

KDP 晶体相位匹配角理论预测模型及其验证分析

张洋 李婷 袁晓东 熊召 徐旭 叶朗 周海 张彬

Theoretical model of phase-matching angles for KDP crystals and its verification analysis

Zhang Yang Li Ting Yuan Xiao-Dong Xiong Zhao Xu Xu Ye Lang Zhou Hai Zhang Bin

引用信息 Citation: *Acta Physica Sinica*, 64, 024213 (2015) DOI: 10.7498/aps.64.024213

在线阅读 View online: <http://dx.doi.org/10.7498/aps.64.024213>

当期内容 View table of contents: <http://wulixb.iphy.ac.cn/CN/Y2015/V64/I2>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

MoS₂ 纳微薄膜激光非线性透射的调控研究

Research on the controllable nonlinear laser transmission properties of MoS₂ nano-micron film

物理学报.2015, 64(3): 034214 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.64.034214>

LiNbO₃ 晶体界面非线性表面波的研究

Study on nonlinear surface waves along the boundary of LiNbO₃ crystals

物理学报.2015, 64(1): 014204 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.64.014204>

色散条件下各向同性光纤中拉曼增益对光脉冲自陡峭的影响

Effect of Raman gain on the self-steepening characteristic in isotropic fibers

物理学报.2014, 63(21): 214207 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.63.214207>

通信波长频率一致纠缠光源的频谱测量

Measurement of the spectral properties of the coincident-frequency entangled biphoton state at optical communication wavelength

物理学报.2014, 63(19): 194206 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.63.194206>

在远离光子晶体光纤零色散波长的正常色散区入射飞秒脉冲产生四波混频及孤子效应的实验研究

Experimental research of four-wave mixing and soliton effects in a photonic crystal fiber pumped femtosecond pulses at the wavelength located normal dispersion regime away from the zero dispersion point

物理学报.2014, 63(16): 164206 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.63.164206>

KDP 晶体相位匹配角理论预测模型及其验证分析*

张洋¹⁾²⁾ 李婷¹⁾ 袁晓东²⁾ 熊召²⁾ 徐旭²⁾ 叶朗²⁾ 周海²⁾ 张彬^{1)†}

1)(四川大学电子信息学院, 成都 610065)

2)(中国工程物理研究院激光聚变研究中心, 绵阳 621900)

(2014 年 6 月 22 日收到; 2014 年 9 月 14 日收到修改稿)

在高功率固体激光器的终端光学组件内, 大口径薄型 KDP (KH_2PO_4) 晶体的精密装配和校准是实现惯性约束核聚变的关键技术之一. 为了达到晶体在线安装高效高精度的要求, 需要测量高功率激光三次谐波转换效率达到最高时的晶体相位匹配角分布. 本文针对 I/II 类大口径薄型 KDP 晶体三次谐波转换的方式, 根据晶体的非线性光学属性获得了晶体不同位置相位匹配角之间的关系; 根据激光束在晶体内的传输路径分析得到了晶体面形、相位匹配角与激光三次谐波转换效率达到最高时晶体最佳偏转角之间的相互关系. 在此基础上, 建立了 I/II 类 KDP 晶体相位匹配角的理论预测模型, 并利用实验进行了验证和分析. 实验结果表明, 晶体相位匹配角的预测值与实验值之差在 $10.0 \mu\text{rad}$ 以内, 验证了 I/II 类 KDP 晶体相位匹配角理论预测模型的正确性, 为获得晶体全口径相位匹配角分布提供了简单、高效的预测方法.

关键词: 非线性光学, 相位匹配角, KDP 晶体, 精密装校

PACS: 42.65.-k, 42.70.Mp, 42.79.Nv

DOI: 10.7498/aps.64.024213

1 引言

KDP (KH_2PO_4) 晶体作为目前应用于惯性约束核聚变的惟一非线性光学材料, 已得到了广泛应用^[1], 如美国的国家点火装置、法国的兆焦耳激光 (LMJ) 装置和中国的神光系列装置等^[2-7]. 在高功率固体激光系统的终端光学组件中, 为获得高功率激光高效三次谐波转换, 要求晶体放置角度满足激光频率转换的相位匹配条件^[8,9]. 然而, 晶体因生长、温度及外力等的影响, 致使光轴分布变化, 进而改变了晶体相位匹配角^[10-12]. 为了准确预测晶体经装夹后的相位匹配角分布, 美国劳伦斯·利弗莫尔国家实验室建造了离线晶体校准验证装置^[13],

其单点重复测量精度为 $\pm 10 \mu\text{rad}$; 而中国神光-II (SG-II) 升级装置也建造了配套的晶体离线测量平台^[14,15], 其单点重复测量精度为 $\pm 30 \mu\text{rad}$. 由此可见, 我国在晶体相位匹配角的高精度测量方面与美国差距较大, 并且两者采取对晶体多点相对相位匹配角进行直接实测的方法不仅加重了工程任务, 也会耗费较长的工程时间.

