

文章编号:1007-2934(2019)01-0062-04

全息光栅的可控制作及表征研究

张 兰, 向文丽*

(楚雄师范学院, 云南 楚雄 675000)

摘 要: 利用激光全息技术, 通过马赫-曾德尔干涉光路制作了三种尺寸可控的一维光栅, 选择了合适的实验参数制作了二维光栅。通过金相显微镜表征分析了一维光栅和二维光栅的显微组织, 并精确测定了其光栅常数。

关 键 词: 全息光栅; 金相显微镜; 光栅常数; 马赫-曾德尔干涉光路

中图分类号: O 4-33

文献标志码: A

DOI: 10.14139/j.cnki.cn22-1228.2019.01.015

光栅是一种重要的分光元件, 又称衍射光栅。光栅在光纤通讯和光计算机技术中用来做分光元件或者耦合元件, 某些激光器用它来做选频元件, 并广泛应用于高科技产品, 例如 VCD、DVD、汽车等^[1]。

按制作方法分类, 光栅可分为机刻光栅、复制光栅、全息光栅等^[2]。全息光栅具有: 改变激光器的波长, 就可以制造出整个光谱区所需要的光栅(即可以制作出任意尺寸的全息光栅); 制造的周期短、效率高; 制造的成本低等优点^[3]。这些优点使得全息光栅发展迅速, 在光栅的研制中独领风骚, 并且全息光栅的应用十分广泛, 因此对全息光栅的研究从未间断过。

根据两束相干平行光产生的机理不同, 制作全息光栅的光路可分为“分振幅法”和“分波面法”^[4]。文献[5-7]主要从理论方面研究了一维全息光栅的制作方法: 阿贝成像原理法^[5]、马赫-曾德尔干涉法^[6]、杨氏双缝干涉法^[7]、菲涅尔双面镜法^[7]等。赵鹏飞利用一般分振幅法制作一维全息光栅并测定氦氖激光的波长^[1]; 李森森运用类似于马赫-曾德尔干涉法从理论上提出了可用二维全息光栅制作自由空间光学时钟分布中的全息光学元件的方法^[8]; 于凤军通过理论对二维光栅衍射图样的特性进行分析^[9]。当前全息光栅的理论研究较为系统和全面, 而全息光栅的实验涉及较少, 由于光栅常数的大小直接关系到光栅的分辨本领, 不同尺寸(光栅常数)的全息光

栅制作具有一定实验价值, 本文通过马赫-曾德尔干涉光路, 制作了三种不同光栅常数的一维全息光栅, 在一维的基础上又制备了二维全息光栅, 利用金相显微镜表征分析所制作光栅表面形貌, 并精确确定其光栅常数。

1 实验原理和实验安排

1.1 制作光栅的实验原理

全息光栅是由激光全息照相法拍摄于感光玻璃板上制成的。从 He-Ne 激光器打出的光经扩束准直后再经分束镜分成两束相干激光, 再经全反镜与分束镜后在全息干板上叠加形成等距直线的干涉条纹, 曝光一次后通过冲洗设备将其洗出来得到一维全息光栅。若曝光一次后将全息干板水平地旋转 90° 后再曝光一次, 才用冲洗设备将其洗出, 得到的就是二维全息光栅。

根据全息光栅方程得:

$$2d\sin\theta = k\lambda \quad k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \quad (1)$$

式中 d 为光栅常数(干涉条纹间距), 2θ 是两束相干光波之间的夹角, λ 为激光波长。

光栅常数的倒数为光栅的空间频率, 即

$$f = \frac{1}{d}。$$

由(1)式可知, 通过改变两束相干光波之间的夹角 2θ 可以得到不同大小和频率的全息光栅, 即当 θ 增大时, 光栅常数 d 减小、频率 f 增大; 当

收稿日期: 2018-09-27

基金项目: 楚雄师范学院科研基金立项项目(2015kyjg008)

* 通讯联系人

θ 减小时,光栅常数 d 增大、频率 f 减小。改变两平面光波间的夹角即可操作频率或光栅常数可控的光栅。本文利用马赫-曾德尔干涉光路,如图 1(原理图)图 2(实物图)所示,只要改变光路中一分束镜的方位角 φ ,从而改变两束相干光波之间的夹角 2θ ,即可改变光栅的光栅常数。一般采用测光栅的光学常数来鉴别制作出来的光栅好坏。

