

Er³⁺/Yb³⁺ 共掺 Gd₃Sc₂Ga₃O₁₂ 晶体的上转换发光^{*}

罗建乔¹⁾²⁾ 孙敦陆¹⁾ 张庆礼¹⁾ 刘文鹏¹⁾²⁾ 谷长江¹⁾ 吴路生¹⁾ 殷绍唐^{1)†}

1) 中国科学院安徽光学精密机械研究所, 合肥 230031)

2) 中国科学院研究生院, 北京 100049)

(2008 年 5 月 27 日收到, 2008 年 6 月 10 日收到修改稿)

研究了提拉法生长的 Er³⁺/Yb³⁺:Gd₃Sc₂Ga₃O₁₂ 和 Er³⁺:Gd₃Sc₂Ga₃O₁₂ 晶体在室温下 320—1700 nm 范围的吸收光谱和 500—750 nm 范围内的上转换荧光光谱, 同时对其上转换荧光的可能发生机制、途径以及上转换过程可能对 Er³⁺ 的 2.8 μm 波段激光振荡产生的影响进行了分析和讨论. 结果表明: Yb³⁺ 的敏化显著地增强了晶体在 966 nm 附近的吸收能力, 大幅度加宽了晶体在该处的吸收带宽. 在 940 nm 激光的激发下, Er³⁺/Yb³⁺:Gd₃Sc₂Ga₃O₁₂ 中的上转换荧光强度明显强于 Er³⁺:Gd₃Sc₂Ga₃O₁₂ 中的上转换荧光强度, 表明 Yb³⁺ 与 Er³⁺ 之间存在高效率的能量传递, 其主要上转换机制可能为 Yb³⁺-Er³⁺, Er³⁺-Er³⁺ 能量传递.

关键词: 光致发光, 上转换, Er³⁺:Gd₃Sc₂Ga₃O₁₂ 晶体, Er³⁺/Yb³⁺:Gd₃Sc₂Ga₃O₁₂ 晶体

PACC: 4270, 3250, 3320K, 4210K

1. 引 言

钆铈石榴石 Gd₃Sc₂Ga₃O₁₂(GSGG) 是重要的激光基质材料, 具有大的晶格常数, 有利于 Cr³⁺ 等离子在其中的可调谐运转. 同时, GSGG 易于实现平界面生长, 可以生长出无应力及杂质核心的晶体, 具有优良的热性能和稳定的物化特性^[1]. 据报道, Cr:Nd:GSGG^[2] 具有比 Nd:YAG 强得多的抗辐射性能. 随着 Sc₂O₃ 价格较大幅度的下降, 国内外对掺杂不同激活离子 GSGG 晶体的特性研究又逐渐兴起^[3-5]. Er³⁺ 具有丰富的能级结构, 掺 Er³⁺ 的激光材料能够输出多种不同的激光波长, 在光通信、激光医疗等领域有着重要的应用. 同时, Er³⁺ 在可见光波段有重要的蓝、绿、黄和红光发射, 其在海底通信、高密度信息存储以及激光显示等领域有着广阔的应用前景. 国内外对掺 Er³⁺ 激光材料的上转换效应进行了广泛的研究报道^[6-16], 但研究主要集中在对 Er³⁺ 掺杂的玻璃材料上, 而对晶体材料的研究报道不多, 目前作者尚未见到关于 Er³⁺ 和 Yb³⁺ 共同掺杂的 GSGG 晶体材料上转换荧光的报道.

