

Ti : Mg : LiNbO₃ 晶体的折射率 温度系数表示式

徐浩* 沈鸿元 曾政东

(中国科学院福建物质结构研究所, 福州, 350002)

摘要: 基于在 539.75nm, 632.8nm, 1079.5nm, 1341.4nm 波长上和 288K, 338K, 383K, 423K 温度条件下, 对掺 5mol% MgO 和 0.2mol% Ti 的 LiNbO₃ 晶体的主折射率的精密测量^[1], 根据对 LiNbO₃ 晶体适用的修正的 Sellmeier's 方程, 以解出参数 C_i 表达式的方法, 求出上述温度时 Sellmeier's 方程的参数 A_i, B_i, C_i, D_i , 以最小二乘法精确地拟合上述参数对温度 T 的线性关系, 进而推导出这种晶体的折射率温度系数的表示式。利用此表示式可以计算波长在 539.75nm~1341.4nm 区间附近, 温度在 288K~423K 范围左右 Ti : Mg : LiNbO₃ 晶体的折射率温度系数。为检验该折射率温度系数表示式的实用性, 利用此表示式计算 1079.5nm 为基波的该晶体的二倍频非临界相位匹配温度, 与实验值之差在 1K 以内, 从而证明这个折射率温度系数表示式对于采用 Ti : Mg : LiNbO₃ 晶体设计非线性光学器件是适用的。

关键词: Ti : Mg : LiNbO₃ 晶体 Sellmeier's 方程参数 A_i, B_i, C_i, D_i 折射率温度系数表示式

Expressions of thermal refractive index coefficients for Ti : Mg : LiNbO₃ crystal

Xu Hao, Shen Hongyuan, Zeng Zhengdong

(Fujian Institute of Material Structure, Academia Sinica)

Abstract: The principal refractive indices and the thermal coefficients of LiNbO₃ crystal doped with 5mol% MgO and 0.2mol% Ti were accurately measured at the wavelengths of 539.75nm, 632.8nm, 1079.5nm and 1341.4nm, and at the temperatures of 288K, 338K and 423K. It is straightforward to use Sellmeier's equation, modified to suite to LiNbO₃ crystal, to solve the parameters A_i, B_i, C_i , and D_i of Sellmeier's questions at aforesaid temperatures in an analogy manner of solving the expression of parameter C_i . Then the relationship of parameters A_i, B_i, C_i and D_i with temperatures T is obtained in terms of least-squares fit. Then the expression of thermal refractive index coefficients of LiNbO₃ crystal can be inferred. With the expression, the

* 现在福州大学物理系工作, 福州, 350002。

thermal refractive index coefficients of Ti : Mg : LiNbO₃ crystal in the wavelength and temperature ranges of 539.75nm~1341.4nm and 288K~423K can be calculated. To examine the practicability of the expression of thermal refractive index coefficients, the noncritical phase matching temperature for 1079.5nm SHG has been calculated, the differences between the calculated and experimented value is less than 1K. Therefore, the expressions are useful for design of nonlinear optical devices of using Ti : Mg : LiNbO₃ crystal.

Key words: Ti : Mg : LiNbO₃ crystal parameters A_i , B_i , C_i , D_i of Sellmeier's equation expressions of thermal refractive index coefficients

一、引 言

LiNbO₃ 是较好的非线性光学晶体,西南技术物理研究所研制的掺 MgO5mol% 的 LiNbO₃ 晶体,大大改善了抗光折变效应的能力^[2];近年来,西南技术物理研究所和南开大学物理系研制的 Ti : Mg : LiNbO₃ 晶体同样改善了抗光折变效应的能力,并提高了 1064nm 为基波的二倍频转换效率^[3,4]。去年我们对南开大学物理系的 Ti : Mg : LiNbO₃ 晶体(掺 MgO5mol%、Ti0.2mol%)的主折射率进行了精密的测量,获得了在 539.75nm, 632.8nm, 1079.5nm, 1341.4nm 波长上和 288K, 338K, 383K, 423K 温度时,这种晶体的主折射率及其温度系数^[1]。对于非线性光学晶体,折射率温度系数是设计非临界相位匹配器件不可缺少的参数,文献中往往给出几个特定波长下的折射率温度系数的测量值,因而无法满足不同波长的非临界相位匹配器件设计的需要。为解决不同波长非临界相位匹配的设计需要,我们导出了 Ti : Mg : LiNbO₃ 晶体的折射率温度系数表示式,凭此表示式可以算出 Ti : Mg : LiNbO₃ 晶体在 288K~423K 温度范围 539.75nm~1341.4nm 波长区间附近的折射率温度系数的值。

