

文章编号: 0253-2239(2003)06-0697-5

# Er<sup>3+</sup>-Yb<sup>3+</sup> 共掺磷酸盐玻璃(LGS-L)波导放大器设计

陈海燕<sup>1,2</sup> 刘永智<sup>1</sup> 戴基智<sup>1</sup> 杨亚培<sup>1</sup> 官周国<sup>1,3</sup>

1 电子科技大学光电信息学院宽带光纤传输与通信系统技术国家重点实验室, 成都 610054  
2 江汉石油学院理学院, 荆州 434023  
3 西南技术物理研究所, 成都 610041

**摘要:** 就作者自行研制的 Er<sup>3+</sup>-Yb<sup>3+</sup> 共掺磷酸盐玻璃(LGS-L), 用重叠积分方法进行放大器设计。在 Er<sup>3+</sup>、Yb<sup>3+</sup> 掺杂浓度分别为 1.51 × 10<sup>26</sup> ions/m<sup>3</sup>、19.1 × 10<sup>26</sup> ions/m<sup>3</sup> 的情况下可获得 2.6 dB/cm 的增益; Er<sup>3+</sup> 掺杂浓度为 2 × 10<sup>26</sup> ions/m<sup>3</sup> 时, 在 4 cm 的器件上可获得超过 15 dB 的增益。此外, 讨论了信号光和抽运光光场强度的横向分布与 Er<sup>3+</sup>、Yb<sup>3+</sup> 横向掺杂浓度分布之间的重叠对放大器增益的影响, 放大器的最佳长度, 以及在 980 nm 抽运下, Yb<sup>3+</sup>、Er<sup>3+</sup> 掺杂浓度比对放大器增益的影响。

**关键词:** 导波光学; Er<sup>3+</sup>-Yb<sup>3+</sup> 共掺磷酸盐玻璃; 光波导; 光放大器

中图分类号: TN252; Tn24 文献标识码: A

## 1 引言

近些年来, 工作于 1.55 μm 波段的 Er<sup>3+</sup>-Yb<sup>3+</sup> 共掺磷酸盐玻璃波导放大器(EYCDWA)一直是一个十分活跃的研究课题<sup>[1~4]</sup>。较之掺 Er<sup>3+</sup> 光波导放大器<sup>[5]</sup>, EYCDWA 具有很高的转换效率和很宽的抽运带宽。法国 Teem Photonics 公司已成功研制出高增益的 Er<sup>3+</sup>-Yb<sup>3+</sup> 共掺磷酸盐玻璃波导放大器, 并在此基础上研制出无损分路器。中国科学院上海光机所<sup>[6,7]</sup>和电子科技大学-昂纳光通信光电研发中心、宽带光纤传输与通信系统国家重点实验室集成光学与新型光电子器件研究室<sup>[8]</sup>已研制出高性能的 Er<sup>3+</sup>-Yb<sup>3+</sup> 共掺磷酸盐玻璃材料。本文就我们自行研制的 Er<sup>3+</sup>-Yb<sup>3+</sup> 共掺磷酸盐玻璃材料进行放大器设计。

## 2 理论模型

图 1 为 Er<sup>3+</sup>、Yb<sup>3+</sup> 共掺系统的能级及相互间能量转换和上转换示意图。

磷酸盐玻璃基质中较大的声子能量增加了从 <sup>4</sup>I<sub>11/2</sub> → <sup>4</sup>I<sub>13/2</sub> 的跃迁几率, 这阻止了从 Er<sup>3+</sup> → Yb<sup>3+</sup> 的能量反向传递<sup>[9]</sup>。EYCDWA 中的 Yb<sup>3+</sup> 吸收大部分抽运光, 然后将能量通过弛豫过程快速传给邻

