

# 掺铒光纤非线性耦合器的实验研究\*

马连升 李淳飞 徐光明

(哈尔滨工业大学应用物理系, 哈尔滨 150001)

**摘 要** 提出一种耦合参量可用光调控的掺铒光纤非线性耦合器. 用熔融拉锥法熔合两根掺铒光纤, 拉制成工作波长为 1550 nm 的 3 dB 掺铒光纤耦合器. 通过调变输入耦合器一臂的 980 nm 泵浦光功率, 可以改变两臂的传播常量差, 从而改变耦合器两臂信号光的相对输出功率. 通过测量输入泵浦光功率和两臂信号光输出功率, 得到直通臂耦合比依赖于泵浦光功率的实验曲线. 实验研究表明, 当泵浦光功率从 0 mW 变化至 20 mW 时, 耦合比的变化可达到 40%. 与理论模拟的结果一致.

**关键词** 掺铒光纤; 非线性耦合器; 耦合比

**中图分类号** O437; TN256

**文献标识码** A

## 0 引言

定向耦合器是光子技术中的一种基本器件, 广泛应用于光通信、光计算和光传感技术. 然而, 目前耦合器产品的参量都是固定的, 不能适合于某些要求耦合器参量可调变的应用场合<sup>[1]</sup>. 有些研究者建议用电或机械的方法, 通过调节两纤芯的距离来改变耦合比<sup>[2]</sup>, 显然不如全光控制耦合比的方法更为优越, 用非线性耦合器就可以达到此目的. 人们自 20 年前就开始研究非线性耦合器<sup>[3]</sup>, 它可用来测量掺杂光纤的非线性<sup>[4]</sup>, 也可用作全光开关<sup>[5,6]</sup>. 本文提出一种用泵浦光功率来控制信号功率耦合比的掺铒光纤非线性耦合器.

首先, 用熔融拉锥法<sup>[7]</sup>研制成功 3 dB 掺铒光纤耦合器. 所制成的耦合器样品, 耦合比的误差小于 5%, 附加损耗小于 1.2 dB. 其次, 对掺铒光纤耦合器进行了实验研究, 测得直通臂信号光功率耦合比与泵浦光功率间的关系曲线, 发现在 20 mW 的泵浦功率下, 耦合比的变化可达到 40%. 此种非线性耦合器有可能在全光开关中获得应用.

## 1 掺铒光纤耦合器的制备

图 1 为掺铒光纤非线性耦合器的制作装置. 由于掺铒光纤对 1550 nm 信号光有强烈的吸收<sup>[5]</sup>, 掺杂铒离子在高温下的激活和等离子作用而使材料比较脆、易断, 而且光学性质变化迅速, 不太稳定. 因此, 与普通光纤比较起来, 制作掺铒光纤耦合器有一定的困难, 要想制成合格的产品, 必须采取一些特殊措施, 例如, 在熔制耦合器之前, 在掺铒光纤的两端

熔接上普通光纤, 使掺铒光纤耦合器的导引段尽可能接近耦合区, 以便降低器件对信号光的吸收; 调整光纤预热时间、拉伸速度、火焰的高度与运动速度等预设参量; 在接近拉锥结束时, 改自动控制为手动控制等.

