NdP_5O_{14} 晶体的光谱强度参数

王庆元　苏　锵　洪广言
(中国科学院长春应用化学研究所，130022)

Spectral intensity parameters of NdP_5O_{14} laser crystals

Wang Qingyuan, Su Qiang, Hong Guangyan
(Changchun Institute of Applied Chemistry, Academia Sinica, Changchun)

Abstract: Based on Judd-Ofeld theory, the spectral intensity parameters are calculated. including oscillator strength parameters τ_λ spontaneous radiative transition probabilitiy, radiative lifetime, fluorescent branching ratio β_c and radiative quantum efficiency η etc. The sum of τ_λ parameters obtained from the linear relation of $P=a\Sigma_\lambda^E+b$ are in agreement with those obtained by J-O method.

Key words: neodymium pentaphosphate, spectral intensity parameters

一、引　言

关于高稀土浓度化学计量比的稀土五磷酸盐晶体已为人们所熟知，国内外 NdP_5O_{14} 晶体已用作微小型激光器的工作物质。但对稀土五磷酸盐晶体的光谱参数报告得不多。我们生长了所有稀土离子的五磷酸盐晶体。并系统地研究了这类晶体的光谱性质[1]，研究并报道了 $Tb_xY_{1-x}P_5O_{14}$、$Pr_xLa_{1-x}P_5O_{14}$、TmP_5O_{14}、SmP_5O_{14}、DyP_5O_{14}、ErP_5O_{14} 等稀土五磷酸盐的光谱参数。本文报道的是对 NdP_5O_{14} 晶体的振子强度、Ω_λ 参数、自发辐射跃迁几率、荧光寿命、荧光分支比与量子效率等光谱强度参数的研究结果。

二、实验与结果

2.1　振子强度与 Ω_λ 参数

在 VSU-2G 型分光光度计上记录了 NdP_5O_{14} 晶体的吸收光谱。采用了从 $^2L_{15/2}$ 至 $^4F_{3/2}$ 谱项的 20 个光谱带，9 个方程组，用最小二乘法并利用下面(1)、(2)、(3)式

$$P_{exp}=4.318\times10^{-9}\int\varepsilon(\sigma)d\sigma \tag{1}$$

$$P_{exp}=P_{ed}+P_{md} \tag{2}$$

$$P_{ed}=\frac{8\pi^3mc\sigma}{3h(2J+1)}\cdot\frac{(n^2+2)^2}{9n}\sum_{\lambda=2,4,6}\Omega_\lambda|\langle4f^N(\alpha SL)J\|U^{(\lambda)}\|4f^N(\alpha'S'L')J'\rangle|^2 \tag{3}$$

拟合出 NdP_5O_{14} 晶体中 Nd^{3+} 离子的实验振子强度与振子强度的计算值，拟合的平均均方根

偏差为 9.49×10^{-7}。所得的振子强度值列于表 1。三个 Ω_λ 唯象强度参数为

$\Omega_2=0.704\times10^{-20}\,cm^2$; $\Omega_4=2.45\times10^{-20}\,cm^2$; $\Omega_6=4.50\times10^{-20}\,cm^2$; 或 $\tau_2=1.13\times10^{-9}\,cm$; $\tau_4=3.93\times10^{-9}\,cm$; $\tau_6=7.22\times10^{-9}\,cm$; $\sum\tau_\lambda=12.28\times10^{-9}\,cm$ (J-O 法)。

我们曾根据大量 Nd^{3+} 离子的光谱数据，总结出不同跃迁($^4I_{9/2}-^{2S+1}L_J$) 的振子强度 P 和 Judd-Ofelt 强度参数的总和 $\sum\tau_\lambda$ 之间存在如下的直线关系[3]:

$$\begin{aligned}
&P_1(^4G_{5/2},\ ^2G_{7/}\ )=961.1\sum\tau_\lambda^{(1)}-6.121\times10^{-6}\\
&P_2(^4F_{5/2},\ ^2H_{9/2})=302.5\sum\tau_\lambda^{(2)}+2.74\times10^{-6}\\
&P_3(^4G_{7/2},\ ^4G_{9/2},\ ^2K_{13/2})=282.3\sum\tau_\lambda^{(3)}+1.486\times10^{-6}\\
&P_4(^4F_{7/2},\ ^4S_{3/2})=265.7\sum\tau_\lambda^{(4)}+3.48\times10^{-6}\\
&\sum\tau_\lambda=\frac{\sum\tau_\lambda^{(1)}+\sum\tau_\lambda^{(2)}+\sum\tau_\lambda^{(3)}+\sum\tau_\lambda^{(4)}}{4}
\end{aligned}\tag{4}$$

