

文章编号: 0258-7025(2009)02-0413-04

体全息波分复用器件波长选择性实验

刘东 王大勇 郑小丹 万玉红 江竹青 陶世荃

(北京工业大学应用数理学院, 北京 100124)

摘要 为了研究体全息光栅波分复用器件的波长选择性,采用 532 nm 绿光透射式记录的方法在一块双掺钢铁立方型铌酸锂晶体中先后记录了具有不同光栅尺寸比的有限尺寸体全息光栅,用光通信波段红外可调谐激光器对这些光栅分别进行了正交式读出。光栅尺寸比为 4:3,4:2 和 5:2 时得到的波长选择性曲线的 3 dB 带宽分别为 0.48 nm,0.45 nm 和 0.43 nm,对应的布拉格中心波长均与理论预测值吻合得很好。表明在用通信波长对体全息光栅进行读出时,随着光栅尺寸比的增大,波长选择性曲线的 3 dB 带宽会减小。通过选择合适的光栅尺寸比可以明显改进体全息光栅波分复用器件的波长选择性,从而达到密集波分复用的需求。

关键词 全息光栅; 波长选择性; 透射式记录/正交式读出; 波分复用器件; 光栅尺寸比

中图分类号 O436 文献标识码 A doi: 10.3788/CJL20093602.0413

Experiment of Wavelength Selectivity of Volume Holographic Wavelength Division Multiplexing Filter

Liu Dong Wang Dayong Zheng Xiaodan Wan Yuhong Jiang Zhuqing Tao Shiquan

(College of Applied Sciences, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China)

Abstract In order to investigate the wavelength selectivity of volume holographic gratings, applied as wavelength division multiplexing (WDM) filter, a 532 nm laser was used to record volume holographic gratings with finite size in doubly doped cubic lithium niobate crystal. Gratings of different size ratio were recorded in transmission configuration one by one and read in orthogonal scheme with a tunable infrared laser working in the optical communication band. The 3 dB bandwidth of wavelength selectivity curves corresponding to the grating size ratio of 4:3, 4:2 and 5:2 were 0.48 nm, 0.45 nm and 0.43 nm respectively. The Bragg central wavelength of each grating is almost the same as theoretical prediction. This indicated that with larger gratings size ratio one can obtain narrower 3 dB bandwidth in the readout of volume holographic gratings. The wavelength selectivity of volume holographic WDM filter can be obviously improved by choosing a suitable grating size ratio and it is possible to meet the requirement of dense WDM.

Key words holographic grating; wavelength selectivity; transmissive writing and orthogonal readout; wavelength division multiplexing filter; grating size ratio

1 引言

利用体全息技术,通过在介质中写入多个光栅制作而成的波分复用器件具有滤波带窄、信噪比高、结构紧凑、温度稳定性好、原理简单等优点,被认为可以用作新型密集波分复用器件^[1],受到广泛关注^[2~10]。为了获得较高的衍射效率同时便于光纤的输入输出耦合,提出了透射式记录/正交式读出体

全息光栅这一实验方案,在记录时使用短波长的光,读出时则使用通信波长^[11]。使用此实验方案对体全息光栅密集波分复用器件的波长选择性进行了研究^[12]。通过理论分析和实验验证后发现在给定记录角度的前提下,增大光栅尺寸比能够减小体全息光栅对通信波长衍射的 3 dB 带宽,从而提高体全息光栅的波长分辨能力。基于这一分析对光栅尺寸比

收稿日期: 2008-08-26; 收到修改稿日期: 2008-10-25

基金项目: 北京市自然科学基金(4071001)和北京市属市管高等学校人才强教计划资助课题。

作者简介: 刘东(1985-),男,硕士研究生,主要从事光学信息处理与光通信器件等方面的研究。

E-mail: eastlau@emails.bjut.edu.cn

导师简介: 王大勇(1968-),男,博士,教授,主要从事光学信息处理与光通信技术等方面的研究。

E-mail: wdyong@bjut.edu.cn(通信联系人)

小于和等于 1 的体全息光栅的波长选择性做了研究,得到的 3 dB 带宽最小为 0.5 nm。但尚未对光栅尺寸比大于 1 的情况进行实验验证。本文在相似的实验条件下,对光栅尺寸比分别为 4:3,4:2 和 5:2 的体全息光栅进行了研究,进一步证明了增大光栅尺寸比能够改善体全息光栅的波长选择性,并且通过实验得到了更窄的 3 dB 带宽。

