

光纤环形腔激光器输出特性的研究*

杨秀峰 赵东晖 葛春风 盛秋琴 董孝义
(南开大学现代光学研究所, 天津 300071)

摘 要 对由不同长度的掺铒光纤、不同分光比的耦合器构成的光纤环形腔激光器的输出特性进行了实验研究。通过理论与实验分析, 得出了激光器的输出功率、斜率效率与掺铒光纤的长度、耦合器的分光比有关, 而且存在最佳值的结论。

关键词 环形激光器, 阈值, 斜率效率。

1 引 言

近年来, 掺铒光纤激光器作为一种新型的激光器, 受到越来越多的关注。掺铒光纤具有较宽的增益谱, 研制成的窄线宽激光器可在很宽的波长范围内调谐^[1], 且能够以连续或脉冲方式工作。因此它在光纤通信、光纤传感等诸多领域有着十分广阔的应用前景。

要获得高性能的掺铒光纤激光器, 关键在于合理地选择参数, 优化激光器的谐振腔的结构。掺铒光纤激光器根据其结构的不同, 分为环形腔和线形腔两种。本文从激光阈值、斜率效率等方面对掺铒光纤环形腔激光器进行了实验研究。

2 理论分析

在掺铒光纤环形腔激光器中, 当腔内置隔离器时, 激光器工作在行波状态, 激光在阈值以上的输出功率可表示为^[2]

$$P_{out} = P_{0, in}(G)GV_0B \quad (1)$$

其中 $P_{0, in}(G)$ 为谐振波长 λ_0 的激光在掺铒光纤始端的光功率。掺铒光纤的增益 G 由下式给出:

$$G = \frac{1}{(1 - B)V} \quad (2)$$

V 和 V_0 分别为腔内普通光纤的单程损耗和掺铒光纤的末端与输出耦合器之间的损耗, 其中包括无源器件如滤波器、隔离器、耦合器等的损耗; B 为输出耦合器的分光比。泵浦波长和泵浦功率分别为 λ_p 、 P_p 时, $P_{0, in}(G)$ 表示如下^[2]:

$$P_{0, in}(G) = \frac{1}{\lambda_0(G - 1)} \{ \lambda_p P_p [1 - (\frac{G}{G_{max}})^\delta] - \lambda_0 P_{0, sat}(\alpha_0 L + \ln G) \} \quad (3)$$

* 国家自然科学基金资助项目。

收稿日期: 1998-05-04; 收到修改稿日期: 1998-07-30

式中 $G_{\max} = \exp [(\alpha_p/\delta) - \alpha_0]L$ 为任意泵浦功率下波长为 λ_0 的激光的最大增益。 L 为掺铒光纤的长度, $\delta = \lambda_0 P_{0, \text{sat}}/\lambda_p P_{p, \text{sat}}$ 表示信号光 λ_0 和泵浦光 λ_p 的饱和功率比。饱和功率 $P_{p, 0, \text{sat}}$ 和小信号吸收系数 $\alpha_{p, 0}$ 可以通过计算得到^[3]。由(1)~(3)式得到掺铒光纤环形腔激光器的输出功率如下:

$$P_{\text{out}} = \eta(P_p - P_{\text{pth}}) \tag{4}$$

泵浦阈值为

$$P_{\text{pth}} = \frac{\lambda_0 \alpha_0 L - \ln [V(1 - B)]}{\lambda_p [1 - [V(1 - B)G_{\max}]^{-\delta}]} P_{0, \text{sat}} \tag{5}$$

斜率效率为

$$\eta = \frac{\lambda_p V_0}{\lambda_0} \frac{B}{1 - V(1 - B)} \{1 - [V(1 - B)G_{\max}]^{-\delta}\} \tag{6}$$

根据(6)式和(5)式计算的斜率效率和激光阈值与输出耦合器分光比的关系曲线分别示于图1与图2。从中可以看出,输出耦合器分光比有一最佳值,其比值太大和太小都会令激光器的斜率效率变坏。而激光阈值在分光比较小时变化缓慢,大于一定值后将迅速增加。

