

文章编号: 0258-7025(2002)Supplement-0390-03

掺铒光波导放大器材料

官周国^{1,2} 陈海燕^{2,3} 梁志¹ 刘永智²

{	¹ 西南技术物理研究所, 成都 610041
	² 电子科技大学光电子技术系, 成都 610054
	³ 江汉石油学院理学院, 荆州 434102

摘要 掺铒光波导放大器在工作波长为 1.5 μm 的集成光通讯中有广泛的应用前景。它具有高增益, 抽运阈值低, 器件尺寸小, 易于集成的特点。目前用于光波导放大器的掺铒材料有四类: 氧化物薄膜(Al₂O₃)、有机物和单晶硅、无机玻璃等。

关键词 光波导, 放大器, 材料, 铒离子

中图分类号 TN252 文献标识码 A

Materials for Erbium-doped Optical Waveguide Amplifiers

GUAN Zhou-guo^{1,2} CHEN Hai-yan^{2,3} LIANG Zhi¹ LIU Yong-zhi²

{	¹ Southwest Institute of Technology Physics, Chengdu 610041
	² Department of Opto-Electronics Technology, UESTC, Chengdu 610054
	³ School of Science, Jiangnan Petroleum University, Jingzhou 434102

Abstract Erbium-doped waveguide amplifiers (EDWA's) operating at 1.5 μm wavelength have the characteristics of higher gain, lower pump threshold, smaller dimension and apt for integration. They have wide application in integrated optical communication system. At present, Materials for EDWA's are oxide film, organic mixture, silica and glass.

Key words optical waveguide, amplifier, material, erbium ion

1 引言

掺铒光波导材料是 1.5 μm 波段光通讯窗口的光放大增益介质^[1-3], 在光通讯技术领域引起了人们极大的兴趣^[4]。Er³⁺ 掺入固体介质中, 其外层能级 4f 的电子从第一激发态⁴I_{13/2} 到基态⁴I_{15/2} 产生 1.53 μm 激光。为了在厘米量级的器件上获得相当大的增益, 铒离子的高浓度掺杂是必须的。然而, 高

浓度掺杂带来了铒离子的聚集而发生上转过程(如图 1), 即相邻的两个 Er 离子间通过偶极子相互作用进行能量交换, 其中一个到基态, 同时另一个激发到⁴I_{9/2} 能级, 导致器件特性的下降。上转系数是光波导放大器的重要物理参数之一。本文综述了目前用于光波导放大器的有关材料。

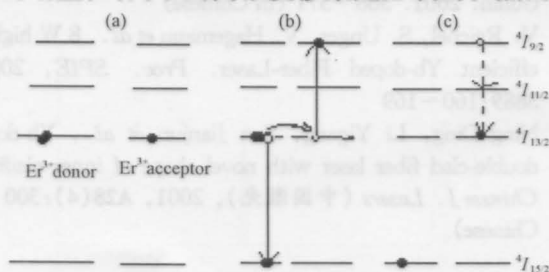


图 1 掺铒波导中两个铒离子的上转换

Fig. 1 Two particle upconversion in Erbium-doped waveguide

2 掺铒光波导材料

2.1 掺铒氧化物光波导材料

1991 年 Smit 等研究掺铒的 Al₂O₃ 光波导材料, 并制作出了放大器。为制作这种光波导, 首先在 SiO₂ 衬底上生长一层 Si, 再用溅射方法沉积一层 600 nm 的 Al₂O₃。然后采用离子注入方法引入 Er³⁺ 离子。波导用 Ar 离子刻蚀, 最后沉积一层 SiO₂, 输入输出断面抛光。制作出长 4 cm、铒离子浓度 0.3wt.-% 的光波导放大器。用波长 1.48 μm

