

效狭缝像在叠加处便具有不同的颜色,而非叠加处各自单独显示其位相的变化情况。实验结果与之相符。

参 考 文 献

- 1 于美文,光学学报,6(3), 207(1986)
- 2 于美文编著,光学信息及信息处理(国防工业出版社,北京,1984) 169

(收稿日期: 1988年12月19日)

新型激光晶体 $Y_3(In, Ga)_2Ga_3O_{12}:Cr^{3+}$ 的光谱特性

李运奎* 汤洪高 杭 寅 陈述春*

(中国科学院安徽光机所 230031)

Spectral properties of a novel laser crystal

$Y_3(In, Ga)_2Ga_3O_{12}:Cr^{3+}$

Li Yunkui, Tang Honggao, Hang Yin, Chen Shuchun

(Anhui Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica, Anhui)

Abstract: Spectral properties of a novel phonon-terminated laser crystal $Y_3(In, Ga)_2Ga_3O_{12}:Cr^{3+}$ grown by flux method are reported for the first time. The results show that the spectral properties of $Y_3(In, Ga)_2Ga_3O_{12}:Cr^{3+}$ crystal are compatible to those of $Gd_3(Sc, Ga)_2Ga_3O_{12}:Cr^{3+}$, it is a potential ambient temperature tunable laser crystal.

Key words: phonon-terminated laser crystal

引 言

$Gd_3(Sc, Ga)_2Ga_3O_{12}:Cr^{3+}$ (简称 GSGG:Cr³⁺)是一种性能优异的终端声子激光晶体^[1]。其晶场强度较弱,电子-声子耦合作用较强,室温下可观测到强的半宽度约为 100 nm 的终端声子发射谱带,同时已在实验上观察到了室温下的宽带连续可调谐激光输出^[2]。自报道以来倍受人们重视。但因铈(Sc)的稀有昂贵使其应用受到局限。作者曾以离子半径与之相近的 In 离子替代 Sc,生长出 $Gd_3(In, Ga)_2Ga_3O_{12}:Cr^{3+}$ (简称 GIGG:Cr³⁺)单晶,其晶场强度与 GSGG:Cr³⁺ 相同,但斯托克斯频移及荧光带宽都明显比 GSGG:Cr³⁺ 小,结果不甚理想^[3]。

本工作以 Y、In 分别替代 Gd、Sc,用熔盐法生长出 $Y_3(In, Ga)_2Ga_3O_{12}:Cr^{3+}$ 单晶(以后简称 YIGG:Cr³⁺)。由室温吸收光谱、荧光光谱及时间分辨光谱确定了该晶体的若干晶场参数和荧光寿命,结果表明 YIGG:Cr³⁺ 晶体的光谱性能明显优于 GIGG:Cr³⁺,可与 GSGG:Cr³⁺ 相媲美,是一种很有前途的室温终端声子可调谐激光晶体。

*现在通讯地址:中国科学院上海光机所。

晶 体 生 长

YIGG: Cr^{3+} 单晶由熔盐法制备。助熔剂采用 PbF_2 和 PbO ，并使用了少量的 PbO_2 以保护铂坩埚。熔质和熔剂的组分配比为： Y_2O_3 6 mol%， In_2O_3 4 mol%， Ga_2O_3 10 mol%， PbF_2 40 mol%， PbO 40 mol%， Cr_2O_3 1 mol%。熔质的纯度均为 4N，晶体在富铯状态下生长。由 JWC-802A 精密温度数字程序给定器和 DWT-702 组成自动控温系统，生长程序如下：以 $100^\circ\text{C}/\text{h}$ 的速率从室温升至 800°C ，再以 $200^\circ\text{C}/\text{h}$ 的速率升至 1300°C 恒温 10 小时后，以 $2^\circ\text{C}/\text{h}$ 的速率降至 1280°C ，在结晶温度区域 $1280\sim 1100^\circ\text{C}$ 降温速率减至 $1^\circ\text{C}/\text{h}$ ，最后以 $1.5^\circ\text{C}/\text{h}$ 的速率降至 800°C 。停炉，让其自然冷却至室温。从茂福炉中取出坩埚，用 1:1 稀释硝酸溶液浸泡数日以分离出晶体。所长单晶尺寸达 $5\times 5\times 5\text{mm}^3$ ，呈墨绿色，透明，质量好。

光 谱 分 析

YIGG: Cr^{3+} 晶体的室温吸收光谱及荧光光谱如图 1(a) 和 (b) 所示。

吸收光谱由日本 UV210 型分光光度计测得，它由二个宽带构成，其峰值波长分别为 620nm [${}^4A_2\rightarrow{}^4T_2(t_2^2e)$] 和 440nm [${}^4A_2\rightarrow{}^4T_1(t_2^2e)$]，谱中无明显锐线。

