

一水甲酸锂最佳相位匹配角的计算

宋常立 王鲁川
(辽宁大学物理系)

提 要

本文计算了mm2型一水甲酸锂晶体的相位匹配角和有效非线性系数随基波波长变化的规律。发现对每个基波都存在着一个或两个最佳相位匹配角(θ, ϕ),并作出了 θ, ϕ 随基波波长变化的拟合公式。按计算所得的角度切割的一水甲酸锂倍频元件分别得到了0.53 μ 、0.35 μ 和0.266 μ 的倍频光。

在实现相位匹配的情况下,倍频输出功率和晶体的有效非线性系数 d_{eff} 的平方成正比,因此计算 d_{eff} 随基波波长的变化或者随匹配角(θ, ϕ)的变化是设计具有最佳倍频效果的倍频元件所必需做的工作。

一水甲酸锂(LiCOOH·H₂O)具有高的倍频转换效率、光损伤阈值^[1]和包括紫外波段在内的广阔透明区域^[2],可望成为一种能获得多种输出波长的倍频晶体。

一、计算原理

一水甲酸锂属于斜方晶系,是具有mm2对称性的双轴晶体,晶体的折射率主轴 x, y, z 与晶轴 a, b, c 相一致。纬向角为 θ 、径向角为 ϕ 入射的基波 λ_1 的折射率 n_1 由四次方程(1)^[3]来确定;与此相应的倍频波 λ_2 的折射率 n_2 也由类似的四次方程(2)来确定。

$$\sin^2\theta \cos^2\phi / (n_1^{-2} - n_{1x}^{-2}) + \sin^2\theta \sin^2\phi / (n_1^{-2} - n_{1y}^{-2}) + \cos^2\theta / (n_1^{-2} - n_{1z}^{-2}) = 0, \quad (1)$$

$$\sin^2\theta \cos^2\phi / (n_2^{-2} - n_{2x}^{-2}) + \sin^2\theta \sin^2\phi / (n_2^{-2} - n_{2y}^{-2}) + \cos^2\theta / (n_2^{-2} - n_{2z}^{-2}) = 0, \quad (2)$$

$$n_1' = n_2'' \text{ (第 I 类相位匹配条件)}, \quad (3)$$

$$(n_1' + n_1'') / 2 = n_2'' \text{ (第 II 类相位匹配条件)}, \quad (4)$$

满足 I 类条件的匹配角(θ_I, ϕ_I)应由解联立方程组(1)、(2)、(3)来确定;类似地满足 II 类条件的匹配角(θ_{II}, ϕ_{II})应由解联立方程组(1)、(2)、(4)来确定。其中 n_1, n_2 的下标 x, y, z 分别代表相应于基波和倍频波的两个主折射率;上标“'”和“''”分别代表方程(1)或(2)中较大的和较小的实根。

解上述两个方程组得到匹配角后,对于mm2型双轴晶体,则可按下列两个公式分别求出第 I 类和第 II 类的有效非线性系数 d_{eff}^I 和 d_{eff}^{II} ,即:

$$\begin{aligned} d_{eff}^I(\theta_I, \phi_I) = & (d_{32} - d_{31}) (3 \sin^2\delta - 1) \sin\theta \cos\theta \sin 2\phi \cos\delta \\ & + 3(d_{31} \cos^2\phi + d_{32} \sin^2\phi) \sin\theta \cos^2\theta \sin\delta \cos^2\delta + (d_{31} \sin^2\phi \\ & + d_{32} \cos^2\phi) \sin\theta \sin\delta (3 \sin^2\delta - 2) + d_{33} \sin^3\theta \sin\delta \cos^2\delta, \end{aligned} \quad (5)$$

$$d_{eff}^{II}(\theta_{II}, \phi_{II}) = (d_{32} - d_{31})(3 \cos^2 \delta - 1) \sin \theta \cos \theta \sin 2\phi \sin \delta \\ - 3(d_{31} \cos^2 \phi + d_{32} \sin^2 \phi) \sin \theta \cos^2 \theta \sin^2 \delta \cos \delta - (d_{31} \sin^3 \phi \\ + d_{32} \cos^3 \phi) \sin \theta \cos \delta (3 \cos^2 \delta - 2) - d_{33} \sin^3 \theta \sin^2 \delta \cos \delta, \quad (6)$$

其中 δ 由下式确定

$$\operatorname{ctg} 2\delta = \frac{\cot^2 \Omega \sin^2 \theta - \cos^2 \theta \cos^2 \phi + \sin^2 \phi}{\cos \theta \sin 2\phi}, \quad (7)$$

Ω 为与基波和倍频波对应的光轴夹角平均值的一半, 即:

$$\Omega = \frac{1}{2} \left[\operatorname{tg}^{-1} \left(\frac{n_{1z}}{n_{1x}} \sqrt{\frac{n_{1y}^2 - n_{1x}^2}{n_{1z}^2 - n_{1x}^2}} \right) + \operatorname{tg}^{-1} \left(\frac{n_{2z}}{n_{2x}} \sqrt{\frac{n_{2y}^2 - n_{2x}^2}{n_{2z}^2 - n_{2x}^2}} \right) \right]. \quad (8)$$