Er³⁺ 掺杂的 GSGG 是获得 2.7—3 μm 激光的重

要激光材料^[17]. 但其在 966 nm 附近的吸收窄而弱, 这一方面限制了 Er:GSGG 对激光二极管(LD)抽运光的吸收效率, 同时又提高了对 LD 抽运源的温控要求. 我们最近发现, 通过 Yb³⁺ 的敏化可大幅度提高晶体在 966 nm 附近的吸收效率, 且吸收带半高全宽增加了约 50 nm, 易于制成 LD 抽运的小型化、高效率的薄片激光器, 从而有利于改善热畸变以提高输出光束质量, 同时降低了对 LD 的温控要求. 目前作者尚未见到这方面的工作报道. 认识 Er³⁺ 掺杂以及 Er³⁺, Yb³⁺ 共掺杂 GSGG 晶体中的光跃迁过程是进一步研究其激光性能的重要工作, 本文对 Er³⁺ 掺杂浓度为 35% 的 Er³⁺:GSGG 晶体和经 Yb³⁺ 敏化处理后该晶体的吸收特性以及上转换荧光特性进行了研究, 并对晶体中可能的上转换发光机制和途径进行了讨论.

2. 实 验

Er³⁺/Yb³⁺:GSGG 晶体由提拉法沿 111 方向生长而成. 晶体生长所用原料由光谱纯的 Gd₂O₃, Ga₂O₃, Sc₂O₃, Er₂O₃ 和 Yb₂O₃ 按照化学式 Gd_(1-x-y)Er_{3x}Yb_{3y}Sc₂Ga₃O₁₂ (x = 0.35, y = 0.15) 配

^{*} 国家自然科学基金(批准号 50772112)资助的课题.

[†] E-mail: shtyin@aiofm.ac.cn

制、煅烧而成. 将生长出的晶体退火后沿垂直于 111 轴的方向切割出盘片, 加工成 2.5 mm 厚薄片并双面抛光. 用 PERKIN-ELMER-LANBDA 900 UV/VIS/NIR 型分光光度计测量了其 320—1700 nm 的吸收光谱. 上转换荧光实验中采用德国生产的 LIMO 940 nm 半导体激光器作激发光源, 经透镜聚焦后照射在样品上, 上转换荧光采用美国海洋光学公司的 USB2000 型高灵敏度光谱仪采集. 所有测试均在室温下进行.

3. 结果及讨论

3.1. 吸收光谱

$\text{Er}^{3+}:\text{GSGG}$ 和 $\text{Er}^{3+}/\text{Yb}^{3+}:\text{GSGG}$ 的吸收光谱如图 1 所示, 扫描范围为 320—1700 nm. 光谱中每一个吸收峰值均由 Er^{3+} 或 Yb^{3+} 的激发态能级标示. 在吸

收光谱中, 381, 488, 524, 543, 654, 790, 966, 1473 和 1530 nm 附近均出现了明显的吸收峰. 上述吸收峰中, 381, 488, 524, 543, 654 和 790 nm 处的吸收峰分别对应于 Er^{3+} 从基态 $^4I_{15/2}$ 到激发态 $^4G_{11/2}$, $^4F_{7/2}$, $^2H_{11/2}$, $^4S_{3/2}$, $^4F_{9/2}$ 和 $^4I_{9/2}$ 的跃迁, 而 1473 和 1530 nm 附近强而宽的吸收峰均对应于 Er^{3+} 从基态 $^4I_{15/2}$ 到激发态 $^4I_{13/2}$ 的跃迁. 值得注意的是, $\text{Er}^{3+}/\text{Yb}^{3+}:\text{GSGG}$ 晶体在 966 nm 附近的吸收峰比 $\text{Er}^{3+}:\text{GSGG}$ 晶体在该处的吸收峰宽得多, 其半高全宽达 60 nm, 且 966 nm 处的吸收系数由 $\text{Er}^{3+}:\text{GSGG}$ 中的 8.72 cm^{-1} 增加至 $\text{Er}^{3+}/\text{Yb}^{3+}:\text{GSGG}$ 中的 12.95 cm^{-1} , 这主要是由于 Yb^{3+} 的 $^2F_{7/2} \rightarrow ^2F_{5/2}$ 的吸收引起. 可见掺入 Yb^{3+} 后克服了 Er^{3+} 在该波段处吸收较弱的缺点, 同时有利于抽运源的灵活选择, 不需要特殊的温度控制就可以实现晶体吸收带与半导体激光器发射带的匹配, 极大地提高了晶体对抽运光的吸收效率.

