

镱铒共掺 Al_2O_3 薄膜光致发光特性优化*

李建勇¹ 王丽阁² 李成仁¹ 刘中凡³ 宋昌烈¹

(1 大连理工大学物理系, 大连 116024)

(2 大连理工大学三束国家重点实验室, 大连 116024)

(3 大连大学物理系, 大连 116622)

摘 要 用中频磁控溅射方法在 SiO_2/Si 基底上制备了五组固定掺铒浓度不同镱铒浓度比率的镱铒共掺 Al_2O_3 薄膜样品. 室温下测量了薄膜在 $1.430\ \mu\text{m}\sim 1.630\ \mu\text{m}$ 波段范围内光致发光光谱. 研究发现, 镱的掺入有效地提高了三价铒离子的光致发光强度, 最优的镱铒掺杂为: 掺铒 $0.33\ \text{mol}\%$, $\text{Yb}^{3+}:\text{Er}^{3+}=10:1$, 比相同掺铒浓度单掺铒样品光致发光峰值强度增强 40 倍; 确定的掺铒浓度, 有着固定的最佳镱铒浓度比率, 主要是镱铒离子间的正向和反向能量传递相互作用的结果, 但最佳镱铒浓度比率随着掺铒浓度的增加呈现下降趋势; 单掺铒薄膜的光致发光峰值强度随掺铒浓度呈现近 Gauss 形状变化, 而最佳镱铒共掺样品的光致发光峰值强度随掺铒浓度呈现了倒 Gauss 形状变化.

关键词 光波导放大器; $\text{Yb}^{3+}/\text{Er}^{3+}$ 共掺 Al_2O_3 薄膜; 中频磁控溅射; 光致发光光谱

中图分类号 TN383+.2

文献标识码 A

0 引言

掺铒薄膜材料是掺铒光波导放大器 (Erbium Doped Waveguide Amplifier, 简称 EDWA) 研究的基础, 近年来正在成为世界范围内关注的热点之一^[1~5]. 为了实现 EDWA 在小面积上的高增益, 要求薄膜掺杂较高的铒浓度. 但是铒浓度过高会造成合作上转换和激发态吸收等负面影响, 限制了增益的进一步改善^[6]. 另一方面, 铒离子在 $980\ \text{nm}$ 波长附近的吸收截面较小, 抽运效率不高. 因此, 在掺铒基质中共掺杂其它元素 (如镱、银、铕等) 作为敏化剂, 期望可以有效地提高铒离子的光学性能. 其中, 同为镧系的稀土元素镱在 $850\ \text{nm}\sim 1000\ \text{nm}$ 波段范围内都有吸收^[7], 对 $980\ \text{nm}$ 抽运光的吸收截面近似为铒的 10 倍, 而且镱离子 $^2\text{F}_{5/2}\rightarrow ^2\text{F}_{7/2}$ 和铒离子 $^4\text{I}_{11/2}\rightarrow ^4\text{I}_{15/2}$ 能级间存在能量共振转移^[8], 这无疑将为铒离子提供了一种间接、高效的抽运方式. 另外, 相对于其它 Si 、 SiO_2 和各种酸盐玻璃等基质材料, Al_2O_3 是一种较为理想的基底材料. 在 Al_2O_3 中不仅可以实现铒离子高浓度的均匀掺杂, 并且可以增强发光效率及增加荧光寿命^[9].

1991 年, Polman 等用 MeV 离子注入法在氧化的 Si 基底上制作了掺铒 SiO_2 波导薄膜^[10]. 之后近十多年以来, 各种掺铒、镱铒共掺薄膜的制备工艺不断地被

研究和探索, 例如脉冲激光沉积法^[11,12], 溶胶-凝胶法^[13]等. 本课题组在以前的工作中研究了用中频磁控溅射方法制备镱铒共掺薄膜^[14]. 本文在此基础上继续优化工艺参量, 并利用此工艺制备了五组固定掺铒浓度不同镱铒浓度比率的 Al_2O_3 薄膜. 讨论了掺铒浓度、镱铒浓度比率对薄膜光致发光的影响. 研究结果发现: 镱的掺入有效的提高了薄膜的光致发光强度; 对应每一种掺铒浓度, 都有其最佳的镱铒浓度比率, 但是不同的掺铒浓度所对应的最佳镱铒浓度比率有不同; 单掺铒与各组最佳镱铒共掺薄膜光强随掺铒浓度的增加呈现了相反的变化趋势.

