

Pr³⁺掺杂硒基玻璃的制备及其中红外发光性能增强研究

卞俊轶, 徐铁峰*

(宁波大学 信息科学与工程学院, 浙江 宁波 315211)

摘要:报道了一种可用于 2 μm 商用激光器有效激发的中红外宽带发光玻璃. 采用真空熔融淬冷法制备了 Pr³⁺掺杂硒基玻璃的系列样品, 测试了样品的吸收光谱以及 2 μm 激光泵浦下的 3~5 μm 中红外荧光光谱, 观察到了由激发态吸收造成的近红外荧光. 通过 Judd-Ofelt 理论计算了不同浓度 Pr³⁺离子掺杂玻璃样品的强度参数 Ω_t ($t=2, 4, 6$)、辐射寿命和受激发射截面等光谱参数, 讨论 Pr³⁺离子局域配位环境对发光特性的影响. 结果表明, 4.6 μm 和 4.8 μm 对应的跃迁能级具有较好的发光特性, 相比其他体系玻璃具有更大的受激发射截面, 是一种理想的中红外激光基质材料.

关键词:中红外发光; 稀土 Pr³⁺掺杂; 硫化物玻璃; J-O 理论

中图分类号: TN213

文献标志码: A

文章编号: 1001-5132 (2017) 02-0055-05

中红外(MIR)波长 3~5 μm 位于大气传输窗口内, 对应大多数气体、液体和固体的特征分子吸收. 因此中红外光源在生物检测、医疗手术及军事探测方面应用广泛, 如手术的精细化操作^[1-2]、战术导弹尾焰红外辐射模拟、人眼安全的激光雷达及激光定向红外干扰等等^[3].

目前, 基于铋化物的 III-V 二极管激光器及量子级联(QC)结构均可以在 MIR 范围输出激光, 但输出功率比较低^[4-5]. 掺杂 Ho³⁺、Er³⁺和 Dy³⁺离子的 ZBLAN 玻璃可在 3 μm 以下获得>1 W 的激光^[6-8], 但在 3 μm 以上很难获得激光输出^[9-11]. 与氟化物玻璃相比, 硫系玻璃则拥有更低的声子能量(<350 cm⁻¹), 达 10 μm 以上更宽的红外透过窗口. 随着中红外相干光源在军事和民用方面需求的逐步加强, 国内外多家研究机构都开始着力于 3~5 μm 中红外稀土掺杂硫系玻璃及光纤激光的研究, 如英国南安普顿大学、法国雷恩第一大学玻璃与陶瓷国家实验室以及韩国浦项科技大学的课题组等^[12-14]; 国内的主要研究机构有江苏师范大学、武汉理工大学、华东理工大学以及宁波大学等^[15-18].

通过前期研究和文献总结, 很容易发现稀土

Pr³⁺和 Dy³⁺离子在中红外波段具有最大的激光品质因子, 且具有较大的荧光分支比. 然而, Pr³⁺在中红外波段的发光性能与介质材料的性质紧密相关. 由此我们选择具有优良热稳定性和化学稳定性的 Ge-As-Ga-Se(GAGS)基质, 制备了 Pr³⁺离子掺杂硒基玻璃样品, 研究其对光学性能的影响, 测试其吸收光谱及 2 000 nm 泵浦下的荧光光谱, 进行了 J-O 理论计算及分析, 研究了 Pr³⁺浓度对 3~5 μm 发光性能的影响.

1 实验

1.1 玻璃样品的制备

实验选取纯度分别为 6N 的 Ge、Ga、As、Se 以及 3N 的 Pr 单质为原料, 采用传统熔融-淬冷方法制备组分为 Ge₁₀As₂₄Ga₄Se₆₂Pr_x ($x=0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4$)的一系列 Pr³⁺掺杂硫系玻璃样品, 并对其进行切割及双端面抛磨处理, 以用于相关性能测试.

1.2 玻璃样品的测试方法

样品密度采用阿基米德法进行测量, 精确度可达±0.001 g·cm⁻³; 玻璃样品吸收光谱采用 Perkin-Elmer-Lambda 950 UV/VIS/NIR 型分光光度计测

收稿日期: 2016-11-07.