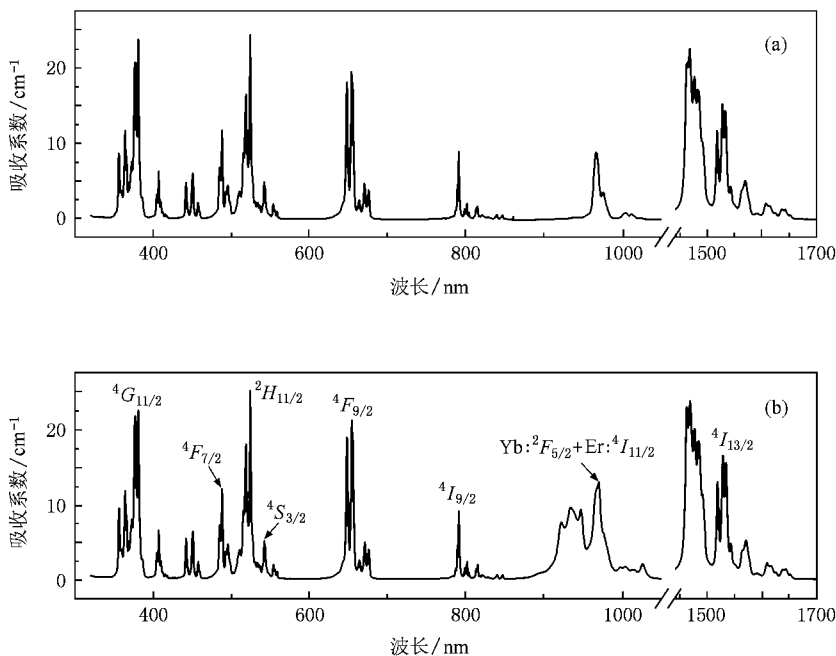


图 1 $\text{Er}^{3+}:\text{GSGG}$ 和 $\text{Er}^{3+}/\text{Yb}^{3+}:\text{GSGG}$ 晶体的吸收光谱 (a) $\text{Er}^{3+}:\text{GSGG}$, (b) $\text{Er}^{3+}/\text{Yb}^{3+}:\text{GSGG}$

3.2. 上转换光谱及机理分析

两种晶体在 940 nm 激光激发下的上转换荧光发射谱如图 2 所示. 对于 $\text{Er}^{3+}/\text{Yb}^{3+}:\text{GSGG}$ 晶体, 在 556.85 nm 附近有一个发射带, 来自于 Er^{3+} 的 $^4S_{3/2} \rightarrow ^4I_{15/2}$ 的绿色上转换跃迁, 在 643.14, 667.44 和 677.97 nm 处有三个发射峰, 均来自于 Er^{3+} 的 $^4F_{9/2} \rightarrow ^4I_{15/2}$ 的红色跃迁发射, 主发射带在 677.97 nm 处, 红绿

两发射带的主发射峰强度基本相当, 绿光稍微强于红光. 在相同条件下, Er^{3+} 掺杂浓度为 35% 的 $\text{Er}^{3+}:\text{GSGG}$ 的红绿两发射带的上转换荧光强度比 $\text{Er}^{3+}/\text{Yb}^{3+}:\text{GSGG}$ 要小 1—2 个数量级. 这主要是由于 Yb^{3+} 的 $^2F_{7/2}$ 态与 $^2F_{5/2}$ 态的能量间隔和 Er^{3+} 的 $^4I_{15/2}$ 态与 $^4I_{11/2}$ 态的能量间隔比较匹配, 导致两种离子之间存在强烈的共振能量传递, Yb^{3+} 能够高效率地把所吸收的能量传递给 Er^{3+} , 大幅度提高了上转换发

光的转换效率.

