

· 光学设计 ·

光折变晶体中空间二次谐波产生的影响因素

王龙飞, 杨立森, 武一洁, 李永辉, 逯文婷, 李 强, 施慧渊

(内蒙古师范大学物理与电子信息学院, 内蒙古 呼和浩特 010022)

摘要: 为了研究在光折变晶体中影响空间二次谐波产生的因素, 基于光学二次谐波中倍频现象的产生理论, 在自散焦 LiNbO₃:Fe 晶体中发现了空间频率的倍频现象。运用干涉法, 通过改变光路中振幅掩膜的参数实现对二次谐波产生情况的控制。结果表明, 光源的数量会影响产生分裂条纹的多少, 波导周期会影响二次谐波现象是否出现。在光源数量和波导周期一定时, 二次谐波会随着光强的增大而出现的更快更明显。

关键词: 非线性光学; 光折变晶体; 空间二次谐波; 波导周期; 光源数量; 光束强度

中图分类号: O 437 文献标识码: A 文章编号: 1673-1255(2013)-05-0019-05

Affecting Factors of Spatial Second Harmonic Generation in Photorefractive Crystal

WANG Long-fei, YANG Li-sen, WU Yi-jie, LI Yong-hui, LU Wen-ting, LI Qiang, SHI Hui-yuan

(Department of Physics and electronic information, Inner Mongolia Normal University, Huhhot 010022, China)

Abstract: For researching the factors affecting second-harmonic generation in photorefractive crystal, based on the generation theory of the phenomenon of frequency multiplication in optical second-harmonic, the multiplication frequency phenomenon of spatial frequency in self-defocus LiNbO₃ crystal is found. The generation states of second harmonic are controlled by interference method through changing the parameters of amplitude mask in optical path. The results show that the generation quantities of split strip are affected by the quantities of light source. The generation of second-harmonic is affected by periodic waveguide. When the quantities of light source and periodic waveguide are constant, the second-harmonic will appear more quickly and obviously with the increasing of optical intensity.

Key words: nonlinear optics; photorefractive crystal; spatial second harmonic; periodic waveguide; light source quantity; light intensity

在 E.Yablonovitch^[1] 及 S. John^[2] 分别提出光子晶体的概念不久, 人们就开始研究含非线性介质的光子晶体的特殊现象。如光波在折射率周期性变化的光子晶格中传播时会出现反常折射^[3-4]、分立衍射及光波在非线性分立系统中传播时出现的自局域态-分立孤子^[5-6]等现象。2006年杨立森等人用干涉法在自散焦光折变晶体中发现了双光束干涉条纹一分

为二, 四光束干涉阵列的阵列元光斑一分为四的分裂现象^[7]。研究表明, 这是入射光与光子晶体或波导阵列相互作用产生二次谐波的结果。用相位分裂^[8-11]的观点可以给予解释, 并且证实理论与实验结果相符。同样运用干涉法研究在 LiNbO₃:Fe 晶体中空间二次谐波产生的影响因素, 发现波导周期、光束强度、光源数量对空间二次谐波的产生都有一定的影

收稿日期: 2013-07-18

基金项目: 国家自然科学基金(60467002); 内蒙古自然科学基金(2013MS0926)

作者简介: 王龙飞(1988-), 女(蒙古族), 内蒙古通辽市人, 硕士研究生, 主要从事光折变非线性光学方面的研究; 杨立森(1953-), 男, 教授, 主要从事光折变非线性光学方面的研究。

响,并在理论上给予解释。

1 实验装置

运用干涉法^[5]在掺Fe浓度为0.025 wt%,厚度为1.06 mm的自散焦LiNbO₃:Fe晶体中通过改变光路中振幅掩膜的孔间距、孔直径等参数来实现对二次谐波现象的控制。实验装置如图1所示,激光光源来自功率为70 mW的YAG半导体泵浦的倍频光,其波长为532 nm。来自激光器的异常偏振光经空间滤波器F滤波,扩束并准直后,通过带有不同孔数及孔间距的振幅掩膜,得到不同的点光源。光源经过傅里叶透镜L₁(f=450 mm)后聚焦在位于该透镜焦平面处的1 mm厚的LiNbO₃:Fe晶体的前表面上。晶体后表面的光强分布由透镜L₂(f=70 mm)成像在CCD上。图1中A为衰减器,可以通过调节衰减片的数量找到便于观察的图像。CCD的输出经PC处理后可在电脑屏幕上直接观察到晶体后表面的光强分布。