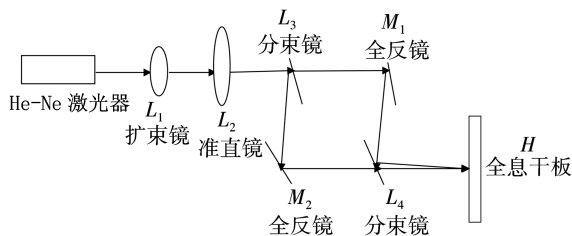


图 1 马赫-曾德尔干涉光路原理图

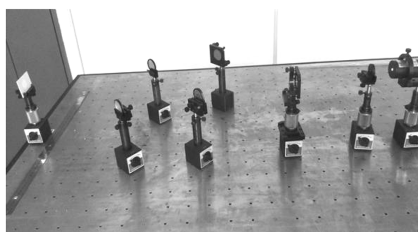


图 2 马赫-曾德尔干涉光路实物图

1.2 实验安排

1.2.1 制作全息光栅

(1) 准备实验仪器

氦氖激光器及电源、扩束镜、准直镜、分束镜(两个)、全反镜(两个)、全息干板、光栅支架、白屏、冲洗设备一套(清水 显影液 定影液吹风机)、磁性光具底座若干、光学平台等。

(2) 调节光路

① 激光与扩束镜的调节

打开 He-Ne 激光器,调节扩束镜上的微调旋钮,使得由扩束镜反射回来的自准直像点刚好进入激光曝光器的小孔^[10]。

② 准直镜的调节

将扩束镜放在准直镜的焦点处。即当你水平移动白屏时,白屏上的光斑大小也不会改变。

③ 分束镜和全反镜的调节

调节分束镜 L_3 , 让其与激光出射的光束成 45° 左右,然后调节全反镜 M_1 和 M_2 使得与激光出射的光束成 45° 左右,并且两个光斑等高等大。最后调节分束镜 L_4 , 使两个光斑在白屏上等高等大并重合。

④ 改变光栅的光栅常数

改变光路中一分束镜的方位角 φ ,从而改变两束相干光波之间的夹角 2θ 从而改变光栅的光栅常数。

1.2.2 拍摄全息光栅

(1) 在暗室中,放置全息干板,静置一会后曝光,曝光时间在 15 s 左右。

(2) 曝光结束后,关掉激光,取下全息干板。

(3) 将全息干板放在显影液中 60 s 左右,取出,然后用清水冲洗。

(4) 再将全息干板放在定影液中 5 min 左右,取出,然后用清水冲洗后吹干,就制成了一维全息光栅。

(5) 在暗室中,放置全息干板,静置一会后曝光一次,挡住激光器将全息干板水平地旋转 90° 后再曝光一次,随后取下全息干板进行显影、水洗、定影、水洗、吹干等处理,就能得到了二维全息光栅。

2 实验结果与分析

改变图 1 光路中一分束镜的方位角 φ ,即可改变两束相干光波之间的夹角 2θ 。当分束镜与激光出射的光束成 45° (φ) 左右时,制得的全息光栅为 2#,方位角 φ 小于 45° 左右制得全息光栅 1#。 φ 大于 45° ,制得全息光栅 3#。选择合适的实验参数,将制得的一维全息光栅后水平地旋转 90° 即可制出二维全息光栅 4#。

2.1 全息光栅衍射图样

用激光器直接照射全息光栅,在其后的白屏上会得到衍射图样。由于光栅至白屏的距离远大于光栅常数,此衍射图样即为夫和费衍射图样,亦即频谱。如果其频谱只有 3 个亮点(0 级和 ± 1 级),则表明此光栅是正弦型的;如果其频谱出现 0 级, ± 1 级, ± 2 级, ± 3 级...级亮点,则表明此光栅非正弦型的。当亮点很多时,就表明该光栅接近矩形光栅。

2.2 金相显微镜表征分析全息光栅

采用金相显微镜获取制得的全息光栅金相显微形貌,从图 4 可看出,光栅条纹间距均匀,1#、2#、3#为明暗相间的干涉条纹即一维光栅,4#为明暗相间的正方格子即二维光栅,1#间距最大,2#间距次之,3#最小。