从而可将实验求得振子强度 P_{exp} 代入上式，计算出强度参数的总和 $\sum\tau_\lambda$。利用表 1 的数据 P_{exp}，按(4)式求得了 NdP_5O_{14} 的 $\sum\tau_\lambda=11.90\times10^{-9}\,cm$，与用 J-O 法求得的 $\sum\tau_\lambda=12.28\times10^{-9}\,cm$ 相符。

表 1 NdP_5O_{14} 晶体中 Nd^{3+} 离子的振子强度

谱 项 跃 迁	$P_{exp}\times10^6$	$P_{cal}\times10^6$
$^4I_{9/2}-^4F_{3/2}$	1.71	1.50
$-^4F_{5/2},\ ^2H_{9/2}$	6.16	5.87
$-^4F_{7/2},\ ^4S_{3/2}$	5.93	6.63
$-^4F_{9/2}$	0.44	0.46
$-^4G_{5/2},\ ^2G_{7/2}$	6.60	6.74
$-^4G_{7/2},\ ^4G_{9/2},\ ^2K_{13/2}$	5.40	3.53
$-^2K_{15/2},\ ^4G_{11/2}$	1.89	0.92
$-^2P_{1/2}$	0.56	0.39
$-^4D_{3/2},\ ^4D_{5/2},\ ^2I_{11/2}$ $^4I_{13/2},\ ^4D_{1/2},\ ^2L_{15/2}$	6.91	7.44

注：平均根方偏差(RMS)：9.49×10^{-7}

2.2 自发辐射跃迁几率、辐射寿命与荧光分支比

NdP_5O_{14} 中 Nd^{3+} 离子的自发辐射几率用下式求得,

$$A_{ed}=\frac{64\pi^4e^2\sigma^3}{3h(2J+1)}\cdot\frac{n(n^2+2)^2}{9}\sum_{\lambda=2,4,6}\Omega_\lambda\left|\langle4f^N(\alpha SL)J\|U^{(\lambda)}\|4f^N(\alpha'S'L')J'\rangle\right|^2 \tag{5}$$

辐射寿命 τ_{rad}^c 与荧光分支比 β_c 用以下诸式求出:

$$\tau_{rad}^c=\{\sum_{SLJ}A[(\alpha'S'L')J';\ (\bar{\alpha}\bar{S}\bar{J})\bar{J}]\} \tag{6}$$

表 2 NdP_5O_{14} 中 Nd^{3+} 的辐射跃迁几率 A_{ed}、辐射寿命 τ_{rad}^c、荧光分支比 β_c

谱项跃迁	$A(s^{-1})$	$\tau_{rad}^c(\mu s)$	β_c
$^4F_{3/2}-^4I_{9/2}$	808.93	1236.2	0.335
$-^4I_{11/2}$	1304.78	766.4	0.541
$-^4I_{13/2}$	286.91	3485.4	0.119
$-^4I_{15/2}$	13.20	75743.0	0.005
		$\tau_{tot}=414.28$	

$$\beta_c[(\alpha'S'L')J';(\bar{\alpha}\bar{S}\bar{L})J]=A[(\alpha'S'L')J';(\bar{\alpha}\bar{S}\bar{L})\bar{J}]/\sum_{\bar{S}\bar{L}\bar{J}}A[(\alpha'(S'L')J';(\bar{\alpha}\bar{S}\bar{L})\bar{J}] \quad (7)$$

(5)式中的约化矩阵元 $|\langle {}^4F_{3/2}\|U^{(\lambda)}\|{}^4I_J\rangle|^2$ 采用了文献[2]中的数据。上面诸式计算的结果列于表2。

参 考 文 献

1 Su Qiang *et al.*, Rare Earth Spectroscopy, Edited by B. Jezowska-Trzebiatowska, J. Legendziewicz, W Stnek, World Scientific, 1985, 379

2 W. F. Krupke, *IEEE J. Quant. Electr.*, **QE-10**(4), 450(1974)

(收稿日期：1988年9月7日)

Applied Physics B Photophysics and Laser Chemistry

Springer-Verlag
Berlin Heidelberg New York Tokyo

Vol. 50 · No. 6 · June 1990

Laser Diagnostics in Combustion

Indexed in *Current Contents*
Evaluated and abstracted for *PHYS* on *STN*