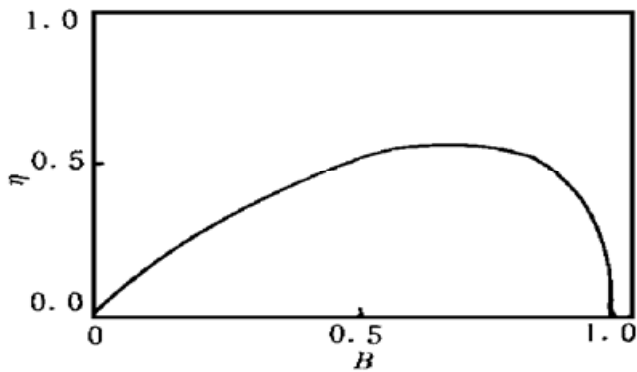


Fig. 1 Slope efficiency versus output coupler ratio

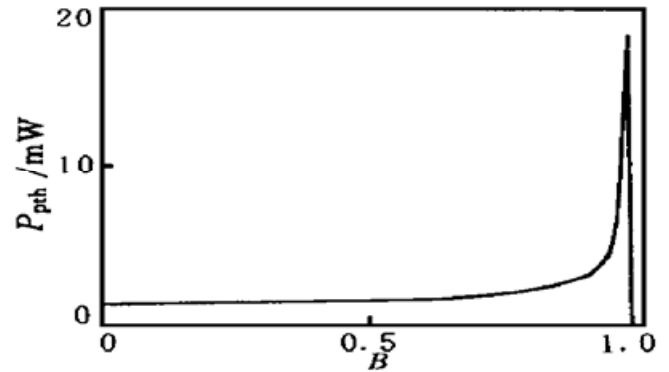


Fig. 2 Threshold power versus output coupler ratio

3 实验装置及原理

用光纤光栅作反射镜形成光纤环形谐振腔,腔内置隔离器使激光器工作于行波状态的光纤环形腔激光器的实验装置如图3所示^[4-6]。

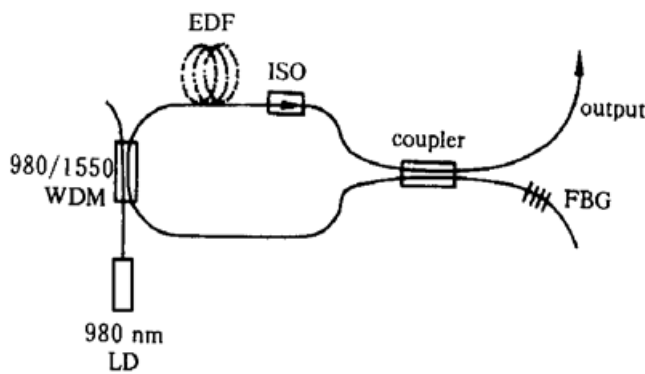


Fig. 3 Experimental setup of the fiber grating ring lasers

环形腔是由 980 nm/1550 nm 波分复用器(WDM)、掺铒光纤(EDF)、隔离器(ISO)、与环路两端连接的耦合器以及与耦合器右端相连的光纤光栅(FBG)组成。掺铒光纤是由天津电子材料研究所提供的,其掺杂质量分数约 2×10^{-4} ,芯径为 $6 \mu\text{m}$,截止波长为 940 nm;光纤光栅的反射率为 $R = 99\%$,线宽为 0.1 nm,中心波长 $\lambda_0 = 1560.76 \text{ nm}$ 。

泵浦光对此环路进行泵浦后,大部分能量被耦合进入环路并经掺铒光纤转化为波长 1550 nm 左右的激光,经隔离器后进入耦合器。波长为 λ_0 的光波经光纤光栅又反射回到耦合器,并在环路中沿顺时针方向传播,经掺铒光纤获得适当的增益后又进入耦合器,从而实现光纤光栅到环路间的振荡。波长为 λ_0 的光波部分经耦

合器输出，所以耦合器在此又起着输出端镜的作用。

掺铒光纤激光器属于三能级激光系统。在掺杂浓度一定的情况下，不同长度的掺铒光纤以及具有不同分光比耦合器对激光器的输出功率、激光阈值以及斜率效率有着不同的影响。要得到适当波长、高功率的激光输出，就要适当选择激光器的各个参数。

4 实验结果与分析

图 4 为泵源功率取 27 mW、输出分光比取 70%、掺铒光纤取不同长度值 L 时的激光输出特性曲线；图 5 是泵源功率取 48 mW，掺铒光纤长度 $L = 9\text{ m}$ 时选取不同分光比的输出耦合器得到的激光输出特性曲线。

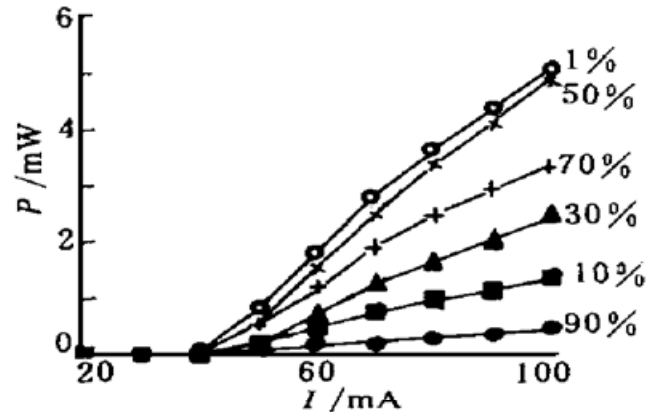
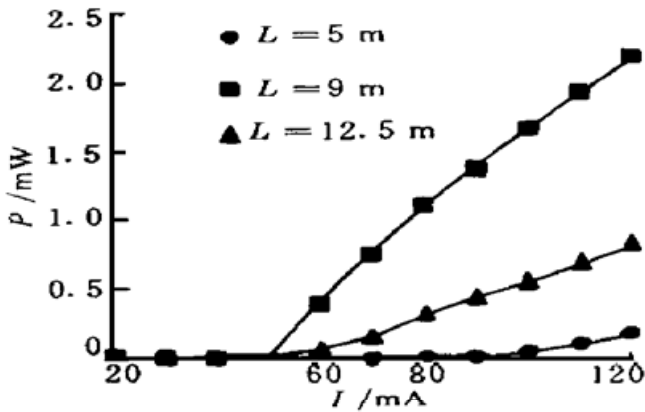


