

5mol% MgO 添加 LiNbO₃ 結晶の擬似位相整合温度特性

Temperature dependence of quasi phase-matching properties for 5mol% MgO doped LiNbO₃

バイオ・マテリアル学科 梅村信弘 (Nobuhiro UMEMURA)

The temperature dependence of quasi phase-matched second-harmonic generation (SHG), sum-frequency generation (SFG), and optical parametric oscillator (OPO) wavelengths in the visible and IR regions were measured between 20-120°C by using the periodically poled 5mol% MgO doped congruent LiNbO₃ crystals. The improved Sellmeier equation and high-accuracy thermo-optic dispersion formula of extraordinary ray, which reproduces accurately the quasi phase-matching properties in the 0.40μm~4.0μm range are obtained in our laboratory.

近年、レーザ用波長変換素子として、分極反転型波長変換デバイスが注目されており、その中でも 5mol%MgO ドープのニオブ酸リチウム結晶を用いた波長変換素子(MgO:PPLN)が既に実用化されている。しかしながら、既に発表されている異常光線の温度依存型セルマイヤー方程式^{1,2}は、透過波長領域全般にわたる擬似位相整合特性を正確に再現することはできない。そこで今回、擬似位相整合 SHG、SFG 及び OPO 波長の温度変化を 20~120°C の範囲で測定し、その結果を基に結晶温度 20°Cにおけるセルマイヤー方程式を修正するとともに以下の屈折率温度分散式を作成した。

$$\Delta n_e = \left(\frac{0.4175}{\lambda^3} - \frac{0.6643}{\lambda^2} + \frac{0.9036}{\lambda} + 3.5332 - 0.0744\lambda \right) \times 10^{-5} \times \{(\Delta T) + 0.00138(\Delta T)^2\}$$

(0.40μm ≤ λ ≤ 4.0μm, ΔT=T-20)

ここで、λの単位はμm であり T は結晶温度 (°C) である。修正した MgO:PPLN のセルマイヤー方程式については省略するが、0.39μm~4.95μm の波長範囲で我々が取得した擬似位相整合実験データ(Table 1)と一致するとともに、他の研究機関が発表した実験データとも一致することがわかった。特に顕著な例として Fig.1 に Xu ら³によって発表された 1.9075μm 発振 Tm:YLF レーザ励起の光パラメトリック発振の温度同調曲線を示す。他の方程式と比較して一致することがわかる。なお、本研究ではテラヘルツ領域における位相整合温度特性についても検討を行った。Fig.2 に Kiessling ら⁴の光パラメトリック発振によるテラヘルツ発生同調曲線を示す。図中の実線は、以下のテラヘルツ領域の屈折率温度分散式より計算した理論曲線であり、150μm(2THz)から 260μm(1.15THz)の波長範囲で有効であることがわかった。

$$\Delta n_e = \left(\frac{43.268}{\lambda} + 1.1770 \right) \times 10^{-3} \times \{(\Delta T) + 0.00138(\Delta T)^2\}$$

(0.40μm ≤ λ ≤ 4.0μm, ΔT=T-20)

参考文献

1. O. Paul, et al., Appl. Phys. B **86**, 111-115 (2007).
2. O. Gayer et al., Appl. Phys. B **91**, 343-348 (2008).
3. L. Xu et al., Opt. Lett. **37**, 743-745 (2012).
4. J. Kiessling et al., J. Opt. Soc. Am. B **30**, 950-952 (2013).

Table 1. Quasai phase-matched SHG, SFG, and OPO wavelengths in MgO:PPLN with a grating period of 29.0 μm at 20 $^{\circ}\text{C}$.

SHG, SFG, OPO	Order m	Wavelength (μm) ^a			$d\lambda/dT$ ($\text{\AA}/^{\circ}\text{C}$) @20 $^{\circ}\text{C}$	
		λ_1	λ_2	λ_3		
OPO	1	(obs)	4.9339	2.2276	1.5347	—
		(cal)	4.9339	2.2276	1.5347	—
OPO	1	(obs)	4.0035	1.4495	1.0642	$d\lambda_s/dT=+1.12$ $d\lambda_i/dT= - 9.8$
		(cal)	4.0028	1.4496	1.0642	$d\lambda_s/dT=+1.16$ $d\lambda_i/dT= - 9.8$
SHG	1	(obs)	1.9342	1.9342	0.9671	$d\lambda_1/dT=+2.1$
		(cal)	1.9341	1.9341	0.9671	$d\lambda_1/dT=+2.1$
SHG	2	(obs)	1.3716	1.3716	0.6858	$d\lambda_1/dT=+1.03$
		(cal)	1.3711	1.3711	0.6856	$d\lambda_1/dT=+0.94$
SHG	5	(obs)	1.0038	1.0038	0.5019	$d\lambda_1/dT=+0.73$
		(cal)	1.0038	1.0038	0.5019	$d\lambda_1/dT=+0.73$
SHG	11	(obs)	0.7996	0.7996	0.3998	$d\lambda_1/dT=+0.53$
		(cal)	0.7994	0.7994	0.3997	$d\lambda_1/dT=+0.53$
SHG	12	(obs)	0.7810	0.7810	0.3905	—
		(cal)	0.7810	0.7810	0.3905	—

a) $1/\lambda_1+1/\lambda_2=1/\lambda_3$.

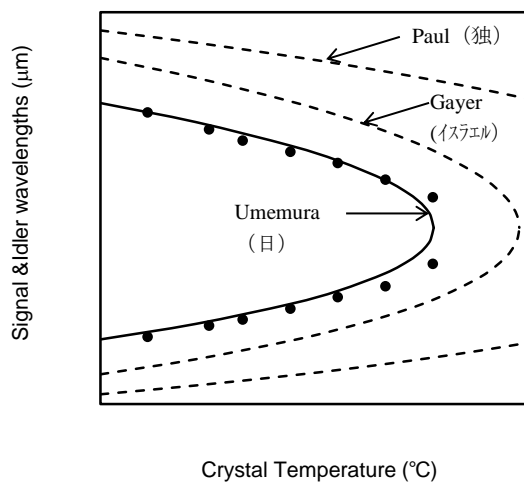


Fig 1. Temperature tuning curves for MgO:PPLN /OPG pumped at 1.9075 μm . The experimental points are quoted from Ref.3.

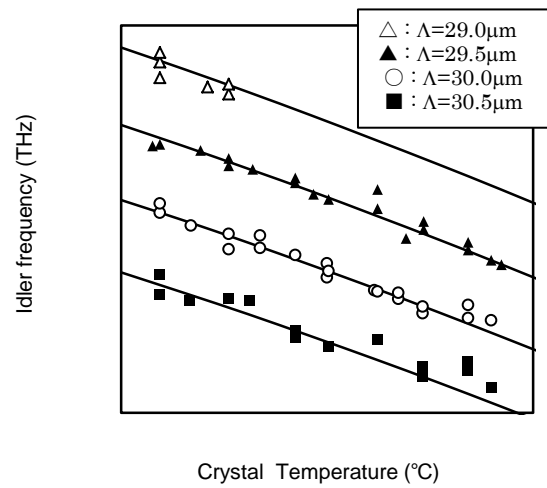


Fig 2. Temperature tuning curves for the idler frequency of QPM /OPO pumped at 1.55 μm . The experimental points are quoted from Ref.4.