本文根据 KDP 晶体的非线性光学属性, 建立了 I/II 类 KDP 晶体相位匹配角的理论预测模型, 并通过实验对该模型进行了验证分析. 在测量晶体表面面形、透射波前分布的基础上, 只需继续测量晶体至少两个点的最佳偏转角 (即高功率激光三倍频转换效率最高时的晶体偏转角), 利用该模型即可计算得到高精度的晶体全口径相位匹配角分布.

* 中国工程物理研究院太赫兹科学技术基金 (批准号: CAEP THZ201305) 和四川省教育厅创新团队计划 (批准号: 13TD0048) 资助的课题.

† 通信作者. E-mail: zhangbinff@sohu.com

2 预测模型

在高功率固体激光器的频率转换系统中, 采取 I/II 类 KDP 晶体组合的方式对入射基频光实现频率转换. 为了获得最高的三次谐波转换效率, I 类 KDP 晶体 (二倍频晶体) 和 II 类 KDP 晶体 (三倍频晶体) 均以寻常光轴 (o 轴) 为旋转轴进行角度调试, 具体偏转方向如图 1 所示, 并取图中晶体偏转方向为正方向. 图中, $\mathbf{E}$ 表示光场, $\mathbf{k}$ 为光波矢, c 表示晶体光轴.

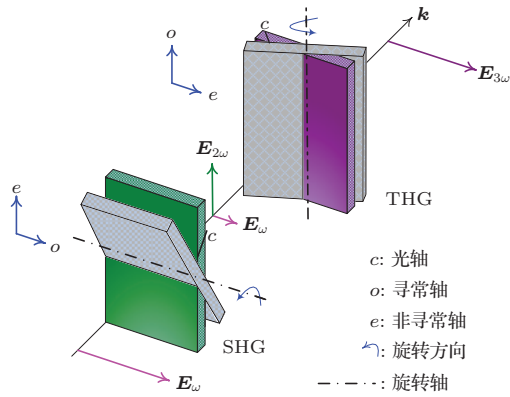


图1 频率转换过程及晶体偏转示意

激光在晶体内的相位表达式为

$$\varphi = 2\pi nL/\lambda_p, \quad (1)$$

式中, n 为晶体折射率, L 为晶体厚度, λ_p 为测试激光的波长. e 光 (入射光偏振方向与晶体 e 轴平行) 对应的透射波前减去 o 光 (入射光偏振方向与晶体 o 轴平行) 对应的透射波前为

$$\Delta\varphi = \varphi_e - \varphi_o, \quad (2)$$

对 (2) 式两边微分可得

$$\begin{aligned} \delta(\Delta\varphi) &= \delta(\varphi_e - \varphi_o) \\ &= \frac{2\pi L}{\lambda_p} \delta n_e(\theta), \end{aligned} \quad (3)$$

式中, θ 为晶体的相位匹配角. 由 I/II 类 KDP 晶体对高功率激光三次谐波转换的耦合波方程组可知, 晶体放置角度达到谐波转换的相位匹配条件时, o 轴方向的相位改变对光束谐波转换效率的影响相对 e 轴方向的相位改变对光束谐波转换效率的影响十分微弱, 故可以忽略 $\delta n_o(\theta)$ [16].