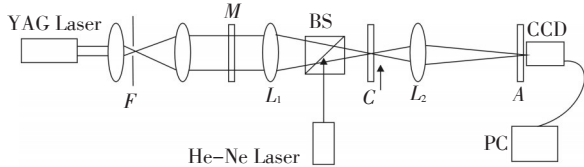


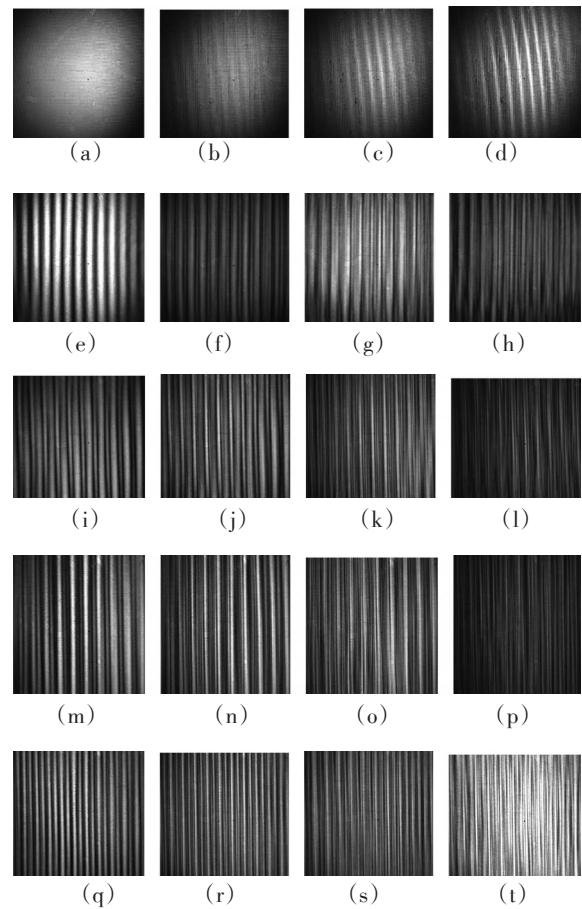
图1 光诱导光子晶格的实验装置

运用以上装置可以观察到写入过程中相邻波导之间的相互作用过程。为了便于读出波导,在透镜与晶体之间加入一个分束器(BS)。读出时可以挡住532 nm的绿光,由He-Ne激光器发出的激光束通过BS照到LiNbO₃:Fe晶体中读出并成像在CCD上。因而在任意时刻均可读出在晶体中写入的波导。

2 实验结果

2.1 点光源对空间二次谐波产生的影响

实验装置如图1所示,将带有周期性的振幅掩膜放入两透镜之间,孔间距为5 mm,孔直径为1.5 mm。用e光照射并且保证周期性的干涉条纹和晶体的c轴是垂直的。分别将掩膜的孔数从一调整到五,得到不同数量的点光源对二次谐波现象产生的影响,发现随着孔数的增加二次谐波分裂出的干涉条纹数量随之增加,但对干涉条纹出现的时间并无影响。图2



(a-d)为单孔掩膜随时间的输出图像,(e-h)为两孔掩膜随时间的输出图像,(i-l)为三孔掩膜随时间的输出图像,(m-p)为四孔掩膜随时间的输出图像,(q-t)为五孔掩膜随时间的输出图像。