1 实验

中频磁控溅射实验装置示意图如图 1. 高纯氩气 (99.999%) 用来产生等离子体, 永久磁铁将等离子体束缚在两个相同的、悬浮安装的孪生靶的周围. 两溅射靶同为直径 $51\ \text{mm}$ 、厚 $5\ \text{mm}$ 的圆柱形高纯铝板 (99.99%). 溅射靶表面被均匀加工出一定数目的 $\Phi 2\ \text{mm}$ 、深 $2\ \text{mm}$ 的圆孔, 在部分孔中嵌入镱柱和铒柱. 调节镱柱和铒柱的数目可以改变铒掺杂浓度以及镱铒浓度比率. 溅射过程中, 两个靶周期性轮流作为阴极与阳极, 保证了溅射过程中系统可以始终稳定地工作在被设定的工作点上. 负直流偏压将等离子体轰击出来的镱、铒和铝粒子向样品基底上吸引, 这些粒子在渡越过程中与氧气反应, 沉积到基底上形成掺铒、镱铒共掺的 Al_2O_3 薄膜. 直流偏压的选择不仅影响到沉积速率, 对薄膜表面形貌也有较大的影响. 需要说明的是: 为了满足晶格匹

*国家自然科学基金 (60477023) 和辽宁省科技厅基金 (20062137) 资助

Tel: 0411-84708379 Email: findfuture@126.com

收稿日期: 2005-08-07

配,在沉积前需在 $\text{Si}(100)$ 基底上热氧化一层 500~600 nm 厚的 SiO_2 作为缓冲层. 薄膜沉积的优化工艺参量归纳列于表 1 中. 为了找出优化的镱铒浓度,制备了五组实验样品列于表 2(比率为零表示单掺铒样品),后两组样品没有做到更高镱铒浓度比率是因为溅射过程中靶的有效溅射区域为环形($7 \text{ mm} < r < 31 \text{ mm}$)所限,但是因为在讨论的比率范围内每种掺铒浓度对应的最佳镱铒浓度比率已经出现了,所以较低比率并不影响实验研究.

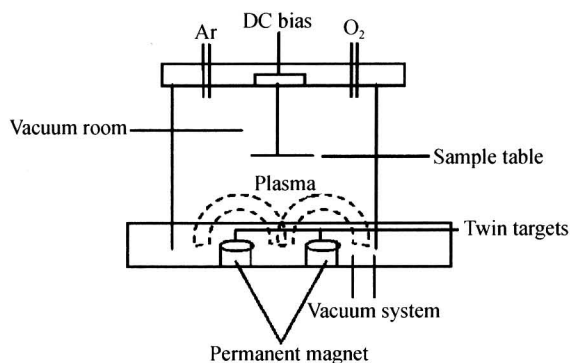


图 1 中频溅射系统示意

Fig. 1 Schematic diagram of MF magnetron sputtering system

表 1 制备 $\text{Yb}^{3+}/\text{Er}^{3+}$ 共振薄膜优化参量

气体	Ar(99.999%):50sccm O_2 (99.999%):25~30sccm
溅射频率	50kHz
本底气压	$1.0 \times 10^{-3} \text{ Pa}$
工作气压	$3.0 \times 10^{-1} \text{ Pa}$
电源电压	350~450V
电源电流	2.0~2.2A
溅射时间	2h
直流偏压	20V

表 2 $\text{Yb}^{3+}/\text{Er}^{3+}$ 掺杂浓度

Er 掺杂浓度	$\text{Yb}^{3+}/\text{Er}^{3+}$ 比率
0.33mol%	0~12
0.66mol%	0~12
1.00mol%	0~12
1.33mol%	0~9
1.67mol%	0~7