宁波大学学报(理工版)网址: <http://journalg.nbu.edu.cn/>

基金项目: 国家自然科学基金(61605095); 浙江省自然科学基金(LQ15F050003); 宁波市自然科学基金(2015A610038); 宁波大学校科研基金(XKX11433, XYL15012); 宁波大学王宽诚幸福基金.

第一作者: 卞俊轶(1992-), 女, 安徽宿州人, 在读硕士研究生, 主要研究方向: 光功能玻璃材料及光纤器件. E-mail: jenny.bian@outlook.com

*通信作者: 徐铁峰(1961-), 男, 浙江衢州人, 博士/教授, 主要研究方向: 光纤通信、光功能玻璃材料及器件. E-mail: xutiefeng@nbu.edu.cn

表1 $\text{Ge}_{10}\text{As}_{24}\text{Ga}_4\text{Se}_{62}\text{Pr}_x$ 玻璃样品的密度、摩尔体积和折射率随掺杂浓度的变化

测试项目	样品				
	GAGS-0	GAGS-0.1	GAGS-0.2	GAGS-0.3	GAGS-0.4
$\text{Pr}^{3+}/(\text{mol}\%)$	0	0.1	0.2	0.3	0.4
$\rho/(\text{g}\cdot\text{cm}^{-3})$	3.505	3.516	3.527	3.534	3.545
$V_m/(\text{cm}^3\cdot\text{mol}^{-1})$	21.965	21.936	21.908	21.904	21.876
n_D	2.55	2.56	2.57	2.57	2.56

量, 测试范围为 400~2 500 nm; X 射线衍射图谱(X-Ray Diffraction, XRD)采用德国 Bruker D2 型 X 射线衍射仪; 采用英国爱丁堡 FLS980-S2S2S2-stm 红外光谱仪(采用液氮制冷的 InSb 探测器)测量中红外荧光光谱, 泵浦源工作波长为 2 μm , 以上所有实验测试均在室温下进行。

2 结果及讨论

2.1 样品的密度及 XRD 分析

表 1 列出了玻璃样品密度、摩尔体积和折射率随掺杂浓度的变化。由表 1 可知, 样品密度随掺杂浓度增加而出现微小增长, 相应的平均摩尔体积(见(1)式)随密度的增大而减小; 而样品折射率没有明显变化。

$$V_m = (\sum_i M_i) / \rho, \quad (1)$$

式中, V_m 为玻璃样品的平均摩尔体积; M_i 及 ρ 分别为玻璃样品的摩尔质量和密度。

由图 1 可知, 随 Pr^{3+} 离子浓度不断增加, 直至 0.4 mol%, 玻璃样品均未出现析晶现象, 说明该组分的硫系玻璃抗析晶能力强, 具有良好的热稳定性, 可有效避免掺杂光纤制备过程中的析晶问题。

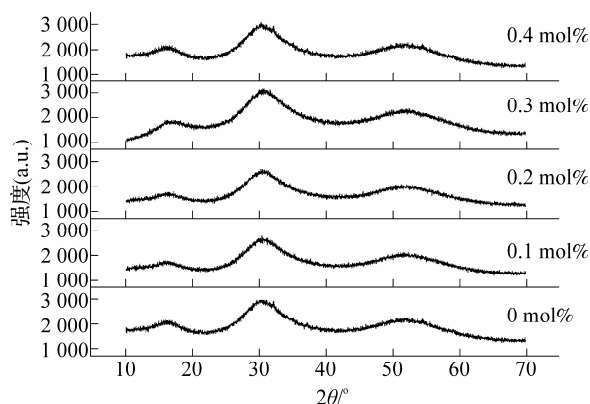


图1 $\text{Ge}_{10}\text{As}_{24}\text{Ga}_4\text{Se}_{62}\text{Pr}_x$ ($x=0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5$) 系列玻璃样品的 XRD 衍射图