近的 Er<sup>3+</sup>。在 980 nm 波长光抽运下, 忽略放大自发辐射(ASE)与 Er<sup>3+</sup> 能级 <sup>4</sup>I<sub>11/2</sub> 和 <sup>4</sup>I<sub>9/2</sub> 上的离子数, Er<sup>3+</sup>-Yb<sup>3+</sup> 耦合多能级系统的传输速率方程<sup>[2]</sup>用重叠积分方法<sup>[5]</sup>可写为<sup>[10]</sup>

$$-\frac{\sigma_{as}}{h\nu_s} I_s(z) n_1(z) \Gamma_s - \frac{\sigma_{ap}}{h\nu_p} I_p(z) n_1(z) \Gamma_p +$$

$$A_{21} n_2(z) + \frac{\sigma_{es}}{h\nu_s} I_s(z) n_2(z) \Gamma_s +$$

$$C_{up} n_2^2 - C_{cr} n_1(z) n_6(z) = 0, \quad (1)$$

$$n_1(z) + n_2(z) = \rho, \quad (2)$$

$$-\frac{\sigma_{ap}^{Yb}}{h\nu_p} I_p(z) n_5(z) \Gamma_p + \frac{\sigma_{ep}^{Yb}}{h\nu_p} I_p(z) n_6(z) \Gamma_p +$$

$$A_{65} n_6(z) + C_{cr} n_1(z) n_6(z) = 0, \quad (3)$$

$$n_5(z) + n_6(z) = N_{Yb}, \quad (4)$$

式中 A<sub>21</sub>、A<sub>65</sub> 是自发辐射跃迁几率, A<sub>21</sub> = 1/τ<sub>21</sub>, A<sub>65</sub> = 1/τ<sub>65</sub>, τ<sub>21</sub> 和 τ<sub>65</sub> 分别是 Er<sup>3+</sup> 能级 <sup>4</sup>I<sub>13/2</sub> 和 Yb<sup>3+</sup> 能级 <sup>2</sup>F<sub>5/2</sub> 上的荧光寿命, ρ 和 N<sub>Yb</sub> 分别为 Er<sup>3+</sup> 与

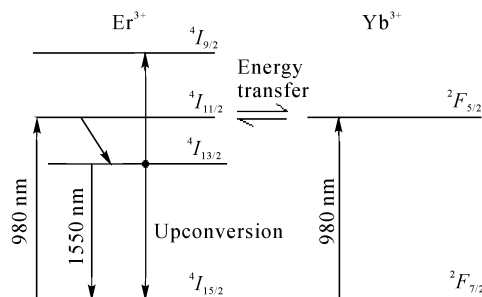


Fig. 1 Energy-level diagram of the Yb<sup>3+</sup>-Er<sup>3+</sup>-codoped system

E-mail: uestcchy0470@sina.com.cn

收稿日期: 2002-03-29; 收到修改稿日期: --

$\text{Yb}^{3+}$  的总的粒子浓度。 $n_1$ 、 $n_2$  分别是  $\text{Er}^{3+}$  能级  $^4I_{15/2}$ 、 $^4I_{13/2}$  上的离子数密度,  $n_5$ 、 $n_6$  分别是  $\text{Yb}^{3+}$  能级  $^2F_{7/2}$  和能级  $^2F_{5/2}$  上的离子数密度。 $C_{\text{up}}$ 、 $C_{\text{cr}}$  分别是上转换系数和从  $\text{Yb}^{3+}$  到  $\text{Er}^{3+}$  的能量传递过程的能量交叉弛豫系数,  $\sigma_{\text{as}}$ 、 $\sigma_{\text{es}}$  分别是铒离子对频率为  $\nu_s$  的信号光的吸收和发射截面;  $\sigma_{\text{ap}}$  是铒离子对频率为  $\nu_p$  的抽运光的吸收截面;  $\sigma_{\text{ap}}^{\text{Yb}}$ 、 $\sigma_{\text{ep}}^{\text{Yb}}$  分别是  $\text{Yb}^{3+}$  离子对频率为  $\nu_p$  的抽运光的吸收和发射截面;  $I_s$ 、 $I_p$  分别是信号光和抽运光的强度,  $h\nu_p$ 、 $h\nu_s$  分别表示抽运光和信号光光子的能量,  $\Gamma_p$  和  $\Gamma_s$  分别表示抽运光和信号光光场强度的横向归一化分布与铒离子掺杂浓度横向归一化分布之间的重叠积分。