Fig. 4 Ring laser output power versus pump electric current

Fig. 5 Ring laser output power versus pump electric current for different coupler ratio

由图 4 可以看出，长度不同的掺铒光纤，其激光输出斜率效率明显不同。三个不同长度的掺铒光纤激光器，其中长度为 9 m 的激光器斜率效率最大。可知掺铒光纤的最佳长度大约为 9 m 左右。上述结果是在掺杂质量分数为 2×10^{-4} 的情况下取得的，如果铒光纤的掺杂浓度发生变化，则最佳长度也将发生变化。浓度增加，最佳长度将缩短，浓度降低，最佳长度将增加。

由图 5 可以看出，随着输出分光比的增加，斜率效率也随之增大，相同泵浦功率得到的激光输出功率也越大。图 6 是泵浦电流为 100 mA、掺铒光纤的长度为 9 m 时，输出功率和分光比 B 的关系。图中的点为实验测量数据，曲线为实验数据的拟合曲线。由图可以看出，输出分光比存在一最佳值，该最佳值大约在 80%~90% 之间。当采用具有最佳分光比的耦合器时，同样的泵浦功率会得到较大的激光输出。但是如果输出分光比太大，得到的反馈太小，腔内激光振荡强度将减弱，以致停止振荡。

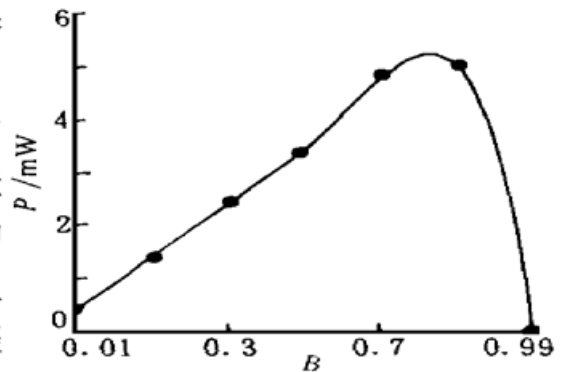


Fig. 6 Output power P versus coupler ratio B

结 论 在当前国产泵源功率及掺铒光纤的掺杂浓度较低的情况下，合理选择掺铒光纤长度及输出耦合器分光比等参数，优化激光器谐振腔的结构，将有利于获得高性能的掺铒光纤激光器。以上实验结果与理论分析基本相符。

参 考 文 献

- [1] 葛春风, 赵东晖, 杨秀峰等. 可调谐环形腔光纤光栅激光器. 光学学报, 1999, **19**(6) : 762~ 765
- [2] Pfeiffer T, Schmuck H, Bulow H. Output power characteristics of erbium-doped fiber ring lasers. *IEEE Photonics Technol. Lett.*, 1992, **4**(8) : 847~ 849
- [3] Pfeiffer Th, Bulow H. Analytical gain equation for erbium doped fiber amplifiers including model field profiled and dopant distribution. *IEEE Photonics Technol. Lett.*, 1992, **4**(5) : 449~ 451
- [4] 赵东晖, 杨秀峰, 葛春风等. 一种新型的多波长窄线宽环形掺铒光纤激光器. 光子学报, 1998, **27**(5) : 459~ 461
- [5] 葛春风, 金发宏, 董孝义等. 掺铒光纤激光器的实验及其在光通信中的应用. 全国第 8 次光纤通信暨第 9 届集成光学学术会议论文集, 武汉, 1997, **10** : 605~ 608
- [6] 杨秀峰, 葛春风, 赵东晖等. 双波长窄线宽光纤光栅环形腔激光器. 光子学报, 1998, **27**(5) : 438~ 440

Research on the Output Characteristics of Fiber Ring Laser

Yang Xiufeng Zhao Donghui Ge Chunfeng

Sheng Qiuqin Dong Xiaoyi

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

(Received 4 May 1998; revised 30 July 1998)

Abstract The output characteristics of fiber ring lasers composed of different length Er-doped fiber (EDF) and different split ratio output couplers are studied experimentally. According to the experimental results, it is concluded that the threshold and slope efficiency of the laser are related to the length of EDF and the split ratio of the output coupler. Both of them have one optimum value.

Key words ring laser, threshold, slope efficiency.