2.2 样品的吸收光谱及理论分析

图 2 为 Pr^{3+} 离子掺杂 GAGS 系列样品的吸收光

谱, 从图 2 中可看出, 当 Pr^{3+} 离子掺杂浓度低于 0.3 mol% 时, 样品的吸收光谱强度随着 Pr^{3+} 离子掺杂浓度的增大而不断增强, 而当 Pr^{3+} 离子掺杂浓度高于 0.3 mol% 时, 样品的吸收光谱强度则随着掺杂浓度的升高逐渐减弱, 吸收强度在掺杂浓度 0.3 mol% 处达到最大。样品的主要吸收峰位于 1 501, 1 603, 2 046 nm, 分别对应于 Pr^{3+} 离子 $4f^N$ 组态内 $^3\text{H}_4 \rightarrow ^3\text{F}_4$, $^3\text{H}_4 \rightarrow (^3\text{F}_3, ^3\text{F}_4)$, $^3\text{H}_4 \rightarrow (^3\text{H}_6, ^3\text{F}_2)$ 的三处吸收跃迁。由于样品的紫外截止波长位于 900 nm 附近, 文献[19]中所报道的对应于 $^3\text{H}_4 \rightarrow ^1\text{D}_2$ (606 nm) 跃迁的吸收峰无法在吸收谱中观测到。由图 2 的插图可知, 1 000 nm 处也存在一个强度较弱的吸收, 对应于 $^3\text{H}_4 \rightarrow ^1\text{G}_4$ 跃迁, 与 1 500 nm 处和 2 020 nm 处的吸收相比几乎可以忽略, 因此, 我们将选择 1 550 nm 和 2 020 nm 左右的激光作为泵源, 以获得最大的泵浦效率。

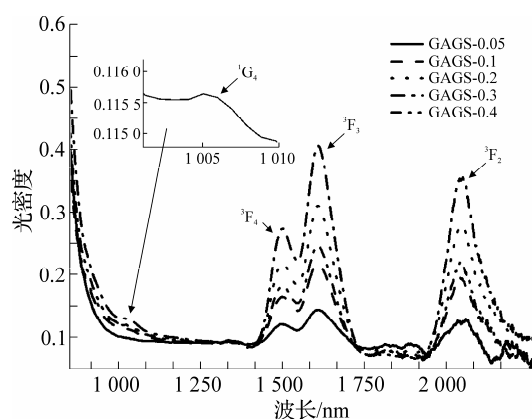


图2 Pr^{3+} 离子掺杂 $\text{Ge}_{10}\text{As}_{24}\text{Ga}_4\text{Se}_{62}\text{Pr}_x$ ($x=0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5$) 玻璃吸收光谱

Judd-Ofelt(J-O)理论已经成为研究稀土离子在固体中的光谱性质的重要理论^[20-21], 尤其在激光晶体的光谱研究中被广泛使用。样品的强度参数 Ω_t ($t=2, 4, 6$) 只与材料有关, 表征材料本身的物理特性。根据 J-O 理论, 可计算得出 Ω_t 参数以及该材料任何 2 个 J 簇能级间的理论跃迁强度。其中, Ω_2 对

玻璃成分的变化极为敏感, Ω_2 越大, 表示玻璃的共价性越强, 离子性越弱; Ω_4 与 Ω_6 则主要与基质的酸碱度和刚性有关; 另外, Ω_4/Ω_6 与稀土离子的自发辐射特性有关, 比值越大发光特性越好。

通过表2可见, 随着 Pr^{3+} 离子掺杂浓度的提高, 强度参数 Ω_i 呈现规律性变化, 表明稀土离子 Pr^{3+} 的局域配位环境在发生变化。其中, 发光特性参数 Ω_4/Ω_6 逐渐递减, 表明单个稀土离子 Pr^{3+} 的平均自发辐射效率在降低, 这是由于基质中配位数量不足, 使部分稀土离子发生了团簇, 导致荧光猝灭。

表2 样品 GAGS: Pr_x ($x=0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4$) 强度参数 Ω_i

样品	$\Omega_2/(\times 10^{-20} \text{ cm}^2)$	$\Omega_4/(\times 10^{-20} \text{ cm}^2)$	$\Omega_6/(\times 10^{-20} \text{ cm}^2)$	Ω_4/Ω_6
GAGS-0.05	2.01	17.74	8.65	2.05
GAGS-0.1	1.99	11.92	8.07	1.48
GAGS-0.2	1.99	10.34	7.47	1.38
GAGS-0.3	3.08	4.92	5.24	0.94
GAGS-0.4	3.24	4.56	5.01	0.91

