

· 光电器件与材料 ·

双掺 Mg:Fe:LN 晶体中构造光子晶格的实验研究

李 强, 杨立森, 施慧渊, 武一洁, 王龙飞

(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: 为了提高光子晶格的衍射效率, 加快晶格写入时间, 尝试在掺 Fe 浓度相同的双掺 Mg:Fe:LN 晶体 (Fe 0.03 wt.%, Mg: 2.0 mol) 和 Fe:LN 晶体 (Fe 0.03 wt.%) 中分别用 λ 为 488 nm 半导体激光器和 532 nm Nd:YGA 固体激光器写入一维光子晶格, 对比研究了两晶体内光子晶格最大衍射效率 η 和时间 t 的关系。实验结果表明, 在双掺 Mg:Fe:LN 晶体内写入光子晶格时间比 Fe:LN 晶体所需时间短、衍射效率高。

关键词: 非线性光学; 双掺镁铁铌酸锂; 衍射效率; 光子晶格光纤

中图分类号: O437

文献标识码: A

文章编号: 1673-1255(2014)-06-0029-03

Experimental Research on Structure Photonic Lattice in Double Doped Mg:Fe:LN Crystal

LI Qiang, YANG Li-sen, SHI Hui-yuan, WU Yi-jie, WANG Long-fei

(Department of Physics and Electronic Information, Inner Mongolia Normal University, Huhhot 010022, China)

Abstract: For improving the diffraction efficiency of photonic lattice and shortening lattice writing time, a 488 nm semiconductor laser and a 532 nm Nd:YAG solid laser are respectively used to write one-dimensional photonic lattice in double doped Mg:Fe:LN and Fe:LN crystal with the same doped Fe concentration. The relationship between the maximum diffraction efficiency and time of the photonic lattice in the crystal is compared and researched. Experimental results show that the photonic lattice writing time in double doped Mg:Fe:LN crystal is shorter than that of Fe:LN crystal and the diffraction efficiency is higher than that of Fe:LN crystal.

Key words: nonlinear optics; double doped Mg:Fe:LN; diffraction efficiency; photonic lattice fiber

E Yablonovitch^[1]及 S John^[2]在 1987 年分别提出光子晶体的概念后, 它所具有的独特的光学性质和广泛的应用前景, 使人们研究光折变晶体中构造光子晶格成为热点^[3-7], 并将光折变晶体的非线性光学效应用于制作理想光学器件。光子晶体光纤^[8-12]是利用光子晶体的 Bragg 带隙原理实现能量传输的, 为了提高能量传输效率, 使用适当的光子晶体适当的波长制作光子晶格是非常必要的。文中通过在掺铁浓度相同的 Mg:Fe:LN 晶体和 Fe:LN 晶体中使用不同波长制作一维光子晶格, 对比研究了波长对两

晶体的衍射效率及反应时间的影响, 为光学器件的选材与制作提供了参考。

1 实验装置与试验方法

1.1 实验装置

实验装置如图 1 所示。激光(波长 488 nm 半导体激光器或波长 532 nm 的 Nd:YAG 倍频激光器)发出的平行高斯光束, 功率调整到 $20 \mu W$, 通过半波片 P 和扩束准直系统变成平行光, 照射到振幅掩膜

收稿日期: 2014-11-11

基金项目: 内蒙古自然科学基金(2013MS0926)

作者简介: 李强(1987-), 男, 重庆市合川人, 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。

上,半波片起到调整偏振方向的作用,实验所用束光要求偏振方向与晶体C轴方向平行,通过偏振片和掩膜后平行光变成两束同偏振等光强的束光,再透过透镜 L_2 ($f=300\text{ mm}$) 汇聚在晶体(Fe:LN晶体或双掺Mg:Fe:LN晶体)的前表面上,晶体上光强分布经过透镜 L_3 ($f=70\text{ mm}$) 成像在CCD上,经过PC屏幕可直接观察晶体的写入情况。 B_1 、 B_2 为曝光快门, B_2 与数显继电器相连,可精确控制写入时间。 T_1 、 T_2 为功率探测器。