图2 干涉条纹随光源数量的变化图像

为干涉条纹随光源数量的变化图像。

由单孔掩膜得到单光束照射,图2a为没有晶体时的输出图像,图2b为光束经过晶体后表面的光强分布,图2c为10 min后的图像,可以看到出现了比较清晰的干涉条纹,说明二次谐波已经产生,60 min后达到饱和,如图2d。由双光束照射时如图2e,同样在照射10 min后图2f出现干涉条纹,60 min钟达到饱和,图2g、图2h为单光束读出的图像。将孔数增加到三孔(图2i~图2l)、四孔(图2m~图2p)和五孔(图2q~图2t),由图2可知,将光束增加同样会产生二次谐波,而且都是在10 min左右出现,60 min左右达到饱和。由读出图像可以证实干涉条纹已写入晶体之中。并且发现,由于二次谐波出现的干涉条纹会随着光束数量的增加而增加,使得干涉条纹的密度随之增加。

2.2 波导周期对空间二次谐波产生的影响

通过改变掩膜的孔间距($2a$)来改变波导的周期,发现波导周期与掩膜孔间距成反比。于是得到在不同的波导周期下,二次谐波产生的不同变化。分别制作孔间距为0.2 cm、0.3 cm、0.5 cm、0.7 cm、1 cm、1.3 cm的振幅掩膜得到不同的波导周期,发现波导周期在特定范围内二次谐波的产生相对明显。图3为干涉条纹随波导周期的变化图像。

如图3a为孔间距为0.2 cm的振幅掩膜的输出图像,随着时间的增加并没有明显的干涉条纹出现。由波导周期公式 $\Lambda = 2\pi/k = \lambda f/2a$ 可计算得此时的波导周期为0.12 mm。同理图3b为孔间距为0.3 cm,波导周期为0.08 mm的二次谐波产生达到饱和时的输出图像,实验过程中5 min便有干涉条纹出现,30 min达到饱和。图3c为孔间距为0.5 cm的振幅掩膜干涉条纹达到饱和时的输出图像,其波导周期为0.05 mm,在10 min时出现干涉条纹,40 min达到饱和。图3d是孔间距为0.7 cm,波导周期为0.03 mm时,其在12 min左右出现明显干涉条纹,60 min达到饱和状态。图3e为孔间距为1.0 cm时,其波导周期为0.02,在30 min出现干涉条纹,120 min达到饱和且此时二次谐波的产生已经退化,不再明显。当孔间距达到1.3 cm时,如图3f将不再产生明显的干涉条纹。由以上分析可知,波导周期在0.08 mm到0.02 mm区间之内会出现较为明显的二次谐波,且会随着周期的增大干涉条纹出现的越快越明显。

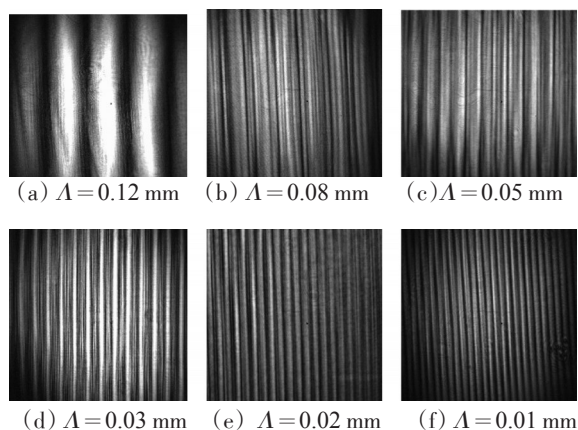


图3 干涉条纹随波导周期的变化图像

2.3 光强对空间二次谐波产生的影响

在孔间距不变的情况下,改变圆孔直径干涉条

纹的波导周期是不变的,只有光束的光强发生变化。圆孔直径越小条纹越宽,光强越弱。为了能够更加准确地判断出光强对二次谐波产生的影响,以单孔掩膜为例,排除其他干涉条纹的作用。分别制作孔直径为1.0 mm、1.2 mm和1.5 mm的振幅掩膜进行实验,实验结果如图4所示。

