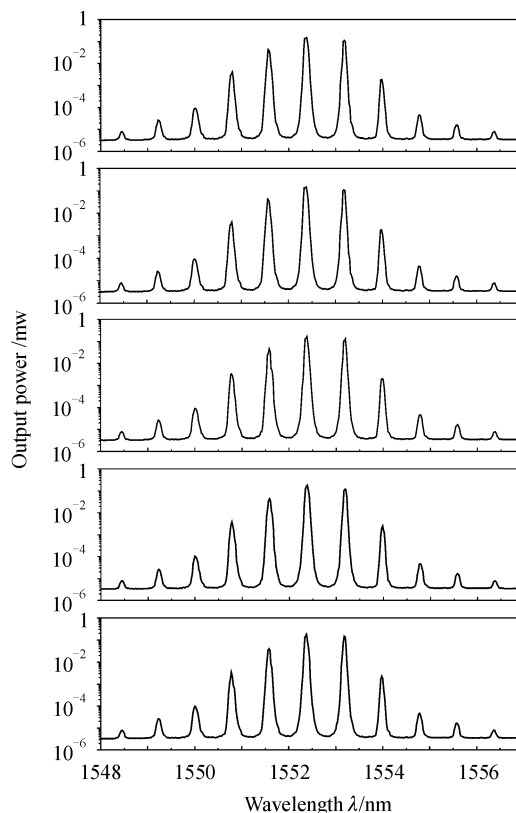


图 4 有正弦调制时连续 5 次扫描的输出光谱

Fig. 4 Repeated scan outputs with sinusoidal phase-modulation feedback

参 考 文 献

- 1 E. L. Goldstein, L. Eskildsen, V. da Silva *et al.*. Inhomogeneously broadened fiber-amplifier cascades for transparent multiwavelength lightwave networks [J]. *J. Lightwave Technol.*, 1995, **13**(5):782~790
- 2 J. Chow, G. Town, B. Eggleton *et al.*. Multiwavelength generation in an erbium-doped fiber laser using in-fiber comb filters [J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 1996, **8**(1):60~62
- 3 J. Hübner, P. Varming, M. Kristensen. Five wavelength DFB fibre laser source for WDM systems [J]. *Electron. Lett.*, 1997, **33**(2):139~140
- 4 D. Abraham, R. Nagar, M. N. Ruberto *et al.*. Intracavity-diode-pumped erbium doped fibre laser [J]. *Electron. Lett.*, 1992, **28**(19):1830~1831
- 5 A. Bellemare, M. Karasek, M. Rochette *et al.*. Room temperature multifrequency erbium-doped fiber lasers anchored on the ITU frequency grid [J]. *J. Lightwave Technol.*, 2000, **18**(6):825~830