

文章编号: 0253-2239(2003)02-0210-06

Er³⁺ 和 Yb³⁺ 共掺硝酸盐玻璃的光谱性质*

杨建虎 戴世勋 胡丽丽 姜中宏 李顺光

(中国科学院上海光学精密机械研究所, 上海 201800)

摘要: 研究了 Er³⁺ 和 Yb³⁺ 共掺硝酸盐玻璃的吸收和荧光光谱性质, 分析了硝酸盐玻璃中 Er³⁺ 的上转换发光机制, 应用 Judd-Ofelt 理论计算了玻璃的强度参量 Ω ($\iota=2, 4, 6$), 分别为 $\Omega_2 = 4.74 \times 10^{-20} \text{ cm}^2$, $\Omega_4 = 1.46 \times 10^{-20} \text{ cm}^2$, $\Omega_6 = 0.64 \times 10^{-20} \text{ cm}^2$, 计算了 Er³⁺ 离子的自发跃迁几率、荧光分支比, 应用 McCumber 理论计算了受激发射截面, 并比较了 Er³⁺ 在不同基质玻璃中的光谱特性。

关键词: 光学材料; Er³⁺ 和 Yb³⁺ 共掺; 硝酸盐玻璃; 光谱性质; Judd-Ofelt 理论

中图分类号: TQ171.1⁺12 文献标识码: A

1 引 言

掺铒光纤放大器是提高波分复用系统的信道数和 1.5 μm 处光网络系统传输容量的关键部件^[1], 目前该器件中广泛应用的掺 Er³⁺ 石英光纤, 主要工作在 C 波段(1530~1565 nm)。L 波段掺铒光纤放大器主要是利用铒离子增益谱的尾部, 为实现平坦增益, 通常采用增加铒光纤中铒离子浓度或延长光纤的长度, 但铒光纤很长造成成本过高、不利于大规模生产和总的损耗较高, 抽运和信号功率都有很大的衰减, 降低了效率。随着计算机网络及其它数据传输服务的飞速发展, 长距离光纤传输系统对通信容量和系统扩展的需求日益膨胀, 掺 Er³⁺ 石英光纤放大器已不能满足高速大容量通信传输的要求。因此, 为了获得带宽宽、增益平坦的光纤放大器, 寻找新的光纤放大材料, 使光纤放大器放大性能向 L 波段(1570~1610 nm)扩展, 已成当务之急。硝酸盐玻璃具有较宽的红外透过区、较好的玻璃稳定性和抗腐蚀性能、较低的声子能量和较高的折射率而被认为是宽带放大器掺铒玻璃理想的基质材料^[2], 以硝酸盐玻璃光纤为工作物质的光纤放大器具有不需滤波器或并联结构就可进行宽带放大的潜在性能^[3]。本文研究了 Er³⁺ 和 Yb³⁺ 共掺硝酸盐玻璃的吸收和荧光光谱性质, 应用 Judd-Ofelt 理论计算了跃迁振子强度、强度参量、自发跃迁几率、荧光分支比,

应用 McCumber 理论计算了受激发射截面, 并对 Er³⁺ 离子在不同玻璃基质中的光谱特性进行了比较。

2 实验方法

2.1 样品制备

选取 75TeO₂-20ZnO-5Na₂O 组份作为研究对象, 本系统具有较好的化学稳定性、热稳定性、稀土离子溶解性^[2], 其中 50% 的 Na₂O 由 K₂O 取代^[4]。各组分原料均采用分析纯 TeO₂、ZnO、Na₂CO₃、K₂CO₃。Er³⁺ 和 Yb³⁺ 掺杂浓度分别为 $2.14 \times 10^{20} \text{ ions/cm}^3$ 、 $2.14 \times 10^{21} \text{ ions/cm}^3$ 。称取混合料 20 g, 充分混合, 搅拌均匀, 放入铂金坩埚中于 800~900 °C 的硅碳棒电炉中熔化 1 h, 将熔融液体倒入铁模上, 放入马弗炉中进行退火, 退火温度为 300~320 °C, 保温 2 h 后, 以 5 °C/h 的速度降温至室温。将退火后的玻璃研磨、抛光, 制成 10 mm×10 mm×2 mm 的样品。