2.3 样品中红外荧光特性

由图2结合文献[19]得到 Pr^{3+} 离子在 GAGS 玻璃中的能级结构分布如图3所示。由吸收光谱可知, $1.5 \mu\text{m}$ 和 $2 \mu\text{m}$ 激光能用来做泵浦光, 根据吸收峰强度可知, $2 \mu\text{m}$ 激光泵浦效率会更高一些; 因此, 我们选用 $2 \mu\text{m}$ 激光泵浦来测试样品荧光。由图3可见, 在 $2 \mu\text{m}$ 激光泵浦下能够获得峰值中心为 3.5 , 4.6 和 $4.8 \mu\text{m}$ 的荧光; 进一步研究发现, 被激励到 $^3\text{F}_2$ 能级的离子可以进一步被激发到 $^1\text{G}_4$ 能级, 产生激发态吸收现象; 因此, 还能获得 1.35 , 1.65 , 2.95 , 3.35 , 3.95 和 $5.15 \mu\text{m}$ 的荧光发射。

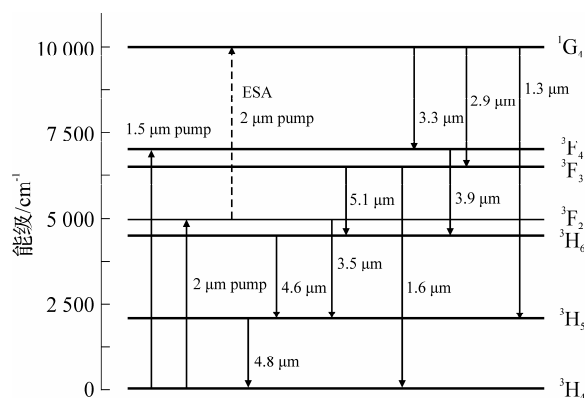


图3 Pr^{3+} 离子在 $\text{Ge}_{10}\text{As}_{24}\text{Ga}_4\text{Se}_{62}$ 玻璃中的能级示意图

图4为在 $2 \mu\text{m}$ 泵浦激光的激发下 Pr^{3+} 离子的

宽发光带 ($2.8 \sim 5.5 \mu\text{m}$); 其中, $2.9 \mu\text{m}$ 和 $3.3 \mu\text{m}$ 荧光峰来源于 $^1\text{G}_4 \rightarrow ^3\text{F}_3$ 和 $^1\text{G}_4 \rightarrow ^3\text{F}_4$ 跃迁; 宽带发光峰 $3.7 \mu\text{m}$ 到 $5.5 \mu\text{m}$ 是由多种跃迁发光峰叠加组合而成 ($^3\text{F}_4 \rightarrow ^3\text{F}_2/^3\text{H}_6$, $^3\text{F}_3 \rightarrow ^3\text{H}_6$, $^3\text{F}_2 \rightarrow ^3\text{H}_5$, $^3\text{H}_6 \rightarrow ^3\text{H}_5$, $^3\text{H}_5 \rightarrow ^3\text{H}_4$); 其超宽带发光范围是由 $^3\text{H}_5 \rightarrow ^3\text{H}_4$ 跃迁能级的众多斯塔克分裂子能级和基质中不同格位差异造成。另外, $4.24 \mu\text{m}$ 处的吸收凹陷来源于光谱仪测试光路空气中二氧化碳的本征吸收, 通过气氛保护排除 CO_2 可得到完整的 Pr^{3+} 发射光谱^[22], $4.5 \mu\text{m}$ 处凹陷是由样品本身的 Se-H 键吸收所导致的。荧光测试显示, Pr^{3+} 离子的最佳掺杂浓度为 $0.1 \text{ mol}\%$, 在更高浓度情况下, 随着离子间距离的减小, 能量迁移速率会越来越大, 造成无辐射损耗严重, 最终导致荧光淬灭。