在前向抽运方式下, 设光波导对信号光和抽运光的损耗分别为  $\alpha$  和  $\beta$ , 描述 EYCDWA 系统的传输方程为<sup>[2]</sup>

$$\frac{dP_p(z)}{dz} = -\beta P_p(z) - \Gamma_p [\sigma_{\text{ap}} n_1(z) + \sigma_{\text{ap}}^{\text{Yb}} n_5(z) - \sigma_{\text{ep}}^{\text{Yb}} n_6(z)] P_p(z), \quad (5)$$

$$\frac{dP_s(z)}{dz} = -\alpha P_s(z) + [\sigma_{\text{es}} n_2(z) - \sigma_{\text{as}} n_1(z)] \Gamma_s P_s(z), \quad (6)$$

和边界条件

$$P_p(0) = P_{p0}, \quad P_s(0, \nu_s) = P_{s0}(\nu_s), \quad (7)$$

式中  $P_{p0}$  为抽运光的入射光功率,  $P_{s0}$  为信号光的入射光功率,  $P_p$ 、 $P_s$  分别为放大器中, 沿光传播方向上任一位置的抽运光、信号光功率。

利用(7)式通过对方程(1)~(6)进行数值计算, 可求得有关参量对器件增益特性影响的关系曲线。计算过程为: 先由初始条件(7)式和关系式  $I_i = P_i/A$  ( $i = p, s$ ;  $A$  为光波导的横截面面积), 根据速率方程(1)~(4)式可求出该位置掺杂离子有关能级上的离子数  $n_1$ 、 $n_2$ 、 $n_5$  和  $n_6$ , 然后根据(5)式和(6)式用牛顿迭代法可以求得下一位置的信号光和抽运光功率。然后代入(1)式~(4)式求该位置的离子数  $n_1$ 、 $n_2$ 、 $n_5$  和  $n_6$ , 然后代入(5)式和(6)式求下一位置的信号光和抽运光功率, 依次循环, 直到器件末端。利用式增益  $G = 10 \lg P_s(z)/P_{s0}$ , 求出放大器增益。

数值计算所用的有关参量为<sup>[8]</sup>

$$\begin{aligned} \sigma_{\text{ap}} &= 2.58 \times 10^{-25} \text{ m}^2, \quad \sigma_{\text{as}} = 6.8 \times 10^{-25} \text{ m}^2, \\ \sigma_{\text{es}} &= 7.9 \times 10^{-25} \text{ m}^2, \quad \tau_{21} = 8.50 \text{ ms}, \\ \rho &= 1.51 \times 10^{26} \text{ m}^{-3}, \quad A = 4.0 \times 10^{-11} \text{ m}^2, \\ C_{\text{up}} &= 8.0 \times 10^{-24} \text{ m}^3/\text{s}, \quad N_{\text{Yb}} = 1.95 \times 10^{27} \text{ m}^{-3}, \\ C_{\text{cr}} &= 2.1 \times 10^{-22} \text{ m}^3/\text{s}, \quad \sigma_{\text{ap}}^{\text{Yb}} = 1.0 \times 10^{-24} \text{ m}^2, \end{aligned}$$

$$\sigma_{\text{ep}}^{\text{Yb}} = 1.0 \times 10^{-24} \text{ m}^2, \quad \tau_{65} = 2.0 \text{ ms}.$$

