

# 环形腔掺铒光纤激光器的实验研究\*

邱 昆

(电子科技大学光纤通信国家重点实验室, 成都 610054)

**提要** 利用掺铒光纤和环形腔结构, 在 980 nm 半导体激光器泵浦下, 获得了 1.56  $\mu\text{m}$  波长的光纤激光器输出。激光器的阈值泵浦功率为 5.2 mW。具有很好的线性输出特性。

**关键词** 掺铒光纤, 光纤激光器, 环形腔

## 1 引 言

掺  $\text{Er}^{3+}$  光纤<sup>[1]</sup>在最近十年引起了光通信领域的极大注意。由于其自身的波导结构, 所以掺  $\text{Er}^{3+}$  光纤具有很高的增益和泵浦效率, 其增益谱很宽, 且处于 1.55  $\mu\text{m}$  光纤通信低损耗窗口上。除用作光纤通信系统中的放大器<sup>[2]</sup>外, 掺  $\text{Er}^{3+}$  光纤也可以构成掺  $\text{Er}^{3+}$  光纤激光器。光纤激光器具有结构紧凑、全固化、与传输光纤耦合损耗极小等优点, 利用锁模光纤激光器<sup>[3,4]</sup>, 可以产生高稳定度、窄脉宽的变换极限超短光脉冲输出, 被认为是未来长距离、大容量的超高速光纤通信及孤子通信系统的理想光源。

本文报道 980 nm 波长半导体激光器泵浦的环形腔结构掺  $\text{Er}^{3+}$  光纤激光器的实验结果。

## 2 实验装置和器件

环形腔掺  $\text{Er}^{3+}$  光纤激光器的实验装置如图 1 所示。实验中所用的掺  $\text{Er}^{3+}$  光纤长度为 10 m, 掺杂参数为  $\text{GeO}_2$  0.12 mol-%,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  0.03 mol-%,  $\text{Er}^{3+}$  600 ppm。掺杂光纤的芯径为 2.4  $\mu\text{m}$ , 纤芯与包层折射率差  $\Delta n = 0.02$ , 截止波长为 0.98  $\mu\text{m}$ 。环形腔的总长度为 20 m, 为了保证腔内激光的单方向传播, 在腔内使用了一个光隔离器。光纤的连接采用了 FC/APC 9  $\mu\text{m}$ /125  $\mu\text{m}$  的角度防反射活动光纤连接器以减小连接处的反射。

实验的关键器件之一是 1.55  $\mu\text{m}$ /980 nm 波分复用耦合器, 对从 2 端入射的 1.55  $\mu\text{m}$  波

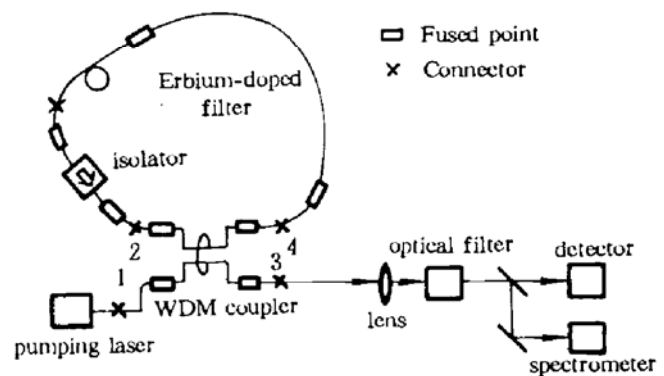


Fig. 1 Experimental setup of an erbium-doped-fiber ring laser

\* 国家“863”基金资助项目。

长的光信号,到 4 端的传输率为 67%,到 3 端的耦合率为 7%;对从 1 端入射的 980 nm 泵浦光信号,到 4 端的耦合率为 36%,到 3 端的泄漏率为 4%,其余能量被损耗在光耦合器及焊接点中。我们利用耦合器的 3 端口作为激光器输出端。

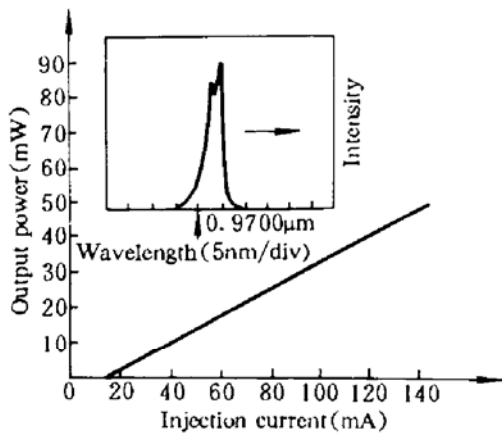


Fig. 2 Pumping laser output power versus injection current

泵浦源采用的是 Lasertron 公司的 QLM9S470 型 980 nm 波长半导体激光器,其阈值电流为 18 mA,当注入电流为 120 mA 时,输出功率可达到 40 mW。图 2 给出了其尾纤输出功率的实测曲线,也给出了注入电流为 120 mA 时,该泵浦激光器的发射谱。

掺  $\text{Er}^{3+}$  光纤在 980 nm 波长泵浦光的作用下, $\text{Er}^{3+}$  由基态跃迁到受激态,形成粒子数反转,介质处于激活态,在环形腔提供正反馈的条件下,当泵浦光功率超过一定阈值时,就会从掺  $\text{Er}^{3+}$  光纤中形成激光输出。在整个环形激光腔