以前我们根据测得的 Nd : YAP 晶体的主折射率,借助单项 Sellmeier's 方程,以及我们测量的高掺镁铌酸锂晶体的主折射率,借助于修正的 Sellmeier's 方程:

$$n_i^2 = A_i + \frac{B_i}{\lambda^2 - C_i} - D_i \lambda^2 \quad (1)$$

式中, $i=o, e$, λ 以 μm 为单位。分别得到上述二种晶体的折射率温度系数表示式,并在其应用范围内与实验结果相比较,获得了以折射率温度系数表示式来计算的非临界相位匹配温度与实验值仅差 6K 的较好结果^[5,6]。

本文根据对 LiNbO₃ 晶体适用的修正的 Sellmeier's 方程,利用解出参数 C_i 为主折射率和波长的函数关系,根据各个温度时 Ti : Mg : LiNbO₃ 晶体的 n_i , 从(1)式求出各个温度条件下 Sellmeier's 方程的参数 A_i, B_i, C_i, D_i , 以最小二乘法拟合上述参数与温度 T 的线性关系,并得到误差最小的拟合结果。利用此拟合结果根据(1)式推导出 Ti : Mg : LiNbO₃ 晶体的折射率温度系数的表示式,并用此表示式求出 539.75nm, 632.8nm, 1079.5nm, 1341.4nm 波长下该晶体的折射率温度系数,与实验值相比较,一般只有 2.8% 以内的偏差,仅有二个值的偏差大到 17% 以内,用此表示式求出该晶体的折射率温度系数计算 1079.5nm 为基波的二倍频非临界相位匹配温度,与实验值之差在 1K 以内,这个结果表明,折射率温度系数表示式对于 Ti : Mg : LiNbO₃ 晶体在温度 288K~423K, 波长 539.75~1341.4nm 范围附近,估计其非临界相位匹

配温度及其它非线性应用是适用的。

Table 1 Principal refractive indices of the LN crystal doped with 5 mol% Mg and 0.2mol% Ti

		288K	338K	383K	423K
539.75nm	n_o	2.31269	2.31358	2.31439	2.31525
	n_e	2.21916	2.22238	2.22536	2.22864
632.8nm	n_o	2.28024	2.28057	2.28116	2.28159
	n_e	2.19165	2.19428	2.19700	2.19967
1079.5nm	n_o	2.22565	2.22590	2.22604	2.22647
	n_e	2.14527	2.14749	2.14961	2.15195
1341.4nm	n_o	2.21333	2.21377	2.21378	2.21403
	n_e	2.13478	2.13720	2.13891	2.14132

Table 2 Thermal refractive index coefficients of the LN crystal doped with 5mol% Mg and 0.2mol% Ti

	539.8nm	632.8nm	1079.5nm	1341.4nm
$dn_o/dT(\times 10^{-5})$	1.88	1.03	0.604	0.503
$dn_e/dT(\times 10^{-5})$	6.95	5.90	4.91	4.72

二、分析与结果

文献 [1] 给出了 Ti : Mg : LiNbO₃ 晶体在 288K, 338K, 383K, 423K 温度条件下, 在 539.75nm, 632.8nm, 1079.5nm, 1341.4nm 波长处主折射率的精密测量值及其在上述四个波长条件下的折射率温度系数, 分别列于表 1 和表 2。

从修正的 Sellmeier's 方程 (1), 在某一温度条件下, 已知四个 n_o (或 n_e) 及其对应的四个波长, 解出参数 A_i, B_i, C_i, D_i 是有一定困难的, 若能解出标志该晶体短波极限的参数 C_i , 则方程 (1) 成为 A_i, B_i, D_i 的线性代数方程, 求参数 A_i, B_i, C_i, D_i 的解将方便得多。