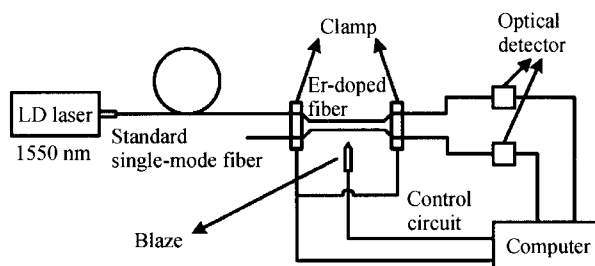


图 1 掺铒光纤耦合器熔融拉锥系统

Fig. 1 Fusing-Elongation system for fabricating EDF couplers

所用掺铒光纤的芯径为 2.4  $\mu\text{m}$ , 折射率为 1.49, 数值孔径为 0.2, 掺  $\text{Er}^{3+}$  浓度为  $1.5 \times 10^{26} \text{ m}^{-3}$ , 设定火头的运动长度为 15 mm, 火头的运动速度为 120 mm/min, 火焰的高度 4.3 mm, 两夹具之间的距离为 3.5 cm, 夹具的正向运动速度为 4 mm/min, 夹具的返回速度为 12 mm/min, 氢气的流量为 167 sccm, 预热时间为 600 ms, 加热持续时间为 10 ms, 追加延时为 10 ms. 随着拉伸长度的增加, 两根纤芯开始靠近, 当靠近到一定程度的时候, 光开始在两根光纤之间产生耦合. 此时, 由于附加损耗增大, 两耦合曲线变的不太平滑, 并且, 随着拉伸长度继续延长, 光的耦合量也发生变化, 直至耦合比接近 50%, 如图 2. 图中  $R$  为直通臂耦合比,  $T$  为交叉臂耦合比. 当夹具移动距离为 21.12 mm 时, 拉伸过程结束, 得到耦合器的耦合比为  $R=54\%$ ,  $T=46\%$ , 与理想的耦合比 50% 相差不到 5%. 耦合器的耦合区长度为 5 cm, 附加损耗比普通光纤耦合器大, 为 1.17 dB.

\* 国家自然科学基金资助(10474017)

Tel: 0451-86416889 Email: cfli@hit.edu.cn

收稿日期: 2005-05-17

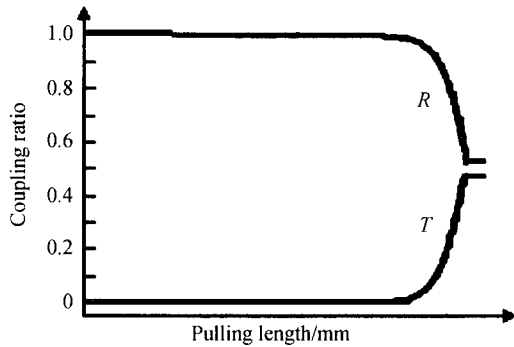


图 2 掺铒光纤耦合器耦合比 R 和 T 随拉伸长度变化的曲线  
Fig. 2 Variation curve of the coupling ratio of EDF coupler as a function of pulling length

### 2 耦合比的测试

掺铒光纤非线性耦合器的实验研究装置如图 3，在耦合器的两端分别用普通光纤与掺铒光纤(EDF)熔接，光纤与其他器件之间的连接采用 FC/PC 光纤连接器，尽可能减少连接损耗。图 3 中的 WDM 是 1550 nm/980nm 波分复用器。图中  $P_{in}$  为输入信号功率， $P_r$  为直通臂输出功率， $P_t$  为交叉臂输出功率， $P_{p0}$  为泵浦光功率。单模的 980 nm 泵浦光与 1550 nm 信号光同时通过 WDM I，从 EDF I 输入。测量表明，对于工作波长为 1550 nm 的 3 dB 耦合器，980 nm 泵浦光功率有 96% 从臂 I 通过，仅有 4% 耦合进入 EDF II，以带有波长 1550 nm 的滤波器的功率计测量，泵光功率可以忽略不计。在泵光较强的 EDF I 臂，为不影响对 1550 nm 输出光功率的测量，用 WDM II 将 980 nm 泵浦光分出去，同时为了防止 980 nm 泵浦光反射到系统中，将 WDM II 的输出端放在折射率匹配液中。该泵浦光通过耦合器的有源区，改变了 EDF I 的折射率，并进行光放大，造成两光纤复数传播常量之差，从而可改变耦合器的耦合比。两输出端的输出功率用一个标准光功率计分别测量。实验中，测得直通臂输出功率  $P_r$  和交叉臂输出功率  $P_t$ ，由公式  $R = P_r / (P_r + P_t)$  和  $T = P_t / (P_r + P_t)$ ，分别计算出耦合器的直通臂耦合比 R 和交叉臂耦合比 T。

