

1.47 μm LD 泵浦掺铒光纤放大器的实验研究

姜新 彭江得 范崇澄 吴庚生 周炳琨

(清华大学电子工程系, 北京 100084)

提要 本文报道了采用国产器件进行的 1.47 μm 激光二极管(LD)泵浦的掺铒光纤放大器的实验结果。采用模场匹配技术使标准单模光纤(MFD=9.125 μm)与掺铒光纤(MFD=3.88 μm)之间的熔接损耗降至 0.2 dB。研究了放大器的增益特性,获得了 24 dB 的小信号增益。

关键词 掺铒光纤,光放大器,激光二极管

Experimental study of erbium-doped fiber amplifier pumped by 1.47 μm laser diode

JIANG Xin, PENG Jiangde, FAN Changcheng, WU Gengsheng, ZHOU Binhou

(Department of Electronic Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084)

Abstract Experimental results on all domestic-made erbium-doped fiber amplifiers (EDFAs) pumped by 1.47 μm laser diode are reported in this paper. Using mode-field matching technique, the fusion loss between standard single-mode fiber (MFD=9.125 μm) and erbium-doped fiber (MFD=3.88 μm) decreased to 0.2 dB. Gain characteristics of EDFAs are investigated and small-signal gain of 24 dB has been obtained.

Key words erbium doped fiber, optical amplifier, laser diode

1 引言

近几年来,掺铒光纤放大器(erbium-doped fiber amplifier, EDFA)发展迅速,正在成为光通信系统中最重要的器件之一。它具有对数据率透明、增益高、噪声低、交叉串扰小及插入损耗低等优异特性,特别适合于高速、中长距离的光纤通信系统^[1~3]。

实用化的掺铒光纤放大器要求泵浦源体积小、功率大,激光二极管(laser diode, LD)是最佳的选择。适用于泵浦掺铒光纤放大器(1.5 μm 波段)的波长有 800 nm, 980 nm 和 1480 nm,其中后二者由于没有受激态吸收(excited state absorption, ESA),因而泵浦效率高,是最有竞争力的泵浦波长^[4]。目前,光通信实验系统中的掺铒光纤放大器大量采用 1.48 μm 波段的 LD 作泵浦源,因为 1.48 μm 波段的激光二极管工艺成熟、可靠性好、寿命长,且易于实用化。

作者曾报道了采用 980 nm LD 泵浦的掺铒光纤放大器实验^[5],本文报道采用国产 1.47 μm LD 泵浦的掺铒光纤放大器的实验结果。

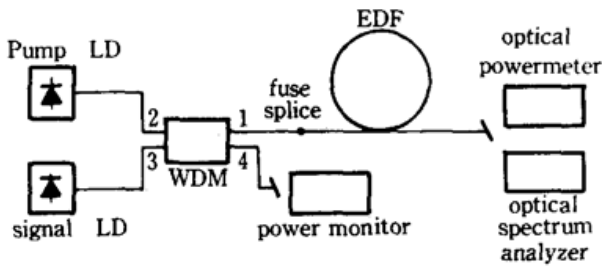


Fig. 1 Configuration of EDFA

2 实验装置

图 1 为掺铒光纤放大器实验光路示意图。

泵浦光由耦合器 WDM ($1.48 \mu\text{m}/1.55 \mu\text{m}$) 的 2 端输入, 信号光由 3 端输入, 两路光经耦合器合波后, 由 1 端进入掺铒光纤 (EDF), 同时分出小部分光由 4 端输出, 用于功率监控。耦合器的 1 端与掺铒光纤用电弧熔接。由于耦合器所用

光纤为标准单模光纤, 模场直径 (mode field diameter, MFD) 一般为 $9\sim 10 \mu\text{m}$, 而所采用的掺铒光纤 (EDF) 中, 大多数的模场直径只有 $3\sim 4 \mu\text{m}$, 所以用传统的熔接方法, 由于 MFD 失配, 熔接损耗较大^[6]。我们采用了模场匹配技术使这一损耗大幅度下降, 达到 0.2 dB 。信号光经掺铒光纤放大后由功率计测量输出功率及增益 (光谱仪辅助测量)。

