

光学自增强效应与衍射效率的提高*

许京军 张心正 李飞飞 温海东 刘思敏 张光寅

(南开大学物理学院, 天津, 300071)

陆 兵 束梅玲

(常州轻工业学校, 江苏, 常州, 213041)

摘要 利用含时光折变双光耦合方程数字模拟计算了掺铁铌酸锂晶体中双光耦合的动态过程, 分析了空间电荷场及其位相、光折变光栅位相等光折变参量的变化过程, 解释了光折变自增强效应, 提出了提高光折变光栅衍射效率的有效方法.

关键词 自增强, 光折变光栅, 衍射效率.

OPTICAL SELF-ENHANCEMENT EFFECT AND THE IMPROVEMENT OF THE REFRACTION EFFICIENCY*

XU Jing-Jun ZHANG Xin-Zheng LI Fei-Fei WEN Hai-Dong

LIU SI-Min ZHANG Guang-Yin

(College of Physical Science, Nankai University, Tianjin 300071, China)

LU Bing SHU Mei-Ling

(Changzhou Technology Institute, Changzhou, Jiangsu 213041, China)

Abstract The dynamic process of two-wave mixing in LiNbO₃:Fe crystals was calculated numerically by use of the basic differential equations governing the time-varied two-wave coupling, and the phase change, the space-charge electric field and the gratings in the crystals, and other physical parameters were analyzed. The photorefractive self-enhancement effect in the crystals was explained and an effective way to improve the diffraction efficiency of photorefractive gratings was suggested.

Key words self-enhancement, photorefractive grating, diffraction efficiency.

引言

LiNbO₃:Fe 晶体是当今世界上最有效的光折变存储材料之一^[1], 提高光折变光栅衍射效率是光折变光存储器研究的主要内容之一. 众所周知, 读出 LiNbO₃:Fe 晶体中的光折变光栅时, 衍射效率将有所增加, 这就是自增强效应^[2,3]. 人们已对这种效应进行了计算和实验研究. 本文利用含时的双光耦合方程^[4], 计算了双光耦合过程中空间电荷场、光栅的相位变化以及相位差的变化, 分析了自增强效应, 同

时, 解释了文献[5]中的实验现象, 为写入高衍射效率的光折变光栅提供了有效的方法和理论依据.

1 理论模拟与分析

双光束耦合过程可用下列含时方程描述:

$$\frac{\partial A_p}{\partial X_p} = i\left(\frac{1}{2}\right) \gamma_{eff} \left(\frac{K}{n_p}\right) E_{sc} A_s, \quad (1)$$

$$\frac{\partial A_s}{\partial X_s} = -i\left(\frac{1}{2}\right) \gamma_{eff} \left(\frac{K}{n_s}\right) E_{sc}^* A_p, \quad (2)$$

$$\frac{\partial E_{sc}}{\partial X} + A E_{sc} = B A_s^* A_p, \quad (3)$$

* 国家 863 高技术基金(编号: 863-715-001-002), 国家自然科学基金(编号: 69678018, 19734004), 国家杰出青年科学基金(编号: 69825108), 国家教委跨世纪人才基金(编号: 教技[98]1), 国家重点基础研究发展规划基金(编号: G1999033003)资助项目
稿件收到日期 2000-01-07, 修改稿收到日期 2000-05-25

* The project supported by the National High Technology (863) Foundation of China (No. 863-715-001-002), the National Natural Science Foundation of China (No. 69678018 and No. 19734004), Special Funding for the Excellent Young Researchers from NSFC (No. 69825108), Education Ministry of China and "973" Project (No. G1999033003).

式中 A_p, A_s 分别表示泵浦光复振幅和散射光复振幅, γ_{eff} 是有效电光系数, n_p, n_s 分别为泵浦光方向和信号光方向上的折射率, X_p, X_s 分别为泵浦光和信号光所通过的位移,

$$A = \frac{e\mu\Gamma\alpha\Phi_0}{h\nu\epsilon_0} \cdot \frac{(1 + \frac{E_T}{E_q})(1 + \frac{E_T}{E_M} + \frac{E_{ph}^2}{E_q E_M}) + \frac{iE_{ph}}{E_q(1 - \frac{E_q}{E_M})}}{(1 + \frac{E_T}{E_M})^2 + (\frac{E_{ph}}{E_M})^2}, \quad (4)$$

$$B = \frac{e\mu\Gamma\alpha\Phi_0}{h\nu\epsilon_0} \cdot \frac{-E_{ph} + i[E_T(1 + \frac{E_T}{E_M}) + \frac{E_{ph}^2}{E_M}]}{(1 + \frac{E_T}{E_M})^2 + (\frac{E_{ph}}{E_M})^2}, \quad (5)$$

$$E_q = \frac{eNA}{\epsilon_0 k_g}, E_T = K_B T K_g / e, E_M = \frac{1}{\mu\Gamma k_g}. \quad (6)$$