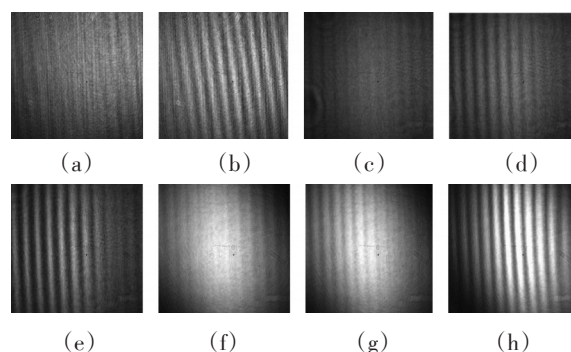


图4 干涉条纹随光强的变化图像

(a) $2a=1.0$ mm时光束通过晶体的图像;(b) $2a=1.0$ mm时干涉达到饱和的图像;(c) $2a=1.2$ mm时光束通过晶体时的图像;(d) $2a=1.2$ mm干涉条纹开始出现的图像;(e) $2a=1.2$ mm时二次谐波的产生达到饱和时的图像;(f) $2a=1.5$ mm时光束通过晶体的图像;(g) $2a=1.5$ mm时干涉条纹开始出现的图像;(h) $2a=1.5$ mm时二次谐波的产生达到饱和时的图像。

由图4各分图图像及实验现象可以得到,掩膜孔直径为1.0 mm时由功率计测得此时的光功率为33.8 μW ,由CCD观察到30 min钟开始出现干涉条纹,90 min二次谐波的产生达到饱和如图4b。当孔直径调整为1.2 mm其功率为52.7 μW ,此时在10 min便有干涉条纹出现如图4d直到60 min二次谐波的产生达到饱和如图4e。将孔直径调整为1.5时光功率为101.5 μW ,此时在光束照射晶体2 min时便有干涉条纹出现如图4g,30 min即达到饱和状态如图4h。由此可知,频谱面上的阵列周期不变即孔间距不变时光强越强二次谐波的产生越容易。如果想要控制二次谐波的出现就要尽量减小光束的强度。

3 实验现象的理论分析

由两孔掩膜写入一维干涉条纹时的空间二次谐波现象^[12]为例,如图5所示, AA' 、 BB' 为两束等光强的相干平行光束,在光折变晶体中相交形成干涉条纹。对于对称入射的两束光到达光栅的光程差所对

应的相位差 $\Delta\varphi$ 应等于光栅相对于干涉条纹的空间相位移 Φ 。在局域响应的铌酸锂晶体中,晶体相位栅衍射的衍射光相对于读出光总滞后 $\pi/2$ 的相位移。因为任何位相物 $\phi(x, y)$ 的透射函数为

$$\tau(x, y) = Ae^{i\phi(x, y)} \quad (1)$$

当 $\varphi(x, y) \ll 2\pi$ 时,

利用 $e^x = 1 + x + \frac{x^2}{2!} + \frac{x^3}{3!} + \dots (x \ll 1)$ 式(1)可以展开为

$$\tau(x, y) = A \left[1 + i\phi(x, y) - \frac{\phi^2(x, y)}{2} + \dots \right] \approx A [1 + i\phi(x, y)] \quad (2)$$

因为体相位栅的衍射满足 Bragg 条件,只有一级衍射光 $i\phi(x, y)$, i 因子表明衍射光相对于透射光滞后的相位移为 $\pi/2$, 而第一项表示零级衍射的透射光。如图 5, 实黑线表示 AB 两束光在晶体中的干涉条纹及其写入的折射率光栅虚线表示滞后 $\pi/2$ 的衍射光与读出光产生的空间 2 倍频干涉条纹。

