

用被动调 Q 激光器腔外倍频检验 KTP 的切割质量³

薛庆华 郑 权 王军营 姜耀亮 叶子青

(中国科学院长春光学精密机械与物理所, 吉林 长春 130022)

摘 要 以 KTP 类角度匹配倍频 1064 nm 激光的相位允许角为例, 从理论上分析了它的倍频效率与相位允许角的关系, 在实验上通过被动调 Q 激光器腔外倍频对其进行了检验, 结果表明, 这种方法可以精确地分析倍频晶体的切割角度偏差, 并可推广到 LBO、BBO 等其它非线性晶体上

关键词 倍频晶体; 允许角; KTP

中图分类号 TN741; TN248.1

文献标识码 A

0 引言

非线性晶体的三波相互作用是产生新波长激光的重要手段, 目前, 在激光二极管泵浦掺钕的工作物质中, 通过谐波产生可获得从紫外到中红外 (266 nm ~ 4 μm) 的激光^[1], 而用于激光显示的高光束质量的三基色光源, 目前也主要是靠频率变换得到^[2~4]。在频率转换过程中, 对使用者来说, 要求选定的非线性晶体有着良好的光学加工质量, 即要求在特定的入射角方向上应该有与之对应的特定的晶体主轴坐标系方向, 以保证其全允许角在入射光方向上是对称的, 尤其是在获得稳定单频谐波激光输出时更是这样^[5, 6]。

特别是在腔内倍频过程中, 当倍频晶体切偏时, 必然增加腔内基频光的损耗, 而额外的损耗将会降低倍频光的产生效率, 1% 额外的基频光损耗会减少约 20% 的倍频效率^[7]。虽然由于晶体的允许角有一定的宽度, 通过谐振腔的仔细调整, 可以获得输出功率的高点, 但这一点对周围环境很敏感, 条件改变时使输出功率不易恢复且不稳定。因此, 从器件的效率和稳定性角度有必要对其进行检验。本文提出了一种利用被动调 Q 激光器腔外倍频来检验倍频晶体的切割质量的方法, 该方法可应用于生产实践和非线性光学的教学等方面。

1 理论分析

小信号近似下, 三波相互作用的效率可表示为^[8]

$$\eta = \eta_0 \sin^2(kl/2) \quad (1)$$

式中 η_0 为理想匹配时的效率, k 为相位失配因子, l 为非线性晶体中的光波相互作用长度。定义当三波

相互作用的效率下降到最大值的 40% 左右时, 与之对应的 θ 和 ϕ 分别为相位和方位允许角。对使用中的非线性晶体, 要求 θ 和 ϕ 在特定的基频光入射方向上应该是对称的。以 KTP 类角度匹配倍频 1064 nm 获得 532 nm 绿光 ($\theta = 90^\circ$, $\phi = 23.5^\circ$) 为例, 作出基频光波矢 k 的方向和与之对应的晶体主轴坐标系 XYZ 的方向, 如图 1 所示^[9], 从图中可看出: 当基频光波矢方向 k 在图中 KOZ 平面内 (水平面) 转动时, θ 不变但 ϕ 改变, 而使得相位角偏离最佳相位匹配角; 同样, 当 k 在图中 XOY 平面内转动时, θ 不变但 ϕ 改变, 使得方位角偏离最佳方位匹配角。根据非线性晶体三波相互作用允许角的定义, 由式 (1) 利用计算机作图可精确计算其允许角。如图 2 所示为固定方位角作出的相位允许角的理论曲线, 方位允许角的理论曲线可类似地作出, 其中取非线性晶体 KTP 中的光波相互作用长度 (KTP 的几何长

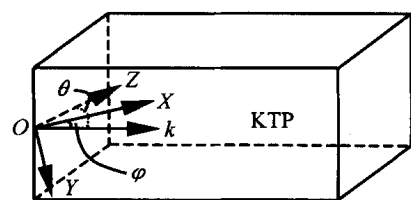


图 1 基频光波矢 k 方向和晶体主轴坐标系 XYZ 方向的对应关系

Fig. 1 The relationship between the incident angle of fundamental wave and principal axis coordinate of the nonlinear crystal

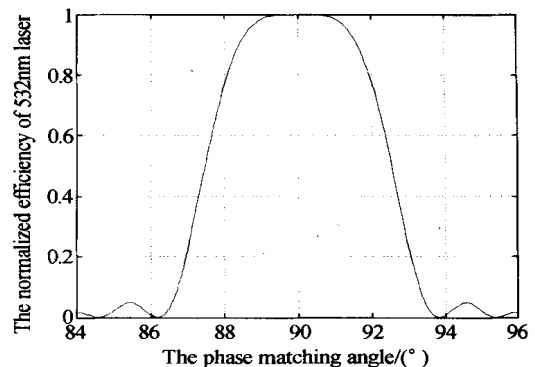


图 2 KTP 相位允许角理论曲线 ($l = 9$ mm)

