

# 高浓度 $\text{LiNbO}_3\text{:Fe}$ 晶体中写入平面光波导的实验

陈潇潇<sup>1,2</sup>, 姚治海<sup>2</sup>, 陈小云<sup>3</sup>

(1 吉林师范大学, 四平 136000; 2. 长春理工大学, 长春 130022; 3 中科院 长春光机所, 长春 130033)

**摘要:** 利用衍射光场辐照高浓度  $\text{LiNbO}_3\text{:Fe}$  晶体, 通过光折变效应在晶体中写入平面波导。研究了各种实验参数对写入波导特性的影响并测量了平面光波导的横向折射率和周期。实验结果证明, 使用辐照法在  $\text{LiNbO}_3\text{:Fe}$  晶体中写入平面波导是简便可行的, 并且具有允许低功率写入、存储时间较长, 光折变灵敏度高的特点。

**关键词:** 光折变效应  $\text{LiNbO}_3\text{:Fe}$  晶体 平面光波导 折射率

中图分类号: TN252

文献标识码: A

文章编号: 1672-9870(2010)03-0096-03

## Experimental Research on High Doping $\text{LiNbO}_3\text{:Fe}$ Photorefractive Crystal Write-in Slab Waveguide

CHEN Xiaoxiao<sup>1,2</sup>, YAO Zhihai<sup>2</sup>, CHEN Xiaoyun<sup>3</sup>

(1. Jilin Normal University, Changchun 130000; 2. Changchun University of Science and Technology, Changchun 130022; 3. Changchun Institute of Optics, Fine mechanics and Physics, Chinese Academy of Science, Changchun 130000)

**Abstract:** High doping  $\text{LiNbO}_3\text{:Fe}$  crystal write-in slab waveguide by photorefractive effect by diffraction field was researched. The waveguide characters influenced by experimental condition was studied and the transverse refractive ratio and period of slab waveguide was measured. It is approved that  $\text{LiNbO}_3\text{:Fe}$  crystal has the feature of low power write-in, long storage time and high sensitivity. It is feasible that the irradiation method is convenient to slab waveguide storage in  $\text{LiNbO}_3\text{:Fe}$  crystal.

**Key words:** photorefractive effect;  $\text{LiNbO}_3\text{:Fe}$  crystal; slab waveguide; refractivity

光波导作为集成光学系统的基本元件, 在光通信、光计算以及光学神经网络等光学并行处理领域具有重要应用, 光折变波导同时具有光折变和光波导的双重特性, 其应用前景非常广泛。目前, 基于光折变晶体的波导写入技术, 大致可以分为三类: 第一类是激光微细加工技术<sup>[1,2]</sup>, 第二类是用掩模板或多光束干涉形成的结构光辐射晶体<sup>[3-8]</sup>, 第三类是用光折变空间孤子写入波导<sup>[9]</sup>。本文参考第二类方法, 采用衍射光场辐照光折变晶体写入波导。由于衍射光场分布的可控性, 该方法可根据需要制作波导。

实验采用高掺杂  $\text{LiNbO}_3\text{:Fe}$  晶体, 该晶体具有良好的机械稳定性、较强的电光和声光效应, 并且容易获得大尺寸、高光学质量的晶体, 是制作波导的理想材料。同时,  $\text{LiNbO}_3\text{:Fe}$  晶体又是优良的光

折变材料之一, 具有较高的光折变灵敏度, 晶体中光致折射率的改变值可以达到  $10^{-4} \sim 10^{-5}$  数量级, 因而仅仅由毫瓦量级的激光辐照就可以在这种晶体中形成波导结构, 并且具有较长的暗存储时间。

## 1 试验装置

### 1.1 平面光波导写入实验装置

采用如图1所示光路在光折变晶体中写入平面光波导。由半导体激光泵浦固体激光器(DPL)输出的细激光束经倒装望远镜T扩束、准直后, 通过单缝L产生衍射光场。将体块状光折变晶体置于光场中, 进入晶体中的光场通过光折变效应引起晶体折射率的相应改变, 从而形成平面光波导结构。偏振镜P的作用是将进入晶的光束偏振态调至水平方向