掺铒、镱铒共掺 Al_2O_3 薄膜的光致发光强度与基质 Al_2O_3 的状态有很大关系^[15]. 热退火处理可以使氧原子更好地聚集到 Er^{3+} 周围形成 Er-O 复合体发光中心,同时还可以提高 Al_2O_3 结晶状态以消除非辐射发光中心. 对样品进行了 700℃ 到 1000℃ 退火两小时处理,研究了它们的光致发光光谱,发现样品在退火 850℃ 时表现了最好的光致发光强度,比同等条件下未退火时光致发光强度有一个数量级以上的提高. 本文讨论的所有薄膜样品的退火温度均为 850℃. 另外还对 850℃ 退火后的样品进行了电子探针的研究,图 2(a)、(b)是掺铒 1.00mol%,

$\text{Yb}^{3+}:\text{Er}^{3+}=6:1$ 样品经 850℃ 退火处理放大 10000 倍后的成分像和表面形貌图,成分像显示薄膜掺杂均匀,形貌图显示薄膜致密.

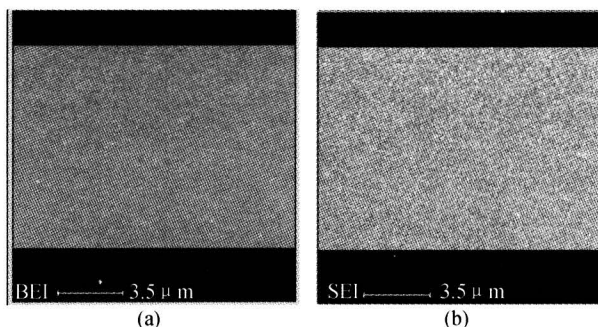


图 2 $\text{Yb}^{3+}/\text{Er}^{3+}$ 共掺薄膜电子探针(a)成分(b)表面图
Fig. 2 The (a) component and (b) surface EPMA micrographs of $\text{Yb}^{3+}/\text{Er}^{3+}$ co-doped thin film

2 实验结果与讨论

2.1 光致发光光谱

薄膜的光致发光光谱的检测采用波长为 976 nm、输出功率为 1.0 W 半导体激光器作为抽运源,激光束从薄膜的端面掠角射入. 激发出的光谱经透镜收集后通过频率为 425 Hz 光学斩波器进入单色仪. 单色仪的出射狭缝耦合着由半导体制冷器制冷的 InGaAs 近红外探测器. 电信号经锁相放大器放大后由 A/D 板转换接入计算机进行数据处理和谱形显示. 测量在室温下进行.

另外对掺铒、镱铒共掺薄膜的光致发光光谱进行了分析比较. 图 3 是 1.0 W 抽运功率下,掺铒浓度为 1.00mol%、镱铒浓度比率为 6:1 的 Al_2O_3 薄膜样品和单掺铒(相同掺铒浓度)的薄膜样品在 1.430 μm ~1.630 μm 波长范围的光致发光光谱合成图. 可以看到,两者的谱形相似,峰值波长均为 1.533 μm ,但是镱铒共掺样品光致发光峰值强度是单掺铒 7 倍多,半峰全宽增加 8.8 nm. 比较五组相同掺铒浓度的镱铒共掺与单掺铒薄膜的光致发光光谱,发现镱的掺入明显改善了光致发光强度,并增加了半峰全宽. 最优化的镱铒共掺 Al_2O_3 薄膜(掺铒浓度 0.33mol%、镱铒浓度比率 10:1)比相同掺铒浓度的单掺铒薄膜样品的光致发光峰值强度提高约 40 倍,半峰全宽增加 10.9 nm. 这暗示镱铒共掺 Al_2O_3 薄膜中存在着镱离子到铒离子的有效能量传递(ET:Energy Transfer)机制,而且在镱铒共掺磷酸盐玻璃系统中也已经发现镱向铒的能量传递效率为 95%^[16],所以镱的掺入有助于铒粒子 $^4\text{I}_{13/2}$ 能级的粒子数聚集,使得对应 $^4\text{I}_{13/2} \rightarrow ^4\text{I}_{15/2}$ 发射的光致发光光谱变得更强. 作为光波导放大器的材料需要高的光致发光强度和宽的半峰全宽,而镱掺入后会使掺

钇薄膜的光致发光强度和半峰全宽得到改善,这使得镱钇共掺薄膜更适于做光波导放大器材料.

