

文章编号: 0253-2239(2003)07-0884-3

Cr:Nd:GSGG 晶体 1.061 μm 受激发射截面 随温度变化特性研究*

赵圣之 陈 磊 郑加安 张 路 张福军

(山东大学信息科学与工程学院, 济南 250100)

Alexandra Rapaport Michael Bass

(School of Optics and Center for Research and Education in Optics and Lasers,
University of Central Florida, Orlando, FL 32816-2700, U. S. A.)

摘要: 测量了 Cr:Nd:GSGG 晶体从 $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$ 到 $+80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 温度下的荧光发射光谱和荧光寿命, 计算了该晶体在不同温度下 1.061 μm 受激发射截面, 获得在此温度变化范围内受激发射截面随温度的线性变化关系。

关键词: Cr:Nd:GSGG 晶体; 受激发射截面; 荧光光谱; 温度依赖性

中图分类号: TN244 文献标识码: A

1 引 言

掺钕钷钽石榴石(Nd:GSGG)是 1.06 μm 激光的重要晶体, 特别是掺入 Cr^{3+} 的 Cr:Nd:GSGG (铬、钕钷钽石榴石)晶体, 通过 Cr^{3+} 和 Nd^{3+} 有效的能量转移, 能大大地提高光抽运的吸收效率^[1~4]。一般说来, 激光器工作在一较宽的温度范围, 设计人员可根据激光腔内光学元件的热、光性能进行设计。通常象反射镜、光束分离器等光学元件的光学性能在一较宽的范围($-70\text{ }^{\circ}\text{C} \sim +80\text{ }^{\circ}\text{C}$)不发生变化, 但是激光晶体的受激发射截面随温度变化直接影响到激光器的阈值、输出能量、脉冲宽度等。因此, 研究激光晶体的受激发射截面如何随温度变化对于激光器件的设计具有重要的意义。

激光晶体的受激发射截面可由测量荧光发射光谱、荧光寿命及相关的参量求出。Krupe 等研究了室温下 Cr:Nd:GSGG 晶体光谱特性及受激发射截面^[1], 而 Brauch 等人研究了闪光灯抽运的 Cr:Nd:GSGG 激光器的阈值和斜率效率的温度(300 K ~ 80 K)依赖关系^[5]。但还未见 Cr:Nd:GSGG 激光晶体受激发射截面随温度变化的报道。本文给出

Cr:Nd:GSGG 晶体 1.061 μm 受激发射截面随温度($-70\text{ }^{\circ}\text{C} \sim +80\text{ }^{\circ}\text{C}$)线性变化的研究结果。

2 实验装置

图 1 是测量不同温度荧光光谱的实验装置图。

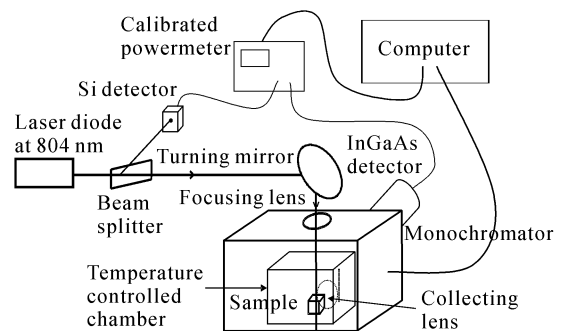


Fig. 1 Experimental setup of fluorescent emission spectrum at different temperature

抽运源为发射波长 804 nm 的阵列激光二极管, 该二极管的温度由自动温控仪控制。二极管产生的激光经光纤耦合、光束分离器和聚焦透镜被聚焦到样品上。光束分离器后接一功率计用以监测二极管激光的功率。样品是尺寸为 $\phi 5\text{ mm} \times 6\text{ mm}$ 的 Cr:Nd:GSGG (Nd^{3+} 粒子数密度 $2 \times 10^{20}\text{ cm}^{-3}$, Cr^{3+} 粒子数密度 $1 \times 10^{20}\text{ cm}^{-3}$) 晶体, 放入温度($-70\text{ }^{\circ}\text{C} \sim +80\text{ }^{\circ}\text{C}$)控制室。被二极管激光激励的 Cr:Nd:GSGG 晶体发射的荧光用一透镜聚焦到 Jarell-Ash

* 国家留学基金委 DVSP、教育部博士点基金、山东省科技发展计划项目资助课题。

E-mail: shengzhi.zhao@sdu.edu.cn

收稿日期: 2002-07-01

单色仪,单色仪的狭缝为 50 μm ,分辨率为 0.4 nm,光谱扫描波长范围 850~1550 nm。一高灵敏度的功率计与单色仪的出口狭缝相连,并与监测功率计一起连接到计算机上,记录激光的输入功率和 Cr:Nd:GSGG 晶体的荧光发射光谱。

Cr:Nd:GSGG 晶体在不同温度下的荧光寿命可用上述类似的装置测量,这时激励源换为光学参变振荡器,输出波长为 804 nm,脉冲宽度为 5 ns,单色仪的检测波长为 1.06 μm ,其出口狭缝连接到光电倍增管上,并通过 TDS694C 存储示波器与计算机相联,用以测量 1.06 μm 荧光强度随时间的衰减变化。