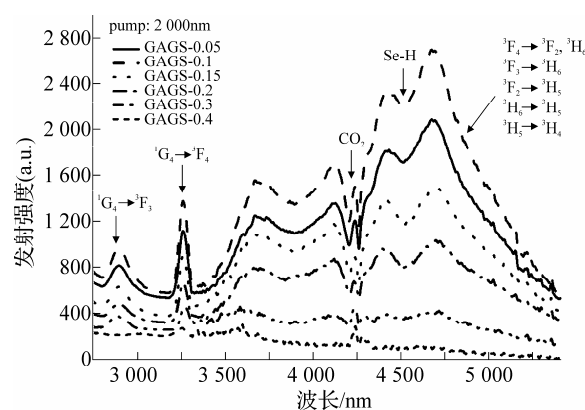


图4 Pr^{3+} 离子在 $\text{Ge}_{10}\text{As}_{24}\text{Ga}_4\text{Se}_{62}$ 玻璃中中红外发光

图5为在 $2 \mu\text{m}$ 泵浦激光的激发下 Pr^{3+} 离子的近红外发光, 发光峰 $1.3 \mu\text{m}$ 和 $1.6 \mu\text{m}$ 分别源自于 $^1\text{G}_4 \rightarrow ^3\text{H}_5$ 和 $^3\text{F}_3 \rightarrow ^3\text{H}_4$ 的跃迁, 这也进一步验证了样品中 Pr^{3+} 离子存在激发态吸收现象。不过与中红外荧光对比可知, 近红外发光非常弱, 整体强度几乎

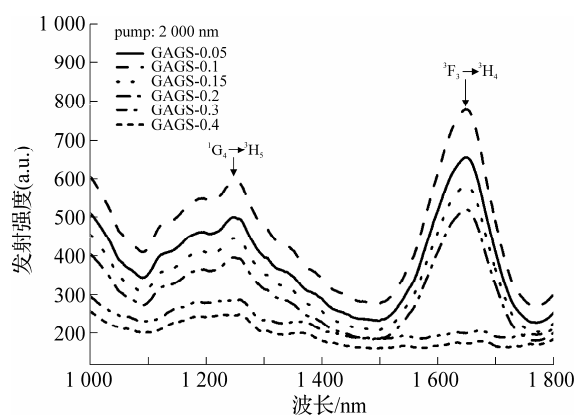


图5 Pr^{3+} 离子在 $\text{Ge}_{10}\text{As}_{24}\text{Ga}_4\text{Se}_{62}$ 玻璃中近红外发光

可以忽略;因此, 2 μm 激光作为泵浦源的效率不会因为激发态吸收产生的近红外发射而降低。

综合测试结果可知, 在 GAGS 玻璃基质中, 稀土 Pr^{3+} 离子掺杂浓度不高于 0.1 mol% 时, 掺杂离子 Pr^{3+} 能够以 Pr^{3+} -Se-Ga 成键的形式均匀分散在基质中, 团簇不发光的离子只占很小一部分; 继续增加 Pr^{3+} 离子浓度, 则基质玻璃不能满足 Pr^{3+} 离子对配位数的要求, 以 Pr^{3+} -Se- Pr^{3+} 成键的形式团簇到一起分享配体。团簇使离子间的距离缩减, 促进了能量在不同离子之间的迁移, 增加了非辐射跃迁的概率, 从而导致了荧光淬灭。

通过发光谱可以看出, 4.6 μm 和 4.8 μm 对中红外荧光跃迁贡献最大, 由于对激光应用来说, 受激发射截面是很重要的参数, 因此我们利用 J-O 理论计算的参数结合(2)式计算了 4.6 μm 和 4.8 μm 中红外跃迁的受激发射截面。

$$\sigma_{\text{emi}} = A_{\text{rad}}(\lambda_p^4 / (8\pi c n^2 \Delta\lambda_{\text{eff}})), \quad (2)$$

式中, A_{rad} 为自发辐射系数; c 为真空中光速; n 为样品折射率; $\Delta\lambda_{\text{eff}}$ 为发光峰的半高宽。

由表 3 可见, 计算的发射截面都 $>50 \times 10^{-21} \text{ cm}^2$, 与碲酸盐、铋酸盐、氟化物等玻璃相比大一个数量级, 这是由于硫系玻璃较大的折射率使稀土离子周围环境产生较强的局部电场, 从而导致大的发射截面和较高的发射效率。

表 3 Pr^{3+} 离子 4.6 μm 和 4.8 μm 发光峰的半高宽、荧光分支比、荧光寿命和发射截面积

跃迁	$\lambda_{\text{emi}} / \mu\text{m}$	$\Delta\lambda_{\text{eff}} / \text{nm}$	$\beta/\%$	τ/ms	$\sigma_{\text{emi}} / (\times 10^{-21} \text{ cm}^2)$
$^3\text{H}_6 \rightarrow ^3\text{H}_5$	4.60	163	56.74	2.7	52.4
$^3\text{H}_5 \rightarrow ^3\text{H}_4$	4.80	172	100	11.74	56.8