内,对 980 nm 的泵浦光主要的损耗机制是泵浦吸收损耗、光纤连(焊)接损耗及环行一周后的耦合输出损耗,而对 1.56  $\mu\text{m}$  的激光主要的损耗机制是耦合输出损耗及光纤连(焊)接损耗。

在光输出后,采用了一个光滤波器,以滤除漏过来的 980 nm 泵浦光而获得 1.5  $\mu\text{m}$  的激光输出。

### 3 实验结果

图 3 给出了由耦合器第 3 端口测得的光纤激光器输出功率与泵浦功率的关系,由此可知,激光器的阈值泵浦功率为 5.2 mW,在阈值以上,光纤激光器具有很好的线性输出特性,当泵浦功率为 9.3 mW 时,获得的输出功率为 70  $\mu\text{W}$ 。

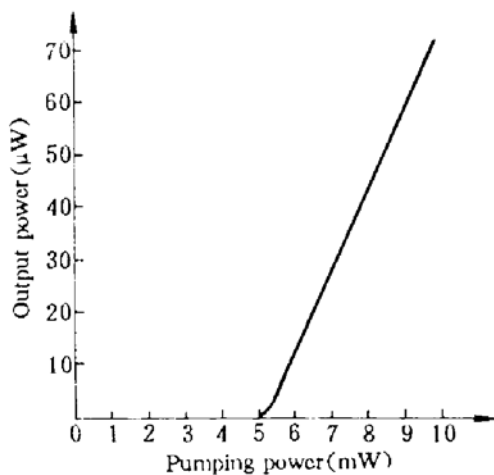


Fig. 3 Output power of the fiber laser versus pumping power

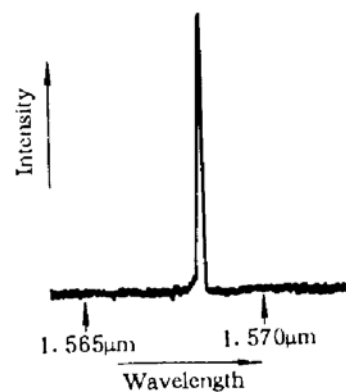


Fig. 4 Output spectrum of the fiber laser

图 4 为由单色仪测得的该激光器的输出光谱,激光器的中心发射波长为 1.5682  $\mu\text{m}$ 。我们认为光纤激光器是多纵模运行的,但由于激光器腔长很长(20 m),激光模间隔很短,光谱仪不能够分辨出来,图 4 显示的只是多纵模的包络。

## 4 讨 论

在实验开始时,我们发现,由于反射的存在(主要由焊接点及耦合器引起),当反射光进入泵浦激光器时,会引起泵浦激光器的模式发生跳动,也就是说泵浦光的波长发生着随机的变化,当波长变化的泵浦光通过波分复用耦合器时,由于耦合效率对波长的依赖关系,将会引起进入掺  $\text{Er}^{3+}$  光纤的泵浦光功率发生变化,从而引起激光器的不稳定。实验发现,这种非稳定性变化时间约为秒的量级。

为了消除这种由于反射引起的非稳定性,可以在泵浦光源后进入一个 980 nm 波长的光隔离器。我们采用的方法是对泵浦激光器的注入电流进行 1 MHz 的调制,由于掺  $\text{Er}^{3+}$  光纤的增益恢复时间很长( $\sim 10$  ms),其增益并不随如此高频率的调制泵浦光功率而变化,增益介质感受到的只是平均泵浦光功率。这样通过较高频率的调制,消除了反射引起的较低频率的抖动,获得了稳定的激光输出。

在本实验中,我们利用了波分复用耦合器的剩余端口(3 端)作为环形腔光纤激光器的输出端,由于从腔内到腔外的耦合效率很低,所以获得的输出功率也较小。为了获得较高的输出功率,可以采用另外一个较高耦合效率(例如 30%)的耦合器从腔内耦合输出,并增大泵浦功率。

利用光纤激光器产生超短光脉冲输出,可能是未来光纤激光器应用于光纤通信系统的主要形式。我们预计在环形腔内加进一个行波半导体激光放大器,以光在腔内的传输重复频率(或其谐波频率)调制注入半导体激光放大器的注入电流,从而可望获得主动锁模光纤激光器超短脉冲输出,目前该实验正在进行之中。

## 参 考 文 献

- 1 S. B. Poole, D. N. Payne, M. E. Fermann. Fabrication of low loss optical fibers containing rare earth ions. *Electron. Lett.*, 1985, **21**(17): 737~738
- 2 E. Yoneda, K. Kikushima, T. Tsuchiya *et al.*. Erbium-doped fiber amplifier for video distribution networks. *IEEE J. Selected Areas in Communications*, 1990, **8**(7): 1249~1255
- 3 I. N. Duling III. All-fiber ring soliton laser mode locked with a nonlinear mirror. *Opt. Lett.*, 1991, **16**(8): 539~540
- 4 K. Tamura, H. A. Haus, E. P. Ippen. Self-starting additive pulse mode-locked Erbium fiber ring laser. *Electron. Lett.*, 1992, **28**(24): 2226~2228

## Experimental Study on an Erbium-doped-fiber Ring Laser

Qiu Kun

(National Key Lab. of Optical Communication, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 610054)

**Abstract** An Erbium-doped-fiber ring laser, pumped with a 980 nm semiconductor laser, has successfully operated at the wavelength of 1.56  $\mu\text{m}$ . The threshold pumping power of the laser is 5.2 mW. The laser has an excellent output property.

**Key words** Erbium-doped-fiber, fiber laser, ring cavity