在 O' 点处衍射光与另一束入射光的透射光之间的相位关系如图 5 所示。两束入射光 A, B 在晶体中相交, 由其干涉条纹在晶体中写入了体相位栅。入射光的衍射光与另一入射光的透射光同方向传播, 且满足布拉格条件。当 $\Phi = \pi/2$ 时, 两束入射光到达 O' 点时的光程差所对应的相位移 $\Delta\varphi$ 等于相位栅相对于干涉条纹的空间相位移 Φ 。因此在 O' 点 A 的透射光滞后于 B 的透射光 $\pi/2$ 的相位移。由式(2)可知, 每束入射光作为读出光, 在体相位栅上的衍射光又相对于读出光滞后 $\pi/2$ 的相位移。这样 A 的衍射光 A_s 相对于 B 的透射光滞后 $\pi/2 + \pi/2 = \pi$ 的相位移, 而 B 的衍射光相对于 A 的透射光为同相位。所以, 前者为相消干涉后者为相长干涉。同理, 在 O'' 点处 A', B 两束光相交的位相差为 $\pi/2$, 也就是 B 光超前 A 光 $\pi/2$ 的位相。而 A 光在 O 点的衍射光 A_s 落后 B 光 $\pi/2$ 的相位, 则 A_s 与 A 光在 O'' 处的位相就相同, 干涉加强(相长干涉)为亮条纹。 A 的衍射光与 A 光在 O'' 点产生的亮条纹与折射率光栅有 $-\pi/2$ 的相位移, 则 A 光的能量会向衍射光转移使得 A 光的透射光减弱。由于能量的转移, O 点垂直线上的亮条纹变暗且分裂为两条亮条纹, 这种现象称为“相位分裂”。又由于分裂的两条亮条纹位于原来亮条纹的 $1/4$ 空间周期处, 则亮条纹的空间频率变为原来的 2 倍, 于是出现了“空间倍频”

现象。

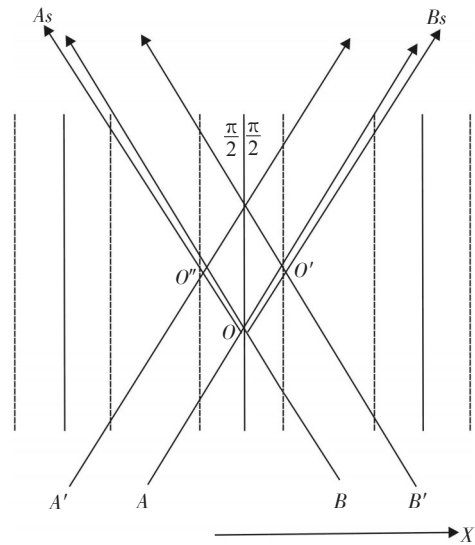


图5 双光束干涉条纹与写入光栅的相互作用

4 结论

在光折变晶体 $\text{LiNbO}_3:\text{Fe}$ 中, 通过改变振幅掩膜的参数找到了影响二次谐波产生的因素。发现光源的数量对二次谐波的产生是否发生并没有太大的影响, 但其会影响二次谐波产生的干涉条纹数量的多少。而波导周期在 0.08 mm 到 0.02 mm 之间时二次谐波的产生是非常明显的, 并且干涉条纹出现的快慢会随着光强的增加而增加。这样找到了控制二次谐波产生的方法, 尽量减少光源数量, 避开 0.08 mm 到 0.02 mm 的波导周期并相应减弱光强。这对于实现光束的自控与调节等技术具有重大的意义。

参考文献

- [1] Yablonovitch E. Inhibited spontaneous emission in solid-state physics and electronics. *Phys. Rev. Lett.*, 1987, 58 (20): 2059-2061.
- [2] John S. Strong localization of photons in certain disordered dielectric super lattices. *Phys. Rev. Lett.*, 1987, 58 (23): 2486-2489.
- [3] Hideo Kosaka, Takayuki Kawashima, Akihisa Tomita, et al. *Phys. Rev. B*, 1998, 58: R10096.
- [4] Hideo Kosaka, Takayuki Kawashima, Akihisa Tomita, et al. *Appl. Phys. Lett.*, 1999, 74: 1370.
- [5] R Morandotti, H S Eisenberg, Y Silberberg, et al. *Phys. Rev. Lett.* 2001, 86: 3296.