基于这个想法, 在上述四个温度

中的任一温度条件下, 将在上述四个波长下测得的主折射率值 n_o (或 n_e) 及对应的波长 λ (以 μm 为单位), 依序分别代入 (1) 式, 对于某一温度可得四个方程, 消去 A_i, B_i, D_i , 得到修正的 Sellmeier's 方程在各温度条件下参数 C_i 的表达式 (2)

$$C_i = (E_i \lambda_1^2 + F_i \lambda_2^2) / (E_i + F_i) \quad (2)$$

上式中, $\lambda_1 = 0.53975\mu\text{m}, \lambda_2 = 1.3414\mu\text{m}, i = o$ 或 e ,

$$E_i = [n_{1i}^2(\lambda_3^2 - \lambda_2^2) + n_{2i}^2(\lambda_1^2 - \lambda_3^2) + n_{4i}^2(\lambda_2^2 - \lambda_1^2)] \\ [\lambda_1^4(\lambda_2^2 - \lambda_3^2) + \lambda_3^4(\lambda_1^2 - \lambda_2^2) + \lambda_2^4(\lambda_3^2 - \lambda_1^2)] \\ F_i = [n_{2i}^2(\lambda_1^2 - \lambda_3^2) + n_{3i}^2(\lambda_2^2 - \lambda_1^2) + n_{4i}^2(\lambda_3^2 - \lambda_2^2)] \\ [\lambda_2^4(\lambda_1^2 - \lambda_3^2) + \lambda_3^4(\lambda_2^2 - \lambda_1^2) + \lambda_1^4(\lambda_3^2 - \lambda_2^2)]$$

Table 3 Constants of Sellmeier's equations at different temperature

	288K	338K	383K	423K
A_o	4.879051	4.879551	4.879766	4.887467
$B_o(\mu\text{m}^2)$	0.1178886	0.1167283	0.1177529	0.1140737
$C_o(\mu\text{m}^2)$	0.0442660	0.0483787	0.0480961	0.0542489
$D_o(\mu\text{m}^4)$	0.0263379	0.0252523	0.0256666	0.0282912
A_e	4.541260	4.547236	4.559668	4.569210
$B_e(\mu\text{m}^2)$	0.0967760	0.0979707	0.0977999	0.0974098
$C_e(\mu\text{m}^2)$	0.0430204	0.0448493	0.0462915	0.0502444
$D_e(\mu\text{m}^4)$	0.0217162	0.0197022	0.0225194	0.0220357

式中, $\lambda_2 = 0.6328\mu\text{m}, \lambda_3 = 1.0795\mu\text{m}, n_{1i}, n_{2i}, n_{3i}, n_{4i}$ 分别对应于 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4$ 波长下 Ti : Mg : LiNbO₃ 晶体的主折射率。

每个温度条件下该晶体的 Sellmeier's 方程的参数 A_i, B_i, C_i, D_i 列于表 3。

根据 N. P. Barnes, M. S. Piltch 的论述^[7]与温度有关的 Sellmeier's 方程参数, 通常有以下形式:

$$x(T) = a + bT \quad \text{或} \quad x(T) = a + bT^2 \quad (3)$$

式中, $x(T)$ 是 Sellmeier's 方程参数, T 是以 K 为单位的绝对温度, a, b 是常数。

我们以最小二乘法拟合 288K, 338K, 383K, 423K 温度时 A_i, B_i, C_i, D_i 与温度 T 的关系, 除 D_o, D_e 外其余六个参数与温度 T 呈线性关系, 其线性回归的相关系数 r 都在 0.96 以上, 但 D_o, D_e 的相关系数 r 较差, 在 0.9 左右, 从而证明在 288K 到 423K 温度范围内, A_i, B_i, C_i, D_i 与温度 T 的关系为:

$$\begin{aligned} A_i &= a_i + e_i T, & B_i &= b_i + f_i T \\ C_i &= k_i + g_i T, & D_i &= d_i + h_i T \end{aligned} \quad (4)$$