对比表 3 中数据发现, 4.8 μm 比 4.6 μm 对应跃迁的荧光分支比、寿命、发射界面都要大; 进一步分析发现 4.8 μm 对应的激光上能级正好是 4.6 μm 跃迁的激光下能级, 由于 $^3\text{H}_5$ 寿命比 $^3\text{H}_6$ 的要大很多, 造成激光下能级粒子数积累, 使 4.6 μm 激光因自终止效应不能连续输出。而采用级联模式同时产生 4.8 μm 和 4.6 μm 激光, 能够有效地消除 $^3\text{H}_5$ 能级的粒子数积累。在相互作用比较长的介质中(如光纤), 4.6 μm 激光会被 $^3\text{H}_4 \rightarrow ^3\text{H}_5$ 跃迁吸收, 进一步提高 $^3\text{H}_5$ 能级的反转粒子数。因此, $^3\text{H}_5 \rightarrow ^3\text{H}_4$ 跃迁是产生中红外光纤激光的方案之一。

3 结论

研究了在 2 μm 激光泵浦下 Pr^{3+} 掺杂 $\text{Ge}_{10}\text{As}_{24}\text{Ga}_4\text{Se}_{62}$ 玻璃的 3~5 μm 中红外发光特性。通过 Judd-Ofelt 理论计算获得了 Pr^{3+} 在 $\text{Ge}_{10}\text{As}_{24}\text{Ga}_4\text{Se}_{62}$ 玻璃中的强度参数 Ω_t ($t=2, 4, 6$)、辐射寿命和受激发射截面。J-O 强度参数 Ω_t 及发光特性参数 Ω_4/Ω_6 反映了掺杂浓度对 Pr^{3+} 局域配位环境的影响; 与其他氧化物和非氧化物玻璃相比, GAGS 体系具有更好的中红外辐射特性。吸收光谱和荧光光谱表明, 2 μm 激光作为泵源效率最高, 并且能量转换效率比 1.5 μm 泵浦更高。对发光最强的中红外两个波长 4.6 μm 和 4.8 μm 进一步计算显示, 两者发射截面峰值均大于 $50 \times 10^{-21} \text{ cm}^2$, 具有较好的辐射跃迁特性; 而 4.6 μm 跃迁由于 $^3\text{H}_6$ 能级寿命比 $^3\text{H}_5$ 的小很多造成激光自终止; 在光纤等长距离相互作用的介质中 4.8 μm 激光更容易起振。因此, Pr^{3+} 掺杂的 GAGS 玻璃是一种理想的 3~5 μm 激光基质材料。

参考文献:

- [1] SEDDON A B. A prospective for new mid-infrared medical endoscopy using chalcogenide glasses[J]. International Journal of Applied Glass Science, 2011, 2(3): 177-191.
- [2] SEDDON A B. Mid-infrared (IR)-A hot topic: The potential for using mid-IR light for non-invasive early detection of skin cancer in vivo[J]. Physica Status Solidi (b), 2013, 250(5):1020-1027.
- [3] 郭海涛, 陆敏, 陶光明, 等. 中红外发光稀土掺杂硫系玻璃的研究进展[J]. 硅酸盐学报, 2009(12):2150-2156.
- [4] WERLE P, SLEMR F, MAURER K, et al. Near-and mid-infrared laser-optical sensors for gas analysis[J]. Optics and Lasers in Engineering, 2002, 37(2):101-114.
- [5] TITTEL F K, RICHTER D, FRIED A. Mid-infrared laser applications in spectroscopy[J]. Solid-State Mid-Infrared Laser Sources, 2003, 89:458-529.
- [6] SUMIYOSHI T, SEKITA H, ARAI T, et al. High-power continuous-wave 3 and 2 μm Cascade Ho^{3+} : ZBLAN fiber laser and its medical applications[J]. IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics, 1999, 5(4): 936-943.
- [7] JACKSON S D. Continuous wave 2.9 μm dysprosium-doped fluoride fiber laser[J]. Applied Physics Letters, 2003, 83(7):1316-1318.