(5)、(6)、(7) 三式与文献 [3]、[4]、[5] 中给出的公式相似。

二、计算结果和讨论

利用文献 [1]、[9] 中给出的折射率数据代入上述公式, 即可求出各种基波的相位匹配角和有效非线性系数。显然作这些计算要使用电子计算机才行。为了减少不必要的计算量, 我们采用了谢绳武等同志发展的沿相位匹配曲线跟踪的方法^[6], 用 DJS-6 型电子计算机计算了基波波长从 1.06μ 到 0.53μ 的六种波长的两类相位匹配角 (θ_I, ϕ_I) 和 (θ_{II}, ϕ_{II}) 以及相应的有效非线性系数 d_{eff}^I 和 d_{eff}^{II} 。

两类匹配角的计算结果用极射赤平投影法分别绘于图 1(a) 和图 1(b) 中。每条角度相位匹配曲线标明了对应的基波波长及 Hobden 分类号^[7]。

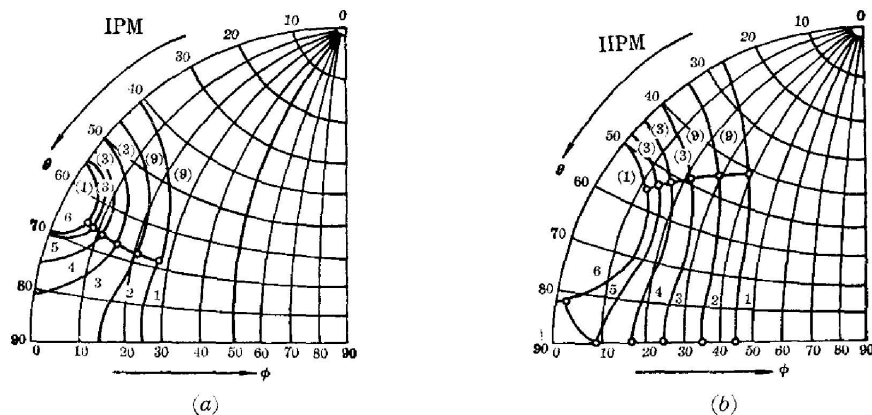


图 1 一水甲酸锂各种基波波长所对应的角度相位匹配曲线(实线)和最佳匹配角(圈点)

(a) 第 I 类; (b) 第 II 类

1— 0.532μ ; 2— 0.600μ ; 3— 0.694μ ; 4— 0.800μ ; 5— 0.900μ ; 6— 1.064μ 。

Fig. 1 The angle phase matching curves (solid lines) and the optimum matching angles (circles) corresponding to various fundamental wavelength of LFM

(a) I PM; (b) II PM

为了直观起见, 在图 2(a) 和图 2(b) 中分别绘制了各种基波波长的两类相对有效非线性系数 $|d_{eff}^I/d_{32}|$ 和 $|d_{eff}^{II}/d_{32}|$ 随纬向匹配角 θ 的变化图。从图 2(a) 和图 2(b) 可以看出, 对应于每一种基波, $|d_{eff}^I/d_{32}|$ 有一个极大值, $|d_{eff}^{II}/d_{32}|$ 有两个极大值。我们把这些极大值所对应的匹配角 (θ, ϕ) 称为最佳相位匹配角, 并在图 1 中用圈点标了出来, 因为以这个角度实现

(66.7, 26.4)最大相对有效非线性系数 $|d_{\text{eff}}^I/d_{32}|_{\text{max}} = 0.913$; 而对于第 II 类匹配最佳匹配角为 (90.0, 44.4) 和 (40.8, 37.4), 相应的最大有效非线性系数 $|d_{\text{eff}}^{II}/d_{32}|$ 分别为 0.553μ 和 0.270μ 。于是在相同条件下, 三者的输出功率比是 1:0.36:0.09, 可见当基波在可见光区时, 选用第 II 类相位匹配是非常不合适的。根据文献[8]中给出的一水甲酸锂基波在可见光区其相位匹配角为 40° 左右可知, 在那里采用了有效非线性系数不大的第 II 类相位匹配。可以认为, 若换用第 I 类相位匹配角, 其输出功率还能进一步提高。

如果将一水甲酸锂作为获得多种输出波长的倍频元件(可调谐相干光源)还得选用第 I 类相位匹配, 因为从图 2(a) 中可以看到, 随着基波波长的变化, 无论是纬向匹配角 θ 还是相对有效非线性系数 $|d_{\text{eff}}^I/d_{32}|$ 都变化不大。在我们计算的波段范围内, 前者仅变化了 3° ($65^\circ \rightarrow 68^\circ$), 后者也仅从 0.96 变到 0.90。从图 2(b) 可以看到, 在同样情况下, 第 II 类匹配的两个相对有效非线性系数极大值的变化十分显著, 几乎各减少了一半, 输出的倍频功率将减少到原来的 $1/4$ 。一水甲酸锂倍频中相位匹配角和有效非线性系数随基波波长变化的其它情况也可用类似方法进行分析, 在此不一一赘述。