或是垂直方向。

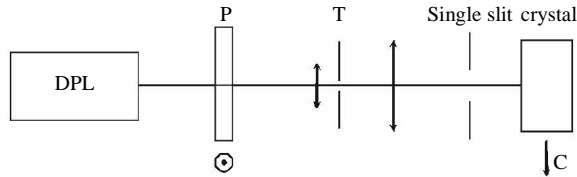


图1 光写入平面波导光路图

Fig.1 Experimental setup of light-induced planar waveguide

写入波导所用激光器输出波长为 $\lambda=532\text{nm}$ ，输出功率调节范围在 $0\sim 200\text{mw}$ 之间，在实验过程中，将激光器输出功率调至 $60\text{mw}$ 。实验使用的单缝为竖缝，缝宽为 $0.64\text{mm}$ 。实验中所用晶体样品为体块状的LiNbO<sub>3</sub>:Fe晶体，掺Fe浓度为 $0.1\%$ ，尺寸为 $10\text{mm}\times 10\text{mm}\times 5\text{mm}$ ，切割方式采用垂直三个介电轴方向切割。

## 1.2 LiNbO<sub>3</sub>:Fe 晶体折射率变化的测量实验装置

采用如图2所示的马赫-曾德干涉仪光路测量晶体的折射率变化。其中P为偏振片；T为带针孔滤波器的扩束-准直系统(倒置望远镜)；BS<sub>1</sub>、BS<sub>2</sub>为非偏振分光棱镜；M<sub>1</sub>、M<sub>2</sub>为反射镜；L为傅里叶透镜。激光器采用He-Ne激光器，输出功率很低，从而使晶体中的写入的波导被稳定的读出，不会被He-Ne激光器的激光束擦除。

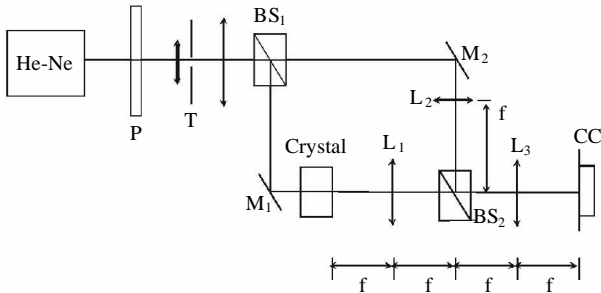


图2 LiNbO<sub>3</sub>:Fe 晶体折射率变化的测量光路

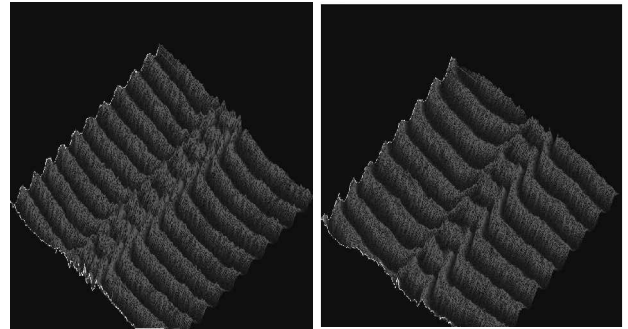
Fig.2 Experimental setup of refractive index change in LiNbO<sub>3</sub>:Fe crystal

## 2 实验结果及分析

### 2.1 寻常光(o光)和非常光(e光)写入波导的比较实验

该实验采用单缝衍射光路，写入衍射条纹，单缝采用的是竖缝，缝宽 $0.64\text{mm}$ ，晶体主光轴垂直于入射光束，利用偏振镜分别使入射光为寻常光和非常光，比较二者的区别。光束照射的时间为 $3\text{min}$ 。写入激光光束波长 $\lambda=532\text{nm}$ ，输出功率 $60\text{mw}$ 。实验