2 有限尺寸体全息光栅及其透射式记录/正交式读出方案

2.1 有限尺寸体全息光栅

由于在记录体全息光栅时使用的物光束与参考光束的横截面尺寸通常都是有限的,实际记录的体全息光栅具有有限的空间尺寸。如图 1(a)所示,宽度分别为 W_R 和 W_S 的参考光和物光入射到介质中,在其内部干涉形成体光栅,图中阴影部分就是有限尺寸体全息光栅。当宽度为 W_R 的原参考光入射到光栅上时,在原物光的方向将再现出宽度为 W_S 的衍射光。图 1(b)为光栅的读出示意图。

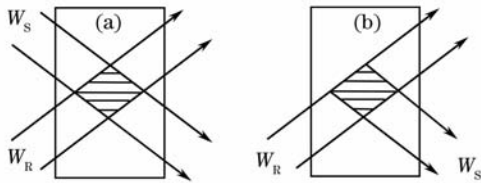


图 1 二维有限尺寸体光栅的形成(a),读出(b)

Fig. 1 Formation (a), readout (b) of 2D restricted volume gratings

为了得到更加精准的结果,研究有限尺寸体全息光栅需要用到二维耦合波理论。二维耦合波理论在描述有限尺寸体全息光栅时用到了一个重要参数——光栅尺寸比,定义为参考光宽度与物光宽度的比值,即 $R_w = W_R : W_S$ ^[13]。光栅尺寸比对体全息光栅的波长选择性有着重要影响,本文正是在讨论光栅尺寸比如何影响波长选择性并通过实验得到更好的波长选择性。

2.2 体全息光栅的透射式记录/正交式读出方案

光折变铌酸锂晶体材料对于短波长的记录光比较敏感,而波分复用器件主要应用于通信用红外中心波长为 1550 nm 的波段。通过对记录材料的光谱透过率响应进行测量,可以看出铌酸锂晶体对于短波长的记录光透过率低,吸收较大,易于记录。而对于红外光尤其是通信用波长 1550 nm 波段有着较高的透过率,吸收较小。相应地,用铌酸锂晶体做

成的基于体全息光栅的波分复用器件对波长为 1550 nm 的红外光的插入损耗也较小。记录材料吸收谱的这一性质,使得当体全息光栅应用于波分复用器件中时,宜采用短波长记录和长波长读出的体全息光栅。

实验中采用的光折变介质是 45°切割的立方块状掺杂铌酸锂晶体,整个实验方案如图 2 所示。将掺杂铌酸锂晶体放在 V 型支架上。记录时,波长相同的物光和参考光沿面 1 的法线对称入射,记录透射式光栅。并且物光参考光和晶体的光轴在同一个平面内,以使光栅矢量方向与光轴方向平行从而获得高的衍射效率。在读出时,信号光波沿面 2 的法线方向入射,衍射光从邻面 3 出射。由于记录光路为透射式,读出时,入射光与衍射光垂直,这种实验方案称为透射式记录/正交式读出方案 (TWOR)。利用该方案,既可以充分利用介质的动态范围,使单个光栅达到最高的衍射效率,又可以通过空间复用级联记录多个光栅,实现多通道的密集波分复用^[13]。

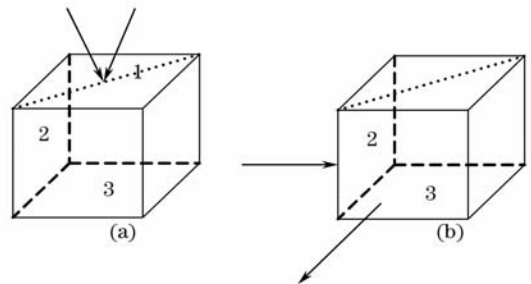


图 2 晶体中单通道光栅记录(a)和读出(b)

Fig. 2 Recording (a) and reading out (b) a volume holographic grating for a single channel in the crystal

3 实验方案的实现及实验结果

3.1 实验方案的实现

如图 3 所示,激光器输出的 532 nm 绿光作为体全息光栅的记录光,通过扩束准直系统(包括空间滤波器 BE 和准直透镜)形成宽平行光束,经过偏振分束棱镜 PBS 将记录光分成光强比近似为 1:1 的两束

