

文章编号: 0258-7025(2004)03-0339-03

Nd³⁺:Y_{0.5}Gd_{0.5}VO₄ 晶体光谱特性

张连翰¹, 杭 寅^{2,3}, 孙敦陆¹, 钱小波^{2,3}, 李世锋³, 殷绍唐¹

¹ 中国科学院安徽光学精密机械研究所, 安徽 合肥 230031

(² 中国科学院上海光学精密机械研究所, 上海 201800; ³ 昆山上光富晶光电材料有限公司, 江苏 昆山 215316)

摘要 测量了 0.8 at.-% Nd³⁺:Y_{0.5}Gd_{0.5}VO₄ 的吸收光谱和荧光发射谱, 光谱显示该晶体在 808.5 nm 有很强的偏振光吸收峰, 且 π 偏振光($E // C$) 吸收远强于 σ 偏振光($E \perp C$) 吸收, 半高宽度分别为 4.5 nm 和 12 nm, 吸收截面分别为 $19.69 \times 10^{-20} \text{ cm}^2$ 和 $6.41 \times 10^{-20} \text{ cm}^2$; 其荧光发射 ($^4F_{3/2} \rightarrow ^4I_{11/2}$ 跃迁) 峰值波长在 1064 nm, 半高宽度为 3.7 nm; $^4F_{3/2} \rightarrow ^4I_{11/2}$ 跃迁的荧光寿命为 110 μs ; 光谱特性表明 Nd³⁺:Y_{0.5}Gd_{0.5}VO₄ 晶体是潜在的高效率激光晶体材料。

关键词 光谱分析; Nd³⁺:Y_{0.5}Gd_{0.5}VO₄ 晶体; 吸收光谱; 荧光发射谱; 荧光寿命

中图分类号 O 734; TN 244 文献标识码 A

Spectral Properties of Nd³⁺:Y_{0.5}Gd_{0.5}VO₄ Crystal

ZHANG Lian-han¹, HANG Yin^{2,3}, SUN Dun-lu¹,

QIAN Xiao-bo^{2,3}, LI Shi-feng³, YIN Shao-tang¹

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

²Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, The Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800, China

³Kunshan Shangguang Fusing Optoelectronic Materials Co. Ltd., Kunshan, Jiangsu 215316, China

Abstract In this paper, the absorption spectrum and the fluorescence (or emission) spectrum of the Nd³⁺:Y_{0.5}Gd_{0.5}VO₄ crystal were measured; Its strong absorption wavelength is at 808.5 nm; Its π polarized absorption is stronger than its σ polarized absorption and their FWHM are 4.5 nm and 8.5 nm, respectively, their absorption cross section are $19.69 \times 10^{-20} \text{ cm}^2$ and $6.41 \times 10^{-20} \text{ cm}^2$, respectively; Fluorescence (or emission) spectrum FWHM at 1064 nm is 3.7 nm; Its fluorescence lifetime is 110 μs (Nd:0.8 at.-%); These properties show that Nd³⁺:Y_{0.5}Gd_{0.5}VO₄ crystal is a kind of potential efficient laser material.

Key words spectrum analysis; Nd³⁺:Y_{0.5}Gd_{0.5}VO₄ crystal; absorption spectrum; fluorescence spectrum; fluorescence lifetime

1 引言

Nd³⁺:YVO₄ 晶体属于四方晶系, 呈锆英石结构, 空间群为 I4₁/amd, 由于它的抽运阈值低, 对波长为 808.5 nm 光的吸收截面大、激光损伤阈值高、激光效率高等优良特性^[1], 使它在 LD 抽运固体激光材料中占有重要地位。Nd³⁺:GdVO₄ 具有与 Nd³⁺:YVO₄ 相同的晶体结构, 由于它比 Nd³⁺:YVO₄ 有某些更加优良的激光性能和热性能^[2,3], 吸