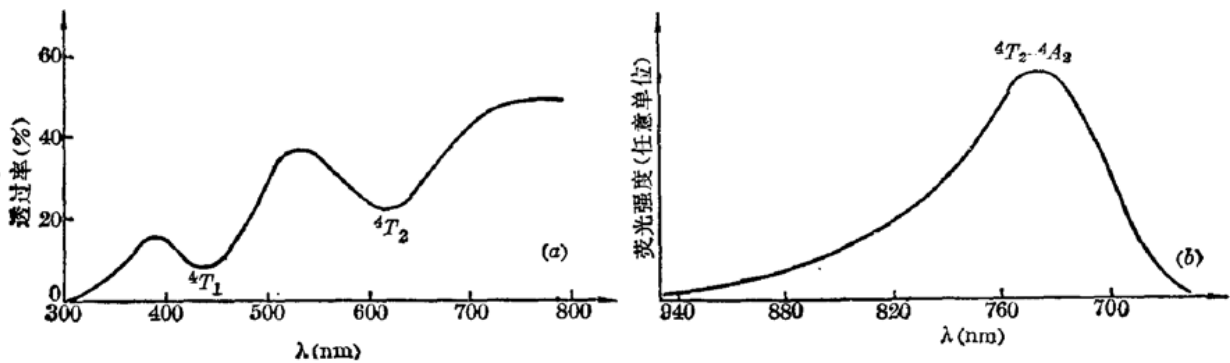


图 1 YIGG: Cr^{3+} 晶体的室温吸收光谱(a)和室温荧光光谱(b)

荧光光谱用 $1.06\ \mu\text{m}$ YAG: Nd^{3+} 脉冲激光经 KDP 倍频后激发，所产生的荧光经过 1 m 光栅单色仪后用光电倍增管接收，信号用 Boxcar 取样积分器处理，另一光电管用来接收激发光以作为输入 Boxcar B 通道的参考信号。取样积分器和激光器的触发是同步的，脉冲激光重复频率为 5 次/s。所测得的荧光光谱(室温)如图 1(b) 所示。荧光范围 $655\sim 950\text{nm}$ ，峰值波长 745nm ，半宽 100nm ($700\sim 800\text{nm}$)。在整个荧光谱宽内无尖峰结构，R 线未出现，这表明 YIGG: Cr^{3+} 晶体属于弱场介质，荧光跃迁为 ${}^4T_2(t_2^2e)\rightarrow{}^4A_2$ 。

由吸收光谱和荧光光谱可知斯托克斯频移为

$$\Delta E_s = 16129 - 13423 = 2706\text{ cm}^{-1}.$$

YIGG: Cr^{3+} 晶体的荧光寿命是在荧光中心波长 745nm 处，通过观测荧光衰减曲线计算出来的。由图 2 可见，衰减基本上是指数的。算得室温荧光寿命 $\tau \approx 56\ \mu\text{s}$ 。

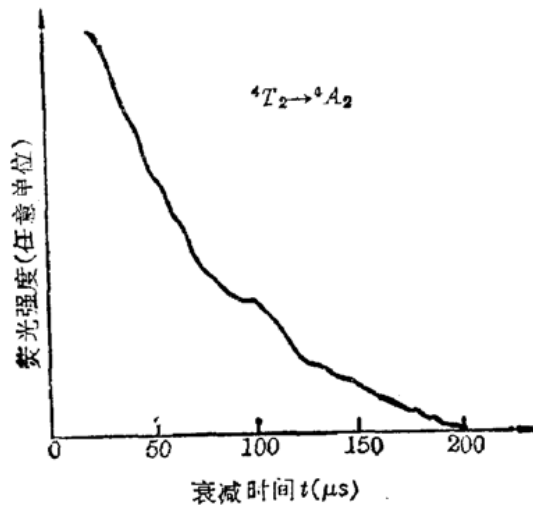


图2 YIGG:Cr³⁺ 晶体的室温荧光衰减曲线

晶场参数计算

在 O_h 晶场近似下, 运用 Tanabe-Sugano 能量矩阵^[4]可求得晶场强度参数 D_q 、Racah 参数 B 、 C 。 D_q 由下式给出:

$$10D_q = E_o[{}^4T_2(t_2^2e)] - E_o[{}^4A_2(t_2^2)]$$

此式右端表示在吸收光谱中 ${}^4T_2(t_2^2e)$ 峰的能级位置, 以波数表示。由 $\lambda[{}^4T_2(t_2^2e)] = 620 \text{ nm}$ 得相应的 $D_q = 1613 \text{ cm}^{-1}$ 。Racah 参数 B 可由下式算出^[5]

$$11D_q + \frac{15}{2} B = E_o[{}^4T_1(t_2^2e)] - E_o[{}^4A_2(t_2^2)]$$

并且勿需再拟合。代入 ${}^4T_1(t_2^2e)$ 的峰波长 440 nm (22727 cm^{-1}) 和 $D_q = 1613 \text{ cm}^{-1}$ 可得

$$B = 665 \text{ cm}^{-1}.$$

因为吸收光谱和荧光谱中 R 线场未出现, 故 C 值无法确定。 C 参数的确定以及晶场能级的拟合有待于低温光谱的测量。不过可以利用文献[6]中提出的结论, 对于 Cr^{3+} 掺杂的镓石榴石晶体一般有 $C \approx 5B$, 进行粗略估算得 $C \approx 3325 \text{ cm}^{-1}$ 。