晶体晶轴的局部变化可以用晶体内部失谐角

$\delta\theta$ 来表示:

$$\delta\theta = \frac{\delta n_e(\theta)}{(\partial n_e(\theta)/\partial\theta)_{L,\lambda}}. \quad (4)$$

KDP 晶体的折射率方程为

$$\frac{1}{n_e^2(\theta)} = \frac{\cos^2\theta}{n_o^2} + \frac{\sin^2\theta}{n_e^2}, \quad (5)$$

经微分可得

$$\frac{\delta n_e(\theta)}{\delta\theta} = -\frac{n_o n_e (n_o^2 - n_e^2) \sin\theta \cos\theta}{\sqrt{(n_o^2 \sin^2\theta + n_e^2 \cos^2\theta)^3}}. \quad (6)$$

结合 (1), (3), (4) 和 (6) 式, 可求得晶体内部失谐角为

$$\begin{aligned} \delta(\Delta\varphi) &= \frac{\pi L \cdot [n_o n_e (n_o^2 - n_e^2)]}{\lambda_p \cdot \sqrt{[1 + (n_e^2 - n_o^2) \cos^2\theta]^3}} \\ &\times \delta(\cos^2\theta), \end{aligned} \quad (7)$$

进一步可解得

$$\begin{aligned} &(\Delta\varphi)_j - (\Delta\varphi)_i \\ &= \frac{2\pi L \cdot n_o n_e}{\lambda_p} \left[\frac{1}{\sqrt{n_o^2 - (n_o^2 - n_e^2) \cos^2\theta_j}} \right. \\ &\quad \left. - \frac{1}{\sqrt{n_o^2 - (n_o^2 - n_e^2) \cos^2\theta_i}} \right], \end{aligned} \quad (8)$$

式中, i, j 分别表示任意两点. 于是, 根据 (8) 式可以得到两点最佳相位匹配角之间的关系, 即

$$\begin{aligned} \theta_j &= \arccos \left\{ \frac{1}{n_o^2 - n_e^2} \left[n_o^2 \right. \right. \\ &\quad \left. \left. - \left(\frac{[(\Delta\varphi)_j - (\Delta\varphi)_i] \cdot \lambda_p}{2\pi L \cdot n_o n_e} \right. \right. \right. \\ &\quad \left. \left. + \frac{1}{\sqrt{n_o^2 - (n_o^2 - n_e^2) \cos^2\theta_i}} \right)^{-2} \right] \right\}^{1/2}. \end{aligned} \quad (9)$$

入射光束在具有理想平面的 KDP 晶体内部的传播路径如图 2 所示. 图中, θ_0 为光束垂直入射晶体表面时对应的晶体相位匹配角, θ_{in} 为入射角, β 为折射角.

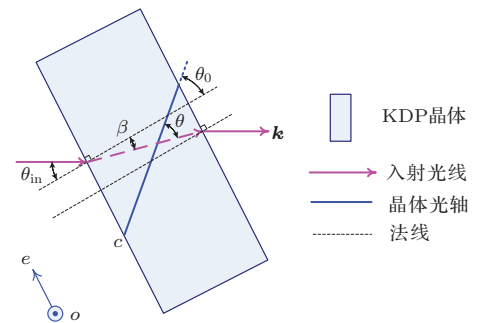


图2 光在晶体内部传输路径示意

在图2中, 满足几何关系:

$$\theta = \theta_0 + \beta. \quad (10)$$

且根据折射定律有

$$\sin \theta_{\text{in}} = n_e(\theta_{\text{in}}) \cdot \sin \beta. \quad (11)$$

由此可见, 当晶体表面为理想平面时, 晶体沿图1所示的旋转方向偏转 θ_{in} 后, 其偏转角对应晶体内部失谐角的变化量为 β . 然而, 当晶体表面为实际面形分布时, 需要对晶体的初始放置位置进行精确定位, 从而选择晶体有效口径内任意一点为基准点, 旋转晶体使入射光束在基准点处垂直入射晶体, 并取基准点处晶体局部表面法线与光轴在 e 轴方向的夹角为 θ_{0s} . 综合图1, (10), (11)式和晶体面形分布对相位匹配角的影响关系, 可得晶体内部相位匹配角 θ 与晶体在 e 轴方向最佳偏转角 θ' 之间的几何关系为

$$\theta = \theta_{0s} + (\theta' - \theta_s)/n_e(\theta), \quad (12)$$

式中, θ_s 表示晶体某点局部表面在 e 轴方向的面形倾斜角.

