

文章编号 1004-924X(2003) 05-0453-04

楔块调整式 Talbot 干涉仪的光学设计

李 川¹, 张以谟², 田学飞², 刘铁根², 吴 晟¹

(1. 昆明理工大学 信息工程和自动化学院, 云南 昆明 650051;

2. 天津大学 现代光学仪器研究所 光电信息技术科学教育部重点实验室, 天津 300072)

摘要: 为改变光纤光栅的写入 Bragg 波长, 研制了包括一块相位模板和两块紫外反射平面镜的楔块调整式 Talbot 干涉仪。在写入光纤 Bragg 光栅的过程中, 通过调整两平面镜的反射角度可改变由 ± 1 级衍射光束经两平面镜反射后形成的干涉条纹的周期。最后, 放置在可调谐干涉区的光纤就可刻写成具有不同写入 Bragg 波长的光纤光栅。值得注意的是通过选择不同倾斜角 α 的楔形块, 决定了光纤光栅的写入 Bragg 波长的改变率和干涉条纹棱脊位置的位移率。

关键词: Talbot 干涉仪; 光纤 Bragg 光栅; Bragg 波长; 位移; 紫外反射镜

中图分类号: TH741.13 文献标识码: A

Optical design for wedge adjusted Talbot interferometer

LI Chuan¹, ZHANG Yi Mo², TIAN Xue Fei², LIU Tie Gen², WU Sheng¹

(1. College of Information Engineering and Automation,

Kunming University of Science and Technology, Kunming 650051, China;

2. The Key Laboratory of Optoelectronics Information Science & Technology, EMC,

The Institute of Modern Optics Instrument, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

Abstract: A wedge adjusted Talbot interferometer, which includes one phase mask and two UV-reflected mirrors, has been developed to change the process of writing fiber Bragg grating. The interference fringe period formed by the ± 1 order diffractive beams is changed by adjusting the reflected angles of two mirrors, and the fiber placed in the tuned interference fringe can then be fabricated to the fiber Bragg grating with various inscribed Bragg wavelengths. The changing ratio of the inscribed Bragg wavelengths and the displacement ratio of the diamond bridge of interfering fringe can be defined by selecting the wedges with different tilt angles.

Key words: Talbot interferometer; fiber Bragg grating; Bragg wavelength; displacement; UV reflector

1 引言

由于仅使用一块相位模板, 减少了光纤光栅

写入系统的复杂性, 相位模板法提供了一种可批量生产光纤光栅的有效且稳定的方法。因此, 自 1993 年 K. O. Hill 首次^[1]采用该方法以来, 该方法已广泛应用于光纤 Bragg 光栅的写入^[2]。

收稿日期: 2003-04-17; 修订日期: 2003-07-08.

基金项目: 国家自然科学基金(No. 60077023); 云南省自然科学基金(No. 2002F0004R) 资助项目

然而,相位模板的周期对应于特定的写入 Bragg 波长,且昂贵的相位模板难以批量生产,因此人们又致力于研究可改变光纤光栅 Bragg 波长的方法^[3-6]。在楔块调整式 Talbot 干涉仪^[4]中,相位模板不但作为 ± 1 级衍射光的分束器,还用于预置 Bragg 波长的参考值,这是因为相位模板中的 ± 1 级衍射光的衍射角是由写入光源的波长决定的,可通过移动楔块来改变光纤光栅写入 Bragg 波长。

本文根据文献^[4]提出的楔块调整式 Talbot 干涉仪,给出了实现该仪器的光学设计。

2 楔块调整式 Talbot 干涉仪的设计原理

为了改变光纤光栅的写入 Bragg 波长,设计了一套楔块调整的 Talbot 干涉仪^[4],其光学设计原理如图 1 所示。

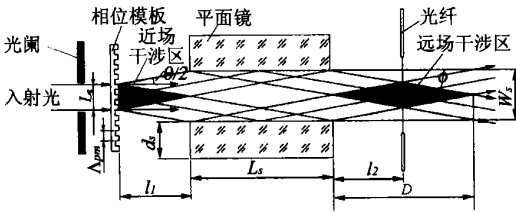


图 1 楔块调整式 Talbot 干涉仪的原理图

Fig. 1 Schematic diagram of the wedge adjusted Talbot interferometer

在图 1 中,从准分子激光器发出的写入光束经相位模板衍射后,在相位模板的近场形成干涉条纹,可用于接触式写入光纤 Bragg 光栅,其写入周期如下^[2]