讨 论

为了清楚起见, 现将有关 Ga 石榴石的光谱参数列于表 1^[1,8], 荧光光谱示于图 3^[3,7]。

由表 1 可知, 对于 YIGG:Cr³⁺ 晶体, $D_q/B = 2.43$, 在所列材料中最小, 因此晶场强度比其它晶体都弱。按文献[6]中提出的判据, YIGG:Cr³⁺ 的 ${}^2E-{}^4T_2$ 零声子线的间隔约为零, 这从荧光寿命 τ 较小中也反映出来。

YIGG:Cr³⁺ 晶体的晶格常数 a 明显大于 YGG:Cr³⁺, 而与 YSGG:Cr³⁺ 接近。这是因为 In^{3+} 和 Se^{3+} 的离子半径 (0.080 nm , 0.075 nm) 比 Ga^{3+} 的离子半径 (0.062 nm) 大许多。这也是导致 YIGG:Cr³⁺ 晶场强度减弱的直接原因。

YIGG:Cr³⁺ 晶体的荧光范围及半宽度与 GSGG:Cr³⁺ 相近, 而斯托克斯频移又比之大。若以 YGG:Cr³⁺ 晶体的平均声子频率 $\hbar\omega = 200 \text{ cm}^{-1}$ 来估算, YIGG:Cr³⁺ 晶体的黄昆-里斯因子 s 可达 7.3, 表明其电-声子耦合强度很强。宽带荧光使 YIGG:Cr³⁺ 有望成为在 $700 \sim$

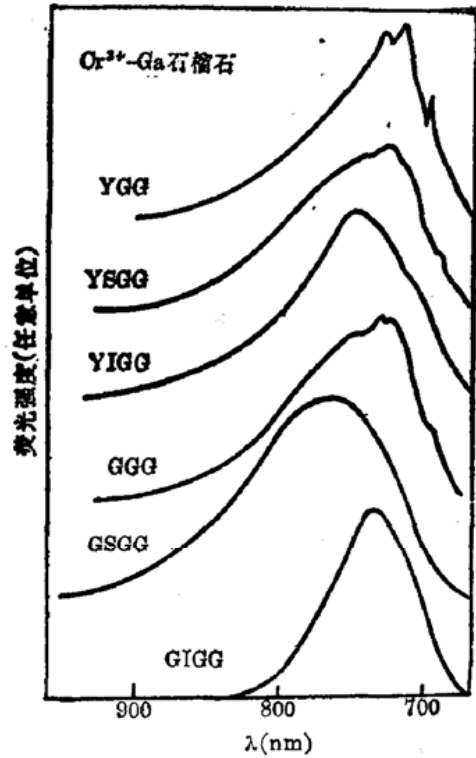


图 3 Cr^{3+} 掺杂的镱石榴石的荧光光谱(300K)

图 1 Cr^{3+} 掺杂的镱石榴石的光谱参数

	YGG	YSGG	YIGG	GGG	GSGG	GIGG
$E_a(4T_2)[cm^{-1}]$	16300	16130	16129	15970	15625	15625
$E_a(4T_1)[cm^{-1}]$	22730	22470	22727	22270	21980	21978
$E_0(4T_2)[cm^{-1}]$	15100	14790	14775	14740	14480	14628
$E_f(4T_2)[nm]$	740	760	745	760	760	734
$a[Å]$	12.277	12.476	12.459	12.376	12.567	12.566
$T_0[cm^{-1}]$	1630	1613	1613	1597	1563	1563
$B[cm^{-1}]$	639	630	665	626	638	639
D_q/B	2.55	2.53	2.43	2.55	2.45	2.45
$\Delta E_s[cm^{-1}]$	2400	2680	2706	2460	2290	2000
$\tau[\mu s]$	240	145	56	160	120	125

800 nm 波段连续可调谐激光晶体。

参 考 文 献

- 1 B. Struve et al., *Appl. Phys.*, **B36**, 195(1985)
- 2 B. Struve et al., *Appl. Phys.*, **57**(1), 45(1985)
- 3 李运奎, 汤洪高, 中国激光, 待发表
- 4 Y. Tanabe et al., *J. Phys. Soc. Japan*, **9**(5), 753(1954)
- 5 汤洪高, 李运奎 et al., *光学学报*, **6**(2), 155(1986)
- 6 李运奎, *光学学报*, **8**(4), 259(1988)
- 7 B. Struve et al., *Appl. Phys.*, **B30**, 117(1983)

(收稿日期: 1989 年 1 月 5 日)