2.2 性质测试

采用最小偏向法测得折射率为 2.0843; 采用排水失重法测得密度为 5.73 g/cm³; 吸收光谱用 Perkin-Elmer-Lambda 900UV/VIS/NIR 型分光光度仪测试, 测量范围为 350~1800 nm; 荧光光谱采用法国 J-Y 公司的 TIA550 型荧光光谱仪测试, 用 970 nm 激光二极管作为激发源。所有测试均在室温下进行。

3 结果与讨论

3.1 吸收光谱

图 1 所示为 Er³⁺ 和 Yb³⁺ 共掺在硝酸盐中的吸

* 国家自然科学基金(60207006)和上海市光科技项目(022261046)资助课题。

E-mail: yangjianhu@263.net

收稿日期: 2001-12-12; 收到修改稿日期: 2002-01-24

收光谱图,由于 Er³⁺ 在 980 nm (⁴I_{15/2} → ⁴I_{11/2}) 处的吸收相对于 Yb³⁺ (²F_{7/2} → ²F_{5/2}) 的吸收较弱,而且 Yb³⁺ 的浓度是 Er³⁺ 浓度的 10 倍,因此 Er³⁺ 在此处的吸收被 Yb³⁺ 覆盖,可以认为此处的吸收都是 Yb³⁺ 离子的吸收。由图 1 分别得到 Er³⁺ 和 Yb³⁺ 在

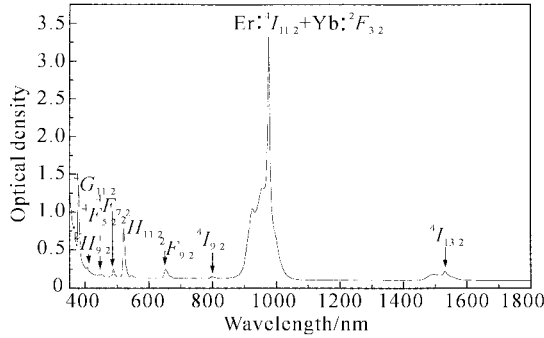


Fig. 1 Absorption spectrum of Er³⁺ and Yb³⁺ codoped tellurite glass

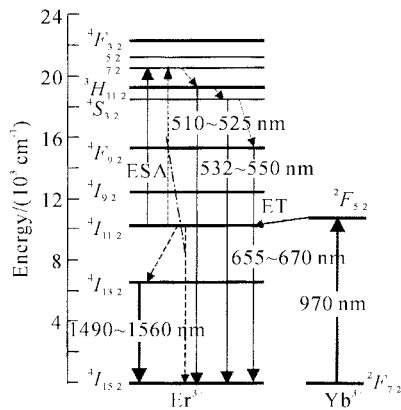


Fig. 2 Energy levels of Er³⁺ and Yb³⁺ in tellurite glass

碲酸盐玻璃中的能级图,如图 2 所示。由于 Er³⁺ 在 980 nm 附近的吸收较弱,而 Yb³⁺ 离子在此附近有较强的吸收,通过 Yb³⁺ 离子与 Er³⁺ 离子之间的共振能量转移,可以大大提高 980 nm 的抽运效率。

3.2 光谱参量计算

Er³⁺ 实验振子强度可根据吸收光谱由(1)式求得^[5]:

$$f_{\text{exp}} = \frac{m_e c^2}{\pi e^2 \bar{\lambda}^2 N_0} \int \alpha(\lambda) d\lambda = \frac{m_e c^2}{\pi e^2 \bar{\lambda}^2 N_0} \times \frac{1}{0.53l} \int \text{OD}(\lambda) d\lambda, \quad (1)$$

式中 m_e 、 e 、 c 分别为电子的质量、电量、光速, $\bar{\lambda}$ 为谱线中心波长, N_0 为单位体积 Er³⁺ 离子浓度, l 为样品厚度, $\alpha(\lambda)$ 为吸收系数, $\text{OD}(\lambda)$ 为光密度。

根据 Judd-Ofelt 理论模型^[6,7], 稀土离子 $4f^N$ 电子组态的 SLJ 能级到 $S'L'J'$ 跃迁的谱线强度为

$$S_{JJ'} = \sum_{t=2,4,6} \Omega_t |\langle 4f^N(SL)J \| U^{(t)} \| 4f^N(S'L')J' \rangle|^2, \quad (2)$$

式中 Ω_t 为强度参量, 与 J 无关, 取决于配位场的性质。 $|\langle 4f^N(SL)J \| U^{(t)} \| 4f^N(S'L')J' \rangle|$ 为约化矩阵元, 基本上不随基质而变化, 本文采用文献[8]中的数据。