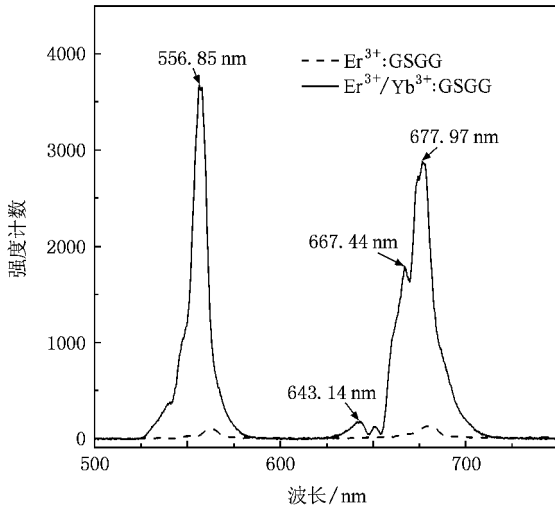


图2 $\text{Er}^{3+}/\text{Yb}^{3+}:\text{GSGG}$ 和 $\text{Er}^{3+}:\text{GSGG}$ 晶体在 940 nm 激光激发下的上转换荧光谱

已有研究表明,上转换发光峰强度 I_{up} 与红外激发功率 P_{IR} 之间的关系可表示为

$$I_{\text{up}} \propto P_{\text{IR}}^n, \quad (1)$$

式中 n 为激发一个上转换光子所需要吸收的激发光子数.对(1)式取对数可得

$$\log I_{\text{up}} = n \log P_{\text{IR}} + A, \quad (2)$$

式中 A 为常数.图3给出了 $\text{Er}^{3+}/\text{Yb}^{3+}:\text{GSGG}$ 和 $\text{Er}^{3+}:\text{GSGG}$ 晶体中红绿荧光峰强度与激发功率分别取对数后的曲线.从图3可以看出,随着激发功率的增加,上转换发光显著增强.对于 $\text{Er}^{3+}/\text{Yb}^{3+}:\text{GSGG}$, 上转换绿光和红光的 n 值分别为 1.45 和 1.38,而对于 $\text{Er}^{3+}:\text{GSGG}$, 上转换绿光和红光的 n 值分别为 2.08 和 1.91,表明两种晶体中的绿光和红光上转换发射均为双光子吸收过程^[13].相对于 $\text{Er}^{3+}:\text{GSGG}$, $\text{Er}^{3+}/\text{Yb}^{3+}:\text{GSGG}$ 晶体中上转换荧光曲线的斜率更加接近于 1.由文献[18,19]可知,这是由于随着激发功率的增加,上转换过程逐渐起主导作用所造成的.

基于以上结果,结合 Yb^{3+} 和 Er^{3+} 的能级图,我们对 Er^{3+} 的上转换发光机制进行了讨论.图4为 940 nm 的激光抽运下 Er^{3+} 可能的上转换发光及 $\text{Yb}^{3+}-\text{Er}^{3+}$ 能量传递(ET)示意图,在 940 nm 的激光抽运下,对于绿光上转换,首先发生如下基态吸收(GSA)过程:

$${}^2F_{7/2}(\text{Yb}^{3+}) + h\nu(940 \text{ nm}) \rightarrow {}^2F_{5/2}(\text{Yb}^{3+}),$$

$${}^4I_{15/2}(\text{Er}^{3+}) + h\nu(940 \text{ nm}) \rightarrow {}^4I_{11/2}(\text{Er}^{3+}).$$