信号光波长为 1535 nm, 抽运光波长为 980 nm。设  $\alpha = \beta = 1 \text{ dB/cm}$ ,  $P_{s0} = -30 \text{ dBm}$ , 放大器长度为 4 cm, 重叠积分  $\Gamma_p = \Gamma_s = 0.8$  (除特殊说明外)。

### 3 $\text{Er}^{3+}$ - $\text{Yb}^{3+}$ 共掺磷酸盐玻璃波导放大器的设计

#### 3.1 $\text{Er}^{3+}$ 掺杂浓度的考虑

图 2 为不同光波导长度下, 放大器的小信号增益随抽运光功率变化的关系曲线。从图上可看出, 在一定的  $\text{Er}^{3+}$ - $\text{Yb}^{3+}$  掺杂浓度下 ( $\rho = 1.51 \times 10^{26} \text{ m}^{-3}$ ,  $N_{\text{Yb}} = 1.95 \times 10^{27} \text{ m}^{-3}$ ), 光波导越长, 抽运阈值功率越大, 这是由于随着光波导长度的增加, 光波导对信号光的吸收增加, 为了使信号光通过光波导后功率保持不变, 则应增加抽运光功率, 即抽运光的阈值功率增加; 在一定的抽运光功率 (大于阈值功率) 下, 光波导长度越长, 信号光增益越大, 这说明当铒离子的掺杂浓度较低时, 为了获得较高的小信号增益, 光波导的长度应做得长一些, 这对于平面光波导放大器来说是可行的, 但对于实际应用中的沟道光波导放大器来说就存在一些问题, 如果沟道光波导较长的话, 会给光刻涂胶工艺带来一定的难度, 沟道光波导长度一般取 3~4 cm。在该浓度配比下, 可获得 2.6 dB/cm 的增益。

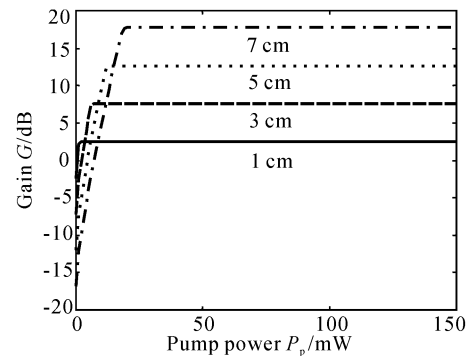


Fig. 2 Gain vs pump power at different length of optical guide

图 3 为一定光波导长度和  $\text{Yb}^{3+}$  掺杂浓度、不同  $\text{Er}^{3+}$  掺杂浓度下, 放大器的小信号增益随抽运光功率变化的关系曲线。从图上可看出, 随着  $\text{Er}^{3+}$  掺杂浓度的增加, 抽运光的阈值功率 ( $P_{\text{pth}}$ ) 增大, 这是由于随着  $\text{Er}^{3+}$  掺杂浓度的增加,  $\text{Er}^{3+}$  对信号光的吸收增加, 为了使信号光通过光波导后功率保持不变, 则应增加抽运光功率; 从图上还可以看出在一定的抽

运光功率( $>P_{\text{pth}}$ )下,随着  $\text{Er}^{3+}$  掺杂浓度的提高,增益越大,这是由于  $\text{Er}^{3+}$  掺杂浓度的提高,反转的离子数增加,结果增益增加。由于磷酸盐是  $\text{Er}^{3+}$  离子掺杂的良好基质,高浓度  $\text{Er}^{3+}$  离子掺杂是这一材料的优点。实验研究表明<sup>[11]</sup>  $\text{Er}^{3+}$  离子掺杂浓度高达  $3.7 \times 10^{26} \text{ m}^{-3}$  都不会引起严重的上转换。然而,由于随着  $\text{Er}^{3+}$  掺杂浓度的增高,抽运光的阈值功率也相应增加,因此,实际工作中应根据抽运光源的功率来选择  $\text{Er}^{3+}$  的掺杂浓度。