Fig. 2 The theory curve of accept angle of KTP ($l = 9$ mm)

³国家高技术研究发展计划 (No. 2002AA311141), 吉林省科技发展计划 (No. 20020607) 支持项目

Email: xueqinghua1978@sina.com

收稿日期: 2002-11-05

度)为 $l = 9 \text{ mm}$, 可以看出效率曲线关于最佳相位匹配角 ($= 90^\circ$) 对称, 且 216° , 与文献 [8] 中用级数法求得的 $1158^\circ (l = 7 \text{ mm})$ 略有差别, 主要是因为晶体长度和使用的求解方法不同 [10], 但与下面的实验符合得较好 1

2 实验装置及结果

根据上述原理, 以检验 KTP 的相位允许角为例, 用被动调 Q 激光器腔外倍频检验它的切割质量, 实验装置如图 3 1

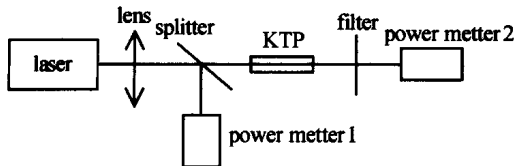


图 3 检验倍频晶体切割质量的实验装置

Fig. 3 The setup used to check the incision quality of double frequency crystal

激光器发出的激光脉冲 (波长 1064 nm , 平均功率 175 mW , 脉宽 14 ns , 频率 30 kHz , 峰值功率约 417 W) 经长焦距透镜后 ($f = 200 \text{ mm}$, 选较长的焦距使得基频光在 KTP 内近似为平面波), 被分束镜分束, 一束光由功率计 1 接收, 并折算成入射到 KTP 的平均功率而读出, 设为 P_1 ; 另一束由 KTP 倍频, 经滤光片后由功率计 2 读出倍频光的平均功率值, 设为 P_2 (实验中可获得的最大值为 50 mW), 则 P_2/P_1 即是倍频效率 1

实验中检验了两块 KTP, 设为 a 和 b 1 水平方向旋转 KTP, 由图 1 可以看出, 这时 θ 不变而只改变了 ϕ , 使得其偏离最佳相位匹配角, 当基频光垂直入射时的旋转角度为 0° , 每隔 0.25° 通过功率计 2 读出倍频光功率随 KTP 旋转角度的变化对应值 P_2 , 同时记录功率计 1 的读数 P_1 , 计算倍频效率 P_2/P_1 , 并将其按计算的最大效率归一化, 利用曲线拟合作出归一化效率与 KTP 旋转角度的曲线如图 4 1

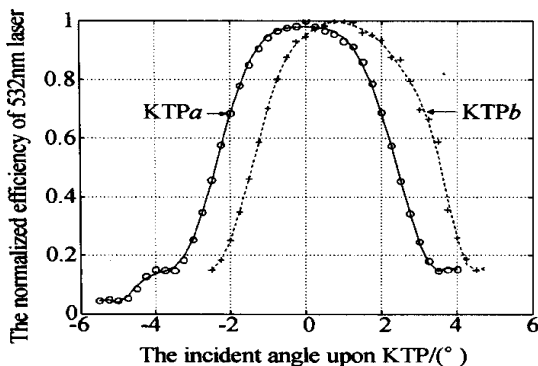


图 4 KTP 的相位允许角实验曲线

Fig. 4 The experiment curve of accept angle of KTP

从图 4 可以看出, 对于 KTP a 旋转角度为 0° 时 (基频光垂直入射) 的效率最大, 并且曲线关于该角

度对称, 对应着图 2 的理论分析情况, 两者符合得很好, 说明这块 KTP 在相位角 ϕ 方向切割的很好, 另外实验中对 KTP 并没有采取温控措施, 说明低功率脉冲激光腔外倍频时的晶体温度对匹配角没有产生明显的影响 1

而对于 KTP b, 从图 4 可以看出, 它的曲线不关于 0° 对称, 最大的倍频效率出现在旋转角度为 1° 附近, 即是靠调节晶体角度得到最大效率, 按前面的分析这在使用中是不允许的, 尤其是在腔内倍频中会使效率降低, 影响功率稳定性, 说明这块 KTP 在相位角 ϕ 方向切割偏差了近 1° 腔内倍频实验中也证实了含 KTP a 的激光器的功率稳定性和重复性优于含 KTP b 的激光器 1 从旋转角度的间隔和图 4 分析看出, 这种方法可测出小于 0.25° 的角度偏差 1 如果优化机械设计使旋转角度的间隔再小些, 精度会更高, 并可以达到切割晶体时采用的角度分析法的精度, 甚至更高, 但利用现有的精度已经可以很好地检验 KTP 的切割质量了 1