我们利用该含时双光束耦合方程数字模拟计算了 LiNbO₃:Fe (0.1wt%) 晶体(厚度 1mm) 中双光束写入过程中的光强 I_R, I_S 两束光之间的相位差 Φ , 空间电荷场的相位 Φ_E 以及干涉条纹与光折变光栅之间的相位差 $\Delta\Phi = \Phi_E - \Phi$ 随时间的变化曲线(见图 1). 计算中 $E_R = 29.5; N_A = 6 \times 10^{23} \text{ m}^{-3}; T = 300\text{K}; E_{ph} = 45\text{kV/cm}; \mu\Gamma = 2 \times 10^{-14} \text{ m}^2/\text{V}; \gamma_{13} = 9.6 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{V}; \gamma_{33} = 30.9 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{V}; \gamma_{51} = 32.6 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{V}; \gamma_{22} = 6.8 \times 10^{-14} \text{ m}^2/\text{V}$

通过图 1, 我们可以得到 $\Phi, \Phi_E, \Delta\Phi$ 随时间的变化如下:

$\Phi: 0^\circ \rightarrow 180^\circ \mp 49.2^\circ \rightarrow 180^\circ \mp 37.5^\circ \rightarrow 180^\circ \mp 38^\circ$
 $\Phi_E: 180^\circ \rightarrow 360^\circ \mp 44^\circ \rightarrow 360^\circ \mp 12.6^\circ \rightarrow 360^\circ \mp 12^\circ$
 $\Delta\Phi: 180^\circ \rightarrow 180^\circ \mp 26^\circ \rightarrow 180^\circ \mp 11^\circ \rightarrow 180^\circ \mp 14^\circ \rightarrow 180^\circ \mp 12^\circ$

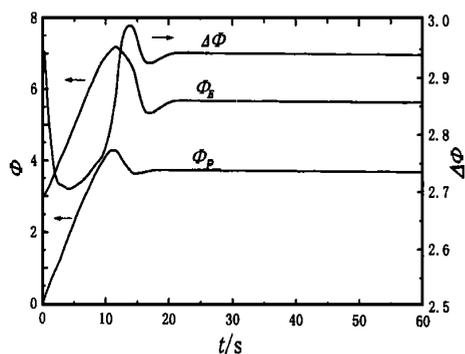


图 1 $\Phi_E, \Phi, \Delta\Phi$ 随时间的变化

Fig. 1 $\Phi_E, \Phi, \Delta\Phi$ vs. time

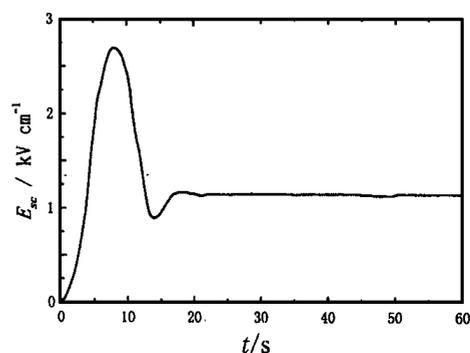


图 2 空间电荷场 E_s 随时间的变化

Fig. 2 The space charge field E_s vs time

我们还模拟了空间电荷场随时间变化的情况(见图 2). 结合图 1 和图 2 的结果可知, 当 $\Delta\Phi = 180^\circ + 26^\circ$ 时, 发生最大的光耦合作用. 此时, $\Phi = 180^\circ \mp 11.2^\circ; \Phi_E = 360^\circ \mp 37.2^\circ$

由以上分析可知, 在双光束耦合过程中, 不仅存在着干涉条纹与光栅之间的相位差变化, 而且两束光之间相位差及电场的相位都在变化. 所以, 在双光历史潮流耦合过程中若挡住其中任何一束光, 用另一束光读出光栅, 产生衍射光, 此时, 衍射光与读出光的相位差为 0° 另外, 我们从以上分析可知电场的相位, 大部分时间存在下面的关系: $\Phi_E - 360^\circ > 26^\circ$; 因此, 这时候衍射光与读出光、干涉条纹与光栅的相位差就大于挡住一束光以前的相位差, 更接近 90° ; 故衍射光产生变大. 但随着时间的延长, $\Delta\Phi$ 又会由于瞬态响应远离 90° 的相位移, 衍射光强弱, 而且逐渐变弱. 这就是人们通常所说的自增强效应.

