

# 利用冷却法得到多波长输出的 光纤环形激光器

赵东晖 刘云启 董孝义 袁树忠

(南开大学现代光学研究所, 天津 300071)

**摘 要** 提出一种新型的掺铒光纤环形激光器, 利用全光纤马赫-曾德尔干涉仪选频, 并将掺铒光纤浸在液氮中冷却, 得到了稳定的 7 个波长的激光输出, 波长间隔为 0.65 nm。

**关键词** 光纤环形激光器, 掺铒光纤, 冷却, 多波长。

## 1 引 言

多波长光纤激光器可应用于很多光学技术领域, 如光谱分析、波分复用光纤通信系统以及光传感等等, 因此, 近年来受到越来越多的关注<sup>[1, 2]</sup>。具有较宽增益谱的增益介质以及恰当的波长选择元件是得到多波长激光同时输出的必要条件。在本文的实验中, 选择掺铒光纤作为激光器的增益介质, 因为它可提供几十纳米宽的增益谱<sup>[3]</sup>; 选取全光纤马赫-曾德尔干涉仪作为选频元件, 克服了利用腔内法布里-珀罗标准具的调谐技术困难, 且具有较低的插入损耗<sup>[4]</sup>。为了减小掺铒光纤的均匀展宽效应影响, 将铒光纤浸在 77 K 的液氮中, 得到了波长间隔为 0.65 nm 的多波长激光输出。

## 2 实验装置及实验原理

激光器的设计如图 1 所示, 980 nm 波长的抽运光通过波分复用耦合器耦合到光纤环路中, 在输出耦合器与波分复用耦合器之间插入全光纤马赫-曾德尔干涉仪, 掺铒光纤浸在 77 K 的液氮中, 并在光纤与输出耦合器之间加设光隔离器, 以保证环路的单方向运转。

实验中的选频元件全光纤马赫-曾德尔干涉仪是由两

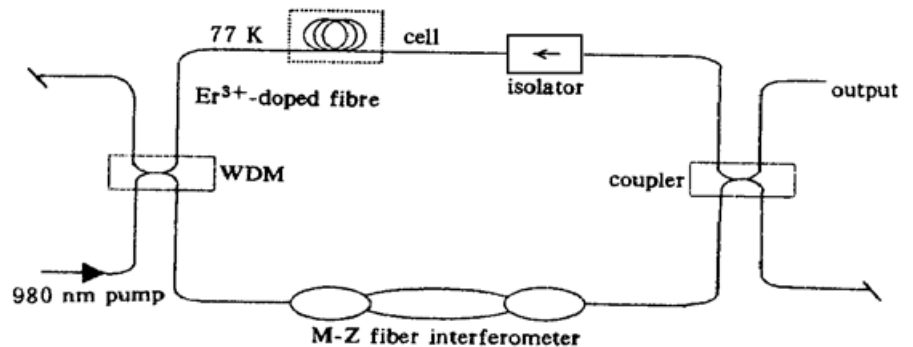


Fig. 1 Schematic diagram of multiwavelength fiber ring laser

个 3 dB 耦合器连接而成的, 其输出端的归一化光强  $I$  可表示为:

$$I = \sin^2\left(\frac{\Delta\phi}{2}\right) = \sin^2\left(\frac{\pi n_{\text{eff}} \Delta L}{\lambda}\right), \quad (1)$$

其中  $\Delta\phi = (2\pi n_{\text{eff}} \Delta L)/\lambda$  为相位差,  $\Delta L$  为干涉仪两臂的长度差,  $n_{\text{eff}}$  为光纤的有效折射率,  $\lambda$  是工作波长。不同的波长对应着不同的输出功率, 当相位差  $\Delta\phi$  为  $\pi$  的奇整数倍时, 输出功率达到最大值, 两相邻最大的波长差为

$$\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1 = \lambda_1 \lambda_2 / (n_{\text{eff}} \Delta L). \quad (2)$$