结果如图3所示。



(a) o光写入3D图

(b) e光写入3D图

图3 寻常光和非常光写入波导的比较实验图

Fig.3 Schematic diagram of ordinary and extraordinary light induced waveguide

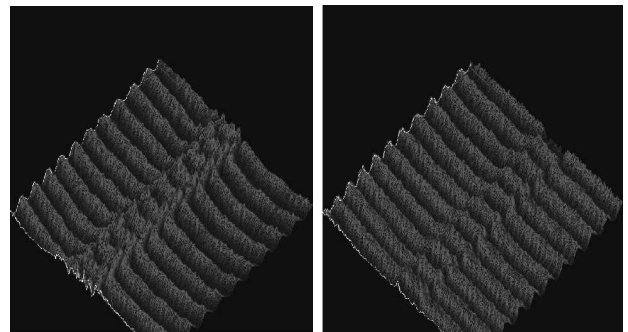
将曝光 $3\text{min}$ 后的晶体样品放置于图2所示透镜L<sub>1</sub>的前焦平面上，用偏振方向垂直于晶体光轴(o光)的光进行读出。由图3可以看出在其它条件相同的情况下，当入射光束分别为寻常光(o光)和非常光(e光)时，写入波导是有区别的。根据公式：

$$\Delta n = \frac{\lambda s(r)}{DL} \quad (1)$$

已知晶体厚度 $l=5\text{mm}$ ，照射光波长 $\lambda=632.8\text{nm}$ ，通过测量条纹间距 $D$ 和条纹变化量 $s(r)$ 得到，可以得出图3(a)相对应的晶体折射率变化 $\Delta n_a=1.07$ ，(b)图相对应的晶体折射率变化 $\Delta n_b=0.96$ 。可见用寻常光进行实验时，LiNbO<sub>3</sub>:Fe晶体光折变效应更加明显。

### 2.2 寻常光(o光)和非常光(e光)读出波导的比较实验

首先采用上一实验的条件和步骤写入光波导，写入时采用寻常光(o光)。



(a) o光读出3D图

(b) e光读出3D图

图4 寻常光(o光)和非常光(e光)读出波导的比较实验图

Fig.4 Schematic diagram of ordinary and extraordinary light readout waveguide

将曝光 $3\text{min}$ 后的晶体样品放置于图2所示透镜L<sub>1</sub>的前焦平面上，分别用偏振方向垂直于晶体光

轴(o 光)的光和偏振方向平行于晶体光轴(e 光)的光进行读出。由图 4 可以看出,在其它实验条件相同的情况下,o 光读出要比 e 光读出更加明显。同样根据公式(1),得到图 4(a)相对应的折射率变化为 $\Delta n_a=0.96$ , (b)图相对应的折射率变化为 $\Delta n_b=0.46$ 。通过这两组数值的比较可以发现,当用 o 光读出时晶体折射率变化相当于用 e 光读出时晶体折射率变化的 2 倍,差异是比较巨大的。