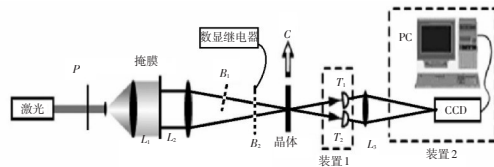


图1 光子晶格写入与观察装置

1.2 实验方法

实验分为两个部分,光子晶格写入部分和写入晶格衍射效率的读出记录部分。(1)写入部分:首先采用波长为488 nm半导体激光器,经过半波片、扩束系统和掩膜把光分成两条同偏振等光强的束光,束光对称入射到双掺Mg:Fe:LN晶体上,两束光光强同为 $20\mu\text{ W}$,调整晶体写入位置后,关闭 B_1 ,只允许一束光通过,测量并记录初始时刻 T_1 数值, B_2 控制光子晶格写入时间,设置曝光时间为15 s每次,打开 B_1 、 B_2 写入光子晶格,15 s后 B_2 自动关闭,光路被切断。(2)读取部分:接写入部分,关闭 B_1 ,打开 B_2 读取并记录此时 T_1 、 T_2 数值。装置2用来调整光路,PC上观察两束光的干涉条纹,以及读取时候衍射光和透射光的干涉条纹。记录光强值计算衍射效率并绘制曲线。用波长532 nm的Nd:YAG激光器替换波长488 nm半导体激光器,调节光强大小使两束光到达晶体前表面时同为 $20\mu\text{ W}$,其他装置不变,重复以上实验。分别记录两个波长情况下光强值计算衍射效率并绘制曲线,衍射效率 $\eta=I_d/I$ 。其中, I_d 为Bragg衍射光强; I 为读取部分时观察光强。

2 实验结果及分析

2.1 双掺Mg:Fe:LN晶体与Fe:LN晶体的反应时间和衍射效率的对比研究

使用上述实验装置,在双掺Mg:Fe:LN晶体中写

入光子晶格,随着写入次数的增加,在读取部分会观察到晶体后表面有两束光,这是因为光路满足Bragg衍射条件,光子晶格写入以后,使用一条写入光作为读出光照射时,产生了Bragg衍射。使用装置2可观察到如图2中所示实验图样,通过装置1测得 T_1 、 T_2 的光强使用Origin绘图如图3所示。

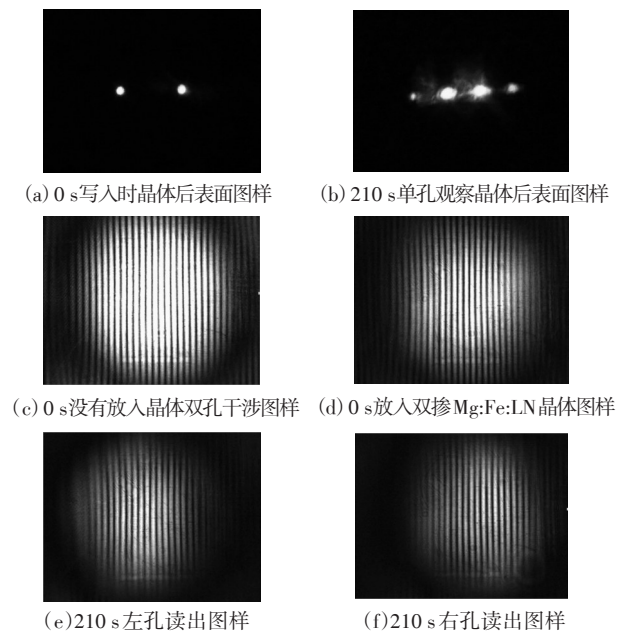
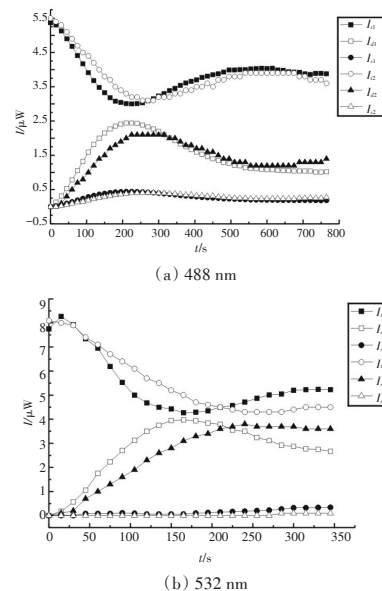


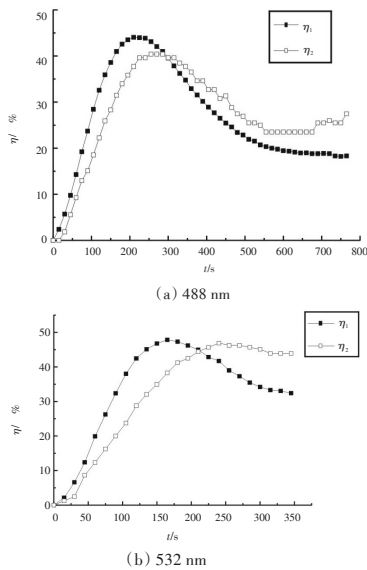
图2 双掺Mg:Fe:LN晶体中制作光子晶格的实验结果



其中, I_{d1} 为双掺Mg:Fe:LN晶体透射光强; I_{d2} 为Fe:LN晶体透射光强; I_{d1} 为双掺Mg:Fe:LN晶体透射光强; I_{d2} 为Fe:LN晶体透射光强; I_{s1} 为双掺Mg:Fe:LN晶体二级衍射光强和; I_{s2} 为Fe:LN晶体二级衍射光强和。