应是可行的, 经过多次计算, 发现以 288K, 423K 时的 A_i, B_i, D_i 进行线性拟合与实验值的误差最小, 这是由于 Sellmeier's 方程的参数与温度 T 的关系取决于 $\frac{dn_o}{dT}, \frac{dn_e}{dT}$, 由于 $\frac{dn_o}{dT}$ 的测量值在 10^{-5} 量级, $\frac{dn_e}{dT}$ 在 5×10^{-5} 量级, δn 估计为 1.7×10^{-4} , δT 为 1K 左右^[1], 且 $\frac{dn}{dT}$ 的误差由(5)式决定

$$\delta\left(\frac{\Delta n}{\Delta T}\right) = \left[2\left(\frac{\delta n}{\Delta T}\right)^2 + 2\left(\frac{\Delta n}{\Delta T^2}\delta T\right)^2\right]^{1/2} \quad (5)$$

可见所取 ΔT 越大, $\delta\left(\frac{\Delta n}{\Delta T}\right)$ 越小, 因此取 288K, 423K 拟合 A_i, B_i, D_i 与温度 T 的线性关系是更好的。方程(4)的常数 a_i, e_i, \dots 列于表 4。

Table 4 Summary of Sellmeier's parameters $a_i, e_i, b_i, f_i, \dots$ in equations

	a_i	$e_i \times 10^5 (\text{K}^{-1})$	$b_i (\mu\text{m}^2)$	$f_i \times 10^5 (\mu\text{m}^2 \text{K}^{-1})$	$k_i (\mu\text{m}^2)$	$g_i \times 10^5 (\mu\text{m}^2 \text{K}^{-1})$	$d_i (\mu\text{m}^{-2})$	$h_i \times 10^6 (\mu\text{m}^{-2} \text{K}^{-1})$
n_o	4.861098	6.233789	0.1260271	-2.825851	0.02328945	7.342732	0.02219086	14.46889
n_e	4.481632	20.70400	0.09542389	0.4694815	0.02794535	5.071522	0.0213460	2.366667

Table 5 The calculated values of principal refractive indices for Ti:Mg:LiNbO₃ crystal at 288K

	532nm	539.75nm	1064nm	1079.5nm
n_o	2.31640	2.31276	2.22657	2.22565
n_e	2.22206	2.21900	2.14604	2.14526

根据此线性关系得到 288K, 338K, 383K, 423K 温度时的 A_i, B_i, C_i, D_i 由(1)式计算 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4$ 波长下该晶体的主折射率, n_o 与测量值之差最大在 ± 0.0002 以内, n_e 与测量值之差只有个别在 ± 0.0005 , 大都也在 ± 0.0002 以

内。又根据此线性关系计算 288K 时的 A_i, B_i, C_i, D_i , 再由(1)式求得 532nm, 539.75nm, 1064nm, 1079.5nm 波长下的 n_o, n_e 列于表 5。

再根据负单轴晶体 I 类相位匹配角计算公式:

$$\sin\theta_m = \frac{n_e(2\omega)}{n_o(\omega)} \left[\frac{n_o^2(2\omega) - n_o^2(\omega)}{n_o^2(2\omega) - n_e^2(2\omega)} \right]^{1/2} \quad (6)$$

分别计算 1064nm, 1079.5nm 为基波的 Ti:Mg:LiNbO₃ 晶体在 288K 时的二倍频 I 类临界相位匹配角, 其计算值依次是 $76^\circ 59'$ 和 $74^\circ 5'$ 。根据文献[1]其实验值是 $76^\circ 50'$ 和 $74^\circ 9'$, 最大偏差仅 $9'$, 这些事实表明了表 4 所列常数拟合的精确度。

既然 A_i, B_i, C_i, D_i 在 288K 到 423K 温度范围是温度 T 的线性函数, 求(1)式对于 T 的导数得:

$$\frac{dn_i}{dT} = \frac{1}{2\sqrt{A_i + B_i/(\lambda^2 - C_i) - D_i\lambda^2}} \left(e_i + \frac{f_i}{\lambda^2 - C_i} + \frac{B_i g_i}{(\lambda^2 - C_i)^2} - h_i \lambda^2 \right)$$

上式用级数展开,忽略 λ^8 等高次项,得折射率温度系数的表示式:

$$\frac{dn_i}{dT} = P_i + \frac{Q_i}{\lambda^2} + \frac{R_i}{\lambda^4} + S_i\lambda^2 + U_i\lambda^4 + V_i\lambda^6 + \frac{W_i}{\lambda^6} \quad (7)$$