### 2.3 LiNbO<sub>3</sub>:Fe 晶体折射率改变随写入时间的变化

实验条件和步骤同实验 a,在写入波导时均采用寻常光(o 光)进行写入,只是写入时间有所不同,比较不同的写入时间对晶体折射率变化的影响。实验结果如图 5 所示。

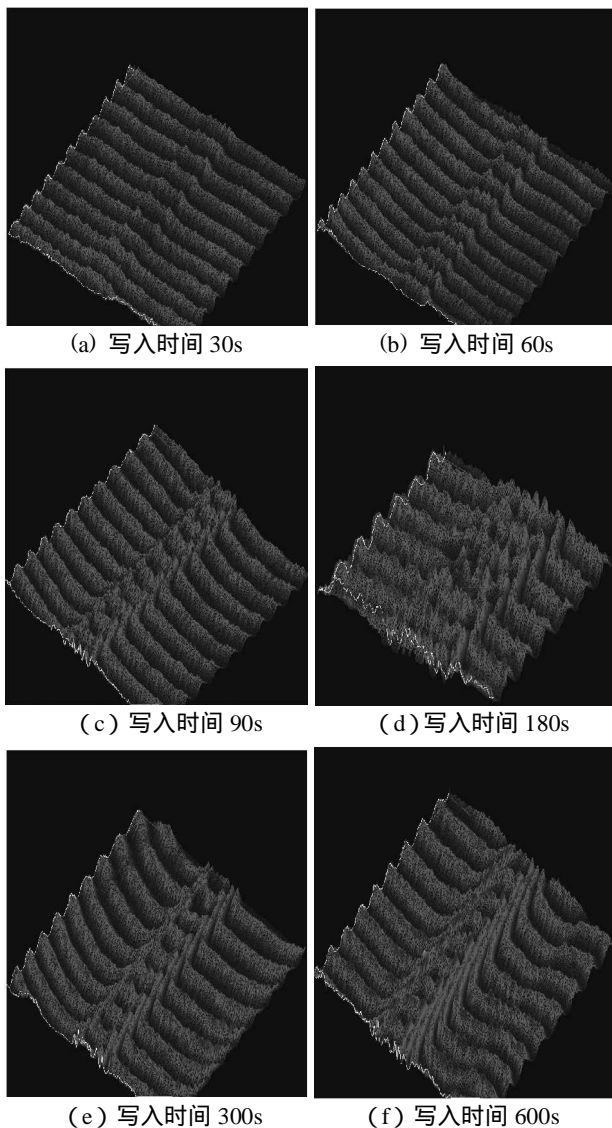


图 5 LiNbO<sub>3</sub>:Fe 晶体折射率改变随写入时间的变化

Fig.5 Schematic diagram of refractive index change in LiNbO<sub>3</sub>:Fe crystal of write time

将曝光时间分别为 30s、60s、90s、180s、300s、600s 的晶体样品放置于图 2 所示透镜 L<sub>1</sub> 的前焦平面上,用偏振方向垂直于晶体光轴(o 光)的光进行读出。由图 6 可以看出,LiNbO<sub>3</sub>:Fe 晶体内的折射率随时间变化明显。为了有一个直观的比较,我们根据公式(1),计算出晶体在不同写入时间内折射率的变化,如图 7 所示。

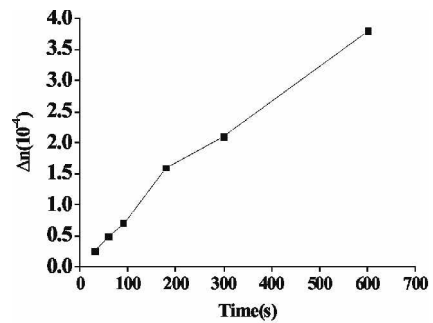


图 6 LiNbO<sub>3</sub>:Fe 晶体内的折射率随时间变化

Fig.6. Change of refractive index in LiNbO<sub>3</sub>:Fe crystal vs time

由图 6 可以看出,LiNbO<sub>3</sub>:Fe 晶体内的折射率变化是随着写入时间的增长而变大的,并且这种变化近似呈线性规律。

### 2.4 LiNbO<sub>3</sub>:Fe 晶体内光波导随时间的擦除

实验条件和步骤同实验 a,在写入波导时均采用寻常光(o 光)进行写入,写入时间 60s,读出光为寻常光(o 光)。比较写入的光波导随着时间的推移,波导的擦除情况。实验中我们将晶体放置于暗室环境中,每隔一定的时间取出放置在马赫-曾德干涉仪光路中进行折射率的测量。根据公式(1),通过测量图实验中所拍摄图像中干涉条纹间距 D 和条纹变化 S(R)可以得到晶体内的折射率随时间的擦除情况。如图 7 所示。