引了很多科技工作者的注意, 本文将通过 0.8 at.-% Nd³⁺:Y_{0.5}Gd_{0.5}VO₄ 单晶的光谱测试结果介绍此晶体的光谱特性。

2 Nd³⁺:Y_{0.5}Gd_{0.5}VO₄ 晶体的偏振吸收光谱

2.1 测量

用纯度为 4 N 的 Y₂O₃, Gd₂O₃, Nd₃O₃, V₂O₅

收稿日期: 2002-08-15; 收到修改稿日期: 2002-12-19

作者简介: 张连翰(1960—), 男, 中国科学院安徽光学精密机械研究所博士研究生, 主要从事功能晶体材料的生长与研究。

E-mail: lhzhang@opt.ac.cn

原料以适当比例混合均匀,采用固相法合成多晶料,再用 Czochralski 方法制成 0.8 at.-% $\text{Nd}^{3+} : \text{Y}_{0.5}\text{Gd}_{0.5}\text{VO}_4$ 单晶。将已经制成的晶体切割成尺寸为 $3 \text{ mm} \times 5 \text{ mm} \times 0.835 \text{ mm}$ ($a \times c \times b$) 的样品,两个大面抛光,通光方向为 b 方向(厚度方向),用 Lambda900UV/VIS/NIR 型光谱仪进行吸收光谱测量,偏振吸收光谱如图 1 所示。

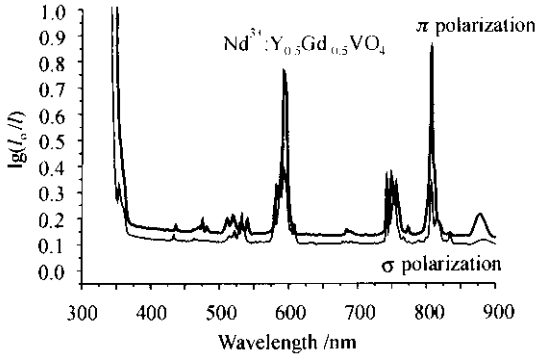


图 1 $\text{Nd}^{3+} : \text{Y}_{0.5}\text{Gd}_{0.5}\text{VO}_4$ 晶体的偏振吸收光谱

Fig. 1 Polarized absorption spectrum of the $\text{Nd}^{3+} : \text{Y}_{0.5}\text{Gd}_{0.5}\text{VO}_4$ crystal

2.2 结果

图 1 显示,在 $300 \sim 900 \text{ nm}$ 范围内,除强烈紫外吸收外,还有 5 个吸收带,所对应的能级跃迁依次为 $^4I_{9/2} \rightarrow ^2K_{13/2}$, $^4G_{7/2}$, $^4G_{9/2}$ (中心波长 525 nm); $^4I_{9/2} \rightarrow ^4G_{5/2}$, $^2G_{7/2}$ (中心波长 580 nm); $^4I_{9/2} \rightarrow ^4S_{3/2}$, $^4F_{7/2}$ (中心波长 750 nm); $^4I_{9/2} \rightarrow ^4F_{5/2}$, $^2H_{9/2}$ (中心波长 808.5 nm); $^4I_{9/2} \rightarrow ^4F_{3/2}$ (中心波长 870 nm); 其中对波长为 808.5 nm 光的吸收最强,在此吸收峰处对 π 偏振光的吸收强度比对 σ 偏振光的强得多,半高宽度(FWHM)分别为 4.5 nm 和 8.5 nm 。根据测量数据和吸收系数公式 $\alpha = 2.303L^{-1}\lg(I_0/I)$ 及吸收截面公式 $S = 2.303L^{-1}N^{-1}\lg(I_0/I)$,可计算出它们的吸收系数分别为 19.94 cm^{-1} 和 6.49 cm^{-1} ,吸收截面分别为 $19.69 \times 10^{-20} \text{ cm}^2$ 和 $6.41 \times 10^{-20} \text{ cm}^2$ 。LD 抽运光源具有偏振性,波长为 808 nm 附近 LD 抽运光源按 π 偏振抽运此晶体会明显提高吸收效率;而 LD 抽运光源不含紫外成分,还可避免因紫外光吸收所产生的晶体色心对激光振荡产生的不利影响;因此,LD 是该晶体的最佳抽运光源。

3 $\text{Nd}^{3+} : \text{Y}_{0.5}\text{Gd}_{0.5}\text{VO}_4$ 晶体的荧光谱

3.1 测量

采用 808.5 nm 光源抽运,测量 0.8 at.-%

$\text{Nd}^{3+} : \text{Y}_{0.5}\text{Gd}_{0.5}\text{VO}_4$ 晶体在室温条件下的偏振荧光谱和荧光寿命。样品尺寸为 $3 \text{ mm} \times 5 \text{ mm} \times 0.835 \text{ mm}$ ($a \times c \times b$),其 π 偏振荧光发射谱如图 2 所示。