10 mW 抽运, 输出波长 1.53 μm 获得增益 4.0 dB/cm, 净增益 2.3 dB/cm。基质材料中的上转换过程可用形成波导的衰变率来描述, 当铒离子浓度 $N_{\text{Er}} = 0.3 \text{ wt.} - \%$ 时, 结果见表 1^[5]。

表 1 Er^{3+} 在 Al_2O_3 中的上转换效应

Table 1 Upconversion effects of Er^{3+} in Al_2O_3

	${}^4 I_{13/2}$ decay rate
without upconversion ($C_{\text{up}} = 0$)	130
Er^{3+} ion-implanted guide ($C_{\text{up}} = 4 \times 10^{-18} \text{ cm}^3/\text{s}$)	700
$\text{Er}_2\text{O}_3, \text{Al}_2\text{O}_3$ ion sputtering ($C_{\text{up}} \approx 4 \times 10^{-15} \text{ cm}^3/\text{s}$)	$\approx 10^5$

在约束波导中, 以上给出的上转换参数取决于是否获得净增益。典型铒离子的受激发射截面 $3 \times 10^{-21} \text{ cm}^2$, 在波导中相应的功率密度大于 $50 \text{ kW}/\text{cm}^2$ 。在 Al_2O_3 中 $1 \mu\text{m} \times 1 \mu\text{m}$ 的波导注入能量几 mW 可获得增益。而用离子交换法制作的石英玻璃波导, $5 \mu\text{m} \times 5 \mu\text{m}$ 波导要获得增益需要 100 mW 注入能量。

2.2 掺铒有机波导放大器材料

有机光波导技术发展很快, 有机光纤越来越多地用于短距离光连接。基于有机薄膜集成光学器件也变得越来越重要。人们最大的兴趣在于制作掺铒的有机光波导放大器。但是典型的化学湿选法铒盐是不溶于有机物溶剂的。要解决这个问题, 需要两方面研究。一方面是掺铒有机化合物: 合成一种含金属离子铒离子的有机化合物, 并且容易溶于有机基质中。在这种化合物 Er^{3+} 离子可以直接激发通过芳香环, 具有较高的吸收截面。 Er^{3+} 的荧光光谱增宽, 荧光半宽度达 70 nm, 具有高增益带宽。但是含铒离子的化合物产生强烈的浓度淬灭, 估计是由于 C—H 键或者是 O—H 键的振动态所致, 选用氟化物溶解, 浓度淬灭下降, 但 1.53 μm 最长荧光寿命 5.4 μs , 远远低于预计 4 ms 的荧光寿命。

极高的 PL 光致发光衰减率, 很高的抽运阈值功率。为解决这些问题, 在含 Nd^{3+} 化合物中加入敏化剂。能量传递给含 Nd^{3+} 的三联苯化合物。敏化离子被有效激活(在波长为 500 nm 截面大于 10^{-7} cm^2), 然后快速在上能级弛豫, 能量传递给三能级 Nd^{3+} 离子, 激活 ${}^4 S_{3/2}$ 和 ${}^4 F_{9/2}$ 能级, 产生 890 nm, 1060 nm, 1340 nm 荧光。分子内部的能量高达

10^{-7} s^{-1} 。这些化合物加入全氟化物形成的有机波导在 1.5 μm 的损耗为 0.2 dB/cm, 可溶解重量达 10 wt. - %。光降解与波导层中的氧有关, 结果漂白敏化离子, 这个问题可以通过波导制作工艺解决。另一方面是掺铒复合纳米光波导: 一种交替掺铒有机波导用掺铒 SiO_2 胶体纳米材料嵌入有机物中, 用这种方法有两种材料: SiO_2 作为铒的载体, 容易和有机物聚合。用四乙基硅烷湿法制作 360 nm 直径 SiO_2 胶体, 注入铒离子浓度为 0.2~1.1 wt. - % 波长为 488 nm 激发光谱, 荧光寿命高达 17 ms, 相应量子效率高达 80%。长寿命部分由于注入硅胶周围大多空气, 低折射率, 光强低导致低激发率。如果将硅胶嵌入高折射率差形成很好的约束模式波导, 计算用仅 10 mW 抽运 3 cm 长的波导光增益可达 4 dB。计算假设上转换效率为 $3 \times 10^{-18} \text{ cm}^3/\text{s}$, 与钠玻璃相似。