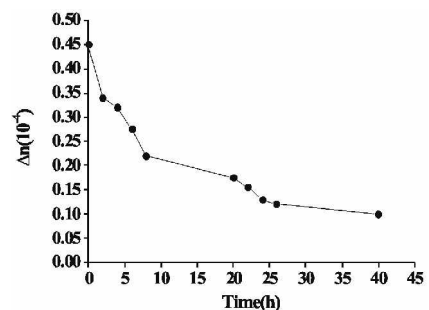


图 7 LiNbO<sub>3</sub>:Fe 晶体内光波导随时间的擦除

Fig.7 Erasure of optical waveguide in LiNbO<sub>3</sub>:Fe crystal vs time

由图 7 可以看出,在暗室条件下 LiNbO<sub>3</sub>:Fe 晶体写入的波导随着时间的擦除情况在 8h 以内变化

(下转第122页)

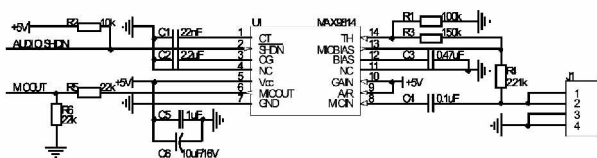


图 6 麦克风放大电路

Fig.6 Microphone amplifier circuit

## 4 结束语

针对多载车光学测量系统实现交互测量的特

(上接第 98 页)

较快,之后呈缓慢变化。在刚写入波导后,晶体的折射率变化为 $\Delta n=0.45$ ,当时间过去 40h 后,在通过马赫-曾德干涉仪光路进行观察发现,晶体的折射率变化为 $\Delta n=0.10$ 。说明经过 40h 后写入的光波导仍然存在,只是发生了较大的变化。

## 3 结论

本文通过一系列实验,研究了在  $\text{LiNbO}_3:\text{Fe}$  晶体内写入平面光波导的一些特性。实验结果表明,在其他条件相同时,使用 o 光写入比 e 光写入效果更为明显。而在波导读出时,使用 o 光却比 e 效果明显。写入时间增加后,晶体内的折射率变化也变得更为剧烈。写入的波导可以在暗室条件下较长时间的保存,40h 后波导仍然存在。

### 参考文献

[1] Matoba O.Segmented photorefractive waveguides in LiN-

点,研究开发了这套可视对讲系统。该系统采用了视频分割技术和音频交叉开关设计,为多台经纬仪各方舱间的协同工作提供了有效的信息交流平台。实践证明:该系统具有结构简单、操作方便、性能可靠的特点。

### 参考文献

[1] 蔡纪鹤,赵德安,李发忠.智能小区可视对讲系统的设计与应用[J].智能小区,2008(24):27-30.  
[2] 何文德,杨凤年,何枫.一种多功能多通道监视控制器的设计[J].光电技术应用,2010(25):49-51,74.

$\text{bO}_3:\text{Fe}$  [J].J Opt Soc Am B,1998,15:20-26.  
[2] Itoh K.Fabrication experiment of photorefractive three-dimensional waveguides in lithium niobate[J].Opt Lett,1994,20:652.  
[3] Matoba O.Array of photorefractive waveguides for massively parallel optical interconnections in lithium niobate[J].Opt Lett,1996,21:122.  
[4] Zhang P.Opt Lett,2003,23:299.  
[5] Zhang P.Optical masks prepared by using a liquid-crystal light valve for light-induced photorefractive waveguides[J].Appl. Opt.,2003,42:4208.  
[6] 刘思敏.在  $\text{LiNbO}_3:\text{Fe}$  晶体中写入与存储圆形和环形波导[J].物理学报,1998,47:432.  
[7] 杨德兴. $\text{LiNbO}_3:\text{Fe}$  晶体中光写入波导时折射率的变化规律[J].物理学报,2003,52:1179.  
[8] 赵建林. $\text{LiNbO}_3:\text{Fe}$  晶体中光写入阵列平面光波导的实验实现[J].光子学报,2003,32:42.  
[9] Klotz M.Fixing solitonic y junctions in photorefractive strontium-barium-niobate[J].Appl Phys Lett,2001,79:1423.