由于  $\Delta\lambda$  远小于  $\lambda_1$  和  $\lambda_2$ , 所以上式可简化为:  $\Delta\lambda = \lambda^2 / (n_{\text{eff}} \Delta L)$ 。由上面的公式可知, 光纤马赫-曾德尔干涉仪是一种梳状滤波器, 插入到光纤环路中, 可对多个波长进行选择, 而且, 如果在相干长度之内改变干涉仪两臂的光程差, 就可以很方便地改变相邻最大的波长差。

室温下掺铒光纤的均匀展宽宽度超过  $10 \text{ nm}^{[5]}$ , 所以在图 1 所示的装置中, 如果掺铒光纤工作于室温, 由于多模激烈竞争, 则很难得到稳定的多波长激光同时输出。因此, 在实验中将光纤浸在液氮池中, 利用  $77 \text{ K}$  的低温使光纤均匀展宽的宽度降至  $1 \text{ nm}^{[5]}$ , 从而降低了模间的增益交叉饱和<sup>[6]</sup>, 得到了稳定的多波长激光输出。

### 3 实验结果与分析

图 2 所示为掺铒光纤工作于室温时激光器的输出光谱, 抽运功率为  $9.05 \text{ dBm}$ , 图 2(a) 与图 2(b) 分别为不同时刻记录的结果。由此可知, 室温下该激光器虽可以得到多波长的激光振荡, 但是极不稳定, 光谱分析仪的每一次扫描结果都有较大的不同。

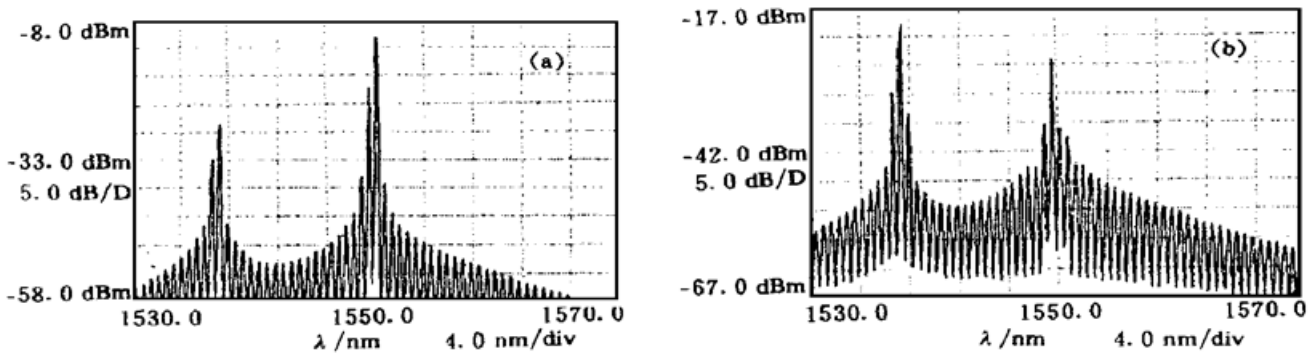


Fig. 2 Output optical spectrum from fiber laser at room temperature for different-moment

不改变其它实验条件, 只将掺铒光纤浸在液氮中, 在  $1546 \sim 1550 \text{ nm}$  波段得到了较稳定的七个波长的激光输出, 波长间隔为  $0.65 \text{ nm}$ , 每个波长的激光线宽为  $0.14 \text{ nm}$ , 如图 3 所