$$\Lambda = \Lambda_{pm}/2 = \lambda_w/2\sin(\theta/2), \quad (1)$$

其中, $\theta/2$ 是 ± 1 级衍射角。

若在距相位模板 l_1 的位置放置尺寸为 $L_s \times d_s$ 的两个平面反射镜,则 ± 1 级衍射光束经两平面镜的反射后将在距相位模板 $l_1 + L_s + l_2$ 的位置相成菱形的远场干涉条纹,可用于非接触式写入光纤 Bragg 光栅,如图 1 所示,写入周期为^[3-4]

$$\Lambda = \lambda_w/2\sin\varphi, \quad (2)$$

其中, φ 为两干涉光束的交叉半角。

同时,图 1 所示的远场干涉写入法中,可利用的相位模板的长度 L_g 和写入光栅的最大长度 L_f

与平面镜的长度和 ± 1 级衍射角 $\theta/2$ 有关:

$$L_f = L_g = L_s \tan(\theta/2), \quad (3)$$

从图 1 所示的光学系统看,尽管光源的空间相干性在光纤光栅的写入过程中起关键作用,但由于无论是经相位模板衍射,还是再经平面镜反射,写入光束的光路是几何对称的,因此紫外写入光源中低的时间相干性并不影响接触式或非接触式写入能力。在该方案中,平面镜的旋转对改变写入 Bragg 波长的光纤光栅起到了关键性的作用,如图 2 所示。

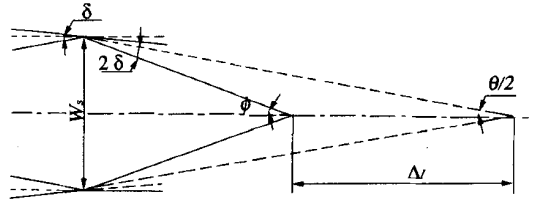


图 2 当平面镜转动的角度为 δ 时,反射光束的方向改变为 2δ ,干涉条纹的棱脊移动了 Δl 距离

Fig. 2 When the mirror is rotated at the angle of δ , the direction variation of beam is at the angle of 2δ , and the diamond bridge of interfering fringe is moved by the distance of Δl

当平面反射镜的角度改变量为 δ 时,根据反射原理,反射光束的方向变化 $\Delta\varphi$ 等于 2δ ,即反射角为 $\theta/2 + 2\delta$ 。因此,替换公式(2)中的 φ 后,写入周期为^[3-4]

$$\lambda_B = \lambda_w/2\sin(\theta/2 + 2\delta), \quad (4)$$

同时,干涉区的棱脊位移量为^[4]

$$\Delta l = M_s [\cot(\theta/2 + 2\delta) - \cot(\theta/2)]/2, \quad (5)$$

3 楔块调整式 Talbot 干涉仪

在图 1 所示的楔块调整式 Talbot 干涉仪中,主要的光学元件包括:一个紫外衍射用相位模板和两个紫外反射平面镜,如图 3 所示。

干涉仪中,图 3 所示相位模板是加拿大 O/E LAND 公司生产的标号(S/N)为 OEPM 1659-1084-52-3 的均匀(Uniform,或称标准,Standard)相位模板,性能指标如下:(1)工作波长:248 nm;(2)50 Hz 时,损伤阈值 > 1 J/cm/pulse;(3)周期(Period):1 084 nm,精度 ± 0.3 nm;(4)光栅尺寸(Grating Size):52 mm \times 3 mm;(5)衍射效率:0 级 $< 9.2\%$, ± 1 级 $> 30\%$ 。