电偶极跃迁的振子强度为^[9]:

$$f_{\text{cal}}^{\text{ed}} = \frac{8\pi^3 m_e c}{3h\lambda (2J+1)} \times \frac{1}{n} \left[\frac{(n^2+2)^2}{9} \right] S_{JJ'}, \quad (3)$$

式中 $\bar{\lambda}$ 为吸收中心谱线波长, n 为玻璃的折射率, h 为普朗克常量。对满足选择定则 $\Delta S = \Delta L = 0, \Delta J = 0, \pm 1$ 的磁偶极跃迁振子强度, 满足^[10,11]

$$f_{\text{cal}}^{\text{md}} = \frac{2\pi^2 n}{3hm_e c \bar{\lambda} (2J+1)} \left| \sum_{SL, S'L'} C(SL)C(S'L') \langle 4f^N[SL]J \| L+2S \| 4f^N[S'L']J' \rangle \right|^2, \quad (4)$$

式中 $C(SL)$ 、 $C(S'L')$ 为中介耦合系数, S 、 L 分别为能级吸收自旋角动量和轨道角动量量子数, 采用的是文献[8]中的数据。对不同的 J' 值, 矩阵元 $\langle 4f^N[SL]J \| L+2S \| 4f^N[S'L']J' \rangle$ 具有不同的取值, 当 $J' = J-1$ 时为

$$\hbar \{ [S+L+1]^2 - J^2 \} [J^2 - (L-S)^2] / (4J) \}^{1/2},$$

当 $J' = J$ 时为

$$\hbar \{ (2J+1) / [4J(J+1)] \}^{1/2} [S(S+1) - L(L+1) + 3J(J+1)],$$

当 $J' = J+1$ 时为

$$\hbar \{ [(S+L+1)^2 - (J+1)^2] [(J+1)^2 - (L-S)^2] / [4(J+1)] \}^{1/2}.$$

Er³⁺ 在碲酸盐基质中从基态 ⁴I_{15/2} 到各个激发态的跃迁振子强度以及 Judd-Ofelt 强度参量示于表 1。

由(5)式可得出计算振子强度和实验振子强度

之间的均方根偏差^[12]:

$$\delta_{\text{rms}} = \left[\sum (\Delta f)^2 / (p-q) \right]^{1/2}. \quad (5)$$

上式中 $\sum(\Delta f)^2$ 为测量振子强度和实验振子强度之间偏差的平方和, p 和 q 分别为跃迁的数目和所要确定的参量的个数, 本工作得出 $\delta_{\text{rms}} = 2.9 \times 10^{-7}$ 。

Table 1. Measured and calculated oscillator strengths and Judd-Ofelt intensity parameters of Er^{3+} doped tellurite glass

Absorption	Energy/ cm^{-1}	$f_{\text{exp}}/10^{-6}$	$f_{\text{cal}}/10^{-6}$
$^4 I_{15/2} \rightarrow ^4 I_{13/2}$	6532	1.44	$1.14(f_{\text{ed}}) + 0.31(f_{\text{md}})$
$^4 I_{11/2}$	10244	0.56	0.58
$^4 I_{9/2}$	12500	0.23	0.24
$^4 F_{9/2}$	15331	2.48	2.52
$^2 H_{11/2}$	19185	11.91	12.10
$^4 F_{7/2}$	20468	1.89	1.94
$^4 F_{5/2}$	22161	0.33	0.35
$^2 H_{9/2}$	24580	0.58	0.61
$^4 G_{11/2}$	26431	19.89	19.90
$^4 G_{9/2}$	27457	—	1.88

$$\Omega_2 = 4.74 \times 10^{20} \text{ cm}^2, \Omega_4 = 1.46 \times 10^{20} \text{ cm}^2,$$

$$\Omega_6 = 0.64 \times 10^{-20} \text{ cm}^2, \delta_{\text{rms}} = 2.9 \times 10^{-7}$$

根据 Judd-Ofelt 强度参量, 由(1)式~(4)式及

Table 2. Predicted spontaneous radiation transition rates, fluorescent branch ratio and radiative lifetimes of Er^{3+} in tellurite glasses