- [8] LINDEN K J. Fiber laser with 1.2-W CW-output power at 2 712 nm[J]. IEEE Photonics Technology Letters, 2004, 16(2):401-403.
- [9] SCHNEIDE J, CARBONNIER C, UNRAU U B. Characterization of a Ho^{3+} -doped fluoride fiber laser with a 3.9 μm emission wavelength[J]. Applied Optics, 1997, 36(33): 8595-8600.
- [10] TÖBBEN H. Room temperature CW fiber laser at 3.5 microns in Er^{3+} -doped ZBLAN glass[J]. Electronics Letters, 1992, 28(14):1361-1362.
- [11] JACKSON S D. Single-transverse-mode 2.5-W holmium-doped fluoride fiber laser operating at 2.86 μm [J]. Optics letters, 2004, 29(4):334-336.
- [12] ASOBE M, KANAMORI T, NAGANUMA K, et al. Third-order nonlinear spectroscopy in As_2S_3 chalcogenide glass fibers[J]. Journal of Applied Physics, 1995, 77(11): 5518-5523.
- [13] YE C, HEWAK D, HEMPSTEAD M, et al. Spectral properties of Er^{3+} -doped gallium lanthanum sulphide glass[J]. Journal of Non-Crystalline Solids, 1996, 208(1): 56-63.
- [14] GONG J, ZHAO Y, ZUO X, et al. Numerical study of raman fiber amplifier based on cascading As-S fiber and As-Se fiber[J]. Optical Review, 2015, 22(3): 483-488.
- [15] 侯亚南. Dy^{3+} 掺杂 Ge-Ga-S-CsI 硫卤玻璃的中红外发光性能研究[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2010.
- [16] 魏淑林. Ho^{3+} 离子掺杂硫系玻璃中红外发光特性研究[D]. 宁波: 宁波大学, 2013.
- [17] 戴世勋, 彭波, 乐放达, 等. Dy^{3+} 掺杂 Ge-Ga-S-CsI 玻璃中红外发光特性研究[J]. 物理学报, 2010, 59(5):3547-3553.
- [18] 於杏燕, 戴世勋, 周亚训, 等. 掺铈硫系玻璃光纤的中红外增益特性模拟研究[J]. 中国激光, 2012(1):145-151.
- [19] LU C, GUO H, XU Y, et al. Mid-infrared emissions of Pr^{3+} -doped $\text{GeS}_2\text{-Ga}_2\text{S}_3\text{-CdI}_2$ chalcogenide glasses[J]. Materials Research Bulletin, 2014, 60:391-396.
- [20] JUDD B. Optical absorption intensities of rare-earth ions[J]. Physical Review, 1962, 127(3):750-761.
- [21] OFELT G. intensities of crystal spectra of rare-earth ions[J]. The Journal of Chemical Physics, 1962, 37(3): 511-520.
- [22] WEST Y, SCHWEIZER T, BRADY D, et al. Gallium Lanthanum sulphide fibers for infrared transmission[J]. Fiber & Integrated Optics, 2000, 19(3):229-250.

Research on enhancement of mid-infrared emission properties of Pr^{3+} doped selenide chalcogenide glasses

BIAN Jun-yi, XU Tie-feng*

(Faculty of Electrical Engineering and Computer Science, Ningbo University, Ningbo 315211, China)

Abstract: A series of Pr^{3+} -doped selenide glasses are prepared by melt-quenching method. Absorption spectra and intense mid-infrared (3~5 μm) fluorescence spectra have been measured with different concentration Pr^{3+} doped selenide glasses using the pump of 2.0 μm . Besides, near-infrared (1.0~1.8 μm) emission spectra can be detected due to the excited state absorption of Pr^{3+} when pumped by 2.0 μm . According to the Judd-Ofelt theory, the intensity parameters Ω_t ($t=2, 4, 6$), radiative lifetimes and stimulated emission cross-section of different concentration Pr^{3+} doped selenide glass are calculated, and the influence of coordination environment of Pr^{3+} on the luminescence property are addressed. The results indicate that the energy level transition corresponding to 4.6 μm and 4.8 μm possesses the larger stimulated emission cross-section, as such this system has the potential to be a good gain material for mid-infrared fiber laser.

Key words: mid-infrared luminescence; Pr^{3+} doped; chalcogenide glass; Judd-Ofelt theory

(责任编辑 章践立)