联立(5), (9)和(12)式, 可得到方程组:

$$\begin{aligned} & \theta_j - \theta_i \\ &= \frac{1}{n_o n_e} \left[(\theta'_j - \theta_{sj}) \sqrt{n_o^2 - (n_o^2 - n_e^2) \cos^2 \theta_i} \right. \\ & \quad \left. - (\theta'_i - \theta_{si}) \sqrt{n_o^2 - (n_o^2 - n_e^2) \cos^2 \theta_j} \right], \\ & (\Delta\varphi)_j - (\Delta\varphi)_i \\ &= \frac{2\pi L \cdot n_o n_e}{\lambda_p} \left[\frac{1}{\sqrt{n_o^2 - (n_o^2 - n_e^2) \cos^2 \theta_j}} \right. \\ & \quad \left. - \frac{1}{\sqrt{n_o^2 - (n_o^2 - n_e^2) \cos^2 \theta_i}} \right]. \end{aligned} \quad (13)$$

从(13)式可以看出, 若已知参量 θ_{si} , θ_{sj} , θ'_i , θ'_j , $\Delta\varphi_i$, $\Delta\varphi_j$, λ_p , L 和 n_o , n_e , 即可解得 θ_i , θ_j . 在此基础上, 根据全口径 $\Delta\varphi$ 分布和(9)式, 即可计算得到全口径晶体相位匹配角分布.

3 实验结果

为了验证I/II类KDP晶体相位匹配角理论预测模型的正确性, 针对垂直放置的大口径薄型KDP晶体, 在恒温条件下, 利用大口径精密光学仪器测量晶体表面面形分布和透射波前分布, 并通过晶体离线精密测量平台测量了晶体有效光学口径内任意7个不同位置的最佳偏转角, 如图3所示.

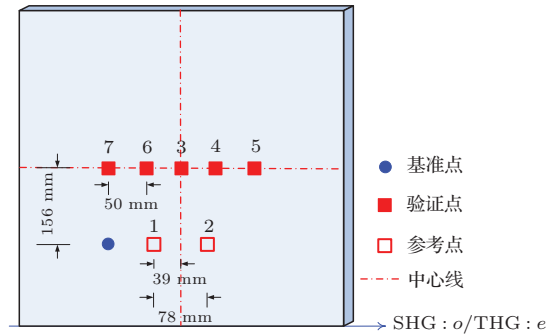


图3 KDP晶体测量点分布

离线平台使用的激光光斑口径为 $5 \text{ mm} \times 5 \text{ mm}$, 呈平顶分布, 平均功率密度为 1.6 GW/cm^2 . 二倍频晶体和三倍频晶体的厚度分别为 $L_d = 12.18 \text{ cm}$, $L_t = 9.13 \text{ cm}$. 测试用的基频光波长 $\lambda_p = 1053 \text{ nm}$. 在 23°C 时, 二倍频晶体有 $n_o = 1.4945$, $n_e = 1.4604$; 三倍频晶体有 $n_o = 1.4934$, $n_e = 1.4584$ [17,18].

3.1 晶体面形的测量

利用大口径正交偏振干涉测量技术测量大口径薄型KDP晶体的透射波前分布, 测得的二倍频晶体及三倍频晶体面形分布如图4所示. 在晶体表面以各测量点为中心, 取大小为 $5.0 \text{ mm} \times 5.0 \text{ mm}$ 内的面形值, 分别沿 e 轴方向进行直线拟合, 并计算对应的倾斜角大小, 表1列出了二倍频和三倍频晶体表面各点对应的平均倾斜角.

表1 晶体表面各点在 e 轴方向的平均倾斜角

测量位置序号		1	2	3	4	5	6	7
$\theta_s/\mu\text{rad}$	二倍频晶体	10.9	7.6	1.0	0.1	0.3	-2.5	-5.9
	三倍频晶体	-6.0	-0.3	-1.7	4.6	13.7	-8.2	-9.2