Initial level	End level	Average energy/ cm^{-1}	A / s^{-1}		β	τ / ms
			A_{ed}	A_{md}		
$^4 I_{13/2}$	$^4 I_{15/2}$	6532	162	30.5	1	5.21
$^4 I_{11/2}$	$^4 I_{15/2}$	10244	228		0.81	3.56
	$^4 I_{13/2}$	3712	27	26	0.19	
$^4 I_{9/2}$	$^4 I_{15/2}$	12500	341		0.83	2.64
	$^4 I_{13/2}$	5968			0.16	
	$^4 I_{11/2}$	2256	60	5.3	0.01	
$^8 F_{9/2}$	$^4 I_{15/2}$	15331	2935		0.92	0.30
	$^4 I_{13/2}$	8799	163		0.05	
	$^4 I_{11/2}$	5087	101		0.03	
	$^4 I_{9/2}$	2831	7.2		0	
$^4 S_{3/2}$	$^4 I_{15/2}$	18348	1515		0.67	0.44
	$^4 I_{13/2}$	11816	617		0.27	
	$^4 I_{11/2}$	8140	50		0.02	
	$^4 I_{9/2}$	5848	95		0.04	
$^2 H_{11/2}$	$^4 I_{15/2}$	19185	16054			0.15
$^4 F_{7/2}$	$^4 I_{15/2}$	20468	4597			
$^4 F_{5/2}$	$^4 I_{15/2}$	22161	1743			
$^2 H_{9/2}$	$^4 I_{15/2}$	24580	2343		0.34	
	$^4 I_{13/2}$	18048	3167		0.46	
	$^4 I_{11/2}$	14336	1195		0.17	
	$^4 I_{9/2}$	12080	54		0.01	
	$^4 F_{9/2}$	9249	71		0.02	

(6)式~(8)式计算自发辐射几率 A 、荧光分支比 β 和辐射寿命 τ 分别为

$$A[(S,L)J;(S',L')J'] = A_{\text{ed}} + A_{\text{md}} = \frac{64\pi^4 e^2}{3h\lambda^3(2J+1)} \left[\frac{n(n^2+2)^2}{9} S_{\text{ed}} + n^3 S_{\text{md}} \right], \quad (6)$$

$$\beta[(S,L)J;(S',L')J'] = \frac{A[(S,L)J;(S',L')J']}{\sum_{J',J''} A[(S,L)J;(S',L')J'']}, \quad (7)$$

$$\tau = \left\{ \sum_{S',L',J'} A[(S,L)J;(S',L')J'] \right\}^{-1}. \quad (8)$$

(6)式中 A_{ed} 和 A_{md} 分别为电偶极跃迁几率和磁偶极跃迁几率, S_{ed} 和 S_{md} 分别为电偶极和磁偶极跃迁谱线强度, 其中 S_{ed} 可由(2)式求得, 当存在磁偶极跃迁时, S_{md} 由下式求得

$$S_{\text{md}} = \frac{1}{4m^2 c^2} |\langle (S,L)J \| L + 2S \| (S',L')J' \rangle|^2. \quad (9)$$

计算得到的自发跃迁几率 A 、荧光分支比 β 、辐射寿命 τ 如表 2 所示。

Er³⁺ 离子在各种基质中的强度参量如表 3 所示。可以看出碲酸盐中具有大于硅酸盐、锆酸盐和铝酸盐的 Ω_6 , 说明碲酸盐中 Er—O 键的共价性较硅酸盐和铝酸盐弱, 但强于磷酸盐、氟磷酸盐以及氟化物中的共价性。 Ω_6 越小, 玻璃的共价性越强, 反之, 离子性越强^[13]。

Table 3. Intensity parameters, Ω_i (10^{-20} cm²) of Er³⁺ in some glasses

Glass	Ω_2	Ω_4	Ω_6
Aluminate ^[14]	5.60	1.60	0.61
Phosphate ^[14]	6.65	1.52	1.11
Germanate ^[14]	5.81	0.85	0.28
Fluorophosphate ^[14]	2.91	1.63	1.26
Fluoroindate ^[15]	2.60	1.46	1.04
Silicate ^[14]	4.23	1.04	0.61
Tellurite (this work)	4.74	1.62	0.64

3.3 荧光光谱

图 3 所示为 Er³⁺ 离子在碲酸盐中的荧光发射光谱, 可以看出 Er³⁺ 具有较宽的荧光半峰全宽 (FWHM), 其值约为 71 nm, 这对应用于带宽宽的光纤放大器非常有益。