式中, λ 是波长,以(μm)为单位, P_i, Q_i, R_i, \dots 等参数有下列关系式:

$$P_i = \frac{1}{2\sqrt{A_i}} \left[\left(1 - \frac{3}{4} \frac{B_i D_i}{A_i^2} \right) e_i + \left(\frac{1}{2} + \frac{3C_i D_i}{8A_i} \right) \frac{D_i}{A_i} f_i + \left(\frac{1}{2} + \frac{3C_i D_i}{4A_i} \right) \frac{B_i}{A_i} h_i + \frac{3B_i D_i^2}{8A_i^2} g_i \right]$$

$$Q_i = \frac{1}{2\sqrt{A_i}} \left[\left(1 + \frac{D_i C_i}{2A_i} + \frac{3C_i^2 D_i^2}{8A_i^2} - \frac{3B_i D_i}{4A_i^2} \right) f_i - \left(\frac{3D_i C_i}{4A_i} + \frac{1}{2} \right) \frac{B_i}{A_i} e_i + \left(\frac{C_i}{2} + \frac{3D_i C_i^2}{4A_i} - \frac{3B_i}{8A_i} \right) \frac{B_i}{A_i} h_i + \left(\frac{1}{2} + \frac{3C_i D_i}{4A_i} \right) \frac{B_i D_i}{A_i} g_i \right] (\mu\text{m}^2)$$

$$R_i = \frac{1}{2\sqrt{A_i}} \left[\left(\frac{3B_i}{8A_i} - \frac{C_i}{2} - \frac{3C_i^2 D_i}{4A_i} \right) \frac{B_i}{A_i} e_i + \left(\frac{C_i^2 D_i}{2A_i} + C_i - \frac{B_i}{2A_i} - \frac{3B_i C_i D_i}{2A_i^2} + \frac{3D_i^2 C_i^3}{8A_i^2} \right) f_i + \left(1 + \frac{C_i D_i}{A_i} + \frac{9C_i^2 D_i^2}{8A_i^2} - \frac{3B_i D_i}{4A_i^2} \right) B_i g_i + \left(\frac{C_i^2}{2} - \frac{3B_i C_i}{4A_i} + \frac{3D_i C_i^3}{4A_i} \right) \frac{B_i}{A_i} h_i \right] (\mu\text{m}^4)$$

$$S_i = \frac{1}{2\sqrt{A_i}} \left[\frac{D_i}{2A_i} e_i + \left(\frac{3B_i D_i}{4A_i^2} - 1 \right) h_i + \frac{3D_i^3}{8A_i^2} f_i \right] (\mu\text{m}^{-2})$$

$$U_i = \frac{1}{2\sqrt{A_i}} \left[\frac{3D_i^2}{8A_i^2} e_i - \frac{D_i}{2A_i^2} h_i \right] (\mu\text{m}^{-4})$$

$$V_i = \frac{-1}{2\sqrt{A_i}} \left[\frac{3D_i^2}{8A_i^2} h_i \right] (\mu\text{m}^{-6})$$

$$W_i = \frac{1}{2\sqrt{A_i}} \left[\left(C_i^2 - \frac{B_i C_i}{A_i} + \frac{3B_i^2}{8A_i^2} - \frac{9B_i C_i^2 D_i}{4A_i^2} + \frac{D_i C_i^3}{2A_i} \right) f_i + \left(\frac{C_i^2}{2} + \frac{3D_i C_i^2}{4} - \frac{9B_i C_i}{8A_i} \right) \frac{B_i C_i}{A_i} h_i + \left(\frac{3B_i}{4A_i} - \frac{3D_i C_i^2}{4A_i} - \frac{C_i}{2} \right) \frac{B_i C_i}{A_i} e_i + \left(\frac{3B_i C_i^2 D_i}{2A_i} + \frac{3D_i^2 B_i C_i^3}{2A_i^2} + 2C_i B_i - \frac{B_i^2}{2A_i} - \frac{3B_i^2 D_i C_i}{A_i^2} \right) g_i \right] (\mu\text{m}^6)$$