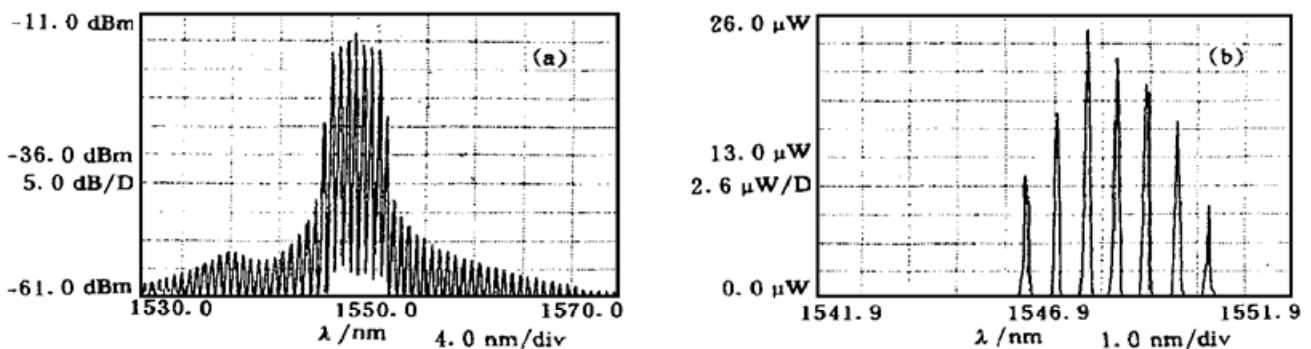


Fig. 3 Output optical spectrum from fiber laser at  $77 \text{ K}$

示, 其中图 3(b) 是横坐标放大的激光功率谱。与图 2 的结果相比, 激光输出的稳定度有了很大的提高, 但还存在着一定的不稳因素, 经过分析认为这有可能是由全光纤马赫-曾德尔干涉仪两臂温度变化不均所引起的。

当马赫-曾德尔干涉仪的两臂光程差发生改变时, 输出激光的波长间隔可随之改变; 另外, 如果将马赫-曾德尔干涉仪替换为全光纤等效法布里-珀罗干涉仪, 则可以进一步压窄线宽, 此实验正在进行中。

**结 论** 由上面的实验结果可知, 利用掺铒光纤的冷却法对多波长激光器进行稳频, 效果明显, 具有较高的可行性。若进一步降低掺铒光纤的温度, 并增大抽运功率, 可望得到更多波长的激光输出。

### 参 考 文 献

- [1] Ghera U, Friedman N, Tur M. A fiber laser with a comb-like spectrum. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 1993, **5**(10): 1159~ 1161
- [2] Chow J, Town G, Eggleton B *et al.*. Multiwavelength generation in an Erbium-doped fiber laser using in-fiber comb filters. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 1996, **8**(1): 60~ 62
- [3] Ainslie B J, Craig S P, Davey S T. The absorption and fluorescence spectra of rare earth ions in silica-based monomode fiber. *J. Lightwave Technol.*, 1988, **6**(2): 287~ 293
- [4] De Douza K, Lees F P, Wait P C *et al.*. Diode-pumped Landau-Placzek based distributed temperature sensor utilizing an all-fiber Mach-Zehnder interferometer. *Electron. Lett.*, 1996, **32**(23): 2174~ 2175
- [5] Desurvire E, Zyskind J L, Simpson J R. Spectral gain hole-burning at 1530 nm in erbium-doped fiber amplifiers. *Photon. Technol. Lett.*, 1990, **2**(4): 246~ 248
- [6] Goldstein E L, Eskidsen L, Da Silva V *et al.*. Suppression of dynamic cross-saturation in multiwavelength lightwave networks with inhomogeneously broadened amplifiers. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 1993, **5**(8): 937~ 939

## Multiwavelength Fiber Ring Laser Utilizing Cooled Erbium-Doped Fiber

Zhao Donghui   Liu Yunqi   Dong Xiaoyi   Yuan Shuzhong

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

(Received 18 September 1998; revised 30 November 1998)

**Abstract** A novel structure of multiwavelength fiber ring laser is proposed, which utilizes erbium-doped fiber cooled by liquid nitrogen and all-fiber M-Z interferometer. The simultaneous oscillation of seven wavelengths with spacing of 0.65 nm was obtained.

**Key words** fiber ring laser, erbium-doped fiber, cooling, multiwavelength.