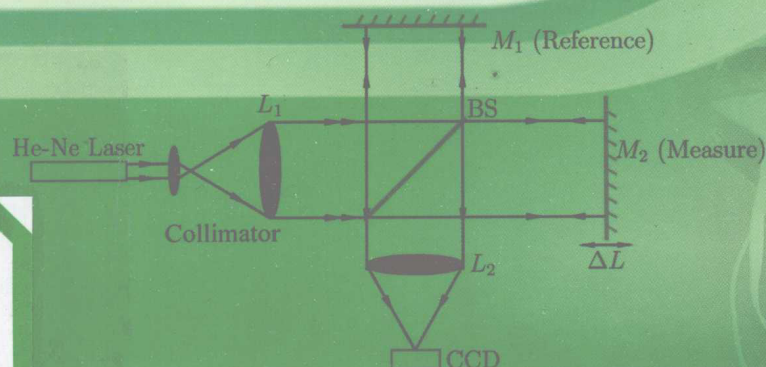


# 光信息实验技术

丁卫强 主编



哈尔滨工业大学出版社  
HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

# 光信息实验技术

主编 丁卫强

编者 杨昆 张学如 阵历学

哈尔滨工业大学出版社

## 内 容 简 介

本书从三个方面概括了光信息科学与技术专业实验的主要内容。第一部分内容为光学信息处理,包括光学干涉测量/数字干涉测量、衍射测量、透镜系统的傅里叶变换/滤波/逆变换以及彩色编码与解码等实验,这些实验涵盖了近代光学信息处理以及精密光学测量的重要内容。第二部分介绍了光通信技术的各个主要环节,包括半导体激光器、耦合器等常用有源/无源器件的特性测量,光纤色散、损耗、截止波长等光纤基本特性的测量与分析,电光调制、声光调制等常用调制技术,光纤的波分复用技术,掺铒光纤放大与拉曼放大等全光放大技术以及光纤光栅激光器/传感器等实验内容;第三部分介绍了激光器的结构组成、工作原理以及调  $Q$  技术等内容,包括主动与被动调  $Q$  技术、倍频、模式分析与选择等实验。

### 图书在版编目(CIP)数据

光信息实验技术/丁卫强主编. —哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2010.5  
ISBN 978-7-5603-3021-1

I. ①光… II. ①丁… III. ①信息光学-实验  
IV. ①O438-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 078573 号

策划编辑 杨 桦  
责任编辑 范业婷  
封面设计 卞秉利  
出版发行 哈尔滨工业大学出版社  
社 址 哈尔滨市南岗区复华四道街 10 号 邮编 150006  
传 真 0451 - 86414749  
网 址 <http://hitpress.hit.edu.cn>  
印 刷 黑龙江省地质测绘印制中心印刷厂  
开 本 787mm×1092mm 1/16 印张 11.5 字数 266 千字  
版 次 2010 年 5 月第 1 版 2010 年 5 月第 1 次印刷  
书 号 ISBN 978-7-5603-3021-1  
定 价 28.00 元

---

(如因印装质量问题影响阅读,我社负责调换)

# 前 言

光信息科学与技术是哈尔滨工业大学物理系的传统优势学科,而重视专业实验教学是本学科的优良传统。经过多年的建设和不断实践与创新,实验课程早已走上正轨,并且深受学生的喜爱。作者为了与更多的同行学者分享和交流经验,共同提高国内光信息科学与技术专业实验的教学水平,在哈尔滨工业大学物理系《光信息科学与技术专业实验》课程讲义的基础上编写了本书。

近些年来,光信息科学与技术不论是在理论上还是工程应用上,都取得了迅猛发展。这些发展对光信息科学与技术的实验教学提出了新的要求和挑战。面对这一迅速发展的领域,企图在一本书中包含光信息科学与技术的全部内容是不切实际的。因此本书结合该领域近期的发展及作者的教学科研实际情况,精选出 20 个具有代表性的实验,力求用最短的篇幅和最少的实验数量,涵盖光信息科学与技术最主要的方面。