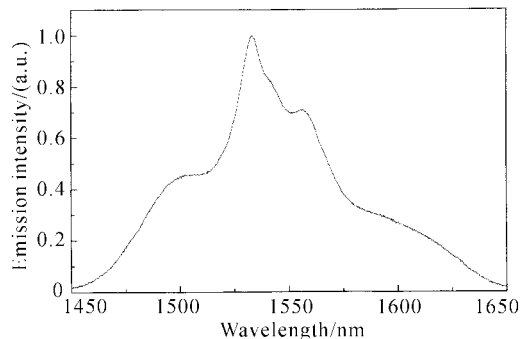


Fig. 3 Emission spectra of Er³⁺ doped tellurite glass

与磷酸盐、硅酸盐玻璃相比, 碲酸盐玻璃具有相对较低的声子能量 (约为 750 cm⁻¹)。980 nm 光抽运时, Er³⁺ 离子由基态 ⁴I_{15/2} 跃迁至 ⁴I_{11/2}, ⁴I_{11/2} 能级与 ⁴I_{13/2} 能级能量间隔约为 3600 cm⁻¹, 需要 4~5 个声子才能使 Er³⁺ 由 ⁴I_{11/2} 无辐射跃迁至 ⁴I_{13/2}, 使得碲酸盐中 Er³⁺ 离子 ⁴I_{11/2} 能级具有较长的荧光寿命, Choi 等测得该能级荧光寿命约为 200 μs^[16], 因此碲酸盐中 ⁴I_{11/2} 能级上的 Er³⁺ 离子容易发生上转换, 其上转换过程如图 2 所示。其过程可以表示为



⁴F_{7/2} 能级上的离子迅速以无辐射跃迁的方式跃迁至 ²H_{11/2} 能级, ²H_{11/2} 能级上的离子一部分以无辐射跃迁的方式至 ⁴S_{3/2} 能级, 同时 ⁴S_{3/2} 上的一部分离子

以自发辐射跃迁的方式返回基态 ⁴I_{15/2}, 一部分以无辐射跃迁的方式至 ⁴F_{9/2} 能级, ⁴F_{9/2} 能级上的离子以自发辐射跃迁的方式返回基态 ⁴I_{15/2}。实验测得其上转换荧光光谱如图 4 所示。

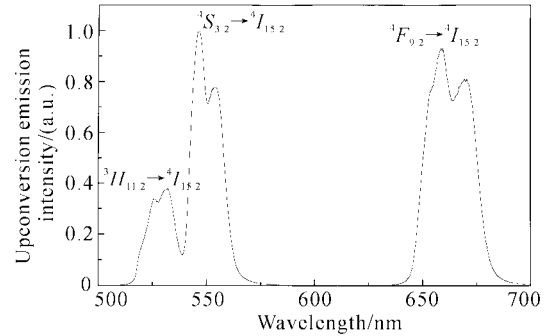


Fig. 4 Upconversion spectra of Er³⁺ doped tellurite glass

除此之外, ⁴I_{11/2} 能级上的部分离子还可以吸收一定数量的 980 nm 抽运光, 而产生激发态吸收 (ESA), 跃迁到 ⁴F_{7/2} 能级上, 也增加了 ²H_{11/2} 能级和 ⁴S_{3/2} 能级的发光。上转换现象及激发态吸收不仅降低了抽运的量子效率, 而且严重影响到介质的增益及噪声特性, 这对于放大器而言是非常有害的。因此, 对光纤放大器用掺 Er³⁺ 碲酸盐玻璃, 降低其上转换荧光十分必要。

根据 McCumber 理论^[17], 跃迁 ⁴I_{13/2} → ⁴I_{15/2} 的发射截面可由跃迁 ⁴I_{15/2} → ⁴I_{13/2} 的吸收截面得到:

$$\sigma_e(\lambda) = \sigma_a(\lambda) \exp[(\epsilon - h\nu)/(kT)], \quad (10)$$