本实验所用泵浦 LD、信号 LD、耦合器及掺铒光纤均系国内研制。泵浦 LD 的中心波长是 $1.4702 \mu\text{m}$ ($I = 250 \text{ mA}$ 时), 光束发散角为 $36.3^\circ \times 41.1^\circ$, 阈值 66 mA , 其输出功率 P 与驱动电流 I 的关系可近似表示为: $P (\text{mW}) \approx 0.27 \times [I (\text{mA}) - 66]$, $I > 70 \text{ mA}$ 。输出功率可达 80 mW 。信号源采用了两个 DFB LD, 中心波长分别为 $1.537 \mu\text{m}$ 和 $1.549 \mu\text{m}$ 。耦合器为 2×2 熔烧型器件, 插入损耗小于 0.65 dB 。

3 掺铒光纤放大器增益特性

我们选用多种掺铒光纤进行了放大器增益特性测试。

3.1 放大器增益与泵浦功率的关系

图 2 所示为 EDFA #1 的增益与泵浦入纤功率之间的关系曲线。所用掺铒光纤长 13.6 m , 模场直径 $8.3 \mu\text{m}$, 对泵浦光和信号光 ($1.537 \mu\text{m}$) 的吸收分别是 0.67 dB/m 和 1.04 dB/m , 入纤信号功率约为 $4.2 \mu\text{W}$ 。图中显示, 放大器小信号增益随着泵浦功率的增加而增大, 但是增大的趋势逐渐变缓。该放大器小信号增益 13 dB , 增益系数仅约 0.9 dB/mW , 说明掺铒光纤参数需进一步改进。此外, 在实验中, 掺铒光纤输出的泵浦功率仍有 10 mW 左右, 说明掺铒光纤长度偏短, 使得泵浦光未能充分利用。如果加长掺铒光纤长度, 增益还会进一步提高。