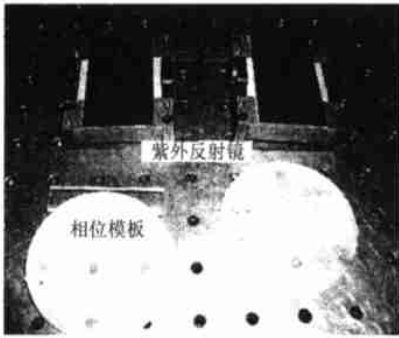


图 3 楔块调整式 Talbot 干涉仪中使用的相位模板和紫外反射镜

Fig.3 Phase mask and UV reflectors of the wedge adjusted Talbot interferometer

在干涉仪中, 图 3 所示的紫外平面反射镜的加工和镀铝^[7]是在北京电影机械研究所按图 4 给出的光学零件图制作的。

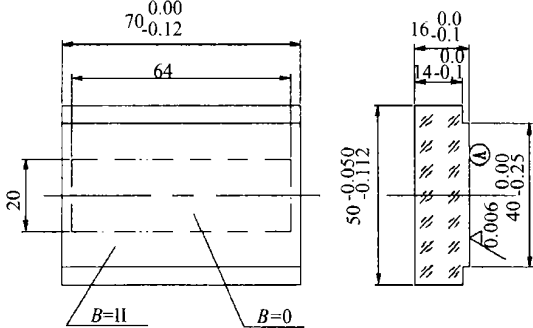


图 4 紫外反射镜的光学零件图

Fig.4 Optics hardware diagram of the UV reflector

在图 4 中, 为保证平面镜在紫外波长范围内干涉, N 必须达到 $1/4$ 个光圈^[8], 即平面镜表面光洁度^[8](国家标准: GB 1031-68, 最高为 14 级)必须达到 $\lambda/4$ 。当入射光波长为 248 nm , 则表面光洁度为 $\nabla 13\text{ c}$ ($50\sim 63\text{ nm}$)。由于高光洁度的要求, 平面镜的最大尺寸 $L_s \sim 60.0\text{ mm}$, 平面镜的厚度 $d_s \sim 12.0\text{ mm}$ (特高精度平面反射镜 $d_s \geq L_s/7 \sim L_s/5$)。

为了实现如图 1 所示的可调谐写入 Bragg 波长的光学系统, 设计并在天津大学精仪厂加工了如图 5 所示的楔块调整式 Talbot 干涉仪, 包括: 相位模板和平面镜两个光学零件, 以及待写入的光纤。楔块调整式 Talbot 干涉仪的机械结构包括七个主要部分: (1) 相位模板组件, 固定相位模板; (2) 平面镜组件, 固定两个紫外干涉型反射平

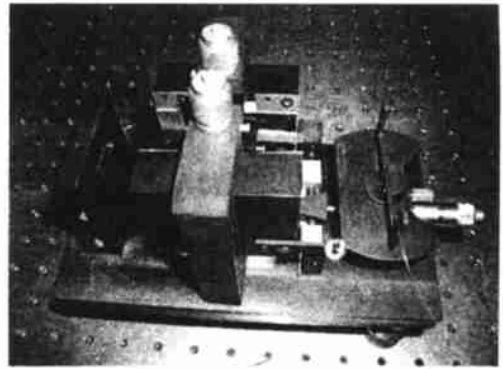


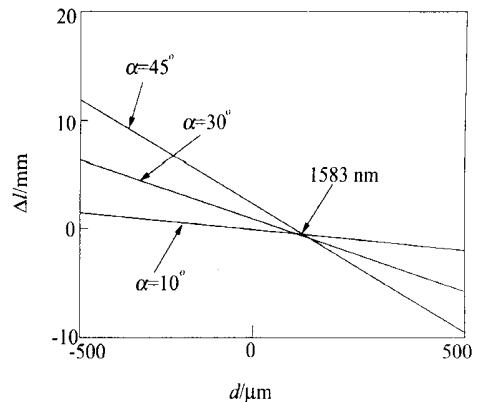
图 5 楔块调整式 Talbot 干涉仪的实例图

Fig.5 Illustration of the wedge adjusted Talbot interferometer



(a) 写入 Bragg 波长与测微计的位移量相关

(a) Bragg wavelength is related to the displacement of micrometer



(b) 干涉区的棱脊位移与测微计的位移量有关

(b) Diamond bridge of the interfering fringe is changed at the displacement of micrometer

图 6 当楔形块的倾斜角为 10° , 30° 和 45° 时, 写入波长、干涉区棱脊位移与测微计位移的关系

Fig.6 When the slope angle of the wedge is 10° , 30° and 45° , the Bragg wavelength and the diamond bridge of the interfering fringe are related to the displacement of micrometer

面镜; (3) 平面镜组件; (4) 楔形块组件, 带动平面镜组件在平面镜支架的轴线上旋转; (5) 光纤支架, 可放置光纤; (6) 测微计组件, 调整楔形块的平动; (7) 底座, 使整个光学系统集成安装在一个机械结构中。