类似地, 只要将 KTP 翻滚 90° (参考图 1) 就可以用该装置检验方位匹配角 θ 的切割质量 1 同时控制入射的基频光的偏振方向也可检验 LBO、BBO 等其它非线性晶体切割质量 1

3 结论

分析了非线性晶体的切割质量是影响高效、稳定倍频光输出的重要因素, 以 KTP 类角度匹配倍频 1064 nm 激光的相位允许角 ϕ 为例, 理论上分析了它的倍频效率与相位允许角的关系, 实验上通过被动调 Q 激光器腔外倍频对其进行了检验, 结果表明, 这种方法可以精确地分析倍频晶体的切割角度偏差, 并可推广到 LBO、BBO 晶体上 1

本文介绍的被动调 Q 激光器检验 KTP 或其它倍频晶体的方法已经应用到生产实践和非线性光学教学中, 取得了很好的效果 1

参考文献

- 1 Agnesi A, Dill Acqua S, et al. Efficient wavelength conversion with high-power passively Q-switched diode-pumped neodymium laser. *IEEE J Quantum Electron*, 1998, **34**(8): 1480 ~ 1484
- 2 Agnesi A, Reali G C, Gobbi G G. 430 mW single-transverse-mode diode-pumped Nd:YVO₄ laser at 671 nm. *IEEE J Quantum Electron*, 1998, **34**(7): 1297 ~ 1300
- 3 郑权, 赵岭, 陈颖新, 等. 用布氏片实现有效连续和脉冲单频绿光输出. *中国激光*, 2002, **A29**(9): 769 ~ 772
Zheng Q, Zhao L, Chen Y X, et al. *Chinese Journal of Lasers*, 2002, **A29**(9): 769 ~ 772
- 4 Matthews D G, Conroy R S, Sinclair B D, et al. Blue microchip laser fabricated from Nd:YAG and KNbO₃. *Optics Letters*, 1996,

- 21(3) : 198 ~ 200
- 5 Suzuki K, Shimomura K, Eda A, *et al.* Low noise diode pumped intracavity doubled laser with off axially cut NdYVO₄. *Optics Letters*, 1994, **19**(20) : 1624 ~ 1626
- 6 Chen Y F, Huang T M, Wang C L, *et al.* Compact and efficient 3.2 W diode pumped NdYVO₄/KTP green laser. *Applied Optics*, 1998, **37**(24) : 5727 ~ 5730
- 7 Smith R G. Theory of intracavity optical second harmonic generation. *IEEE J Quantum Electron*, 1970, **6**(4) : 215 ~ 223
- 8 姚建铨. 非线性光学频率变换及激光调谐技术. 北京: 科学出版社, 1995. 43 ~ 52
- Yao J Q. Frequency Conversion of Nonlinear Optics and its Laser Turning Technology. Beijing: Science publishing house, 1995. 43 ~ 52
- 9 W. 克希耐尔. 固体激光工程. 北京: 科学出版社, 2002. 525 ~ 526
- Koehner W. Solid State Laser Engineering. Beijing: Science publishing house, 2002. 525 ~ 526
- 10 王杰, 姚建铨, 李喜福, 等. 非线性晶体三波相互作用允许参量的修正计算. 光学学报, 2001, **21**(2) : 139 ~ 141
- Wang J, Yao J Q, Li X F, *et al.* *Acta Optical Sinica*, 2001, **21**(2) : 139 ~ 141

Incision Quality Checking of Double Frequency Crystal KTP by a Passively Q2Switched Laser Extra Cavity Double Frequency

Xue Qinghua, Zheng Quan, Wang Junying, Jiang Yaoliang, Ye Ziqing

Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, CAS, Changchun 130022

Received date: 2002-11-05

Abstract The accept angle of KTP type II phase matching for double frequency 1064 nm laser is exemplified. The relationship between efficiency and phase matching angle has been analysed and is verified by passively Q2switched laser extra cavity double frequency experiment. It is proved that this method can check the incision quality of double frequency crystal accurately, moreover, it can also be applied for other nonlinear crystals such as LBO and BBO.

Key words Double frequency crystal; Accept angle; KTP



Xue Qinghua was born on February 25 1978, in Jinlin China. He received the B. S. degree in 2001 from Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics, China. He is presently pursuing the M. S. degree in optical engineering at Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, CAS. He is interested in all solid state laser, nonlinear frequency conversion.