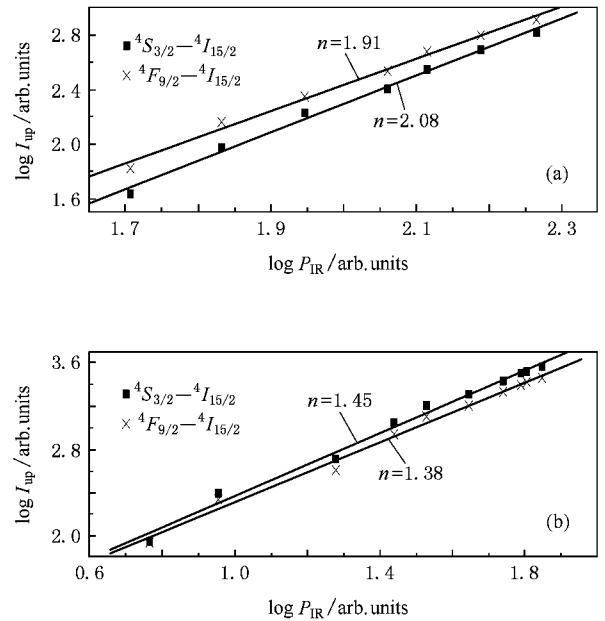


图3 $\text{Er}^{3+}:\text{GSGG}$ 和 $\text{Er}^{3+}/\text{Yb}^{3+}:\text{GSGG}$ 晶体中上转换发光强度与激发功率的关系 (a) $\text{Er}^{3+}:\text{GSGG}$ (b) $\text{Er}^{3+}/\text{Yb}^{3+}:\text{GSGG}$

由于 Er^{3+} 本身在 940 nm 处的吸收截面比 Yb^{3+} 小得多,因此主要以 Yb^{3+} 基态吸收为主,然后 Yb^{3+} 通过能量传递(ET1)过程

$${}^2F_{5/2}(\text{Yb}^{3+}) + {}^4I_{15/2}(\text{Er}^{3+}) \rightarrow {}^2F_{7/2}(\text{Yb}^{3+}) + {}^4I_{11/2}(\text{Er}^{3+}),$$

将 Er^{3+} 激发至激发态 ${}^4I_{11/2}$.处于 ${}^4I_{11/2}$ 的部分 Er^{3+} 可通过如下过程被进一步激发到 ${}^4F_{7/2}$ 能级:相邻 Er^{3+} 的交叉弛豫(CR2)

$${}^4I_{11/2}(\text{Er}^{3+}) + {}^4I_{11/2}(\text{Er}^{3+}) \rightarrow {}^4F_{7/2}(\text{Er}^{3+}) + {}^4I_{15/2}(\text{Er}^{3+});$$

Yb^{3+} 与 Er^{3+} 间的进一步能量传递(ET3)

$${}^4I_{11/2}(\text{Er}^{3+}) + {}^2F_{5/2}(\text{Yb}^{3+}) \rightarrow {}^4F_{7/2}(\text{Er}^{3+}) + {}^2F_{7/2}(\text{Yb}^{3+});$$

Er^{3+} 间的双光子上转换

$${}^4I_{11/2}(\text{Er}^{3+}) + {}^4I_{11/2}(\text{Er}^{3+}) + {}^4I_{15/2}(\text{Er}^{3+}) \rightarrow {}^4I_{15/2}(\text{Er}^{3+}) + {}^4I_{15/2}(\text{Er}^{3+}) + {}^4F_{7/2}(\text{Er}^{3+}).$$

而后 Er^{3+} 的 ${}^4F_{7/2}$ 能级上的粒子通过无辐射跃迁到 ${}^4S_{3/2}$ 能级上而产生 556.85 nm 附近的绿色上转换发射.

对于 677.97 nm 附近的红色上转换荧光,存在如下可能的发光机制(1)处于 ${}^4I_{11/2}$ 能级上的部分 Er^{3+} 通过无辐射跃迁至 ${}^4I_{13/2}$,而后处于 ${}^4I_{13/2}$ 的 Er^{3+} 通过与 Yb^{3+} 间进一步能量传递(ET2)

$${}^4I_{13/2}(\text{Er}^{3+}) + {}^2F_{5/2}(\text{Yb}^{3+}) \rightarrow {}^4F_{9/2}(\text{Er}^{3+}) + {}^2F_{7/2}(\text{Yb}^{3+}),$$

与相邻 Er^{3+} 交叉弛豫(CR1)

$${}^4I_{13/2}(\text{Er}^{3+}) + {}^4I_{11/2}(\text{Er}^{3+}) \rightarrow {}^4F_{9/2}(\text{Er}^{3+}) + {}^4I_{15/2}(\text{Er}^{3+})$$