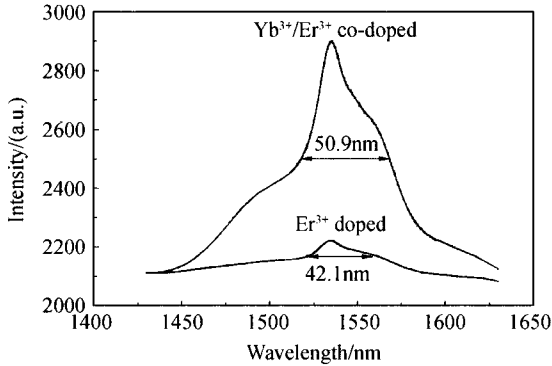
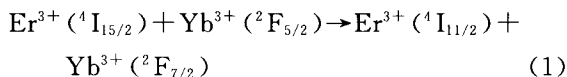


图3 掺钇和镱钇共掺薄膜的光致发光光谱
Fig. 3 The PL spectra of Er^{3+} doped and $\text{Yb}^{3+}/\text{Er}^{3+}$ co-doped films

2.2 镱钇共掺浓度的优化

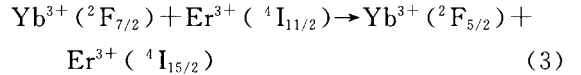
对五组镱钇共掺 Al_2O_3 薄膜的光致发光光谱进行了系统研究,图4中谱线(a)、(b)、(c)、(d)和(e)分别代表掺钇浓度为0.33mol%、0.67mol%、1.00mol%、1.33mol%和1.67mol%时,镱钇共掺薄膜的光致发光峰值强度随镱钇浓度比率的变化趋势(单掺样品未标出).从图4可以看出,每一组样品的变化趋势基本一样,即开始阶段随着镱钇浓度比率的增加光致发光增强,然后到达一个最佳的镱钇浓度比率,此时光致发光峰值强度达到最大值,之后随着镱钇浓度比率的增加光致发光峰值强度开始下降.图4(e)中在镱钇比率5:1处出现了奇点,原因是此样品退火过程中样品出现了镱钇晶粒析出,晶粒在电子探针高倍显示下已经看到,抽运光打到这些晶粒后就会增加光强.在掺钇系统中合作上转换是限制钇光致发光强度的重要原因之一,且合作上转换与钇离子间距离的三次方成反比^[17].高浓度掺杂易形成钇离子团簇,加剧合作上转换的影响.镱离子的掺入抑制了钇离子团簇的形成,并隔离了钇离子之间的直接作用.并且镱离子可以向钇离子进行有效的能量传递,传递过程、传递系数 K_{tr} ^[17] 分别用方程(1)、(2)表述



$$K_{\text{tr}} = \frac{4\pi}{3} \frac{R_0^6}{R_{\text{Yb/Er}}^3 t_{65}} \quad (2)$$

式(2)中, R_0 是临界作用距离常量, $R_{\text{Yb/Er}}$ 代表镱与钇之间的相互作用距离, t_{65} 代表三价镱离子 $^2\text{F}_{5/2}$ 能级的寿命.掺镱浓度的增加可导致镱钇之间的传递系数增大.同时三价镱仅是两能级系统,镱离子间的相互作用可以忽略^[18],所以在不考虑其它作用的

情况下,镱钇共掺薄膜样品光致发光峰值强度随着掺镱浓度的增加会一直增加.但是随着掺镱浓度的增加,镱钇之间的另一个作用机制——反向能量传递(BET: back energy transfer)也会增加,传递过程可以表示为