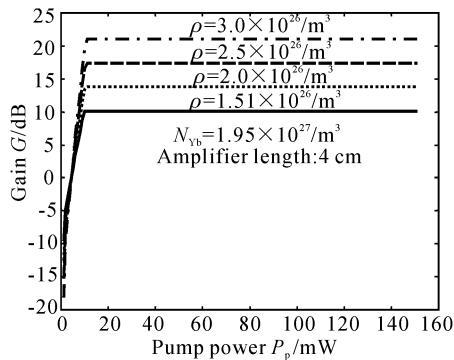


Fig. 3 Gain vs pump power at different  $\text{Er}^{3+}$ -doped concentrations

图 4 为在一定的波导长度、 $\text{Yb}^{3+}$  掺杂浓度和抽运功率下,放大器的小信号增益随  $\text{Er}^{3+}$  离子掺杂浓度变化的关系曲线。从图上可看出,随着  $\text{Er}^{3+}$  掺杂浓度的增加,放大器的小信号增益大大提高。因此,为了在厘米量级的波导上获得较高的小信号增益, $\text{Er}^{3+}$  的高浓度掺杂是必须的。从图上还可以看出,增益随  $\text{Er}^{3+}$  浓度变化的线性较好(与 EDWA 相比较),这表明  $\text{Yb}^{3+}$  离子的引入大大地减小了上转换带来的负面影响。

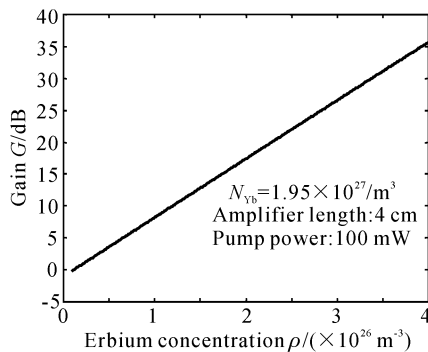


Fig. 4 Gain vs  $\text{Er}^{3+}$ -doped concentration

### 3.2 放大器的优化长度

图 5 为在一定的  $\text{Er}^{3+}$ - $\text{Yb}^{3+}$  掺杂浓度下( $\rho = 1.51 \times 10^{26} \text{ m}^{-3}$ ,  $N_{\text{Yb}} = 1.95 \times 10^{27} \text{ m}^{-3}$ ),不同抽运功率下,放大器的小信号增益随放大器长度变化的

关系曲线。从图上可看出,在一定抽运功率下,随着放大器长度的增加,放大器的小信号增益并不是线性地增加,存在一个最佳长度( $L_{\text{max}}$ ),当放大器的长度超过  $L_{\text{max}}$  时,放大器的增益不仅不增加,反而减小,这是由于当抽运光达到  $L_{\text{max}}$  时已经减小到零,超过  $L_{\text{max}}$  后,光波导将呈只是吸收信号光的状态,因此,经过  $L_{\text{max}}$  点后,放大器的增益减小。

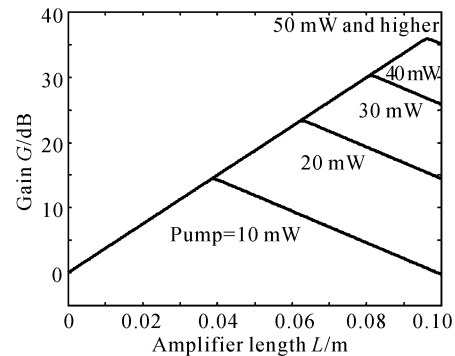


Fig. 5 Gain vs amplifier length

### 3.3 光场强度横向分布与掺杂离子浓度分布之间的重叠

图 6 为放大器的小信号增益随重叠积分变化的函数关系曲线。从图中可以看出,在一定的抽运功率下、光波导中信号光光场与铒离子浓度分布之间的重叠一定时,随着光波导中抽运光的光场分布和铒离子分布之间的重叠的增加,信号光的增益很快就达到饱和状态,这说明  $\text{Yb}^{3+}$  离子的引入大大地提高了 EDWA 的抽运效率;当光波导中抽运光的