式中 ϵ 是与温度有关的激发能量, 其物理意义是: 保持温度不变, 把一个 Er³⁺ 离子从基态 ⁴I_{15/2} 激发到能级 ⁴I_{13/2} 所需要的自由能^[17], 应用文献^[14]的方法进行计算, 求得 $\epsilon = 6552$ cm⁻¹, k 为玻尔兹曼常数, T 为样品温度。σ_a(λ) 由下式求得:

$$\sigma_a(\lambda) = (2.303/Nl)OD(\lambda). \quad (11)$$

由(10)式计算得到的受激发射截面谱如图 5 所示, 其峰值发射截面为 $\sigma_e = 7.5 \times 10^{-21}$ cm²。

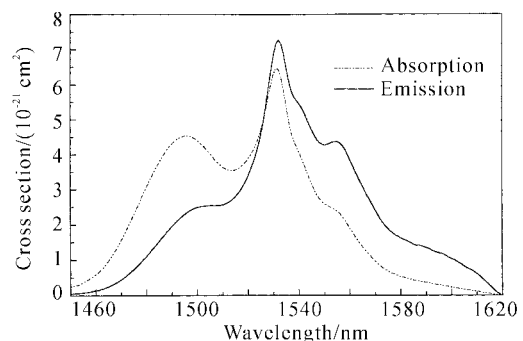


Fig. 5 Absorption and stimulated emission cross sections calculated by McCumber theory of Er³⁺ in tellurite glass

荧光发射半峰全宽(FWHM)和受激发射截面(σ_e)对于光纤放大器实现宽带放大来说是非常重要的。受激发射截面随着基质折射率的增大而增大^[17], 碲酸盐玻璃具有较钨酸盐、磷酸盐、硅酸盐、氟化物玻璃大的折射率, 因此 Er^{3+} 离子在碲酸盐中的受激发射截面相对较大。图 6 为 Er^{3+} 在各种玻璃中的受激发射截面的比较, 它们的值如表 4 所示。可以看出受激发射截面基本上随着折射率的增大而增加, 掺 Er^{3+} 碲酸盐玻璃具有比磷酸盐和硅酸盐等玻璃宽得多的荧光半峰全宽和较高的峰值受激发射截面。

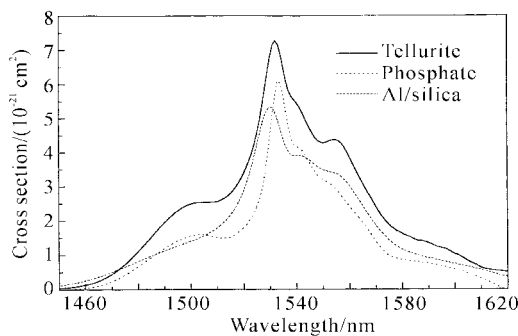


Fig. 6 Comparison of stimulated emission cross sections of Er^{3+} doped various glasses

Table 4. Comparisons of emission cross sections and FWHM of Er^{3+} in different glasses

Glass	Refractive index	Emission cross section at 1532 nm/ (10^{-21} cm^2)	FWHM/ nm
Tellurite	2.0843	7.5	71
Al/Silicate	1.5322	5.5	45
Phosphate ^[18]	2.0843	6.4	25

结论 1) 应用 Judd-Ofelt 理论计算得到碲酸盐玻璃的强度参量 $\Omega_2 = 4.74 \times 10^{-20} \text{ cm}^2$, $\Omega_4 = 1.46 \times 10^{-20} \text{ cm}^2$, $\Omega_6 = 0.64 \times 10^{-20} \text{ cm}^2$ 。碲酸盐中 Er—O 键的共价性较硅酸盐和铝酸盐弱, 但强于磷酸盐、氟磷酸盐以及氟化物中的共价性。

2) 碲酸盐玻璃具有较低的声子能量 (750 cm^{-1}), 采用 980 nm 抽运时, Er^{3+} 发生较强的上转换及激发态吸收。这不仅降低了抽运的量子效率, 而且也严重影响到介质的增益及噪声特性。

3) 与磷酸盐、硅酸盐等相比, 碲酸盐玻璃具有较大的受激发射截面 ($\sigma_e = 0.75 \text{ pm}^2$) 和荧光半峰全宽 (FWHM = 71 nm), 是一种更为理想的宽带光纤放大器用基质材料。