本书内容从三个方面概括了光信息科学与技术专业实验的主要内容。本书的第一部分为光学信息处理部分,包括光学干涉测量/数字干涉测量、衍射测量、透镜系统的傅里叶变换/滤波/逆变换及彩色编码与解码等实验。这些实验涵盖了近代光学信息处理以及精密光学测量的重要内容。教学经验表明,学生对这部分实验原理的理解不存在太大的难度;然而一旦与实际情况相结合,在利用已知的理论去解决实际问题方面,存在较大问题。这部分实验的选择与编排,全面系统地训练了学生利用所学理论知识,解决实际问题的能力;同时加深了对理论知识的理解深度。在实验光路的调节与搭建过程中,全面训练了学生的动手能力以及分析解决问题能力。本书的第二部分内容涵盖光通信技术的各个环节,包括半导体激光器、探测器、耦合器等常用有源/无源器件的特性测量;光纤色散、损耗、截止波长等光纤基本特性的测量与分析;电光调制、声光调制等常用调制技术;光纤的波分复用技术;掺铒光纤放大与拉曼放大等全光放大技术;以及光纤光栅激光器/传感器等实验内容。这些实验的选择与编排,让学生循序渐进地了解现代光纤通信技术中的主要构成环节及其中的工作原理。了解各个器件的实现方法,以及目前这些技术的发展状况。光纤通信领域包括了很多学科的交叉,同时整个系统又分为很多不同的层面,而本书所精选的实验则突出了光信息科学与技术专业的特色与优势,同时兼顾对系统的整体把握与理解,对学生以后的工作,以及进一步深入研究都具有重要意义。本书的第三部分内容涵盖了激光(器)物理中的结构组成、工作原理,以及调  $Q$  技术等内容;包括主动与被动调  $Q$  技术实验、倍频实验、模式分析与选择等实验。能够使学生对气体、固体以及半导体激光器的工作原理、激光器的具体结构、调节方法等最基本的知识和内容有全面而系统的掌握。我们的理论教学实践表明,学生对激光谐振腔以及其中模式等内容的深刻理解与掌握存在一定的困难,通过这部分实验的操作,大大加深了对这些较为抽象知识的理解,取得了良好的教学效果。

本书中所开设的实验项目,借助了多个不同的实验系统,以及多种作者自行设计的系

统与辅助设备;主要包括浙江大学生产的 CSY-10L 型激光多功能光电测试仪,上海采慧电子公司的 CA9005 型信息光电子综合实验系统,北京时代卓易科技发展有限公司的 Turbolite 固体激光器系统。本书的编写过程中,在仪器操作、注意事项等环节中参考了这些仪器说明书中的相关内容,在实验编排上也参考了这些仪器设备的使用指导手册,并得到了相关人员的支持,在此表示衷心的感谢。实验课与理论课的最大差别在于实验课程的开设必须借助于特定的实验系统。不同的实验系统,其操作过程、注意事项、尤其是仪器的具体操作都不尽相同。因此,对采用不同实验系统的老师和学生,本书所述实验操作未必适用,但仍然可以作为有意义的参考资料。

本书在试用以及编写期间,得到了广大学生的积极反馈,正是在他们众多积极的意见和建议下,本书才得以顺利完稿。本书在出版过程中,得到了领导和同事的大力支持和帮助,在此一并致谢。

近年来的光信息科学与技术领域发展迅猛,日新月异,新的理论、概念和技术不断涌现,由于水平有限加之时间紧迫,书中难免出现疏漏和不准确之处,恳请各位读者批评指正。

编 者

2010 年 1 月于哈工大主校区

# 目 录

|                           |    |
|---------------------------|----|
| 实验 1 数字干涉测量原理及应用 .....    | 1  |
| 实验目的 .....                | 1  |
| 实验原理 .....                | 1  |
| 实验内容与操作步骤 .....           | 5  |
| 思考题 .....                 | 7  |
| 实验 2 光学衍射测量 .....         | 8  |
| 实验目的 .....                | 8  |
| 实验原理 .....                | 8  |
| 实验内容与操作步骤 .....           | 11 |
| 思考题 .....                 | 13 |
| 实验 3 光学傅里叶变换与滤波 .....     | 14 |
| 实验目的 .....                | 14 |
| 实验原理 .....                | 14 |
| 实验内容与操作步骤 .....           | 18 |
| 思考题 .....                 | 20 |
| 实验 4 彩色编码与解码实验 .....      | 21 |
| 实验目的 .....                | 21 |
| 实验原理 .....                | 21 |
| 实验内容与操作步骤 .....           | 26 |
| 思考题 .....                 | 27 |
| 实验 5 光学系统的调制传递函数测量 .....  | 28 |
| 实验目的 .....                | 28 |
| 实验原理 .....                | 28 |
| 实验内容与操作步骤 .....           | 34 |
| 思考题 .....                 | 35 |
| 实验 6 半导体激光器与探测器特性测量 ..... | 36 |
| 实验目的 .....                | 36 |
| 实验原理 .....                | 36 |
| 实验内容与操作步骤 .....           | 44 |
| 思考题 .....                 | 45 |
| 注意事项 .....                | 45 |
| 实验 7 光纤无源器件特性测量 .....     | 46 |
| 实验目的 .....                | 46 |