3 实验结果

Cr:Nd:GSGG 晶体的荧光为非偏振光,因此,如果记录下整个波长范围的发射荧光光谱 $I(\lambda)$,其有效的发射截面可由下面公式计算^[6]:

$$\sigma(\lambda) = \frac{1}{8\pi} \cdot \frac{\lambda^5 \eta}{n^2 c \tau} \cdot \frac{I(\lambda)}{\int I(\lambda) \lambda d\lambda}, \quad (1)$$

其中, λ 是波长, η 是量子效率(对 Cr:Nd:GSGG,可认为 $\eta = 1$), n 是折射率, c 是光速, τ 是荧光寿命。从测量不同温度下的整个波段荧光发射光谱,由(1)式可以计算不同温度下的 Cr:Nd:GSGG 晶体相应于某一波长的有效发射截面。

为了用(1)式计算其晶体的有效发射截面,必须知道晶体的荧光寿命。对于 Cr:Nd:GSGG 晶体 1.061 μm 波长,从测得的 1.061 μm 荧光强度随时间的衰减,可用 Forster-Dexter 衰减模型拟合获得荧光辐射寿命^[7,8]。图 2 中的细线是室温下由存储示波器测得的 Cr:Nd:GSGG 晶体 1.061 μm 荧光强度

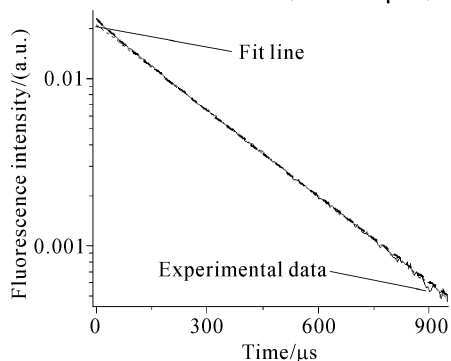


Fig. 2 Fluorescent decay of Cr:Nd:GSGG crystal at room temperature. The experimental data are plotted with thin solid line. A fit to the Forster-Dexter mode is plotted with the thick dashed-line and yields the lifetime 265 μs

取对数后随时间衰减的曲线,图中的粗线是 Forster-Dexter 衰减模型拟合线,结果表明辐射寿命为 265 μs 。此后测量了从 $-70\text{ }^\circ\text{C}$ ~ $+80\text{ }^\circ\text{C}$ 温度范围内该晶体 1.06 μm 波长的荧光衰减强度,并用 Forster-Dexter 衰减模型拟合计算了辐射寿命,结果表明,在此温度范围内,辐射寿命基本上不随温度变化。

对于 Cr:Nd:GSGG 晶体,在 $-70\text{ }^\circ\text{C}$ ~ $+80\text{ }^\circ\text{C}$ 温度范围内,折射率的变化非常小^[9],对用(1)式计算有效发射截面几乎没有影响,因此计算时视它为一常数($n=1.94$)。

图 3 是室温下测量的 Cr:Nd:GSGG 晶体 850~1550 nm 波段的荧光发射光谱,图 4 是由图 3 和有关参数计算的有效发射截面。图示表明 1.061 μm 峰值为 $1.6 \times 10^{-19} \text{ cm}^2$,该值与参考文献[1]报道相同。

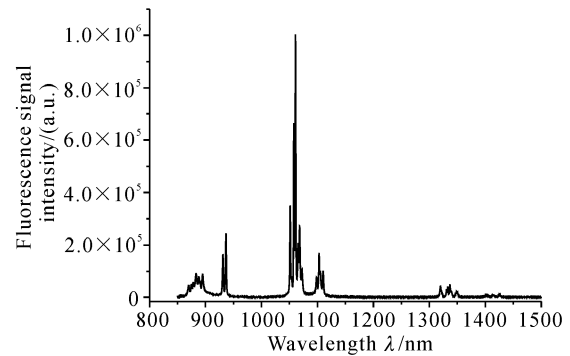


Fig. 3 Fluorescent emission spectrum of Cr:Nd:GSGG crystal at room temperature

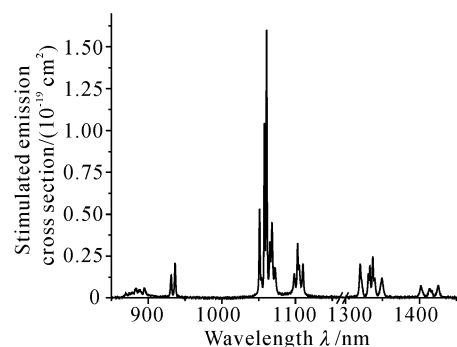


Fig. 4 Effective stimulated emission cross section of Cr:Nd:GSGG crystal at room temperature

