

# Nd<sup>3+</sup>:YAlO<sub>3</sub> 晶体折射率温度系数的表示式

沈鸿元 曾政东 林文雄 徐 浩 周玉平 曾瑞荣 于桂芳 黄呈辉 张卫家

(中国科学院福建物质结构研究所, 福州 350002)

## 提 要

建立了 Nd<sup>3+</sup>:YAlO<sub>3</sub>(Nd:YAP) 晶体折射率温度系数的表示式, 该式得到的结果与测量值间具有较好的一致性。利用这个式子可以计算 0.5398 μm~1.0795 μm 波长范围、311 K~455 K 温度范围内 Nd:YAP 晶体的折射率温度系数。

关键词: Nd<sup>3+</sup>:YAlO<sub>3</sub> 晶体, 折射率温度系数。

## 一、引 言

折射率和折射率温度系数是光学晶体的基本参数, 也是研究激光性能动态变化的重要参数。文献[1~4]中报道了 Nd:YAlO<sub>3</sub>(Nd:YAP) 晶体主折射率的测量结果。文章<sup>[5]</sup>利用全息干涉技术测量了 0.6328 μm 波长下 Nd:YAP 晶体  $N_a$ 、 $N_c$  的温度系数。本文利用改进的自准直法测量了不同温度时 0.5398 μm, 0.6328 μm 和 1.0795 μm 波长 Nd:YAP 晶体  $N_a$ 、 $N_b$  和  $N_c$  的值, 得到了这种晶体折射率温度系数的值, 与文献[5]报道的结果相当一致。但迄今还未见到有关 Nd:YAP 晶体其它波长折射率温度系数的报道。

本文从单项 Sellmeier 方程出发, 在文章[4]测量数据的基楚上得到了 Nd:YAP 晶体折射率温度系数的表示式, 借助于这个表示式可以计算 0.5398 μm~1.0795 μm 波长范围和 311~455 K 温度区间内 Nd:YAP 晶体的折射率温度系数。

## 二、分 析

在文献[4]中, 测量了 0.5398 μm、0.6328 μm 和 1.0795 μm 诸波长下掺 1wt% Nd<sup>3+</sup> 离子的 YAP 晶体在 311~455 K 温度区间的主折射率  $N_a$ 、 $N_b$  和  $N_c$ , 测量精度为  $\pm 1.5 \times 10^{-4}$ , 测量结果列在表 1 中, 利用测得的折射率值通过单项 Sellmeier 方程

$$N_i(\lambda, T) = 1 + \frac{A_i(T)\lambda^2}{\lambda^2 - B_i(T)}, \quad (i = a, b, c) \quad (1)$$

可以得到 Sellmeier 系数  $A_i(T)$  和  $B_i(T)$ , 这些值也在表 1 中给出。

与温度有关的 Sellmeier 系数通常有以下形式<sup>[6]</sup>

$$x(T) = \alpha T + b, \quad (2)$$

或

$$x(T) = \alpha T^2 + b, \quad (3)$$

式中  $x(T)$  是 Sellmeier 系数,  $T$  是温度以凯尔文温度 K 为单位,  $\alpha$  和  $b$  是常数。

Table 1 The measured values of refractive indices and Sellmeier coefficients at different temperature

Indices	T(K)	wavelength 0.5398 $\mu\text{m}$	wavelength 0.6328 $\mu\text{m}$	wavelength 1.0795 $\mu\text{m}$	A	B( $\mu\text{m}^2$ )
$N_a$	311	1.95790	1.94861	1.93117	2.69643	0.0140829
	375	1.95480	1.94925	1.93158	2.69790	0.0141234
	405	1.95899	1.94967	1.93189	2.69876	0.0142608
	455	1.95948	1.95014	1.93242	2.70085	0.0142342
$N_b$	311	1.94858	1.93956	1.92244	2.66365	0.0138889
	375	1.94907	1.94016	1.92283	2.66502	0.0139351
	405	1.94959	1.94053	1.92314	2.66600	0.0140382
	455	1.95012	1.94095	1.92360	2.66764	0.0140683
$N_c$	311	1.93350	1.92519	1.90854	2.61203	0.0134492
	375	1.93420	1.92597	1.90919	2.61404	0.0134640
	405	1.93484	1.92656	1.90979	2.61667	0.0134809
	455	1.93554	1.92724	1.91037	2.61874	0.0135360