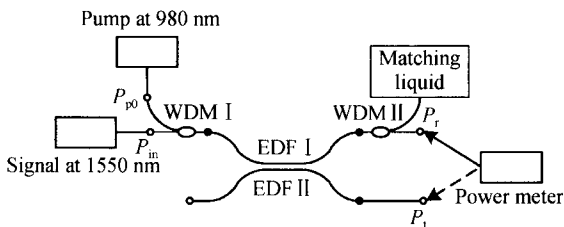


图 3 掺铒光纤耦合器测试装置  
Fig. 3 Experimental setup for measuring the signal coupling of 1550 nm pumped by 980 nm laser

在测量中，1550 nm 波长信号光源采用国产的，

其输出光功率固定为 370  $\mu$ W。泵浦光源采用 Lasertron 公司的 QLM9S470-211 型连续运转带尾纤的半导体激光器。图 4 给出了其输出功率作为注入电流的函数的实测曲线，其阈值电流为 14.2 mA，当注入电流为 100 mA 时，输出功率达到 50.3 mW。图 5 为该泵浦激光器的发射光谱，中心波长实为 976 nm。

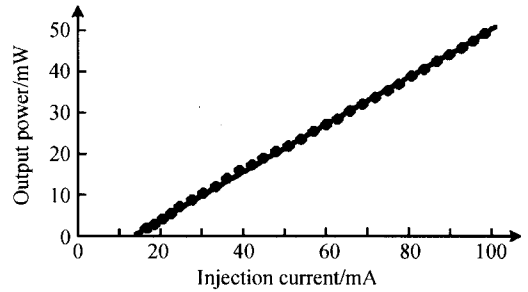


图 4 泵浦激光器输出功率与注入电流的关系曲线  
Fig. 4 Curve of output power of pumping laser versus the injection current

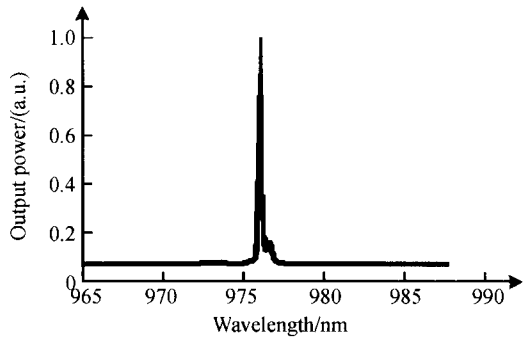


图 5 泵浦激光器的发射光谱  
Fig. 5 Emission spectrum of 980nm pump laser

### 3 实验结果

图 6 给出了信号光的直通臂耦合比与泵浦光功率的关系的实验点(图中星点)。由这些实验点连成的曲线与理论计算所得的模拟曲线(图中实线)完全相符。由实验结果可见，当泵浦功率从 0 mW 提高到

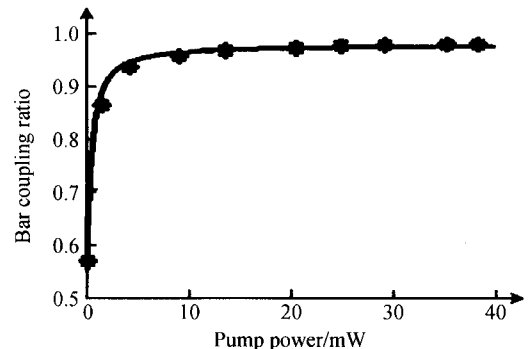


图 6 掺铒光纤耦合器直通臂耦合比与泵浦光功率关系的实验结果与理论曲线  
Fig. 6 Experimental and theoretical results of the bar coupling ratio of EDF coupler verses the pump laser

