

快速测量掺 Nd^{3+} 晶体的荧光分支比

张 弘 罗遵度

(中国科学院福建物质结构研究所, 福建, 福州)

摘要——报道通过测量 NAB 和 Nd:YBG 晶体的 $1.06\ \mu\text{m}$ 与 $1.35\ \mu\text{m}$ 荧光带强度的比值, 来测定其所有荧光分支比的快速方法。

关键词——NAB 晶体, Nd:YAG 晶体, 荧光分支比。

1. 引 言

测量晶体中 Nd^{3+} 离子的荧光分支比一般采用直接法和 Judd-Ofelt 参数计算方法^[1,2], 这两种方法比较烦琐。最普通的方法是直接测量荧光分支比, 但主要的困难是 $0.9\ \mu\text{m}$ 的共振荧光自吸收, 如不对其校正, 会导致很大的误差。

J-O 法通过测量 Nd^{3+} 吸收带的强度, 拟合这些谱线强度获得表征特定基质的唯象参数 Ω_2 、 Ω_4 和 Ω_6 , 从而获得荧光谱线强度和荧光分支比, 但前提是必须知道 Nd^{3+} 离子的浓度和晶体的折射率 $n(\lambda)$ 。

本文介绍一种把直接法和 J-O 法结合起来的方法, 本方法只要求测量 $1.06\ \mu\text{m}$ 和 $1.35\ \mu\text{m}$ 的荧光带比值, 这个比值在 J-O 理论中用于计算 Ω_4/Ω_6 因子, 由这个 Ω_4/Ω_6 因子可计算 0.9 , 1.06 , 1.35 和 $1.9\ \mu\text{m}$ 的 Nd^{3+} 荧光带的分支比。由于该方法不需要测量 $0.9\ \mu\text{m}$ 处的荧光, 避免了自吸收的干扰。本法与参考文献 [3] 的主要区别是通过荧光数据而不是吸收数据获得荧光分支比。

2. 实 验

用 44 W 平面光栅单色仪 PbS 探测器和 FS-1 锁相放大器进行荧光测量, 用 1000 W 连续氙气灯激发荧光, 使用标定的标准黑体灯测定探测系统的相对谱灵敏度, 每个带 ($1.06\ \mu\text{m}$ 和 $1.35\ \mu\text{m}$) 的荧光强度用相对谱灵敏度逐点校正并逐点乘以所在波长值, 用求积仪测量这些曲线的面积, 该面积就代表校正了的荧光强度, $1.06\ \mu\text{m}$ 与 $1.35\ \mu\text{m}$ 荧光强度之比是关键性的实验参数。

3. 结果和分析

3.1 理论

根据 J-O 理论, 在能级 $|J\rangle$ 和 $|J'\rangle$ 之间稀土离子的受迫电偶极跃迁谱线强度可表示成

$$S(J, J') = \sum_{\lambda=2,4,6} \Omega_{\lambda} |\langle 4f^n [S, L] J || 4f^n [S', L'] J' \rangle|^2. \quad (1)$$

从态 $|J\rangle$ 到 $|J'\rangle$ 的自发发射几率是

$$W(J, J') = \frac{K}{\bar{\lambda}^3} S(J, J'), \quad (2)$$

其中 $K = [64\pi^4 e^2 / 3h(2J+1)] n(n^2+2)^2 / 9$, $\bar{\lambda}$ 是 $|J\rangle$ 到 $|J'\rangle$ 的平均辐射波长, n 是基质材料在该波长处的折射率.

3.2 分支比

在 $|J\rangle$ 态和 $|J'\rangle$ 态之间的分支比可表示成

$$\beta(J, J') = W(J, J') / \sum_J W(J, J'). \quad (3)$$

对 Nd^{3+} 而言, 初态 $|J\rangle$ 位于 ${}^4F_{3/2}$ 簇, 终态 $|J'\rangle$ 是 4I_J 簇的斯塔克上能级. $W(J, J')$ 代表所有 ${}^4F_{3/2}$ 能级到终态 4I_J 的所有斯塔克组分跃迁几率的总和.

由于在荧光波长范围内折射率 n 的变化不显著, 因此, n 的变化可以忽略, 因子 k 在方程(3)中可消掉. 因为 4I_J 和 ${}^4F_{3/2}$ 簇的重心位置在不同的基质中没什么大的变化, 所以平均波长可取常数.