调节 Cr:Nd:GSGG 晶体的温度控制系统 ($-70\text{ }^\circ\text{C}$ ~ $+80\text{ }^\circ\text{C}$),可测得不同温度下晶体的荧光发射光谱,然后由(1)式计算出不同温度下的受激发射截面。图 5 给出 1.061 μm 有效受激发射截面随温度的变化曲线,点是由测量的荧光发射光谱计算的值,虚线是线性拟合线。图示表明,在 $-70\text{ }^\circ\text{C}$ ~ $+80\text{ }^\circ\text{C}$ 温度范围内, Cr:Nd:GSGG 晶体

1.061 μm 有效受激发射截面随温度线性变化,其斜率为 $-3.3 \times 10^{-22} \text{ cm}^2 / ^\circ\text{C}$ 。如果温度 T 用 $^\circ\text{C}$ 表示,则有效受激发射截面 $\sigma(\text{cm}^2)$ 与温度 T 的线性关系可用(2)式表示:

$$\sigma = (1.66 - 3.3 \times 10^{-3} T) \times 10^{-19}. \quad (2)$$

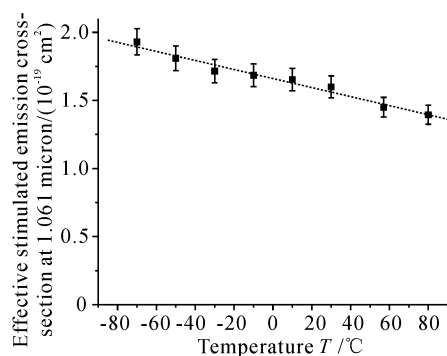


Fig. 5 Effective stimulated emission cross section versus temperature

结论 采用激光二极管抽运 Cr:Nd:GSGG 晶体,测量了该晶体在 $-70\text{ }^\circ\text{C} \sim +80\text{ }^\circ\text{C}$ 范围内的荧光发射光谱,计算了该晶体的有效受激发射截面。首次获得了该晶体 1.061 μm 有效受激发射截面随温度的线性变化关系。这种线性变化关系对于激光器件的设计具有重要的指导意义。

参 考 文 献

- 1 Krupke W F, Shinn M D, Marion J E *et al.*. Spectroscopic, optical, and thermomechanical properties of neodymium- and chromium-doped gadolinium scandium gallium garnet. *J. Opt. Soc. Am. (B)*, 1986, **3**(1):102~113
- 2 Stokowski S E, Randles M H, Morris R C. Growth and characterization of large Nd,Cr:GSGG crystal for high-average-power slab lasers. *IEEE J. Quant. Electron.*, 1988, **29**(6):934~948
- 3 Kushawaha V, Michael A, Major L. A comparative laser study of Nd:KGW and Nd:Cr:GSGG at 1.06 μm . *Spectrosc. Lett.*, 1996, **29**(2):293~297
- 4 Thompson G A, Krupkin V, Yogev A *et al.*. Solar pumped Nd:Cr:GSGG parallel array laser. *Opt. Engng.*, 1992, **31**(12):2644~2646
- 5 Brauch U, Muckenschnabel J. Temperature dependence of flashlamp-pumped Nd:YAG and Nd:Cr:GSGG lasers. *Opt. Commun.*, 1989, **73**(1):62~66
- 6 Moulton P F. Spectroscopic and laser characteristics of Ti:Al₂O₃. *J. Opt. Soc. Am. (B)*, 1986, **3**(1):125~133
- 7 Garcia-Rubio I, Pardo J A, Merino R I *et al.*. Concentration and temperature dependence of Nd³⁺ luminescence in LaGaO₃. *J. Lumin.*, 2000, **86**(2):147~153
- 8 Sakun V P. Kinetics of energy transfer in a crystal. *Sov. Phys. Solid-State*, 1973, **14**(8):1906~1914
- 9 Pfistner C, Weber R, Weber H P *et al.*. Thermal beam distortions in end-pumped Nd:YAG, Nd:GSGG, and Nd:YLF rods. *IEEE J. Quant. Electron.*, 1994, **30**(7):1605~1615

Temperature Dependence of 1.061 μm Stimulated Emission Cross Section of Cr:Nd:GSGG Crystal

Zhao Shengzhi Chen Lei Zheng Jia'an Zhang Lu Zhang Fujun

(School of Information Science and Engineering, Shandong University, Ji'nan 250100)

Alexandra Rapaport Michael Bass

(School of Optics and Center for Research and Education in Optics and Lasers
University of Central Florida, Orlando, FL 32816-2700, U. S. A.)

(Received 1 July 2002)

Abstract: The fluorescent emission spectra and radiative lifetime of Cr:Nd:GSGG crystal between $-70\text{ }^\circ\text{C}$ and $+80\text{ }^\circ\text{C}$ are measured and the peak stimulated emission cross sections at 1.061 μm for different temperature are calculated. A linear temperature dependence between $-70\text{ }^\circ\text{C}$ and $+80\text{ }^\circ\text{C}$ is given for the peak stimulated emission cross section of Nd³⁺ ions and Cr³⁺ ions co-doped GSGG.

Key words: Cr:Nd:GSGG crystal; stimulated emission cross section; fluorescent emission spectra; temperature dependence