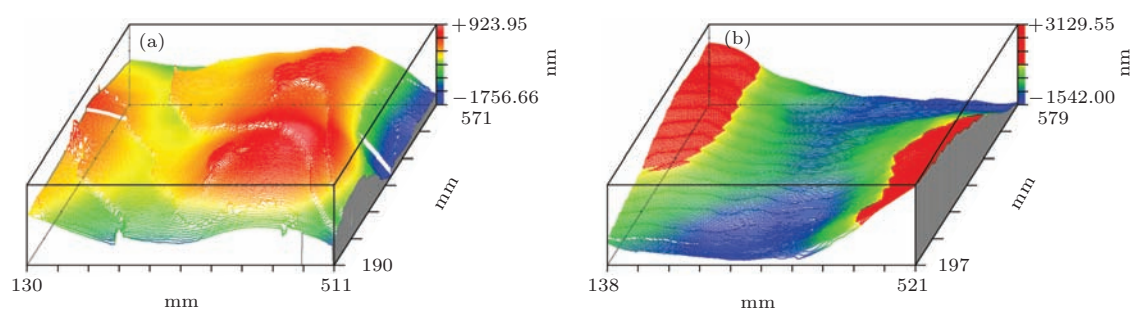


图4 (网刊彩色) 晶体面形分布 (a) 二倍频晶体; (b) 三倍频晶体

3.2 晶体透射波前差的测量

利用大口径光学系统的 o 光、 e 光分别测量两类KDP晶体透射波前值, 结果如图5所示. 从图5可以看出, 通过 o 光、 e 光测量相同晶体得到的

透射波前分布基本相同, 但对应的数值并不同, 其原因在于KDP晶体属非线性晶体, 光在 o 轴、 e 轴的折射率不同. 提取晶体在各测试点的透射波前值, 利用(1)和(2)式对面形数据进行处理, 得到各点透射波前差值的平均值见表2.

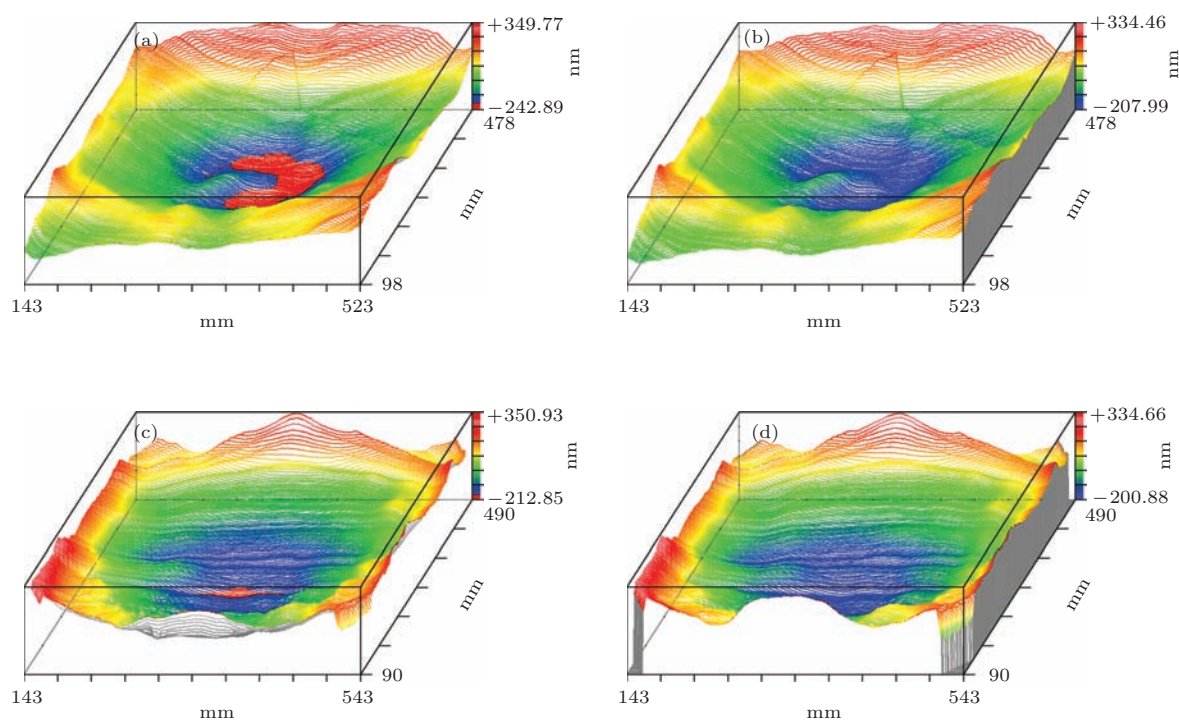
图5 (网刊彩色) 晶体透射波前分布 (a), (b) 分别为二倍频晶体的 o 、 e 光透射波前分布; (c), (d) 分别为三倍频晶体的 o 、 e 光透射波前分布