跃迁至 ${}^4F_{9/2}$,然后产生 ${}^4F_{9/2}-{}^4I_{15/2}$ 的辐射跃迁发

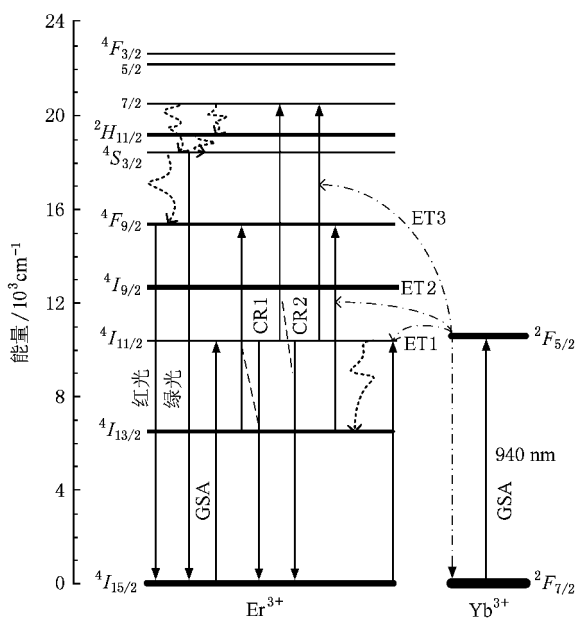


图4 $\text{Er}^{3+}/\text{Yb}^{3+}$:GSGG 在 940 nm 激光抽运下可能的上转换发光示意图

射出 677.97 nm 附近的红光。(2) 可能存在 Er^{3+} 的 $^4\text{S}_{3/2}$ 能级向 $^4\text{F}_{9/2}$ 的无辐射弛豫, 进而产生向 $^4\text{I}_{15/2}$ 的辐射跃迁。经分析认为, 940 nm 激光激发的高掺杂 $\text{Er}^{3+}/\text{Yb}^{3+}$:GSGG 晶体中, 主要的上转换发光途径为 Yb^{3+} 与 Er^{3+} 以及相邻 Er^{3+} 之间的能量传递。

参考图 4 所示 $\text{Er}^{3+}/\text{Yb}^{3+}$:GSGG 的上转换发光机制、能量匹配与抽运功率的依赖关系以及两种晶体中上转换强度的区别, 对于 Er^{3+} :GSGG 晶体, 我们认为在 940 nm 激光抽运下, 其主要的上转换机制为相邻 Er^{3+} 之间的能量传递。

$^4\text{I}_{11/2}$ 和 $^4\text{I}_{13/2}$ 分别为 Er^{3+} 的 2.8 μm 左右激光发射的上能级和终态能级。一方面, 上转换过程 $^4\text{I}_{13/2} + ^4\text{I}_{13/2} \rightarrow ^4\text{I}_{15/2} + ^4\text{I}_{9/2}$ 会抽空 $^4\text{I}_{13/2}$ 上的粒子, 增加能级

$^4\text{I}_{11/2}$ 上的粒子数, 有利于该波段激光发射。同时 CR1, CR2 以及 ET3 等上转换过程又会造成能级 $^4\text{I}_{11/2}$ 上粒子数的减少, 这将对 Er^{3+} 的 2.8 μm 波段激光发射造成不利的影响。