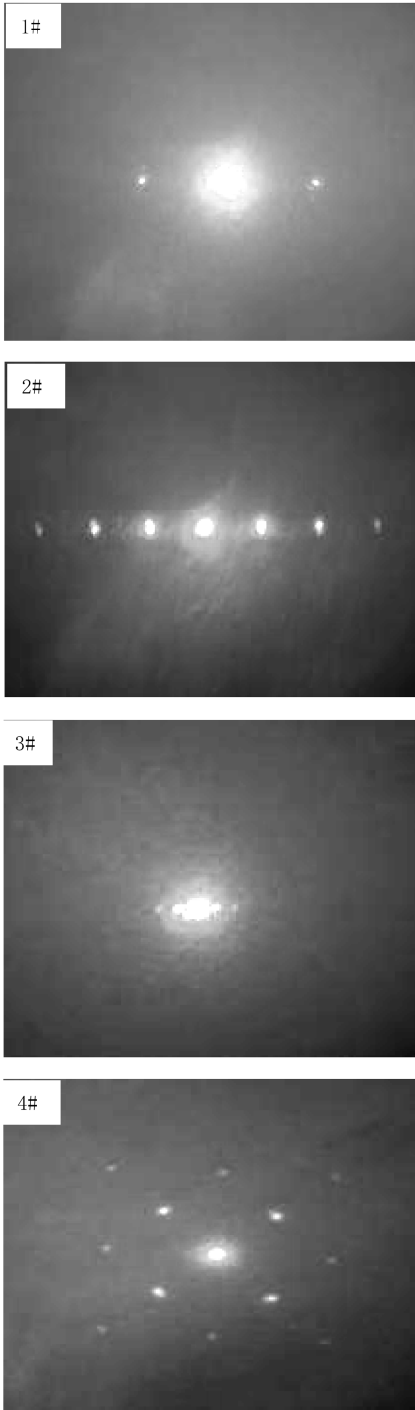


图3 全息光栅衍射图

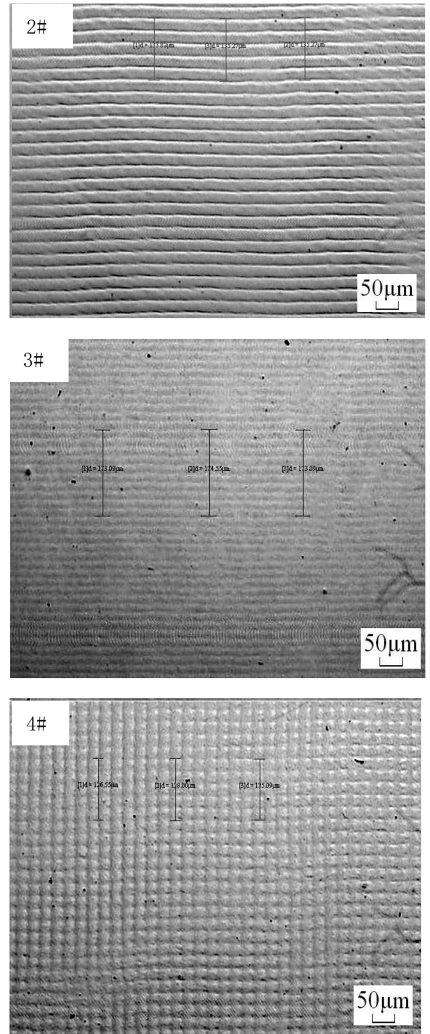
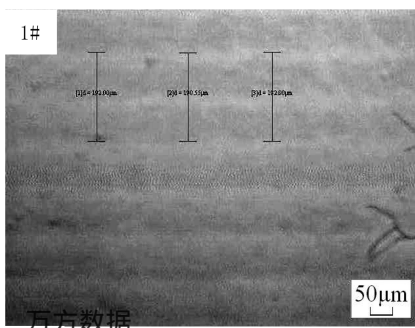


图4 全息光栅金相图

从全息光栅的衍射图(3)和全息光栅金相图(4),得到表1。当 φ 稍小于 45° 时,制得的光栅尺寸最大,光栅常数为 $95.758\ \mu\text{m}$,为一维正弦光栅; φ 为 45° 左右时,制得的光栅尺寸居于中间,为 $26.957\ \mu\text{m}$,为一维矩形光栅; φ 稍大于 45° 时,制得的光栅尺寸最小,为 $17.358\ \mu\text{m}$,为一维矩形光栅。当 φ 为 45° 左右时,制得的全息光栅尺寸适中,便于观察,因此以 φ 为 45° 左右为实验参数,旋转光栅分别曝光两次制得二维全息光栅4#,为 $25.310\ \mu\text{m}$ 。