取反向传递系数 $K'_{\text{tr}} = K_{\text{tr}}$ ^[19].虽然两者传递系数相同,但是镱向钇的正向能量传递与钇离子的 $^4\text{I}_{15/2}$ 能级和镱离子的 $^2\text{F}_{5/2}$ 能级的粒子数密度乘积成正比,而钇向镱的反向能量传递与钇离子的 $^4\text{I}_{11/2}$ 能级和镱离子的 $^2\text{F}_{7/2}$ 能级的粒子数密度乘积成正比.在低的镱掺杂浓度下,钇离子的 $^4\text{I}_{11/2}$ 能级由于能级寿命短,粒子数密度较小,致使镱钇间的正向能量传递强于反向能量传递,所以在一定掺镱浓度范围内镱钇共掺 Al_2O_3 薄膜的光致发光峰值强度会随掺镱浓度增加而增加.然而随着掺镱浓度的继续增加,当抽运功率、掺钇浓度一定时,钇离子 $^4\text{I}_{11/2}$ 、 $^4\text{I}_{15/2}$ 能级和镱离子 $^2\text{F}_{5/2}$ 能级上的粒子数密度增加不大,但镱离子 $^2\text{F}_{7/2}$ 的粒子数密度会有显著的增加,特别是高掺镱浓度下甚至会比低掺杂浓度多一个数量级,此时镱钇间的反向能量传递强于正向能量传递,使镱钇共掺 Al_2O_3 薄膜的光致发光峰值强度随掺镱浓度增加而逐渐减弱.因对固定掺钇浓度来说,随掺镱浓度的增加,光致发光峰值强度出现先增后减的近 Gauss 形式的曲线.

图4中另外一个现象是,随样品掺钇浓度的增加,最佳镱钇浓度比率下降,从掺钇浓度0.33mol%样品镱钇比的10:1,下降到掺钇浓度1.67mol%样品的2:1.主要原因是一定抽运功率下,钇离子 $^4\text{I}_{11/2}$ 能级上的粒子数达到一定值便会使镱钇间的反向能量传递强于正向能量传递,而使光致发光强度下降,掺钇浓度增加后 $^4\text{I}_{11/2}$ 能级的粒子数已经增加,此时只需要较少比率的镱离子就可以使其达到这种状态,致使最佳镱钇浓度比率随掺钇浓度增加而减少.另外需要说明的是,图4(c)的掺钇浓度为1.00mol%,最佳镱钇浓度比率出现在6:1,与文献[14]描述的9:1不一致.原因在于:文献[14]溅射靶上欲镶嵌镱柱和钇柱的小孔分布是按靶的整个面积设计的,但实际上溅射靶的有效区域为环形,因此设计的掺杂浓度与实际掺杂浓度有一定的误差.本实验经过精心设计,并用电子探针测量校正,设计的掺杂浓度与实际的掺杂浓度基本吻合,如设计的掺钇浓度为1.00mol%,实验测量为0.978mol%到1.050mol%变化.