由上述参数关系式,根据(4)式及表4所列 a_i, e_i, \dots 等数值,计算在不同温度下 P_i, Q_i, \dots 的数值及在288K~423K温度区间的平均值,列于表6。

综观 P_i, Q_i, \dots 在各个温度时的值与平均值之差,都在 10^{-8} 以下,这个偏差对折射率温度系数的影响,最多在 10^{-7} 的量级,从表2可见,折射率温度系数是 10^{-5} 量级,所以取 P_i, Q_i, \dots 各参数的平均值作为折射率温度系数表示式(7)中相应的常数是可行的。按(7)式计算Ti:Mg:LiNbO₃晶体在上述四个波长处的折射率温度系数,并与文献[1]中的实验值相比较,列于表7。

由表7可见,大多数折射率温度系数与实验值的偏差在2.8%之内,只有 $\frac{dn_o}{dT}$ 的二个值偏差较大,达到17%及13%。

Table 6 The values of P_i, Q_i, \dots at different temperature and their average values

	288K	338K	383K	423K	average values
$P_o \times 10^5$	1.413184	1.412635	1.412142	1.411704	1.412416
$Q_o \times 10^6 (\mu\text{m}^2)$	-6.560980	-6.556603	-6.552677	-6.549200	-6.554865
$R_o \times 10^6 (\mu\text{m}^4)$	1.748299	1.699265	1.655178	1.616024	1.679692
$S_o \times 10^6 (\mu\text{m}^{-2})$	-3.236860	-3.234805	-3.232959	-3.231319	-3.233986
$U_o \times 10^9 (\mu\text{m}^{-4})$	-8.685821	-8.911613	-9.114265	-9.293955	-9.001413
$V_o \times 10^{11} (\mu\text{m}^{-6})$	-3.578988	-3.772274	-3.950304	-4.111777	-3.853336
$W_o \times 10^7 (\mu\text{m}^6)$	1.113228	1.230522	1.331306	1.417094	1.273037
$P_e \times 10^5$	4.858245	4.852717	4.847758	4.843363	4.850521
$Q_e \times 10^7 (\mu\text{m}^2)$	5.867177	5.860021	5.853603	5.847917	5.857180
$R_e \times 10^6 (\mu\text{m}^4)$	1.173086	1.176033	1.178680	1.181030	1.177207
$S_e \times 10^7 (\mu\text{m}^{-2})$	-4.390884	-4.382217	-4.374453	-4.367580	-4.378783
$U_e \times 10^{10} (\mu\text{m}^{-4})$	-9.111246	-9.116459	-9.121020	-9.124971	-9.118424
$V_e \times 10^{12} (\mu\text{m}^{-6})$	-4.761735	-4.786446	-4.808608	-4.828245	-4.796258
$W_e \times 10^8 (\mu\text{m}^6)$	9.036902	9.645194	10.19456	10.68438	9.890258

Table 7 The calculated and measured values of thermal refractive index coefficients and deviations

	539.75nm			632.8nm			1079.5nm			1341.4nm		
	cal.	exp.	dev.	cal.	exp.	dev.	cal.	exp.	dev.	cal.	exp.	dev.
$(dn_e/dT) \times 10^5$	1.56	1.88	17%	0.892	1.03	13%	0.604	0.604	0%	0.517	0.503	2.8%
$(dn_o/dT) \times 10^5$	6.87	6.95	1.2%	5.87	5.90	0.5%	4.94	4.91	0.6%	4.82	4.72	2.1%

为检验这个折射率温度系数表示式的实用性,我们利用表7所示的计算值和利用表4所列 a_i, e_i, \dots 常数,计算 A_i, B_i, C_i, D_i ,再由(1)式求波长为 539.75nm, 1079.5nm 在 288K 和 338K 温度时该晶体的 n_o, n_e 代入非临界相位匹配温度的计算式:

$$\Delta T = \frac{n_o(\omega, T_0) - n_e(2\omega, T_0)}{\left(\frac{dn_e}{dT}\right)_e - \left(\frac{dn_o}{dT}\right)_o} \quad (8)$$