图3 两晶体透射、衍射、二级衍射光强和对比图

从图3可以看出,两种波长下双掺Mg:Fe:LN晶体的透射光强 I_{t1} 相比Fe:LN晶体的透射光强 I_{t2} 下降的快,双掺Mg:Fe:LN晶体的衍射光强 I_{d1} 比Fe:LN晶体的透射光强 I_{d2} 上升的快。 I_{s1} 、 I_{s2} 分别是由于光线在光子晶体内部反射产生的二级衍射,二级衍射也是引起光子晶格二次谐波的原因^[13-14],此处的二级衍射光强较弱,两晶体都符合产生二次谐波的条件。图4是双掺Mg:Fe:LN晶体与掺铁铌酸锂晶体衍射效率对比图。



其中, η_1 为双掺Mg:Fe:LN晶体的衍射效率随时间变化曲线;
 η_2 为Fe:LN晶体的衍射效率随时间变化曲线

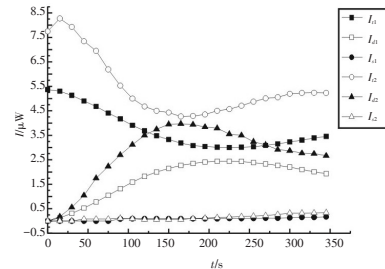
图4 双掺Mg:Fe:LN晶体与掺铁铌酸锂晶体
衍射效率对比图

从图4可以看出,双掺Mg:Fe:LN晶体的衍射效率曲线达到最大值的时间短,衍射效率也高于Fe:LN晶体,数据表明,在488 nm波长情况下,双掺Mg:Fe:LN晶体在照射210 s时达到最高44.04%的衍射效率,Fe:LN晶体255 s达到最高40.38%的衍射效率;532 nm波长情况下,双掺Mg:Fe:LN晶体在照射165 s时达到最高的48.17%的衍射效率,Fe:LN晶体在240 s达到最高46.9%的衍射效率。

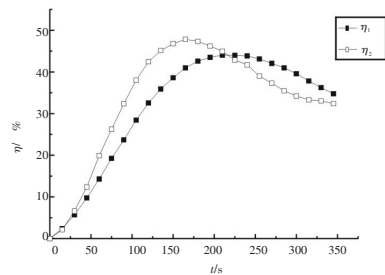
2.2 波长对晶体衍射效率及反应时间的影响

不同波长情况下的实验结果图如图5所示。由图5a、图5c可以看出,在光子晶格写入初始时刻透射光强 I_{t2} 大于波长488 nm的蓝光初始时刻透射光强 I_{t1} ,随着光子晶格的写入,波长532 nm的绿光较

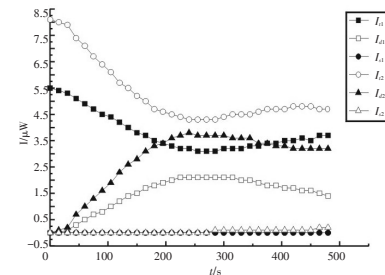
波长488 nm的蓝光要早达到光子晶格的最大衍射效率值;从图5b、图5d可以看出,波长532 nm的绿光写入的光子晶格最大衍射效率要大于波长488 nm的蓝光写入的最大衍射效率。



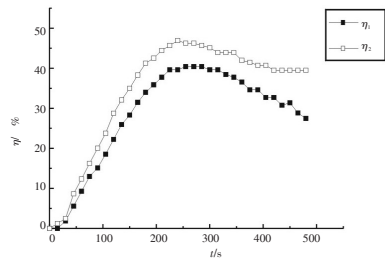
(a) 双掺Mg:Fe:LN晶体不同波长情况下衍射 I_d 、透射 I_t 及二级衍射光强和 I_s 变化图



(b) 双掺Mg:Fe:LN晶体不同波长情况下衍射效率随时间变化对比图



(c) Fe:LN晶体不同波长情况下衍射、透射及二级衍射光强和变化图



(d) Fe:LN晶体不同波长情况下衍射效率随时间变化对比图

其中, I_{t1} 为双掺Mg:Fe:LN晶体488 nm时透射光强; I_{t2} 为Fe:LN晶体532 nm时透射光强; I_{d1} 为双掺Mg:Fe:LN晶体488 nm时衍射光强; I_{d2} 为Fe:LN晶体532 nm时透射光强; I_{s1} 为双掺Mg:Fe:LN晶体488 nm时二级衍射光强和; I_{s2} 为Fe:LN晶体532 nm二级衍射光强和。