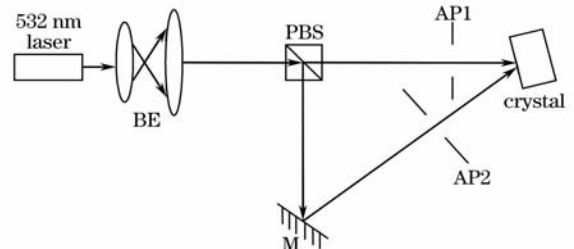


图 3 体全息光栅的记录

Fig. 3 Recording of volume holographic gratings

光,分别作为物光和参考光。透射通过偏振分束棱镜的光作为物光,被偏振分束棱镜反射的光作为参考光,参考光经全反镜 M 反射后与物光成 63.77° 的夹角并与物光在掺杂铌酸锂晶体内部相交形成体全息光栅。其中 AP1 和 AP2 是两个光阑,分别用来限制物光和参考光的宽度,以形成特定光栅尺寸比的体全息光栅。晶体和全反镜都置于精密转台之上,可以通过计算机(PC)控制转台以精确地调节记录角度。

体全息光栅的读出过程如图 4 所示,从通信波段的可调谐激光器发出的激光经过一个准直镜头之后变成近似平行光。该平行光入射到记有光栅的晶体上,根据透射式记录/正交式读出方案的设计,可以用功率计(PM)在与参考光入射方向垂直的方向

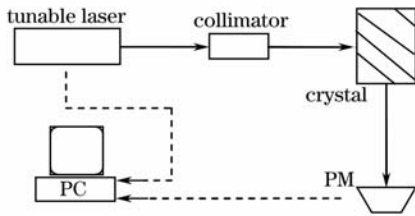


图 4 体全息光栅的读出

Fig. 4 Readout of volume holographic grating

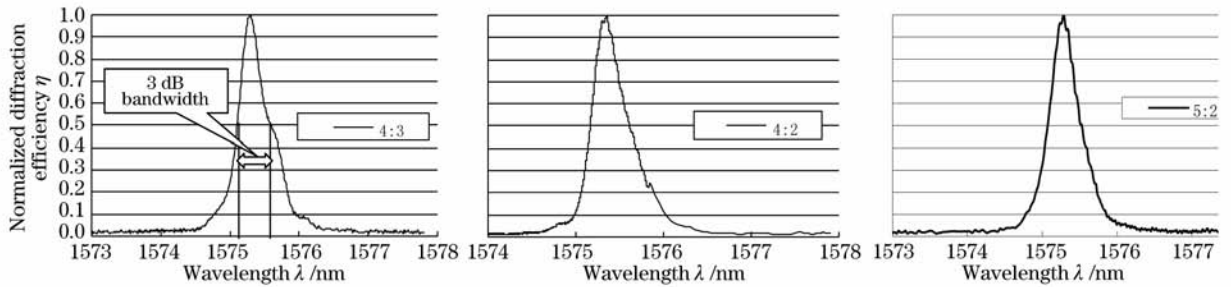


图 5 光栅尺寸比为 4:3, 4:2, 5:2 时对应的波长选择性曲线

Fig. 5 Wavelength selectivity curves corresponding to the grating size ratio of 4:3, 4:2 and 5:2

实验测得,对于光栅尺寸比为 4:3, 4:2 和 5:2 的体全息光栅,其对应的 3 dB 带宽分别为 0.48 nm, 0.45 nm 和 0.43 nm。在用红外光进行正交式读出时,和用记录时的绿光进行原光路读出相比衍射效率下降较多,具体原因尚需要进一步研究。

4 结 论

由上节的实验结果可知,光栅尺寸比为 4:3, 4:2 和 5:2 时对应的波长选择性曲线的 3 dB 带宽分别为 0.48 nm, 0.45 nm 和 0.43 nm。实验结果表明选择合适的光栅尺寸比可以改善体全息光栅波分复用器件的波长选择性,光栅尺寸比较大时可以获得

探测到衍射光。

3.2 实验结果

按照上节的实验方案在掺杂铌酸锂晶体中分三次记录了尺寸比分别为 4:3, 4:2 和 5:2 的体全息光栅,记录时物光和参考光的夹角均为 63.77° 。由该记录角度,利用折射定律和布拉格定律可算出读出时的布拉格波长为 1575.3 nm。读出过程中,光栅尺寸比为 4:3 时,实际布拉格波长为 1575.29 nm;光栅尺寸比为 4:2 时,实际布拉格波长为 1575.35 nm;光栅尺寸比为 5:2 时,实际布拉格波长为 1575.28 nm。可见实际测得的布拉格波长与理论计算的结果基本相符,微小的偏差主要源于记录时物光和参考光的夹角难以做到足够精确。