对于表 1 所列的 Sellmeier 系数, 发现与(2)式所示的线性温度关系非常一致, 即有

$$A_i(T) = a_i T + b_i; \quad B_i(T) = c_i T + d_i, \quad (4)$$

用最小二乘法通过(4)式对表 1 中的  $A_i(T)$  和  $B_i(T)$  进行拟合, 得到常数  $a_i$ ,  $b_i$ ,  $c_i$  和  $d_i$  的值, 结果列在表 2 中, 将这些值代入(4)式并利用(1)式得到相应温度和波长的折射率, 它们与表 1 给出的测量值的偏差小于  $2 \times 10^{-4}$ 。

Table 2 The constants  $a_i$ ,  $b_i$  and  $c_i$ ,  $d_i$  in temperature-dependent Sellmeier coefficients

Indice	$a \times 10^5 (\text{K}^{-1})$	$b$	$c \times 10^6 (\mu\text{m}^2 \cdot \text{K}^{-1})$	$d \times 10^2 (\mu\text{m}^2)$
$N_a$	3.06732	2.68674	1.05021	1.38360
$N_b$	2.77227	2.65493	1.24555	1.34961
$N_c$	4.66942	2.59758	0.002495	1.32077

Table 3 The values of  $R_i$  and  $S_i$  at different temperature and their average values

T(K)	$R \times 10^6 (\text{K}^{-1})$			$S \times 10^6 (\mu\text{m}^2 \cdot \text{K}^{-1})$		
	$N_a$	$N_b$	$N_c$	$N_a$	$N_b$	$N_c$
311	7.97697	7.24185	12.2708	0.623436	0.7660935	0.249797
375	7.97538	7.24050	12.2574	0.623119	0.765950	0.249727
405	7.97445	7.23953	12.2530	0.623239	0.765848	0.249637
455	7.97221	7.23791	12.2494	0.623063	0.765677	0.249565
average values	7.97475	7.23995	12.2576	0.623263	0.765891	0.249781

将(1)式对温度求导数,并考虑在所感兴趣的波长范围内  $B_i/\lambda^2 \ll 1$ ,可以得到

$$\frac{dn_i(\lambda, T)}{dT} = R_i + \frac{S_i}{\lambda^2}, \quad (5)$$

式中

$$R_i = \frac{a_i}{2\sqrt{1+A_i(T)}}, \quad (6)$$

$$S_i = \frac{b_i c_i - a_i d_i}{2\sqrt{1+A_i(T)}}. \quad (7)$$

将表 1 中不同温度的  $A_i(T)$  值和表 2 中的  $a_i$ 、 $b_i$ 、 $c_i$  和  $d_i$  值代入(6)和(7)式,得到不同温度的  $R_i$  和  $S_i$  的值,这些值列在表 3 中,从表中可以看到不同温度时  $R_i$  和  $S_i$  值的差异分别小于  $1 \times 10^{-3}$  和  $4.6 \times 10^{-4}$ ,因此在测量温度范围内近似地认为它们与温度无关,计算时采用  $R_i$  和  $S_i$  的平均值  $\bar{R}_i$  和  $\bar{S}_i$ ,这些值也列在表 3 中。这样得到 Nd:YAP 晶体折射率的温度系数是  $1/\lambda^2$  的线性函数,即

$$\frac{dn_i(\lambda, T)}{dT} = \bar{R}_i + \frac{\bar{S}_i}{\lambda^2}. \quad (8)$$

### 三、结果和讨论

借助表 3 中的  $\bar{R}_i$  和  $\bar{S}_i$  值,从(8)式可以得到不同波长时折射率温度系数的值,表 4 中给出  $0.5398 \mu\text{m}$ ,  $0.6328 \mu\text{m}$  和  $1.0795 \mu\text{m}$  诸波长折射率温度系数的计算值[cal. (1)],表中也给出了测量值<sup>[4]</sup>以资比较,结果表明在短波长处个别点的计算值与测量值的偏差稍大,达 7.2%。