4. 结 论

研究了提拉法生长的 $\text{Er}^{3+}/\text{Yb}^{3+}$:GSGG 和 Er^{3+} :GSGG 晶体的吸收光谱。对吸收光谱分析发现, Yb^{3+} 的掺入在很大程度上增强了晶体在 966 nm 附近的光吸收能力, 吸收峰的半高全宽增加了约 50 nm, 有利于 940—970 nm 波段 LD 对晶体的抽运, 降低了对抽运源的温控要求。在 940 nm 激光激发时, $\text{Er}^{3+}/\text{Yb}^{3+}$:GSGG 晶体中观测到了强的 556.85 和 677.97 nm 附近的绿色和红色上转换荧光, 而在同等条件下, Er^{3+} :GSGG 晶体的上转换荧光强度要小 1—2 个数量级。这表明 Yb^{3+} 对 Er^{3+} 的敏化是切实有效的, 它们之间存在高效率的能量传递过程。激发功率和上转换发光强度的关系表明, 在 940 nm 激光激发下, 两种晶体中的上转换过程均为双光子吸收过程。从能级结构出发, 对晶体可能的上转换机制和途径进行了分析, 发现在高掺杂的情况下两晶体中上转换的主要机制可能是相邻离子间的能量传递过程, 部分上转换过程可能对 Er^{3+} 的 2.8 μm 激光发射造成不利的影响。因此, 探寻合适的掺杂浓度或者寻找其他的敏化离子, 对于增强晶体的上转换发光效率以研制出实用的上转换激光器或者抑制某些上转换过程以增强 2.8 μm 激光发射均具有重要的意义。进一步的工作正在进行中。

感谢本所张玉钧研究员和王志刚、肖雪、刘志明等同事在上转换荧光谱测试中给予的帮助。

- [1] Zhang Q L, Shao S F, Su J, Sun D L, Gu C J, Huang M F, Li W M, Wang Z B, Zhang X, Yin S T 2005 *Chin. J. Quantum Electron.* **22** 559 (in Chinese) [张庆礼、邵淑芳、苏静、孙敦陆、谷长江、黄明芳、李为民、王召兵、张霞、殷绍唐 2005 量子电子学报 **22** 559]
- [2] Zharikov E V, Kuratov I I, Laptev V V, Naselskii S P, Ryabov A I, Toropkin G N, Shestakov A V, Shcherbakov I A 1984 *Bull. Acad. Sci. USSR: Phys. Ser.* **48** 103

- [3] Sun D L, Zhang Q L, Wang Z B, Su J, Zhang X, Shao S F, Gu C J, Wang A H, Jiang H H, Yin S T 2005 *Chin. J. Quantum Electron.* **22** 570 (in Chinese) [孙敦陆、张庆礼、王召兵、苏静、张霞、邵淑芳、谷长江、王爱华、江海河、殷绍唐 2005 量子电子学报 **22** 570]
- [4] Lupei V, Lupei A, Gheorghe C, Ikesue A 2008 *J. Lumin.* **128** 885
- [5] Luo J Q, Wu L S, Ma M J, Wang J G 2007 *Chin. J. Lasers* **34**

- 191 (in Chinese) [罗建乔、吴路生、马明俊、王继光 2007 中国激光 **34** 191]
- [6] Cantelar E , Cussó F 2003 *J. Lumin.* **101**—**103** 525
- [7] Xu S Q , Wang G N , Zhang J J , Dai S X , Hu L L , Jiang Z H 2004 *Acta Phys. Sin.* **53** 1840 (in Chinese) [徐时清、汪国年、张军杰、戴世勋、胡丽丽、姜中宏 2004 物理学报 **53** 1840]
- [8] Yu Y , Li S C , Zhou B B , Xin X S 2006 *Acta Phys. Sin.* **55** 4332 (in Chinese) [俞莹、吕树臣、周百斌、辛显双 2006 物理学报 **55** 4332]
- [9] Ding Q L , Xiao S G , Zhang X H , Xia Y Q , Liu Z W 2006 *Acta Phys. Sin.* **55** 5140 (in Chinese) [丁庆磊、肖思国、张向华、夏艳琴、刘政威 2006 物理学报 **55** 5140]
- [10] Yang Z M , Zhang Q Y , Liu Y H , Jiang Z H 2005 *Acta Phys. Sin.* **54** 2013 (in Chinese) [杨中民、张勤远、刘粤惠、姜中宏 2005 物理学报 **54** 2013]
- [11] Wen L , Zhang L Y , Yang J H , Wang G N , Chen W , Hu L L 2006 *Acta Phys. Sin.* **55** 1486 (in Chinese) [温磊、张丽艳、杨建虎、汪国年、陈伟、胡丽丽 2006 物理学报 **55** 1486]
- [12] Yang H G , Dai Z W , Zu N N 2007 *Chin. Phys.* **16** 1650
- [13] Su F N , Deng Z D 2006 *Chin. Phys.* **15** 1096
- [14] Li T , Zhang Q Y , Jiang Z H 2007 *Chin. Phys.* **16** 1155
- [15] Xu S Q , Fang D W , Zhang Z X , Zhao S L , Zhang L Y 2005 *Chin. Phys.* **14** 2246
- [16] Battisha I K 2007 *J. Non-Cryst. Solids* **353** 1748
- [17] Stoneman R C , Esterowitz L 1992 *Opt. Lett.* **17** 816
- [18] Suyver J F , Aebischer A , García-Revilla S , Gerner P , Güdel H U 2005 *Phys. Rev. B* **71** 125123
- [19] Pollnau M , Gamelin D R , Lüthi S R , Güdel H U 2000 *Phys. Rev. B* **61** 3337