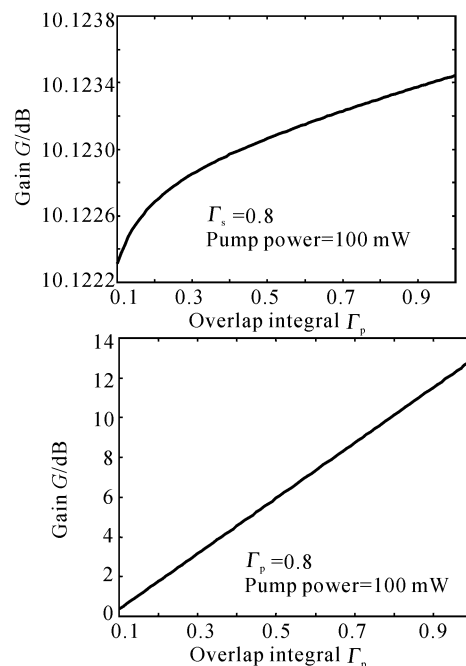


Fig. 6 Gain vs overlapping integral

光场与铒离子浓度分布之间的重叠一定时,随着波导中信号光光场分布和铒离子分布之间的重叠的增加,信号光的增益逐渐增加,这是由于在一定抽运光功率下,随着信号光的光场分布和铒离子分布之间的重叠的增加,波导中铒离子对信号光的吸收效率增加,使得更多的铒离子参与激光放大,同时也说明在制作 EYCDWA 时获得较好的信号光横向光场分布是非常重要的。

### 3.4 Yb<sup>3+</sup>, Er<sup>3+</sup> 掺杂浓度比率的考虑

图 7 为在一定的铒离子浓度 ( $\rho = 1.51 \times 10^{26} \text{ m}^{-3}$ )、抽运光波长为 980 nm (功率为 100 mW)、放大器长度为 4 cm 的条件下, Yb<sup>3+</sup>/Er<sup>3+</sup> 掺杂浓度的比率对放大器小信号增益影响的关系曲线。从图中可以看出, Yb<sup>3+</sup>/Er<sup>3+</sup> 掺杂浓度的比率对放大器增益特性的影响较大。我们这里只考虑了单一的抽运波长且没有考虑高浓度 Yb<sup>3+</sup> 掺杂下的 Yb<sup>3+</sup> 的聚集和上转换。研究表明<sup>[12]</sup> Yb<sup>3+</sup>/Er<sup>3+</sup> 共掺放大系统的增益特性与抽运光的波长(800~1100 nm)有关,当抽运光波长大于 980 nm 时 Yb<sup>3+</sup>-Er<sup>3+</sup> 的比率大于 10 较好,而当抽运光的波长小于 980 nm 时, Yb<sup>3+</sup>-Er<sup>3+</sup> 的比率取 4~5 较好,这主要是由于受 Yb<sup>3+</sup> 的放大自发辐射的影响。此外,由于 Yb<sup>3+</sup> 离子在高浓度掺杂下也会和 Er<sup>3+</sup> 一样发生聚集,从而降低了 Yb<sup>3+</sup> 离子的敏化作用,因此 Yb<sup>3+</sup>-Er<sup>3+</sup> 的比率也不宜太高,在 980 nm 波长光抽运时 Yb<sup>3+</sup> 和 Er<sup>3+</sup> 的比率取 8~12 较好。