- [6] H S Eisenberg, Y Silberberg, R Morandotti, et al. Phys.Rev. Lett.1998, 81(16):3383.
- [7] 杨立森,陈玉和,陆改玲,等.物理学报,2007,56(7): 1000-3290.
- [8] 刘思敏,郭儒,许京军.光折变非线性光学及其应用[M].北京:科学出版社,2004:26-27;61-62.
- [9] 赵红娥,刘思敏,郭儒,等.物理学报,2003,52(11): 2781-2786.
- [10] LI Ji-feng,ZHAO Jian-lin,DI Jiang-lei.A novel method for measuring modulation depth and effective thickness of volume gratings[J]. Journal of Optoelectronics Laser, 2005,16(3):3402343.
- [11] ZHANG Yue,TAO Shi-quan.Quantitative study on anisotropic diffraction of photorefractive gratings in LiNbO₃ crystals [J].Journal of Optoelectronics Laser,2006,17(6):6782680.
- [12] 张宝光,光折变微结构的制作与研究[D].内蒙古:内蒙古师范大学,2009.

(上接第2页)

3 结论

根据马赫-增德尔干涉仪对输入光电场的调制作用设计了一种能够按照 Logistic 映射产生模拟双极性混沌序列的全光混沌序列发生器。混沌序列具有良好的保密性和相关性,因此若把此混沌序列发生器作为 OCDMA 系统的编解码器,能够增加系统容量并可以提高信息传输的安全性。

参考文献

- [1] T Kohda, A Tsuneda. Pseudonoise sequences by chaotic nonlinear maps and their correlation properties[J]. IEICE Trans. Commun., 1993, 76(8): 855-862.
- [2] K Umeno, K Kitayama. Spreading sequences using periodic orbits of chaos for CDMA[J]. Electronic Letter, 1999, 35(7): 545-546.
- [3] L Cong, L Shao-qian. Chaotic spreading sequences with multiple access performance better than random sequences[J]. IEEE Trans. Cir-cuits Syst. I, 2000, 47(3): 394-397.
- [4] Gianluca Mazzini, Riccard Rovatti, Gianluca Setti. Chaos-based asynchronous DS-CDMA systems and enhanced rake receivers: measuring the improvements[J]. IEEE Trans. Circuits and Syst. I, 2001, 48(12): 1445-1453.
- [5] R Vali, S M Berber, S K Nguang. Effect of Rayleigh fading on non-coherent sequence synchronization for multi-user chaos based DS-CDMA[J]. Signal Processing, 2010,90(6): 1924-1939.
- [6] Laxmi Bhat, K L Sudha. Performance analysis of chaotic DS-CDMA with CSK modulation [J]. International Journal of Advanced Engineering Research and Studies, 2012, 1(3): 133-136.
- [7] Maha George Zia. Performance of chaos-based MC-MC-CDMA in frequency selective fading channel[J]. International Journal of Scientific & Engineering Research,2013, 4(1): 1-4.
- [8] G Mazzini, R Rovatti, G Setti. Interference minimisation by autocorrelation shaping in asynchronous DS-CDMA systems: chaos-based spreading is nearly optimal[J]. Electronics Letters, 1999, 35(13):1054-1055.
- [9] R Takahashi, SJ Kim, K Umeno. Super amplification of SNR with an independent component analysis in chaos CDMA. IEIC Technical Report, 2006,106(414):1-6.
- [10] G Setti, R Rovatti, G Mazzini. Control of chaos statistics for optimization of ds-cdma systems[J]. Chaos Control, 2003, 292: 295-320.
- [11] R Vali, SM Berber, SK Nguang. Effect of Rayleigh fading on non-coherent sequence synchronization for multi-user chaos based DS-CDMA. Signal Processing, 2010, 90(6): 1924-1939.
- [12] F Agnelli, G Mazzini, R Rovatti. A first experimental verification of optimal MAI reduction in chaos-based DS-CDMA systems[J]. Circuits and Systems, 2001, 2:137-140.
- [13] 王亥,胡建栋.改进型 Logistic-Map 混沌扩频序列[J].通信学报,1997,18(8):71-77.