造成这种偏差的原因可能是用  $\bar{R}_i$  和  $\bar{S}_i$  代替了不同温度时的  $R_i$  和  $S_i$ ,以及(5)式中所取的近似。在(5)式中舍弃了  $B_i/\lambda^2$ ,对于  $1.0795 \mu\text{m}$  其值为 0.013,而对于短波长的  $0.5398 \mu\text{m}$ ,其值达 0.05,所以在舍弃  $B_i/\lambda^2$  项后,在短波范围将导致较大的误差。不作近似处理时

$$\frac{dn_i(\lambda, T)}{dT} = R'_i + \frac{S'_i}{\lambda^2}, \quad (9)$$

式中

$$R'_i = \frac{a_i}{2 \left[ (1+A_i) - \frac{B_i}{\lambda^2} \right]^{\frac{1}{2}} \left( 1 - \frac{B_i}{\lambda^2} \right)^{\frac{3}{2}}}, \quad (10)$$

Table 4 The calculated and measured values of thermal refractive index coefficients

	wavelength 0.5398 $\mu\text{m}$			wavelength 0.6328 $\mu\text{m}$			wavelength 1.0795 $\mu\text{m}$		
	cal. (1)	cal. (2)	exp.	cal. (1)	cal. (2)	exp.	cal. (1)	cal. (2)	exp.
$\frac{dN_a}{dT} \times 10^5$	1.011	1.097	1.09	0.951	1.011	1.01	0.849	0.868	0.85
$\frac{dN_b}{dT} \times 10^5$	0.987	1.069	1.05	0.915	0.970	0.92	0.790	0.805	0.81
$\frac{dN_c}{dT} \times 10^5$	1.311	1.419	1.40	1.288	1.365	1.37	1.247	0.273	1.28

$$S'_i = \frac{b_i c_i - a_i d_i}{2 \left[ (1 + A_i) - \frac{B_i}{\lambda^2} \right]^{\frac{1}{2}} \left( 1 - \frac{B_i}{\lambda^2} \right)^{\frac{3}{2}}}, \quad (11)$$

将表 1 和 2 中的  $A_i$ 、 $B_i$  和  $a_i$ 、 $b_i$ 、 $c_i$  和  $d_i$  代入(10)、(11)和(9)式, 得到不同波长的计算值, 这些值也列在表 4 中 [cal(II)], 结果表明, 计算值与实验值的偏差普遍减少, 除个别点偏差接近 5% 以外, 其它所有点的偏差小于 2.1%。

上述结果表明, 采用(8)式和表 3 中给出的  $\bar{R}_i$  和  $\bar{S}_i$  值可以在一定的精度内得到 311~455 K 温度范围和  $0.5398 \mu\text{m} \sim 1079.5 \mu\text{m}$  波长范围内 Nd:YAP 晶体折射率的温度系数。

### 参 考 文 献

- [1] M. J. Weber, M. Bass *et al.*; *Appl. Phys. Lett.*, 1969, **15**, No. 10 (Nov), 342.
- [2] G. A. Keig, L. G. De Shazer; *Laser Elektro-Opt.*, 1972, **3**, No. 4, 45.
- [3] Y. Kuwano; *J. A. P.*, 1978, **49**, 4223.
- [4] Z. D. Zeng, H. Y. Shen *et al.*; *Appl. Opt.*, 1990, **19**, No. 9 (Apr), 1281.
- [5] D. D. Young, K. C. Jungling *et al.*; *IEEE J. Q. E.*, 1972, **QE-8**, No. 8 (Aug), 720.
- [6] N. P. Barnes, M. S. Piltch; *J. O. S. A.*, 1977, **67**, No. 5 (May), 628.

## Expressions of thermal refractive index coefficients for Nd:YAlO<sub>3</sub> crystal

SHEN HONGYUAN, ZENG ZHENG DONG, LIN WENXONG, XU HAO, ZHOU YUPING, ZENG RUIRONG,  
YU GUIFANG, HUANG CHENGHUI AND ZHANG WUIJIA

(Fujian Institute of Research on the Structure of Matter Chinese Academy of Sciences Fuzhou 350002)

(Received 10 December 1990; revised 25 February 1991)

### Abstract

The expressions of thermal refractive index coefficients for Nd:YAlO<sub>3</sub> (Nd:YAP) crystal have been achieved and used to calculate thermal refractive index coefficients of Nd:YAP crystal at different wavelength. The calculated values is found being in good agreement with the experimental values.

**Key words:** Nd<sup>3+</sup>:YAlO<sub>3</sub> crystal thermal refractive index coefficients.