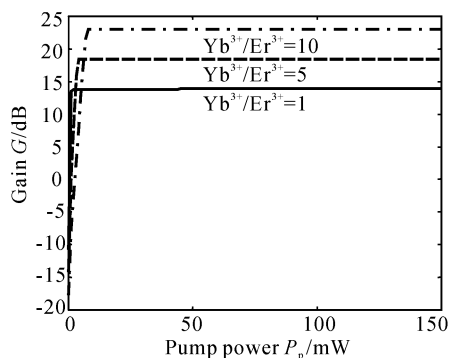


Fig. 7 Effects of Yb<sup>3+</sup>-Er<sup>3+</sup>-doped ratio on gain

### 结论

1) 在现有浓度配比下<sup>[7]</sup>,对 4 cm 长的器件来说,理论上可获得 2.6 dB/cm 的增益。要获得 15 dB 以上的小信号增益,放大器的长度要达到 7 cm 以上。为了在 4 cm 长的放大器上获得 15 dB 以上的增益,Er<sup>3+</sup> 的掺杂浓度应为  $2.0 \times 10^{26} \text{ m}^{-3}$  以上。Er<sup>3+</sup> 浓度取  $(2 \sim 2.5) \times 10^{26} \text{ ion/m}^3$  较好。实际应用

中应根据抽运光波长来选择 Yb<sup>3+</sup> 和 Er<sup>3+</sup> 的掺杂浓度之比,在 980 nm 波长光抽运时 Yb<sup>3+</sup> 和 Er<sup>3+</sup> 的比率取 8~12 较好。

2) 通过优化光波导结构可提高 Er<sup>3+</sup>-Yb<sup>3+</sup> 共掺磷酸盐玻璃波导放大器系统的增益。除了选用性能优良的玻璃基质外,制作性能优良的 Er<sup>3+</sup>、Yb<sup>3+</sup> 共掺光波导(EYCDW)是关键,以降低波导损耗和提高光场的横向分布与掺杂离子浓度之间的重叠,采用 K<sup>+</sup>, Ag<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup> 混合  $\Leftrightarrow$  Na<sup>+</sup> 交换是一种较好的方法<sup>[9]</sup>。

由于篇幅关系,本文未给出实验结果,有关实验结果我们将另文报道。

### 参 考 文 献

- 1 Barbier D, Bruno P, Cassagnettes C *et al.*. Net gain of 27 dB with a 8.6-cm-long Er-Yb-doped glass-planar-amplifier. *Opt. Fiber Commun. San Jose, California. Conf., OFC '98 Technical Digest.* 45~46
- 2 Shoostari A, Touam T, Najafi S I. Yb<sup>3+</sup> Sensitized Er<sup>3+</sup>-doped waveguide amplifiers: A theoretical approach. *Proc. SPIE*, 2000, **3278**:149~165
- 3 Iannone C, Reichmann K C, Birk M *et al.*. A 160-km transparent metro WDM ring network featuring cascaded erbium-doped waveguide amplifiers. *OSA Optical Fiber Commun. (OFC) Proc.*, Anaheim, CA 2001. 17~22
- 4 Wong S F, Pun E Y B, Chung P S. Er<sup>3+</sup>-Yb<sup>3+</sup> codoped phosphate glass waveguide amplifier using Ag<sup>+</sup>-Li<sup>+</sup> ion exchange. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 2002, **14**(1): 80~82
- 5 Chen Haiyan, Liu Yongzhi, Guan Zhouguo *et al.*. Rate equation analysis of erbium-doped optical waveguide amplifiers. *Acta Optica Sinica (光学学报)*, 2002, **22**(2): 174~177 (in Chinese)
- 6 Liu Zhuping, Dai Shixun, Hu Lili *et al.*. Study on spectroscopy of Yb<sup>3+</sup> and Er<sup>3+</sup> co-doped phosphate glasses. *Chin. J. Lasers (中国激光)*, 2001, **A28**(5):467~470 (in Chinese)
- 7 Liu Zhuping, Hu Lili, Dai Shixun *et al.*. Er<sup>3+</sup>, Yb<sup>3+</sup> co-doped phosphate glass laser pumped by LD. *Acta Optica Sinica (光学学报)*, 2002, **22**(9): 1129~1131 (in Chinese)
- 8 Guan Zhouguo. *Study and Fabrication of Er<sup>3+</sup>-Yb<sup>3+</sup> Co-Doped Phosphate Glasses (Er<sup>3+</sup>/Yb<sup>3+</sup> 共掺磷酸盐玻璃研究与制作)*. [MS Dissertation]; Chengdu: University of Electronic Science and Technology of China, 2002 (in Chinese)
- 9 Artemev E F, Murzin A G, Federov Y K *et al.*. Some characteristics of population inversion of the <sup>4</sup>I<sub>13/2</sub> level of erbium-ions in ytterbium-erbium glasses. *Sov. J. Quant. Electron.*, 1981, **11**(8):1266~1268
- 10 Chen Haiyan. *Design and Fabrication Study of Er<sup>3+</sup>-Yb<sup>3+</sup> Co-Doped Phosphate Glass Waveguide Amplifier (Er<sup>3+</sup>/Yb<sup>3+</sup> 共掺磷酸盐玻璃波导放大器的设*