表2 晶体各点透射波前差

测量位置序号	1	2	3	4	5	6	7
$\Delta\varphi/\text{nm}$ 二倍频晶体	0.6	17.9	-20.5	-12.7	-6.4	-14.5	6.5
三倍频晶体	-1.9	24.0	-10.7	-3.7	2.0	-13.1	-21.1

3.3 晶体最佳偏转角

为了提高大型高功率固体激光器频率转换系统中KDP晶体的在线装校精度, 在分析美国及我

国在该领域的晶体离线测量平台的基础上, 结合实际工程需要, 建立了高精度的大口径晶体离线测量平台. 然而, 在测量之前需对两块晶体的位置进行初始定位, 即选取晶体有效口径内的任意一位置为

基准点(如图3), 并利用高精度的自准直测量仪器测量光束入射与反射之间的位置, 调整两块晶体偏转角度, 以达到基准点处的晶体局部面形法线与自准直仪发出激光重合的目的.

在测量晶体每个测试位置的最佳偏转角之前,

根据晶体同一基准点对晶体进行准直, 以尽可能地提高角度的测量精度. 在23 °C的恒温环境中, 对第1—7号位置的晶体最佳偏转角进行了测量, 表3列出了晶体在各位置的最佳偏转角的统计平均值.

表3 晶体各测量点的最佳偏转角实测值

测量位置序号	1	2	3	4	5	6	7
$\theta'_1/\mu\text{rad}$							
二倍频晶体	5807.1	5794.0	5805.8	5800.0	5803.8	5796.8	5789.0
三倍频晶体	-2321.4	-2316.5	-2315.6	-2302.1	-2295.0	-2326.8	-2311.4

4 结果分析

将表1—3中第1, 2点的实验数据代入(13)式, 可计算得到两类KDP晶体对应点的相位匹配角 θ (内角), 然后, 再根据表2和(9)式得到其余五点的晶体内部相位匹配角. 图6给出了晶体各测量位置的相对相位匹配角分布, 其中图6(a)和(b)中各位置数据分别在0.718900和1.029400 rad的基础上进行标示, 即计算得到二倍频晶体及三倍频晶体的相位匹配角分别在41.2°, 59.0° 附

近, 与法国LMJ中使用的KDP晶体对应角度基本相同^[17].

将晶体各位置的相位匹配角分别代入(5)式, 可计算得到二倍频晶体及三倍频晶体各对应位置处的折射率值均分别约为1.48, 1.47. 将第1点的 θ' , θ , θ_s 代入(5)和(12)式可得到 θ_{0s} , 再将表1, 表2, 表3中的参考点数据和计算得到的晶体各位置相位匹配角代入(5)和(12)式, 进而得到KDP晶体验证位置处的最佳偏转角预测值, 其结果列于表4. 进一步根据表3和表4, 可得到晶体各验证点的最佳偏转角预测值与实验值之差, 如表5所示.

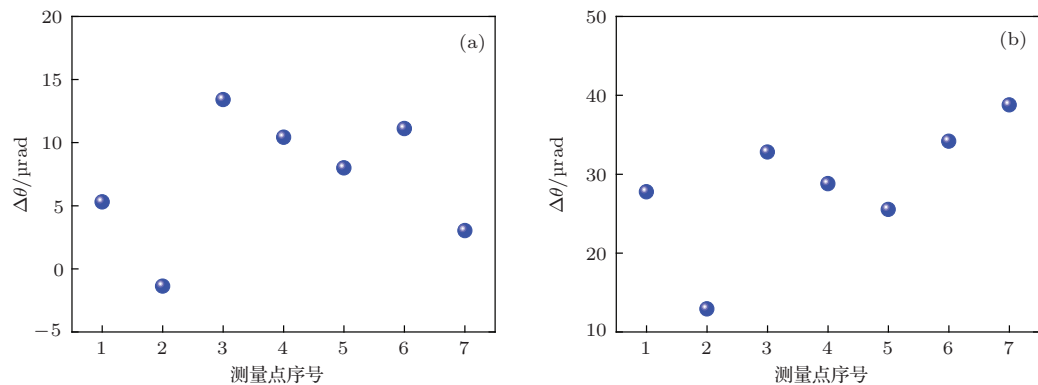


图6 晶体各测量点的相对相位匹配角分布 (a) 二倍频晶体; (b) 三倍频晶体

表4 晶体最佳偏转角的预测值

测量位置序号	3	4	5	6	7
$\theta'_2/\mu\text{rad}$					
二倍频晶体	5809.2	5803.9	5800.5	5802.3	5786.9
三倍频晶体	-2309.7	-2309.3	-2305.0	-2314.2	-2308.4