为研究所记录的三组光栅的波长选择性,通过计算机控制可调谐激光器进行波长扫描。同时测量不同波长对应的衍射光功率,得到波长/功率曲线,再计算得到波长/归一化衍射效率曲线即波长选择性曲线。将波长选择性曲线纵坐标值为 0.5 处对应的两个波长之差定义为 3 dB 带宽,这里用 3 dB 带宽来衡量体全息光栅的波长选择性。

图 5 即为不同光栅尺寸比对应的波长选择性曲线。

较好的波长选择性。并且本次实验得到的最小 3 dB 带宽为 0.43 nm,这优于前期实验得到的 3 dB 带宽 0.5 nm 的结果。光栅尺寸比为 5:2 时,3 dB 带宽为 0.43 nm,已接近密集波分复用的要求。今后需要研究用红外光读出体全息光栅时衍射效率下降的原因。

参 考 文 献

- 1 J. W. An, N. Kim, K. W. Lee. Volume holographic wavelength demultiplexer based on rotation multiplexing in the 90° geometry[J]. *Opt. Commun.*, 2001, **197**(4~6): 247~254
- 2 Duc Dung Do, Nam Kim, Kwon Yeon Lee. Gaussian apodized volume grating for a holographic demultiplexer[C]. *SPIE*, 2006, **6027**: 602728-1~6

- 3 Xiaodan Zheng, Shiquan Tao, Dong Liu *et al.*. Volume holographic wavelength filters based on transmissive-writing and orthogonal-readout scheme[C]. *SPIE*, 2007, **6832**: 683217-1~10
- 4 P. Boffi, M. C. Ubaldi, D. Piccinin *et al.*. 1550-nm volume holography for optical communication devices[J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 2000, **12**(10): 1355~1357
- 5 J. W. An, N. Kim, K. Y. Lee. Volume holographic wavelength demultiplexer based on rotation multiplexer in the 90° geometry [J]. *Opt. Commun.*, 2001, **197**(4~6): 247~254
- 6 I. Nee, O. Beyer, M. Muller *et al.*. Multichannel wavelength division multiplexing with thermally fixed Bragg gratings in photorefractive lithium niobate crystal[J]. *Opt. Soc. Am. B*, 2003, **20**(8): 1593~1602
- 7 A. Sato, M. Scepanovic, R. K. Kostuk. Holographic edge-illuminated polymer Bragg gratings for dense wavelength division optical filters at 1550 nm[J]. *Appl. Opt.*, 2003, **42**(5): 778~784
- 8 Dexing Yang, Haibin Wang, Xiarui Guo *et al.*. Wavelength demultiplexing with layered multiple Bragg gratings in LiNbO₃:Fe crystal[J]. *Appl. Opt.*, 2007, **46**(23): 5604~5607
- 9 Dai Cuixia, Yu Yingjie, Liu Dean *et al.*. Optimization of nonvolatile holographic recording in LiNbO₃:Ce:Cu with green light[J]. *Chinese J. Laser*, 2008, **35**(7): 1045~1049
戴翠霞, 于瀛洁, 刘德安 等. LiNbO₃:Ce:Cu 晶体中绿光非挥发全息记录优化[J]. *中国激光*, 2008, **35**(7): 1045~1049
- 10 Liu Hongmei, Yan Xiaona. Wavelength demultiplexing scheme implemented by single volume grating in photorefractive LiNbO₃ crystal[J]. *Acta Optica Sinica*, 2008, **28**(10): 1893~1897
刘红梅, 阎晓娜. 光折变 LiNbO₃ 晶体中单光栅实现波长解复用方案[J]. *光学学报*, 2008, **28**(10): 1893~1897
- 11 Shiquan Tao, Bo Wang, Dayong Wang. TWOR scheme for holographic wavelength filters[C]. *SPIE*, 2006, **6351**: 63512W1~W8
- 12 Zheng Xiaodan. Experimental Study on Wavelength Division Multiplexing Devices Based on Volume Holographic Grating [D]. Beijing: Beijing University of Technology, 2008. 61~62
郑小丹. 基于体全息光栅的波分复用器件的实验研究[D]. 北京: 北京工业大学, 2008. 61~62
- 13 Wang Bo, Chang Liang, Tao Shiquan. Design optimization of volume holographic gratings for wavelength filters[C]. *SPIE*, 2005, **5636**: 267~276