掺铒离子注入有机化合物中形成有机波导, 在这些有机物中, 1.5 μm 的发射带宽达 70 nm, 荧光寿命长, 有的高达 17 ms, 由于其振动耦合量子效率低, 敏化可增加激发效率。掺 Er^{3+} 硅胶注入有机物中, 形成纳米结构材料可克服浓度淬灭。

2.3 掺铒硅波导放大器材料

硅半导体材料, 是人们研究得最多的材料之一, 这些年的研究获得了许多硅的特性参数。但它不常用于发光技术。硅是非常好的波导材料。在 1.5 μm 附近的光几乎全部透过。如果将高浓度的激活离子 Er^{3+} 掺入单晶硅中, 就能制作出电抽运掺铒光放大器。用 488 nm 激发, 在单晶硅表面掺铒层获得 1.53 μm 荧光。在 SiO_2 中用 Yb^{3+} 或 Si 量子点敏化增加了抽运效率。硅网络结构能制作出增益高达 4.1 dB/cm 的光放大器。

硅在 1.5 μm 附近时有希望制作电抽运光放大器。掺铒硅单晶中明显地观察到 1.5 μm 荧光, 但在室温下, 后向传输产生强烈的浓度淬灭。使用先进的纳米技术制作的 Si, 可制作非常小的光子晶体波导。

2.4 掺铒玻璃波导放大器材料

含有 $\text{Na}_2\text{O}, \text{La}_2\text{O}_3, \text{Er}_2\text{O}_3, \text{Al}_2\text{O}_3, \text{P}_2\text{O}_5$ 等多组分磷酸盐玻璃波导材料, 具有低的上转换效应。它是 Er^{3+} 的最好的基质之一。它的上转换效应仅 $2 \times 10^{-18} \text{ cm}^3/\text{s}$ 。 Na_2O 作为玻璃修饰体, Al_2O_3 增加材料的化学稳定性, La_2O_3 增加材料折射率。用 21 mW LD 波长为 1480 nm 抽运 1 cm 磷酸盐玻璃波

导获得1.535 μm净增益4.1 dB。

硅酸盐玻璃是制作光波导非常好的材料,其物化性能优越,易与光纤耦合,但其增益低。磷酸盐玻璃是制作高增益光波导放大器的理想材料。荧光寿命较长,受激发射截面大。采用离子交换法制作的波导净增益高,损耗低,制作成本低^[6]。

3 结束语

良好的掺铒光波导材料的研究是光波导放大器的基础。高浓度掺杂和较低的上转系数是衡量该类材料的重要标准。在目前所研究的放大器材料中,磷酸盐玻璃是一种较好的基质材料,也是今后研究的重点。

参 考 文 献

- 1 W. J. Miniscalco. Erbium-doped glasses for fiber amplifiers at 1500 nm. *J. Lightwave Technol.*, 1991, **9**(2):234~238
- 2 E. Desurvire. *Erbium-doped Fiber Amplifiers; Principles and Applications*. John Wiley & Sons, 1994
- 3 Chen Haiyan, Guang Zhouguo, Liu yongzhi. Recent progress in Er-doped optics glass waveguide amplifiers. *Semiconductor Optoelectronics*(半导体光电), 2000, **21**(6):381~383(in Chinese)
- 4 S. Hüffner. *Optical Spectra of Transparent Rear-earth Compounds*. New York: Academic, 1978
- 5 G. N. van den Hoven, E. Snoeks, A. Polman *et al.*. Upconversion in Er-implanted Al₂O₃ waveguides. *J. Appl. Phys.*, 1996, **79**(10):1258~1265