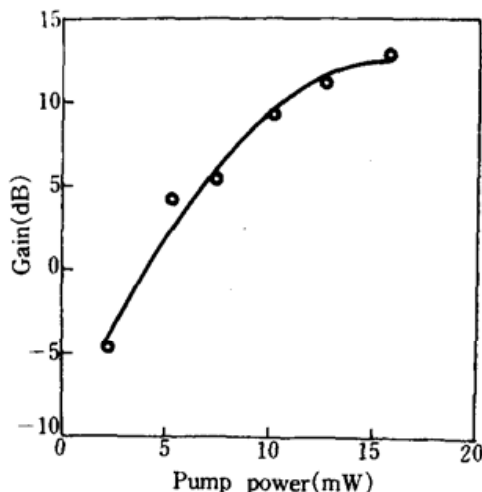


Fig. 2 Gain as a function of pump power

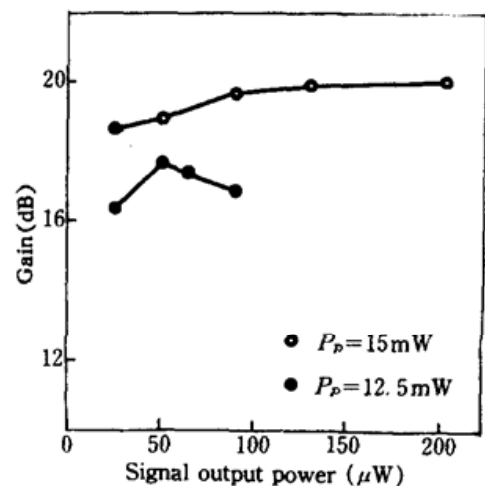


Fig. 3 Gain as a function of signal output power for different pump powers

3.2 小信号增益与信号功率的关系

图 3 给出了 EDFA #2 的小信号增益与信号功率的关系曲线。所用掺铒光纤长度为 7.6 m, 对泵浦光和信号光(1.537 μm)的吸收分别为 1.44 dB/m 和 2.25 dB/m, 模场直径 4.3 μm 。可以看到, 放大器增益基本上不随信号功率而变, 处于小信号放大状态。该放大器小信号增益达 20 dB, 增益系数为 1.3 dB/mW。与 EDFA #1 相比, EDFA #2 所用掺杂光纤长度较短而增益和增益系数较高, 这主要是由于后者模场直径小, 光功率密度大, 加之掺铒浓度较高(可以从吸收系数较大得出), 使被激发到上能级的粒子数较多所致。

图 4 所示为 EDFA #3 的增益曲线。掺铒光纤长 10 m, 对泵浦光和信号光(1.549 μm)的吸收分别为 0.73 dB/m 和 0.88 dB/m。掺杂光纤模场直径为 2.96 μm , 数值孔径为 0.237。该放大器小信号增益达 24.2 dB。

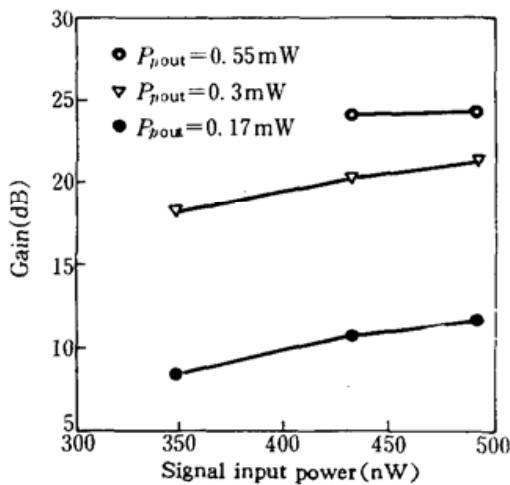


Fig. 4 Gain as a function of signal input power

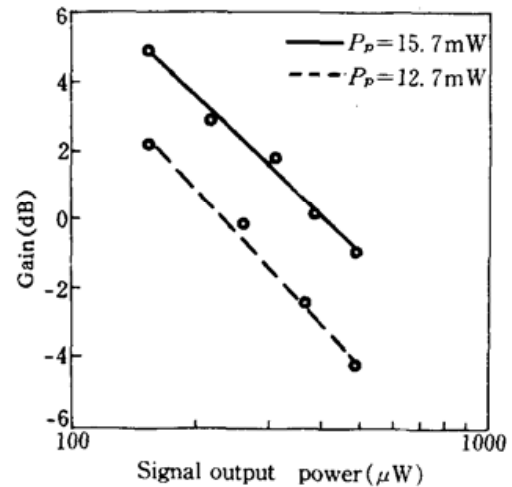


Fig. 5 Gain as a function of signal output power for high signal input power

3.3 大信号增益与信号的关系

图 5 所示为 EDFA #1 在大信号输入时增益与信号功率之间的关系, 从图中可以看到, 增益随信号光功率的增大而减小, 这是因为光纤掺铒浓度低, 使被泵浦光激发到上能级的粒子数有限, 从而出现饱和现象。

中国科学院半导体所为实验提供了激光器, 机电部第 46 研究所提供了掺铒光纤, 谨此致谢。

参 考 文 献

- 1 E. Desurvire *et al.*, *Opt. Lett.*, **12**(11), 888(1987)
- 2 J. R. Simpson *et al.*, *Optical Amplifier and Their Applications*, 1991, WB1
- 3 R. J. Mears *et al.*, *Electr. Lett.*, **23**(19), 1026(1987)
- 4 R. I. Laming *et al.*, *Opt. Lett.*, **13**(12), 1084(1988)
- 5 彭江得 *et al.*, *高技术通讯*, 10(1991)
- 6 D. Marcuse, *Bell. Syst. Tech. J.*, 1977, 703