- 计与制作研究). [MS Dissertation]: Chengdu: University of Electronic Science and Technology of China, 2002 (in Chinese)
- 11 Honkanen S, Ohtsuki T, Jiang S. High Er concentration phosphate glasses planar waveguide amplifiers. *Proc. SPIE*, 1997, **2996**:32~40
- 12 Lester C, Bjarklev A, Rasmussen T *et al.*. Modeling of  $\text{Yb}^{3+}$ -sensitized  $\text{Er}^{3+}$ -doped silica waveguide amplifiers. *J. Lightwave Technol.*, 1995, **13**(5):740~743

## Design of $\text{Er}^{3+}$ - $\text{Yb}^{3+}$ Co-Doped Phosphate Glass (LGS-L) Waveguide Amplifier

Chen Haiyan<sup>1,2</sup> Liu Yongzhi<sup>1</sup> Dai Jizhi<sup>1</sup> Yang Yapei<sup>1</sup> Guan Zhouguo<sup>1,3</sup>

- 1 College of Opto-Electronic Information, National Key Laboratory of Broadband Optical Fiber Transmission and Communication Network Technology, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 610054
- 2 School of Science, Jiangnan Petroleum University, Jingzhou 434023
- 3 South-West Institute of Technical Physics, Chengdu 610041

(Received 29 March 2002; revised 20 May 2002)

**Abstract:** Theoretic design of  $\text{Er}^{3+}$ - $\text{Yb}^{3+}$  co-doped phosphate glass (LGS-L) waveguide amplifier was performed by a rate-equation formalism with overlapping integral method. Numerical results demonstrate that, for the  $\text{Er}^{3+}$ - $\text{Yb}^{3+}$  co-doped phosphate glass (LGS-L) fabricated by authors with an  $\text{Er}^{3+}$  concentration of  $1.51 \times 10^{26}$  ion/ $\text{m}^3$  and a  $\text{Yb}^{3+}$  concentration of  $19.1 \times 10^{26}$  ions/ $\text{m}^3$ , a gain of 2.6 dB/cm can be obtained, and more than 15 dB gain at an  $\text{Er}^{3+}$  concentration of  $2.0 \times 10^{26}$  ions/ $\text{m}^3$  for amplifier length of 4 cm is possible. Furthermore, effects of the overlapping between lateral distribution of optical fields (signal and pump) and that of  $\text{Er}^{3+}$  ( $\text{Yb}^{3+}$ ) co-doped on gain and optimum length and effects of the ratio of  $\text{Yb}^{3+}$  to  $\text{Er}^{3+}$  doped on gain at a pumping wavelength of 980 nm are discussed.

**Key words:** guiding wave optics;  $\text{Er}^{3+}$ - $\text{Yb}^{3+}$  co-doped phosphate glass; optical waveguide; optical amplifier