Nd^{3+} 的约化矩阵元取自参考文献[4], $\bar{\lambda}$ 值取自参考文献[5], 使用方程(3)可得下列分支比公式:

$$\beta_{0.9\mu\text{m}} = (0.3194x + 0.07671) / (0.4247x + 0.4567), \quad (4)$$

$$\beta_{1.06\mu\text{m}} = (0.1053x + 0.2874) / (0.4247x + 0.4567), \quad (5)$$

$$\beta_{1.35\mu\text{m}} = (0.09023) / (0.4247x + 0.4567), \quad (6)$$

$$\beta_{1.9\mu\text{m}} = 0.00231 / (0.4247x + 0.4567). \quad (7)$$

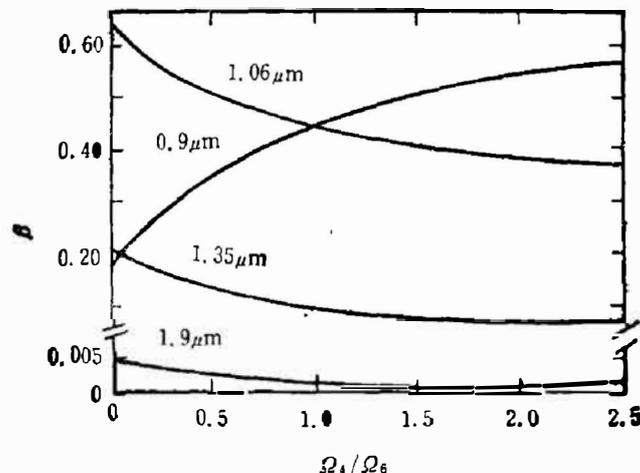


图1 分支比 β 与 Ω_4/Ω_6 的函数关系

Fig. 1 Branching ratio β vs Ω_4/Ω_6 .

表 1 Nd:YAG 和 NAB 晶体的荧光分支比

Table 1 Fluorescent branching ratios of Nd:YAG and NAB crystal.

样 品	R 实验	$x = \Omega_4/\Omega_6$		$\beta_{0.9\mu m}$		$\beta_{1.06\mu m}$		$\beta_{1.35\mu m}$		$\beta_{1.9\mu m}$	
	*	*	**	*	**	*	**	*	**	*	**
Nd:YAG	3.94	0.647	0.540	0.387	0.370	0.486	0.500	0.123	0.130	—	—
NAB	3.89	0.604	0.532	0.378	0.371	0.492	0.497	0.127	0.128	—	—

* 本文实验值.

** J-O 法计算值, Nd:YAG 的 J-O 法计算取自参考文献[4].

式中 $x = \Omega_4/\Omega_6$ 是工作参数, 通常称作“ x 参数”, 分支比与 x 参数的关系曲线如图 1. 当 $x > 1$ 时, $0.9 \mu m$ 荧光的强度比 $1.06 \mu m$ 荧光强, $x < 1$ 时则反之. 类似地, $x < 0.042$, $1.35 \mu m$ 时荧光强于 $0.9 \mu m$ 荧光.

荧光分支比 $\beta_{1.06\mu m}$ 与 $\beta_{1.35\mu m}$ 的比值 R 与 x 呈线性关系, 可表示成

$$R = \beta_{1.06\mu m} / \beta_{1.35\mu m} = 1.167x + 3.185. \quad (8)$$

我们通过实验测得 Nd:YAG 和 NAB [NdAl₃(BO₃)₄] 的 R 值, 然后通过方程 (8) 算得 x 参数, 代入方程 (4) ~ (7) 算得荧光分支比, 结果列于表 1. 计算误差大约在 15% 之内, 误差是由于忽略了样品的波长 $\bar{\lambda}$ 和折射率 $n(\bar{\lambda})$ 的变化所致. NAB 的荧光分支比同我们用 Judd-Ofelt 理论计算的 NAB 分支比符合得很好.

参 考 文 献

- [1] Judd B. R., *Phys. Rev.*, **127** (1962), 750.
- [2] Ofelt G. S., *J. Chem. Phys.*, **37** (1962), 37.
- [3] Kaminskii A. A., *Lit., Phys. State. Sol.*, (a) **6**(1974), 539.
- [4] Krupke W. F., *IEEE Jour. Quant. Electron*, **QE-7** (1971), 153.
- [5] Koningsten J. A., *J. Chem. Phys.*, **44** (1966), 3957.

RAPID MEASUREMENT ON FLUORESCENT BRANCHING RATIOS OF NAB AND Nd:YAG CRYSTALS

ZHANG HONG, LUO ZUNDU

(Fujian Institute of Research on the Structure of Matter, Academia Sinica, Fuzhou, Fujian, China)

ABSTRACT

A rapid measuring method for all fluorescent branching ratios of NAB and Nd:YAG crystals by measuring the ratio of the 1.06 to 1.35 μm fluorescence band intensities is reported.