表5 晶体最佳偏转角的预测值与实验值之差

测量点	3	4	5	6	7
$ \Delta\theta' /\mu\text{rad}$					
二倍频晶体	3.4	3.9	3.3	5.5	2.1
三倍频晶体	5.9	7.2	10.0	12.6	3.0

从表 5 中可以看出, 二倍频和三倍频晶体对应的最大差值分别为 5.5, 12.6 μrad . 由于二倍频晶体及三倍频晶体各对应位置处的折射率值分别约为 1.48, 1.47, 由 (12) 式可知, 二倍频晶体和三倍频晶体最佳偏转角最大差值对应的晶体相位匹配角(内角)的最大波动范围小于 10.0 μrad . 由此可见, 在实验误差范围内, 可以认为预测的晶体相位匹配角与实际测得的晶体相位匹配角一致, 从而实验验证了晶体相位匹配角理论预测模型的正确性.

5 结 论

本文建立了 I/II 类 KDP 晶体相位匹配角的理论预测模型, 并开展了验证性实验, 对该模型进行了验证分析. 研究结果表明: 通过晶体相位匹配角理论预测模型计算得到的晶体相位匹配角与实验测得的对应值之差小于 10.0 μrad , 从而在实验误差允许范围内验证了 I/II 类 KDP 晶体相位匹配角的理论预测模型的正确性. 该理论的预测精度优于 SG-II 的精密离线测量装置的单点测量精度, 与美国 CAVE 装置的单点测量精度相当, 从而达到了晶体高效高精度精密装校要求.

参考文献

- [1] Zhu S J, Wang S L, Liu L, Wang D L, Li W D, Huang P P, Xu G X 2014 *Acta Phys. Sin.* **63** 107701 (in Chinese) [朱胜军, 王圣来, 刘琳, 王端良, 李伟东, 黄萍萍, 许心光 2014 物理学报 **63** 107701]
- [2] Moses E I, Campbell J H, Stolz C J, Wuest C R 2003 *Proc. SPIE* **5001** 1
- [3] Li S W, Song T M, Yi R Q, Cui Y L, Jiang X H, Wang Z B, Yang J M, Jiang S E 2011 *Acta Phys. Sin.* **60** 055207 (in Chinese) [李三伟, 宋天明, 易荣清, 崔延莉, 蒋小华, 王哲斌, 杨家敏, 江少恩 2011 物理学报 **60** 055207]
- [4] Mainguy S, Airiau J P, Bart T, Beau V, Bordenave E, Bouillet S, Chappuis C, Chico S, Cormont P, Darbois N, Daurios J, Denis V, Eupherte L, Nathalie F D, Servane F, Gaborit G, Claire G G, Eric J, Laurent L, Thomas L, Eric L, Christophe L, Mangeant M, Maunier C, Néauport J, Etienne P M, Razé G, Claude R, Sajer J M, Seznec S, Taroux D, Vermersch S 2013 *Proc. SPIE* **8602** 86020G
- [5] Ji L L, Zhu B Q, Zhan T Y, Dai Y P, Zhu J, Ma W X, Lin Z Q 2011 *Acta Phys. Sin.* **60** 094210 (in Chinese) [季来林, 朱宝强, 詹廷宇, 戴亚平, 朱检, 马伟新, 林尊琪 2011 物理学报 **60** 094210]
- [6] Ma C, Li K, Wang C, Jia H, Feng B, Xiang Y, Zhao C Z, Wang L Q, Huang Z H 2005 *Proc. SPIE* **5934** 59340E
- [7] Yang Y S, Zheng W G, Han W, Che Y L, Tan J C, Xiang Y, Jia H T 2007 *Acta Phys. Sin.* **56** 6468 (in Chinese) [杨义胜, 郑万国, 韩伟, 车雅良, 谭吉春, 向勇, 贾怀庭 2007 物理学报 **56** 6468]
- [8] Huang J G, Lu J X, Zhou W, Tong J C, Huang Z M, Chu J H 2013 *Acta Phys. Sin.* **62** 120704 (in Chinese) [黄敬国, 陆金星, 周炜, 童劲超, 黄志明, 褚君浩 2013 物理学报 **62** 120704]
- [9] Li Z Y, Bing P B, Xu D G, Cao X L, Yao J Q 2013 *Acta Phys. Sin.* **62** 084212 (in Chinese) [李忠洋, 邴丕彬, 徐德刚, 曹小龙, 姚建铨 2013 物理学报 **62** 084212]
- [10] Sharifi S M, Talebpour A, Yang J, Chin S L 2010 *Chin. Phys. B* **19** 155601
- [11] Wang W, Li K Y, Wang J, Han W, Wang F, Xiang Y, Li F Q, Jia H T, Wang L Q, Zhong W, Zhang X M, Zhao S Z, Feng B 2011 *Opt. Laser Technol.* **43** 683
- [12] Zhong H Z, Yuan P, Zhu H Y, Qian L J 2013 *Chin. Phys. Lett.* **30** 014208
- [13] Hibbard R L 1998 *1998 Diffractive Optic and Micro Optics Conference* Kailua, HI (United States), June 8–12, 1998 130318
- [14] Xu X, Xiong Z, Ye L, Liu C C, Yuan X D, Cao T F, Jia K 2013 *High Power Laser and Particle Beams* **25** 3189 (in Chinese) [徐旭, 熊召, 叶朗, 刘长春, 袁晓东, 曹庭分, 贾凯 2013 强激光与粒子束 **25** 3189]
- [15] Kong C H 2010 *M. S. Thesis* (Mianyang: China Academy of Engineering Physics) (in Chinese) [孔晨晖 2010 硕士学位论文 (绵阳: 中国工程物理研究院)]
- [16] Wegner P J, Auerbach J M, Barker C E, Burkhart S C, Couture S A, DeYoreo J J, Hibbard R L, Liou L W, Norton M A, Whitman P K, Hackel L A 1999 *Proc. SPIE* **3492** 392
- [17] Lubin O, Gouedard C 1999 *Proc. SPIE* **3492** 802
- [18] Ott J H, Sliker T R 1964 *JOSA* **54** 1442