参 考 文 献

- Masuda H, Kawai S, Aida K. Ultra-wideband hybrid amplifier comprising distributed Raman amplifier and erbium-doped fiber amplifier. *Electron. Lett.*, 1998, **34**(13):1342~1343
- Wang J S, Vogel E M, Snitzer E. Tellurite glass: A new candidate for fiber devices. *Opt. Mater.*, 1994, **3**(4):187~203
- Mori A, Kobayashi K, Yamada M *et al.*. Low noise broadband tellurite-based Er^{3+} -doped fiber amplifiers. *Electron. Lett.*, 1998, **34**(9):887~888
- Ncindre L L, Jiang S, Hwang B C *et al.*. Effect of relative alkali content on absorption linewidth in erbium-doped tellurite glasses. *J. Non-Cryst. Solids*, 1999, **255**(1):97~102
- Sanz J, Cases R, Alcalá R. Optical properties of Tm^{3+} in fluorozirconate glass. *J. Non-Cryst. Solids*, 1987, **93**(2, 3):377~386
- Judd B R. Optical absorption intensities of rare-earth ions. *Phys. Rev.*, 1962, **127**(3):750~761
- Ofelt G S. Intensities of crystal spectra of rare-earth ions. *J. Chem. Phys.*, 1962, **37**(3):511~520
- Weber M J. Selective excitation and decay of Er^{3+} fluorescence in LaF_3 . *Phys. Rev.*, 1967, **156**(2):231~241
- Krupke W F. Optical absorption and fluorescence intensities in several rare earth-doped Y_2O_3 and LaF_3 single crystals. *Phys. Rev.*, 1966, **145**(3):325~337
- Wybourne B G. *Spectroscopic Properties of Rare Earths*. New York: Wiley, 1965. Chapter 3
- Carnall W T *et al.*. Spectral intensities of the trivalent lanthanides and actinides in solution. I. Pr^{3+} , Nd^{3+} , Er^{3+} , Tm^{3+} and Yb^{3+} . *J. Chem. Phys.*, 1965, **42**(11):3797~3806
- Tanimura K, Shinn M D, Sibley W A. Optical transitions of Ho^{3+} ions in fluorozirconate glass. *Phys. Rev. (B)*, 1984, **30**(5):2429~2437
- Tanabe S. Optical transitions of rare earth ions for amplifiers: How the local structure works in glass. *J. Non-Cryst. Solids*, 1999, **259**(1~3):1~9
- Zou X, Izumitani T. Spectroscopic properties and mechanisms of excited state absorption and energy transfer upconversion for Er^{3+} -doped glasses. *J. Non-Cryst. Solids*, 1993, **162**(1):68~80
- Wang Y J, Lin F Y, Hu H F. Luminescence of Er^{3+} -doped ions in fluoroindate glasses. *Acta Optica Sinica* (光学学报), 1997, **17**(2):155~160 (in Chinese)
- Choi Y G, Lim D S, Kim K H *et al.*. Enhanced $^4I_{11/2} \rightarrow ^4I_{13/2}$ transition rate in $\text{Er}^{3+}/\text{Ce}^{3+}$ -codoped tellurite glasses. *Electron. Lett.*, 1999, **35**(20):1765~1767
- McCumber D E. Theory of phonon-terminated optical masers. *Phys. Rev.*, 1964, **134**(2A):A299~A306
- Liu Z P, Dai S X, Hu L L *et al.*. Study of spectroscopy of Yb^{3+} and Er^{3+} -codoped phosphate glasses. *Chinese J. Lasers* (中国激光), 1999, **A26**(9):790~792. (in Chinese)

Spectroscopic Properties of Er^{3+} and Yb^{3+} Codoped Tellurite Glasses

Yang Jianhu Dai Shixun Hu Lili Jiang Zhonghong Li Shunguang

(*Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics,*
The Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800)

(Received 12 December 2001; revised 24 January 2002)

Abstract: Absorption spectra, emission spectra of Er^{3+} and Yb^{3+} codoped tellurite glasses were studied. Er^{3+} upconversion mechanism in tellurite glass was analyzed. The Judd-Ofelt strength parameters Ω_t ($t=2, 4, 6$), which are $\Omega_2=4.74 \times 10^{-20} \text{ cm}^2$, $\Omega_4=1.46 \times 10^{-20} \text{ cm}^2$, $\Omega_6=0.64 \times 10^{-20} \text{ cm}^2$ respectively, were calculated by Judd-Ofeld theory. Spontaneous radiative rate and branch ratios of each energy levels of Er^{3+} ions were given. Stimulated emission cross section was calculated by McCumber theory, and was compared with other host glasses.

Key words: optical material; Er^{3+} and Yb^{3+} codoped; tellurite glass; spectroscopy; Judd-Ofelt theory