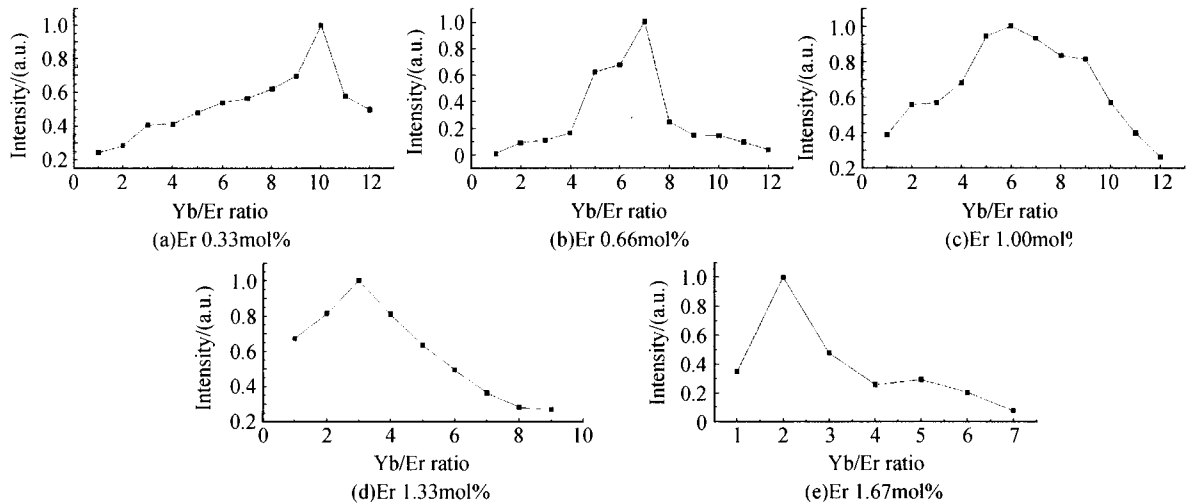


图4 五组固定掺铒浓度下镱铒共掺 Al_2O_3 薄膜光致发光强度的变化趋势

Fig. 4 The five change trend of PL intensity of $\text{Yb}^{3+}/\text{Er}^{3+}$ co-doped Al_2O_3 thin films with constant Er^{3+} concentration

图5是各组最佳镱铒共掺样品与单掺铒样品光致发光峰值强度随掺铒浓度变化的合成图. 从图中可以看出,单掺铒 Al_2O_3 薄膜样品的光致发光峰值强度随着掺铒浓度的增加呈现了近 Gauss 形状变化,掺铒浓度 1.00mol% 样品的光致发光峰值强度最高;而最佳镱铒共掺 Al_2O_3 薄膜样品则随掺铒浓度的增加呈现了倒 Gauss 形状变化,在掺铒浓度为 0.33mol%、镱铒浓度比率为 10:1 时共掺样品的光致发光峰值强度最高. 对单掺铒的样品,随掺铒浓度的增加,被抽运到 $^4\text{I}_{13/2}$ 能级的粒子数增多,同时也导致合作上转换、激发态吸收等负面影响显著增强,形成单掺铒光致发光峰值强度随掺铒浓度先增后减. 但是镱铒共掺样品的情况下,最佳镱铒共掺样品与单掺铒样品光致发光峰值强度随掺铒浓度的变化恰恰相反,最佳镱铒共掺薄膜对应的掺铒浓度没有出现在 1.00mol% 处,而是出现在掺铒浓度为 0.33mol%,定性分析认为原因在于单掺铒样品 PL 峰值强度在掺杂铒 1.00mol% 处最高,与其它掺铒浓度比较,掺入铒后对 PL 峰值强度提升空间不

大. 关于具体原因将在以后的工作中作更深一步理论分析.

3 结论

本文采用中频磁控溅射沉积方法制备了五组固定掺铒浓度不同掺铒浓度的样品,掺铒浓度分别为 0.33mol%, 0.67mol%, 1.00mol%, 1.33mol% 和 1.67mol%,对各种样品进行 850℃ 最佳退火处理,电子探针显示退火后的薄膜有好的形貌和致密性. 比较相同掺铒浓度下,镱铒共掺和单掺铒样品的光致发光强度,发现掺入铒后,光致发光强度均有不同程度的提高,最高提高 40 倍;对应每一种掺铒浓度,都有最佳镱铒浓度比率,但是不同的掺铒浓度最佳镱铒浓度比率不同;对比了最佳镱铒共掺样品和单掺铒样品光致发光峰值强度变化后,发现两者随掺铒浓度增加呈现了相反的变化趋势,最佳镱铒共掺薄膜对应的掺铒浓度没有出现在单掺铒最优的掺铒 1.00mol% 处,而出现在掺铒 0.33mol% 处,最佳镱铒掺杂为:掺铒 0.33mol%, $\text{Yb}^{3+} : \text{Er}^{3+} = 10 : 1$.

致谢 感谢大连理工大学三束国家重点实验室的李国卿教授在薄膜制备方面给予的无私帮助.