图5 不同波长情况下实验结果图

(下转第67页)

参考文献

- [1] 姚红兵,邢博, Donna Strickland, 等. 紫铜等离子体特征谱线及其展宽形成机制[J]. 强激光与粒子束, 2012, 24(9):2117-2120.
- [2] 赵小侠,罗文峰,张相武,等. 基于 LIBS 技术的黄铜等离子体特征参量的研究[J]. 激光技术, 2013, 37(1):93-96.
- [3] 余亮英,陆继东,张娟,等. 激光感生击穿光谱及研究现状[J]. 激光技术, 2004, 28(1):103-107.
- [4] Pasquini C, Cortez J, Silva L M C, et al. Laser induced breakdown spectroscopy[J]. Journal of the Brazilian Chemical Society, 2007, 18(3):463-512.
- [5] 李倩. 激光在原子发射光谱分析中的应用研究[D]. 沈

阳: 沈阳理工大学, 2011.

- [6] Yamamoto K Y, Cremers D A, Foster L E, et al. Laser-induced breakdown spectroscopy analysis of solids using a long pulse (150ns) Q-switched Nd:YAG laser[J]. Applied Spectroscopy, 2005, 59(9): 1082-1097.
- [7] 尹王保,张雷,张建宏,等. 基于激光诱导击穿光谱的镁元素分析研究[J]. 测试技术学报, 2011, 25(4):356-359.
- [8] 黄庆举. 激光烧蚀铜产生原子和离子光谱线的研究[J]. 光子学报, 2006, 35(12):1818-1821.
- [9] 罗文峰. 激光诱导击穿光谱技术的初步研究[D]. 北京: 中国科学院研究生院, 2011.

(上接第31页)

3 结论

利用两孔振幅掩膜的傅里叶变换法在双掺 Mg:Fe:LN 晶体和 Fe:LN 晶体中制作一维光子晶格, 通过功率探测器测量透射、衍射及二级衍射光强, 绘制光强、衍射效率随时间变化曲线。对比研究了波长 488 nm 与 532 nm 光波在双掺 Mg:Fe:LN 晶体与 Fe:LN 晶体中制作光子晶格的不用, 发现双掺 Mg:Fe:LN 晶体在相同波长下制作的光子晶格反应快、衍射效率高; 波长 532 nm 光在制作光子晶格时比 488 nm 达到最高衍射效率的用时短。

参考文献

- [1] Yablonovitch E. Inhibited spontaneous emission in solid-state physics and electronics [J]. Phys Rev Lett, 1987, 58(20):2059-2061.
- [2] John S. Strong localization of photons in certain disordered dielectric super lattices [J]. Phys Rev Lett, 1989, 58(23): 2486-2489.
- [3] 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: 265-279.
- [4] 杨春辉,孙亮,冷雪松,等. 光折变非线性光学材料铌酸

锂晶体 [M]. 北京: 科学出版社, 2009: 233-255.

- [5] 杨立森,武瑞祥,陆改玲,等. 光诱导光子晶格折射率调制制度的实验研究 [J]. 光电子·激光, 2008, 19(11): 1530-1533.
- [6] 李永辉,杨立森,逯文婷,等. 光子晶格的制作及衍射效率的研究 [J]. 信息记录材料, 2012, 13(5): 17-21.
- [7] 杨立森,刘思敏,张光寅,等. 快速响应的光致折射率改变效应的实验研究 [J]. 物理学报, 2004, 53(2): 461-467.
- [8] 刘思敏,陈晓虎,汪大云,等. 光子晶体光纤和波导 [J]. 物理, 2001, 30(11): 675-680.
- [9] 王清月,栗岩峰,胡明列,等. 光子晶体光纤非线性特性的研究 [J]. 物理, 2005, 34(1): 43-49.
- [10] 王伟,侯蓝田. 光子晶体光纤的现状和发展 [J]. 激光与光电子学进展, 2008, 45(2): 43-58.
- [11] 李曙光,刘晓东,侯蓝田. 光子晶体光纤进展及其应用 [J]. 世界科技研究与发展, 2001, 23(6): 7-11.
- [12] 赵玲慧,魏志义. 光子晶体光纤及其应用 [J]. 物理, 2004, 33(5): 335-339.
- [13] 王龙飞,杨立森,武一洁,等. 空间二次谐波产生对光子晶体结构的影响 [J]. 激光与光电子学进展, 2014, 51(7): 071901.
- [14] 王龙飞,杨立森,武一洁,等. 光折变晶体中空间二次谐波产生的影响因素 [J]. 光电技术应用, 2013, 28(5): 19-23.