图 3 是 $\Delta\Phi, I_R$ 随时间的变化, 由图 3 可见, 由于 $\Delta\Phi$ 远离 90° , 使得空间电荷场因为缺少驱动力而衰减. 因此, 根据以上的分析, 为了让空间电荷场能够最有效地加强, 即写入高衍射效率的光栅, 我们可以通过调节单光束光强的方法, 即让一束光间断地入

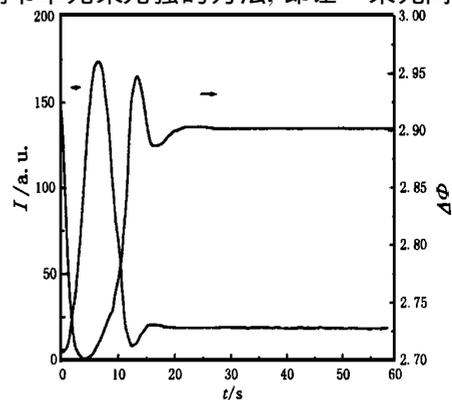


图 3 $\Delta\Phi, I_R$ 随时间的变化

Fig. 3 $\Delta\Phi$ and I_R vs time

射到晶体上,通过这种方法,保证晶体内光栅与干涉条纹有最大可能的相位移,以此来有效地提高光栅的衍射效率.实际上,文献[5]中的实验结果很好地证明这种方法的有效性.

2 结语

通过对含时光折变双光耦合方程的数字模拟计算,我们可以很清楚地了解在光折变晶体光栅写入过程中,各种参量的相位变化情况,掌握自增强效应的动态行为,使我们可以有效地采用特殊的写入方式来提高光折变光栅的衍射效率.

REFERENCES

[1] Mok F H. Angle-multiplexed storage of 5000 holograms

- in lithium niobate, *Opt. Lett.*, 1993, **18**(11): 915—917
- [2] Otten J, Ozols A, Reinfeld M, *et al.* Threshold of self-enhancement in lithium niobate, *Opt. Commun.*, 1992, **87**(4): 157—159
- [3] Otten J, Ozols A, Reinfeld M, *et al.* Self-enhancement in lithium niobate, *Opt. Commun.*, 1989, **72**(3, 4): 175—179
- [4] Au L B, Solymar L. Transients in photorefractive two-wave mixing: a numerical study, *Appl. Phys. B*, 1989, **49**: 339—342
- [5] XU Jing-Jun, LIU Si-Min, WU Yuan-Qing, *et al.* The modulating two-wave mixing in LiNbO₃: Fe crystal and the measurement of the diffraction efficiency, *Acta Physica Sinica* (许京军, 刘思敏, 武原庆, 等. LiNbO₃: Fe 晶体中调制双光及其衍射效率的测定, 物理学报), 1991, **40**: 1443—1450

全国第八届红外加热暨红外医学发展研讨会征文通知

由中国光学学会红外光电器件专业委员会、中国光学光电子行业协会红外专业分会、中国电子学会光电子学分会、中国光学学会锦州分会、云南省光学学会、中国机械工程学会工业炉分会、中国电工技术学会电热专业委员会联合主办,大连理工大学物理系承办,《红外技术》编辑部协办的全国第八届红外加热暨红外医学发展研讨会,定于2001年6月在大连市召开。

本届会议主要反映与交流近年来红外加热技术及红外医学领域的新成果和新进展。

一、应征论文范围

1. 红外加热技术在国民经济中的地位、作用及发展前景的综述、评论文章;
2. 红外加热元件、红外辐射涂料的新成果、新工艺及相关技术的研究;
3. 红外与物质相互作用,红外加热理论与机理的研究;
4. 各种红外加热装置的优化设计与制造及应用实例剖析;
5. 红外加热测试技术、物质的红外光谱及相关技术的研究;
6. 红外加热在生物学和医学中的应用等;
7. 红外医学新仪器、新材料、新技术、新成果,及国内外发展动向;
8. 红外医学的临床理论研究、临床应用报告及相关的激光、微波、毫米波的研究与应用。

二、应征论文作者请在2001年4月30日前,将500—800字论文摘要寄到:上海市中山北一路420号中国科学院上海技术物理研究所糜正瑜研究员收(邮政编码:200083),并请作者注明详细通讯地址、工作单位和邮政编码。

三、经审稿录用的论文摘要集,将由《红外技术》编辑部编辑出版。

四、会议筹备组的通信地址:锦州市13号信箱中国光学学会锦州分会(邮政编码:121000),联系人:王永钧,电话:0416—2135100,电挂:1603

全国第八届红外加热暨红外医学发展研讨会筹备组