当紫外写入光束采用波长 λ_w 为 284 nm 的 ArF 准分子激光器时, 图 6(a) 表示当楔形块的倾斜角 α 为 10° 、 30° 和 45° 时, Bragg 波长与微测计位移 d 的关系; 图 6(b) 表示最大干涉条纹的径向位置与微测计的位移 d 有关。由于测微计的分辨率为 $10 \mu\text{m}$, 因此选择 $10 \mu\text{m}$ 作为调节单位。当选用不同倾斜角的楔形块, 可构成具有不同写入的 Bragg 波长变化率的调谐器, 例如: 倾斜角 $\alpha = 10^\circ$ 时, 每 $10 \mu\text{m}$ 的平动带来 $\sim 0.5 \text{ nm}$ 的 Bragg 波长变化, 干涉区棱脊位置变化 $\sim 0.022 \text{ mm}$; 当倾斜角 $\alpha = 30^\circ$ 时, 每 $10 \mu\text{m}$ 平动带来 $\sim 1.7 \text{ nm}$ 的 Bragg 波长变化, 干涉区的棱脊位置变化 $\sim 0.073 \text{ mm}$; 当倾斜角为 $\alpha = 45^\circ$ 时, 每 $10 \mu\text{m}$ 的平动带来 $\sim 3.0 \text{ nm}$ 的 Bragg 波长变化, 干涉区的棱脊位置变化 $\sim 0.127 \text{ mm}$ 。

参考文献:

- [1] HILL K O. Bragg gratings fabricated in monomode photosensitive optical fiber by UV exposure through a phase mask[J]. *Applied Physics Letters*, 1993, 62: 1035-1037.
- [2] ZHANG Y M, LI C, LIU T G, *et al.* Phase mask technique and its writing for fiber Bragg grating[J]. *Transactions of Tianjin University*, 2001, 7(4): 214-217.
- [3] DYER P E. Analysis and application of a 0/1 order Talbot interferometer for 193 nm laser grating formation[J]. *Optics Communications*, 1996, 129: 98-108.
- [4] LI C, ZHANG Y M, TIAN X F, *et al.* Study of wedge adjusted Talbot interferometer for writing fiber grating with different inscribed Bragg wavelength[J]. *Optical Engineering (accepted)*
- [5] 郭玉彬, 葛璜. 光纤 Bragg 光栅的研究[J]. *光学精密工程*, 2002, 10(1): 79-83.
GUO Y B, GE H. Fabrication of fiber Bragg grating[J]. *Optics and Precision Engineering*, 2002, 10(1): 79-83.
- [6] 唐炜, 史仪凯. Bragg 光纤传感技术应用研究[J]. *光学精密工程*, 1999, 7(1): 31-38.
TANG W, SHI Y K. Optical fiber Bragg grating sensing technology[J]. *Optics and Precision Engineering*, 1999, 7(1): 31-38.
- [7] 田民波, 刘得令. 薄膜科学与技术手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 1991.
TIAN M B, LIU D L. *Manual of film science and technique* [M]. Beijing: Machine Industry Press, 1991.
- [8] 光学仪器材料手册编写组. 光学仪器材料手册[M]. 北京: 测绘出版社, 1988.
Manual of optics instrument material compiling team. *Manual of optics instrument material* [M]. Beijing: Mapping Press, 1988.

作者简介: 李川(1971-), 男, 四川成都人, 2002年3月毕业于天津大学光学工程专业, 获工学博士学位, 现受聘为昆明理工大学副教授, 光电工程及计算机应用研究所所长, 研究方向为光电检测和光电 CAD 软件, 已发表论文 30 多篇, 其中 SCI 收录 2 篇, EI 收录 10 篇。E-mail: boatrivier@eyou.com

4 结 论

光纤 Bragg 光栅在光通信技术和光传感器技术中有着重要的应用, 在不同波长的通道中需要相应波长的光纤 Bragg 光栅, 必须应用具有不同光栅间距的价格昂贵的相位模板来刻写该波长的光纤 Bragg 光栅。给出了 248 nm 的 KrF 准分子激光器在楔块调整式 Talbot 干涉仪(仅使用了一个均匀相位模板和两个平面镜)中刻写光纤 Bragg 光栅的技术: (1) 近场干涉区的写入技术, 即光纤光栅可由经相位模板衍射的 ± 1 级衍射光束直接写入光纤, (2) 远场干涉区的写入技术, 即 ± 1 级衍射光束经两平面镜反射后再形成干涉写入光纤。在写入过程中, 楔形块将微测计的位移转换为两平面镜的转动, 该转动改变了在写入光纤 Bragg 光栅时两干涉光束的夹角, 因此调整由微测计控制的两平面镜的角度可获得相关的 Bragg 波长, 而选择具有不同倾斜角的楔形块可调整 Bragg 波长的变化率。