计算 1079.5nm 为基波时 Ti:Mg:LiNbO₃ 晶体的二倍频非临界相位匹配温度,当取 $T_0 = 288\text{K}$ 时 $\Delta T = 106.1\text{K}$,所以 $T_{\text{pm}} = 394.1\text{K}$;当 $T_0 = 338\text{K}$ 时, $\Delta T = 56.3\text{K}$,所以 $T_{\text{pm}} = 394.3\text{K}$,与实验值 393.5K^[1] 的偏差小于 1K。

三、讨论与总结

Ti:Mg:LiNbO₃ 晶体是相当好的非线性光学晶体,为了采用这种晶体设计不同波长的非临界相位匹配温度及其他非线性应用,导出这个晶体的折射率温度系数表示式是很有必要的。我们的实践证明,要获得有实用意义的折射率温度系数表示式是不容易的,因为 $\frac{dn}{dT}$ 在 10^{-5} 量级,所以重要的是精确地获得表4所列的拟合常数 a_i, e_i, \dots 从而获得表6所列参数 P_i, Q_i ,

……的正确值是具有关键意义的。因此只有在成功的拟合结果情形下,折射率温度系数的表示式才具有实用性,本文利用这个折射率温度系数表示式的计算结果及用表4所列 a, e, \dots 数值,根据(1)式计算不同温度时的 $n_o(\omega, T_0)$ 及 $n_e(2\omega, T_0)$ 得到的 T_{pm} 与实验值之差小于1K,足以说明这个折射率温度系数表示式及表6所列数值,对于采用Ti:Mg:LiNbO₃晶体在上述温度、波长范围附近设计非线性光学器件是有实用意义的。

在表7中, $\frac{dn_o}{dT}$ 在短波部分计算值与文献[1]发表的数值偏差较大,其原因是平均值 R_o 的平均偏差是 4.9×10^{-8} ,平均值 W_o 的平均偏差是 1.1×10^{-8} ,以 $\lambda = 0.53975 \mu\text{m}$ 为例, $\lambda^{-4}, \lambda^{-6}$ 与平均偏差相乘的结果,二者的总偏差达到 5×10^{-7} ,所以用 R_o, W_o 的平均值来计算 $\frac{dn_o}{dT}$,必然影响到 $\frac{dn_o}{dT} \times 10^5$ 中的第二位,而波长较长则影响不到这一位,而(8)式中 $(\frac{dn_o}{dT})_o$ 只用到长波部分,所以 T_{pm} 的偏差在1K以内,文献[6]表明即使 $(\frac{dn_o}{dT})_o$ 的偏差达12%, T_{pm} 与实验值之差仅在6K,国外有关文献表明,这还是较好的估计值,因此本文的结果对设计非临界相位匹配器件是适用的。

参 考 文 献

- 1 Zeng Z D, Shen H Y, Huang Ch H *et al.* J O S A (B), 1993; 10(3): 551~553
- 2 仲跻国, 徐观峰, 王廷福 *et al.* 物理学报, 1983; 32(6): 795~798
- 3 Wen J K, Deng J C, Zhu Y P *et al.* J Synth Cryst, 1991; 20: 395
- 4 Xu G F, Gao Y F, Chen J R *et al.* J Synth Cryst, 1991; 20: 396
- 5 沈鸿元, 曾政东, 林文雄 *et al.* 光学学报, 1991; 11(9): 825~828
- 6 徐浩, 沈鸿元. 光学学报, 1994; 14(4): 393
- 7 Barnes N P, Pilch M S. J O S A, 1977; 67(5): 628~629

* * *

* * *
作者简介: 徐浩, 男, 1933年12月出生。副教授。在福州大学物理系从事物理教学及光学、非线性光学方面的研究。

收稿日期: 1994-03-01 收到修改稿日期: 1994-12-05

· 产品简讯 ·

转叶式真空泵

Balzers公司推出了一种新型的重量较轻的UNO/DUO2.5-A转叶式真空泵,其价格和小型尺寸与以前各种型号的相同,但其抽气速度更高。它提供1.7cfm的体流率,极限真空度为 10^{-4} Torr,供中、低真空范围使用。它非常适合于分析化学应用和用作小涡轮泵浦和泵浦站的前级泵。

译自L & O, 1994; 13(5): 43 邹福清 译 刘建帅 校