上述讨论表明, 在设计倍频元件时, 掌握最佳相位匹配角随基波波长的变化关系是很重要的。为此我们以文中的曲线为依据, 拟合了一水甲酸锂最佳相位匹配角 (θ 、 ϕ) 随基波波长 λ 变化的公式: I PM: $\theta = 62.23^\circ + 3.09^\circ/\lambda$, $\phi = -13.6^\circ + 20.45^\circ/\lambda$; II PM: $\theta = 90^\circ$, $\phi = -40.6^\circ + 45.3^\circ/\lambda$ 。当设计基波波长在 0.50μ 到 1.06μ 之间的某种波长 λ 的倍频元件时, 就可按上述拟合公式求出最佳相位匹配角, 从而省去用电子计算机计算的繁琐步骤。由于条件限制, 我们未能对本文的讨论进行细致的实验研究。不过按我们计算的最佳相位匹配角: (65.0°, 7.3°) (I PM); (82.0°, 2.0°) (II PM) (基波为 1.06μ); (66.8°, 14.7°) (I PM); (90.0°, 25.4°) (II PM) (基波为 0.694μ) 磨成的一水甲酸锂单晶(由辽宁大学化学系提供)已获得了相应的倍频光。

本文得到了佟富功副教授的指导, 在计算上得到谢绳武同志的帮助, 并且曾到华北光电所、安徽光机所和长春应用化学研究所等单位进行实验, 借此表示衷心的感谢。

参 考 文 献

- [1] S. Singh, W. A. Bonner *et al.*; *A. P. L.*, 1970, **17**, No. 7(1 Oct), 292.
- [2] C. F. Dewey Jr., W. R. Cook Jr. *et al.*; *A. P. L.*, 1975, **26**, No. 12(15 Jun), 714.
- [3] Hiromasa Ito, Hatsuhiko Naito *et al.*; *J. A. P.*, 1975, **46**, No. 9(Sep), 3992.
- [4] Hiromasa Ito, Hatsuhiko Naito *et al.*; *IEEE J. Q. E.* **10**, 1974, No. 2(Feb), 247.
- [5] 谢绳武; 私人通讯。
- [6] M. V. Hobden; *J. A. P.*, 1967, **38**, No. 11(Oct), 4365.
- [7] F. B. Dunning, F. K. Tittel *et al.*; *Opt. Commun.*, 1973, **7**, No. 3(Mar), 131.
- [8] 内藤初彦, 稻场文男; *应用物理*, 1973, **42**, No. 1, 22.

The calculation of the optimum phase matching angle in SHG of $\text{LiCOOH}\cdot\text{H}_2\text{O}$

SONG CHANGLI AND WANG LUCHUAN

(Liaoning University, Shenyang)

(Received 4 May 1981)

Abstract

In this paper, the variation of the phase matching angle and the effective nonlinear coefficient versus the fundamental wavelength in a second harmonic generation of the lithium formate monohydrate ($\text{LiCOOH}\cdot\text{H}_2\text{O}$) of the mm 2 type crystal are calculated. It is found that there is one (or two) optimum phase matching angle (θ , ϕ) for each fundamental wave, at which the second harmonic conversion efficiency is highest. Fitted formula for the variation of the phase matching angle versus the fundamental wavelength is obtained. Second harmonic generation for 0.53μ , 0.35μ and 0.266μ are observed from the crystals cut at the computative angle.

(上接 430 页)

会议还组织了题为“激光应用”、“自由电子激光”、“激光生物化学效应”、“X 光激光器”和“激光光谱学”的专题讨论会。代表们分别就各自感兴趣的学术专题,各叙己见,进行了广泛的学术思想交流。

此外,应各方代表的要求,大会临时组织了“激光安全防护”为议题的专题讨论会,并邀请上海光机所关崇文医师主持,进行了讨论。

本届会议开辟了“论文展讲”园地,以便使征文截止期后的研究成果、由于会议时间及议题范围限制而未能入选的论文,有机会通过张贴形式向与会代表介绍。论文展讲园地读者络绎不绝,读者们对感兴趣的展讲论文,向作者索取单印本,并对个别论文提请大会会务组复制等,说明“论文展讲”形式甚为代表们欢迎。

代表们认为,这次会议是一次激光学科的综合性的的大型学术交流会,对从事这一专业的各方面的科研人员提供了互相学习、互相启发,活跃学术思想的良好机会,有利于促进学科的发展。经过激光专业委员会与有关单位协商,一致决定由成都电讯工程学院筹备 1984 年第七届全国激光学术报告会。

[黎 风]