Up-conversion luminescence in $\text{Er}^{3+}/\text{Yb}^{3+}$ -codoped $\text{Gd}_3\text{Sc}_2\text{Ga}_3\text{O}_{12}$ laser crystals^{*}

Luo Jian-Qiao^{1,2)} Sun Dun-Lu¹⁾ Zhang Qing-Li¹⁾ Liu Wen-Peng^{1,2)}
Gu Chang-Jiang¹⁾ Wu Lu-Sheng¹⁾ Yin Shao-Tang^{1)†}

1) *Anhui Institute of Optics and Fine Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Hefei 230031, China*

2) *Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China*

(Received 27 May 2008; revised manuscript received 10 June 2008)

Abstract

$\text{Er}^{3+}/\text{Yb}^{3+}:\text{Gd}_3\text{Sc}_2\text{Ga}_3\text{O}_{12}$ and $\text{Er}^{3+}:\text{Gd}_3\text{Sc}_2\text{Ga}_3\text{O}_{12}$ crystals have been grown by Czochralski method. The absorption spectra from 320 to 1700 nm and the up-conversion fluorescence spectra from 500 to 750 nm of them were investigated at room temperature, respectively. The possible up-conversion luminescence mechanisms in $\text{Er}^{3+}/\text{Yb}^{3+}$ -codoped crystals and their influences on the 2.8 μm laser emission were discussed. Experimental results show that the absorption of $\text{Er}^{3+}:\text{Gd}_3\text{Sc}_2\text{Ga}_3\text{O}_{12}$ around 966 nm and its bandwidth are remarkably increased by Yb^{3+} sensitizing. Under 940 nm excitation, the up-conversion luminescence intensity of $\text{Er}^{3+}/\text{Yb}^{3+}:\text{Gd}_3\text{Sc}_2\text{Ga}_3\text{O}_{12}$ is much stronger than that of $\text{Er}^{3+}:\text{Gd}_3\text{Sc}_2\text{Ga}_3\text{O}_{12}$. It demonstrates that there exist effective energy transfer processes between Yb^{3+} and Er^{3+} , and the dominant mechanism of up-conversion may be the energy transfer processes of $\text{Yb}^{3+}-\text{Er}^{3+}$ and $\text{Er}^{3+}-\text{Er}^{3+}$.

Keywords : photoluminescence, up-conversion, $\text{Er}^{3+}:\text{Gd}_3\text{Sc}_2\text{Ga}_3\text{O}_{12}$, $\text{Er}^{3+}/\text{Yb}^{3+}:\text{Gd}_3\text{Sc}_2\text{Ga}_3\text{O}_{12}$

PACC : 4270, 3250, 3320K, 4210K

^{*} Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant No. 50772112).

[†] E-mail : shtyin@aiofm.ac.cn