20 mW 时,直通臂耦合比从 0.54 增加到 0.97,增量达到 40%。泵浦功率提升到 20 mW 以后,耦合比的增加变化不大,说明器件已达到饱和。

#### 4 结论

本文报道了用熔融拉锥法制备掺铒光纤非线性定向耦合器的首次尝试。并对 3 dB 掺铒光纤非线性耦合器进行了实验研究,得到耦合比与泵浦光的关系曲线。有关理论曲线的推导和模拟计算结果将在其它文章中发表。由实验结果可见,当泵浦光功率从 0 mW 变化到 20 mW 时,信号光直通臂的耦合比变化量可达 40%。通过调变泵浦功率实现对非线性耦合器输出光功率的控制,这是一个用光学方法调控耦合器输出光强的新方法。有可能应用于以光控光的全光开关器件。作为一个例子,本课题组曾提出了一个全光开关的新思想,就是将一个光纤环形共振器通过可调掺铒光纤耦合器与 M-Z 干涉仪相结合的方案<sup>[8]</sup>,该器件可实现低输入功率条件下的光开关运转。

#### 参考文献

- 倪晓昌,王清月,胡明列. 飞秒激光微细加工中光纤耦合器参量的数值模拟. 2005, **34**(2):162~164  
Ni X C, Wang Q Y, Hu M L. *Acta Photonica Sinica*, 2005, **34**(2):162~164

- Tewari R, Thyagarajan K. Analysis of tunable single mode fiber directional couplers using simple and accurate relations. *Jouranal of Lightwave Technology*, 1986, **4**(4): 386~390
- Imai Y, Matsuda N. Nonlinear refractive index of Er<sup>3+</sup>-doped fiber and its application to nonlinear fiber coupler. *Opt Review*, 1994, **1**(1):97~99
- Davis M K, Dignonnet M J F. Switching power reduction using a pumped nonlinear directional coupler. *IEEE Photonic Technol Lett*, 1996, **8**(10):1328~1330
- Desurvire E. Study of the complex atomic susceptibility of Erbium doped fiber amplifiers. *Journal of Lightwave Technology*, 1990, **8**(10): 1517~1527
- 鲍俊峰, 吴兴坤. 一种定向耦合器型高聚物光开关设计. 光子学报, 2005, **34**(3):361~364  
Bao J F, Wu X. *Acta Photonica Sinica*, 2005, **34**(3): 361~364
- 林晓莉, 李平, 王强, 等. 熔锥型光纤耦合器的扭转响应. 光子学报, 2004, **33**(5):540~543  
Lin X L, Li P, Wang Q, et al *Acta Photonica Sinica*, 2004, **33**(5):540~543
- Bananej A, Li C. Parameter controllable all-optical switching in a high-nonlinear micro ring coupled MZI through a pumped nonlinear coupler. *J of Non Opt Phys & Mate*, 2005, **14**(1):85~91

### Experimentally Study on Erbium-doped-fiber Nonlinear Couplers

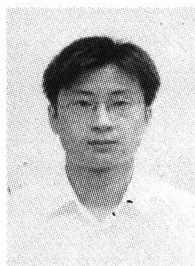
Ma Liansheng, Li Chunfei, Xu Guangming

Department of Physics, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001

Received date:2005-05-17

**Abstract** An erbium-doped fiber nonlinear coupler(EDFNC), in which the coupling parameters could be controlled by the light were firstly proposed. By using the fusing-elongation machine to fusing together two Er<sup>3+</sup>-doped fibers, a 3 dB nonlinear coupler was fabricated for the signal light at 1550 nm. When changing the pump light at 980nm launched into one arm of the coupler, the propagation-constant difference between two arms of the coupler would be changed, and then the relative output powers of signal light from two arms would also be changed. Measuring the input pump power and two output signal powers of EDFNC, it obtained the experimental curve of the bar coupling ratio versus the pump power. The experiments showed that when increasing pump power from 0 mW to 20 mW, the variation of coupling ratios could reach to 40%. The theory simulation and the experiment results were well consistent.

**Keywords** Erbium-doped fiber; Nonlinear coupler; Coupling ratio



**Ma Liansheng** was born in Shandong Province, and in 1978. He received his B. S. degree from Physics Department of Yantai Normal University in 2003. He is currently studying for his M. S. degree in Department of Applied Physics of Harbin Institute of Technology. His research mainly focuses on optical communication devices.