Theoretical model of phase-matching angles for KDP crystals and its verification analysis^{*}

Zhang Yang¹⁾²⁾ Li Ting¹⁾ Yuan Xiao-Dong²⁾ Xiong Zhao²⁾ Xu Xu²⁾ Ye Lang²⁾
Zhou Hai²⁾ Zhang Bin^{1)†}

1) (College of Electronics and Information Engineering, Sichuan University, Chengdu 610065, China)

2) (Research Center of Laser Fusion, China Academy Engineering Physics, Mianyang 621900, China)

(Received 22 June 2014; revised manuscript received 14 September 2014)

Abstract

In final optics assembly of high-power solid-state laser, in order to improve the third harmonic generation efficiency, the accurate assembly and calibration of ultra-thin KH_2PO_4 (KDP) crystal with large-aperture is one of the key technologies to realize inertial confinement fusion. In order to meet the requirements for high efficiency and precision crystal of online installation, it is necessary to measure crystalline phase matching angle for achieving the highest third harmonic conversion efficiency of high power laser. In this paper, for the third harmonic conversion by ultra-thin type I/II KDP crystals with large-aperture, the relationship between phase matching angles at different locations on the crystal is obtained according to the nonlinear optical properties of the crystal. Based on the analysis of the propagation path of the laser beam in the crystal, the relationship among the crystal surface shape, the phase matching angle and the best deflection angle is given. On this basis, the theoretical model for phase-matching angle of type I/II KDP crystal is proposed, and verified by the experimental results. The results show that the difference in phase matching angle between the prediction values and the experimental results is within $10.0\ \mu\text{rad}$, showing that the theoretical model for phase-matching angles of type I/II KDP crystals is valid. This model provides a simple and efficient prediction method to obtain the phase matching angle distribution in full aperture of KDP crystal.

Keywords: nonlinear optics, phase matching angle, KDP crystals, precision assembly and calibration

PACS: 42.65.-k, 42.70.Mp, 42.79.Nv

DOI: 10.7498/aps.64.024213

^{*} Project supported by the Science and Technology Foundation for Terahertz of China Academy of Engineering Physics, China (Grant No. CAEP THZ201305) and the Program Innovation Team of the Education Department of Sichuan Province, China (Grant No. 13Td0048).

[†] Corresponding author. E-mail: zhangbinff@sohu.com