参考文献

- 1 Chryssou C E, Pitt C W. Er^{3+} -doped Al_2O_3 thin films by plasma-enhanced chemical vapor deposition exhibiting a 55 nm optical bandwidth. *Journal of Quantum Electronics*, 1998, **34**(19): 282~284
- 2 李成仁, 宋昌烈, 李淑凤等. 溶胶-凝胶(sol-gel)法制作掺铒 Al_2O_3 薄膜及其光致发光谱特性测量. *光子学报*, 2003, **32**(12): 1514~1517
- 3 Li C R, Song C L, Li S F, et al. *Acta Photonica Sinica*, 2003, **32**(12): 1514~1517
- 3 Suarez-Garcia A, Sema R, Jiménez de Castro M, et al. Nanostructuring the Er-Yb distribution to improve the

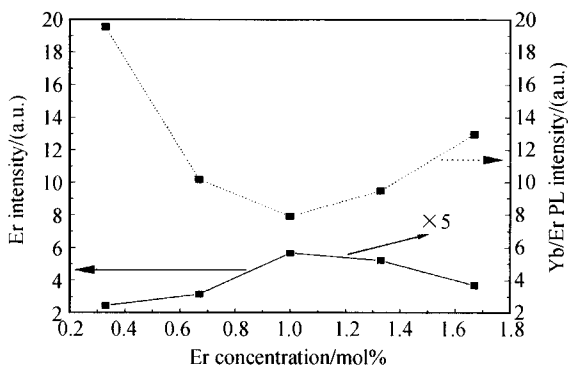


图5 不同掺铒浓度下单掺铒及镱铒共掺薄膜的归一化强度
Fig. 5 Normalized PL intensity of Er^{3+} doped and optimal $\text{Yb}^{3+}/\text{Er}^{3+}$ co-doped films with different Er^{3+} concentrations

- photoluminescence response of thin films. *Appl Phys Lett*, 2004, **84**(12): 2151~2153
- 4 李成仁, 宋昌烈, 李淑凤, 等. 阶跃掺杂 Er : Al₂O₃ 光波导放大器增益特性数值模拟. 光子学报, 2006, **35**(2): 192~196
- Li C R, Song C L, Li S F, *et al.* *Acta Photonics Sinica*, 2006, **35**(2): 192~196
- 5 李成仁, 李淑凤, 宋琦, 等. 镱共掺 Al₂O₃ 光波导放大器的净增益特性. 光子学报, 2006, **35**(5): 650~654
- Li C R, Li S F, Song Q, *et al.* *Acta Photonics Sinica*, 2006, **35**(5): 650~654
- 6 Kik P G, Polman A. Cooperative upconversion as the gain-limiting factor in Er doped miniature Al₂O₃ optical waveguide amplifiers. *J Appl Phys*, 2003, **93**(9): 5008~5012
- 7 Strohhofner C, Polman A. Absorption and emission spectroscopy in Er³⁺-Yb³⁺ doped aluminum oxide waveguides. *Opt Mater*, 2003, **21**(4): 705~712
- 8 Kozanecki A, Stepikhova M, Lanzerstorfer S, *et al.* Excitation of Er³⁺ ions in silicon dioxide films thermally grown on silicon. *Appl Phys Lett*, 1998, **73**(20): 2929~2931
- 9 Ishizaka T, Kurokawa Y, Makino T, *et al.* Optical properties of rare earth ion (Nd³⁺, Er³⁺, and Yb³⁺)-doped alumina films prepared by the sol-gel method. *Opt Mater*, 2001, **15**(4): 293~299
- 10 Polman A, Jacobson D C, Eaglesham D J, *et al.* Optical doping of waveguide materials by MeV Er implantation. *J Appl Phys*, 1991, **70**(7): 3778~3784
- 11 Jimenez de Castro M, Serna R, Chaos J A, *et al.* Influence of defects on the photoluminescence of pulsed-laser deposited Er-doped amorphous Al₂O₃ films. *Nucl Instr Meth B*, 2000, **166 - 167**(3): 793~797
- 12 Serna R, Ballesteros J M, Jiménez de Castro M, *et al.* Optically active Er-Yb doped glass films prepared by pulsed laser deposition. *J Appl Phys*, 1998, **84**(4): 2352~2354
- 13 Ting C C, Chen S Y, Lee H Y. Physical characteristics and infrared fluorescence properties of sol-gel derived Er³⁺-Yb³⁺ codoped TiO₂. *J Appl Phys*, 2003, **94**(3): 2102~2109
- 14 高景生, 宋昌烈, 李成仁, 等. 中频溅射技术沉积镱共掺 Al₂O₃ 薄膜光致发光. 光电子·激光, 2004, **15**(10): 1162~1166
- Gao J H, Song C L, Li C R, *et al.* *Optronics · Lasers*, 2004, **15**(10): 1162~1166
- 15 Wang X J, Lei M K, Yang T, *et al.* Phase structure and photoluminescence properties of Er³⁺-doped Al₂O₃ powders prepared by the sol-gel method. *Opt Mater*, 2004, **26**(3): 247~252
- 16 Zhang L, Hu H F, Qi C H, *et al.* Spectroscopic properties and energy transfer in Yb³⁺/Er³⁺-doped phosphate glasses. *Opt Mater*, 2001, **17**(3): 371~377
- 17 Chryssou C E, Di Pasquale F, Pitt C W. Improved gain performance in Yb³⁺-sensitized Er³⁺-doped Alumina (Al₂O₃) channel optical waveguide amplifiers. *J Light Tech*, 2001, **19**(3): 345~349
- 18 Hinojosa S, Meneses-Nava M A, Barbosa-García, *et al.* Energy back transfer, migration and energy transfer (Yb-to Er and Er-to-Yb) processes in Yb, Er : YAG. *J Lumin*, 2003, **102~103**(3): 694~698
- 19 Song Q, Li C R, Li J Y, *et al.* Photoluminescence properties of the Yb : Er co-doped Al₂O₃ thin film fabricated by microwave ECR plasma source enhanced RF magnetron sputtering. *Opt Mater*, 2006, **28**(8): 1344~1349