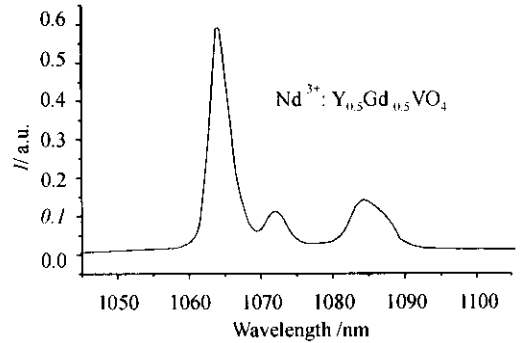


图 2 $\text{Nd}^{3+} : \text{Y}_{0.5}\text{Gd}_{0.5}\text{VO}_4$ 晶体的荧光谱

Fig. 2 Fluorescence spectrum of the $\text{Nd}^{3+} : \text{Y}_{0.5}\text{Gd}_{0.5}\text{VO}_4$ crystal

3.2 结果

图 2 表明,用 808.5 nm 光源抽运的 $\text{Nd}^{3+} : \text{Y}_{0.5}\text{Gd}_{0.5}\text{VO}_4$ 在 $1050 \sim 1100 \text{ nm}$ 范围内有三个荧光峰,它们均属于 $^4F_{3/2} \rightarrow ^4I_{11/2}$ 能级跃迁的结果,但由于晶格斯塔克效应使其分裂为三个比较靠近的荧光峰,它们的峰值对应波长分别为 1064 nm , 1075 nm , 1084 nm 。其中 1064 nm 处的峰值最大,半高宽度(FWHM)为 3.7 nm ,并测得 Nd^{3+} 离子的荧光寿命为 $110 \mu\text{s}$ 。

4 比较与分析

$\text{Nd}^{3+} : \text{Y}_{0.5}\text{Gd}_{0.5}\text{VO}_4$ 晶体是 $\text{Nd}^{3+} : \text{GdVO}_4$ 和 $\text{Nd}^{3+} : \text{YVO}_4$ 晶体固溶体,它的性能应该与这两种材料有可比性,但由于收集到的 $\text{Nd}^{3+} : \text{GdVO}_4$ 和 $\text{Nd}^{3+} : \text{YVO}_4$ 晶体数据中 Nd^{3+} 浓度与本文所述晶体中 Nd^{3+} 浓度不同,有些特性不宜进行直接比较,但为较全面了解三种晶体的性能,将它们的光谱性能列入表 1。

表 1 数据表明,在室温条件下, $\text{Nd}^{3+} : \text{Y}_{0.5}\text{Gd}_{0.5}\text{VO}_4$ 的吸收截面比 $\text{Nd}^{3+} : \text{GdVO}_4$ 略大,但不及 $\text{Nd}^{3+} : \text{YVO}_4$,它的吸收效率比 $\text{Nd}^{3+} : \text{GdVO}_4$ 高;它在吸收峰 808.5 nm 处的半高宽度比 $\text{Nd}^{3+} : \text{GdVO}_4$ 宽;荧光发射峰都在 1064 nm 附近; $\text{Nd}^{3+} : \text{Y}_{0.5}\text{Gd}_{0.5}\text{VO}_4$ 在 1064 nm 附近的荧光半高宽度比 $\text{Nd}^{3+} : \text{GdVO}_4$ 宽一倍;吸收和发射谱线的加宽可能是固熔晶体场的相对不均而造成相对强烈的非均匀加宽所致^[4];这一特点及高热导率和高分凝系数(在