表1 实验数据

	$\bar{d}/\mu\text{m}$	光栅类型	实验参数
1#	95.758	正弦光栅(一维)	φ 稍小于 45°
2#	26.957	矩形光栅(一维)	φ 为 45° 左右
3#	17.358	矩形光栅(一维)	φ 稍大于 45°
4#	25.310	矩形光栅(二维)	φ 为 45° 左右

3 实验中应注意的问题

实验中,在激光照射样品期间,应保持实验平台防震,因为只要微小的震动,就会造成干涉图样的模糊,所以在曝光过程中应该保持安静。除偏振的调节是实验成败的关键外,另一些成功的关键是曝光时间和显影、定影时间。曝光时间太短或显影、定影时间太短,则不足感光。曝光时间太长或显影、定影时间太长,则容易致使干涉光强对比度不好,看不到周期结构。因为曝光时间和显影、定影时间并不是一成不变的,它与曝光强度、光源的频率、全息干板的敏感程度以及制作全息干板的环境都有关系,所以它需要在实验中多次实验,从而得到适合的曝光时间以及显影时间和定影时间。

4 结束语

本文利用马赫-曾德尔干涉光路成功制作了三种不同光栅常数的一维光栅,在一维光栅的基础上制作了二维光栅,由于马赫-曾德尔干涉光路对称,容易排布,光程差很小,干涉效果好,并且实验过程关注细节,显影定影时间参数选择合适等因素,制得的全息光栅尺寸均匀,间距相等,质量较好;通过控制分束镜的方位角即可改变两束相干光之间的角度并制得尺寸(即光栅常数)可控的一维光栅,同理旋转光栅分别曝光两次仍可制得尺寸可控的二维全息光栅,本文以 φ 为 45° 左右时,旋转光栅分别曝光两次制得 $25.310\ \mu\text{m}$ 的二维全息光栅;利用金相显微镜不仅可以清晰地

观察所制光栅表面形貌,还可精确地测量其光栅常数。不同尺寸的一维光栅和二维光栅实验在生产领域具有一定的应用价值和参考意义。

参考文献:

- [1] 赵鹏飞,邱大庸.制作全息光栅与测定氦氛激光波长[J].中山大学学报论丛,2002,(1):213-215.
- [2] 刘莉.光栅应用发展现状[J].长沙大学学报,2009(5):23-27.
- [3] 类成新.高质量全息光栅实验系统研究[J].大学物理,2008(8):35-37.
- [4] 刘香菇,陈庆东,李立本.全息光栅制作光路的比较研究[J].大学物理实验,2008(1):20-22.
- [5] 王翠,刘香菇,石发旺.利用阿贝成像原理制作全息光栅的理论分析[J].河南科技大学学报(自然科学版),2006(2):94-95.
- [6] 何建瑜,赵荣涛,竺江峰.新马赫-曾特尔全息光路图制作高频全息光栅[J].大学物理实验,2011(6):9-11.
- [7] 刘香菇,巩晓阳,郝世明,等.“分波面法”制作全息光栅的两种新光路[J].中国科教创新导刊,2008(5):206.
- [8] 李森森,张向苏,刘守,等.用二维全息光栅制作光学时钟分布中的全息光学元件[J].厦门大学学报(自然科学版),2004(6):786-788.
- [9] 于凤军.二维光栅衍射图样的特性分析[J].大学物理,2016(8):32-35.
- [10] 何建瑜,赵荣涛,竺哲欣,等.全息光栅制作新发现[J].大学物理实验,2011(3):47-50.
- [11] 田红梅,滕坚,杨伟斌.超低频全息光栅的制作与频率选控[J].西安邮电学院学报,2009(3):123-127.

Study on the Controllable Fabrication and Characterization of Holographic Grating

ZHANG Lan, XIANG Wenli*

(Chuxiong Normal University, Yunnan Chuxiong 675000)

Abstract: Using technology of laser holography, three kinds of controllable size one-dimensional grating were fabricated through Mach-Zehnder interference optical path, and two-dimensional grating was fabricated by choosing suitable experimental parameters. The microstructure of the grating was characterized by metallographic microscope, and the grating constant was determined accurately by metallographic microscope.

Key words: grating; metallographic microscope; grating constant; Mach-Zehnder interference optical path