Optimization of Photoluminescence for $\text{Yb}^{3+}/\text{Er}^{3+}$ Co-doped Al_2O_3 Films

Li Jianyong¹, Wang Lige², Li Chengren¹, Liu Zhongfan³, Song Changlie¹

¹ Department of Physics, Dalian University of Technology, Dalian 116024

² State Key Laboratory, Dalian University of Technology, Dalian 116024

³ College of Physics, Dalian University, Dalian 116622

Received date: 2005-08-07

Abstract The five series for the $\text{Yb}^{3+}/\text{Er}^{3+}$ co-doped Al_2O_3 films with constant Er^{3+} concentration have been prepared on the SiO_2/Si water by medium frequency magnetron sputtering. The photoluminescence (PL) of the thin films between 1.430 μm and 1.630 μm were investigated under room temperature. Experimental results showed that Ytterbium co-doping efficiently increased the PL peak intensity, and the PL intensity of optimal concentration for 1.00mol% Er^{3+} and $\text{Yb}^{3+} : \text{Er}^{3+}$ ratio of 10 : 1 enhance by a factor of about 40, compared with that of 1.00mol% Er^{3+} doped film; there existed the optimal $\text{Yb}^{3+}/\text{Er}^{3+}$ ratio with constant Er^{3+} concentration, this mainly was an interacting result of energy transfer and back energy transfer between Yb^{3+} and Er^{3+} , whereas the optimal $\text{Yb}^{3+}/\text{Er}^{3+}$ ratio decreased with increasing the Er^{3+} concentration; the change trend of PL peak intensity for only Er^{3+} oped film was similar with Gauss figure whereas that for $\text{Yb}^{3+}/\text{Er}^{3+}$ co-doped film was similar with anti-Gauss figure as a function of Er^{3+} concentration.

Keywords Optical waveguide amplifier; $\text{Yb}^{3+}/\text{Er}^{3+}$ co-doped Al_2O_3 films; Medium frequency magnetron sputtering; Photoluminescence



Li Jianyong was born in 1980 in Shandong Province. Now he is working for the B. S. degree in department of physics, Dalian University of Technology (DLUT). His research interests are in rare earth doped waveguide amplifiers and nonlinear optics.