296 K 时热导率测量结果为 12.5 W/mK;分凝系数能优良的激光晶体材料。
测量结果为 0.80)表明, Nd³⁺:Y_{0.5}Gd_{0.5}VO₄ 是性

表 1 Nd³⁺:GdVO₄, Nd³⁺:YVO₄, Nd³⁺:Y_{0.5}Gd_{0.5}VO₄ 晶体的光谱特性

Table 1 Spectrum properties of Nd³⁺:GdVO₄, Nd³⁺:YVO₄, Nd³⁺:Y_{0.5}Gd_{0.5}VO₄

Contents	Nd ³⁺ :YVO ₄ ^[5]	Nd ³⁺ :GdVO ₄ ^[6,7]	Nd ³⁺ :Y _{0.5} Gd _{0.5} VO ₄
Nd ³⁺ concentration /at.-%	1.00	1.56	0.8
Absorption wavelength /nm	808.5	808.5	808.5
Absorption coefficient /cm ⁻¹	30.6(π)	32.7(π)	19.94(π)
	11.4(σ)	13.5(σ)	6.49(σ)
Absorption cross section /cm ²	24.54×10^{-20} (π)	17.29×10^{-20} (π)	19.69×10^{-20} (π)
	9.14×10^{-20} (σ)	7.14×10^{-20} (σ)	6.41×10^{-20} (σ)
Absorption FWHM /nm	8(π)	4(π)	4.5(π)
	15(σ)	5.8(σ)	8.5(σ)
Emission wavelength /nm	1064.3	1062.9	1063.9
Emission FWHM /nm	0.96	1.8	3.7
Fluorescence lifetime / μ s	105	100	110

5 结 论

1) Nd³⁺:Y_{0.5}Gd_{0.5}VO₄ 晶体的吸收谱在 808.5 nm 附近,半高宽度(FWHM)比 Nd:GdVO₄ 有所加宽但不及 Nd:YVO₄;荧光发射谱在 1064 nm 附近,半高宽度(FWHM)比 Nd:YVO₄ 和 Nd:GdVO₄ 都有所加宽。

2) Nd³⁺:Y_{0.5}Gd_{0.5}VO₄ 晶体吸收截面较大,吸收效率高于 Nd³⁺:GdVO₄ 晶体。

3) 荧光发射谱、偏振性吸收率、分凝系数、热导率几项指标表明, Nd³⁺:Y_{0.5}Gd_{0.5}VO₄ 是优良的 LD 抽运激光晶体材料。

参 考 文 献

- 1 S. Erdei, F. W. Ainger. Crystal growth of YVO₄ using the LHPG technique [J]. *Journal of Crystal Growth*, 1993, **128**: 1025~1030
- 2 Chen Qinghan, Zhang Zhibin, Huang Jinrong *et al.*. Growth and

properties of Nd:GdVO₄ crystal [J]. *J. Synthetic Crystals*, 1997, **26**(3~4):213

陈庆汉,张志斌,黄晋蓉等. Nd:GdVO₄晶体的生长与性能[J]. *人工晶体学报*, 1997, **26**(3~4):213

- 3 Kiyoshi Shimamura, Satoshi Uda, V. V. Kochurikhi *et al.*. Growth and characterization of gadolinium vanadate GdVO₄ single crystals for laser applications [J]. *Jpn. J. Appl. Phys.*, 1996, **35**(part 1, 3):1832~1835
- 4 Chen Yingli. Introduction to Laser [M]. Beijing: Electron Industry Publishing Company, 1986. 143~148
陈英礼. 激光导论[M]. 北京:电子工业出版社, 1986. 143~148
- 5 Meng Xianlin, Zhang Huaijin, Zhu Li *et al.*. Spectra and laser properties of Nd:YVO₄ single crystal [J]. *J. Synthetic Crystals*, 1999, **28**(2):135~139
孟宪林,张怀金,祝俐等. 掺钕钒酸钇单晶光谱与激光特性[J]. *人工晶体学报*, 1999, **28**(2):135~139
- 6 Zhu Li, Zhang Huaijin, Meng Xianlin *et al.*. Growth and laser properties of Nd:GdVO₄ crystal at 1064 nm [J]. *J. Synthetic Crystals*, 1999, **28**(3):229~232
祝俐,张怀金,孟宪林等. Nd:GdVO₄晶体生长及其 1064 nm 的激光特性[J]. *人工晶体学报*, 1999, **28**(3):229~232
- 7 H. J. Zhang, X. L. Meng, L. Zhu *et al.*. Investigations on the growth and laser properties of Nd:GdVO₄ single crystal [J]. *Cryst. Res. Technol.*, 1998, **33**(5):801~806