|                               |    |
|-------------------------------|----|
| 实验原理 .....                    | 46 |
| 实验内容与操作步骤 .....               | 51 |
| 思考题 .....                     | 53 |
| <b>实验 8 光纤波分复用技术</b> .....    | 54 |
| 实验目的 .....                    | 54 |
| 实验原理 .....                    | 54 |
| 实验内容与操作步骤 .....               | 60 |
| 思考题 .....                     | 61 |
| 注意事项 .....                    | 61 |
| <b>实验 9 光纤损耗与截止波长测量</b> ..... | 63 |
| 实验目的 .....                    | 63 |
| 实验原理 .....                    | 63 |
| 实验内容与操作步骤 .....               | 66 |
| 思考题 .....                     | 67 |
| 注意事项 .....                    | 67 |
| <b>实验 10 光纤色散测量</b> .....     | 68 |
| 实验目的 .....                    | 68 |
| 实验原理 .....                    | 68 |
| 实验内容与操作步骤 .....               | 71 |
| 思考题 .....                     | 72 |
| 注意事项 .....                    | 72 |
| <b>实验 11 掺铒光纤放大特性测量</b> ..... | 73 |
| 实验目的 .....                    | 73 |
| 实验原理 .....                    | 73 |
| 实验内容与操作步骤 .....               | 76 |
| 思考题 .....                     | 78 |
| 注意事项 .....                    | 78 |
| <b>实验 12 光纤拉曼放大特性测量</b> ..... | 79 |
| 实验目的 .....                    | 79 |
| 实验原理 .....                    | 79 |
| 实验内容与操作步骤 .....               | 82 |
| 思考题 .....                     | 83 |
| 注意事项 .....                    | 84 |
| <b>实验 13 光纤光栅器件测量</b> .....   | 85 |
| 实验目的 .....                    | 85 |
| 实验原理 .....                    | 85 |
| 实验内容与操作步骤 .....               | 88 |
| 思考题 .....                     | 90 |

|                                             |     |
|---------------------------------------------|-----|
| 注意事项 .....                                  | 90  |
| <b>实验 14 半导体激光器模式测量</b> .....               | 91  |
| 实验目的 .....                                  | 91  |
| 实验原理 .....                                  | 91  |
| 实验内容与操作步骤 .....                             | 97  |
| 思考题 .....                                   | 98  |
| <b>实验 15 电光调制</b> .....                     | 99  |
| 实验目的 .....                                  | 99  |
| 实验原理 .....                                  | 99  |
| 实验内容与操作步骤 .....                             | 104 |
| 思考题 .....                                   | 105 |
| <b>实验 16 声光调制</b> .....                     | 106 |
| 实验目的 .....                                  | 106 |
| 实验原理 .....                                  | 106 |
| 实验内容与操作步骤 .....                             | 110 |
| 思考题 .....                                   | 111 |
| <b>实验 17 YAG 激光器的装调</b> .....               | 112 |
| 实验目的 .....                                  | 112 |
| 实验原理 .....                                  | 112 |
| 实验内容与操作步骤 .....                             | 116 |
| 思考题 .....                                   | 118 |
| 注意事项 .....                                  | 118 |
| <b>实验 18 YAG 激光器的调 <math>Q</math></b> ..... | 119 |
| 实验目的 .....                                  | 119 |
| 实验原理 .....                                  | 119 |
| 实验内容与操作步骤 .....                             | 125 |
| 思考题 .....                                   | 126 |
| 注意事项 .....                                  | 126 |
| <b>实验 19 YAG 激光器的倍频</b> .....               | 127 |
| 实验目的 .....                                  | 127 |
| 实验原理 .....                                  | 127 |
| 实验内容与操作步骤 .....                             | 131 |
| 思考题 .....                                   | 133 |
| 注意事项 .....                                  | 133 |
| <b>实验 20 激光腔的模式选择</b> .....                 | 134 |
| 实验目的 .....                                  | 134 |
| 实验原理 .....                                  | 134 |
| 实验内容与操作步骤 .....                             | 139 |

|                                  |     |
|----------------------------------|-----|
| 思考题 .....                        | 141 |
| 附录 .....                         | 142 |
| 附录 1 光信息专业相关规定 .....             | 142 |
| 附录 2 CSY - 10L 型激光多功能光电测试仪 ..... | 148 |
| 附录 3 CA9005 型信息光电子综合实验系统 .....   | 156 |
| 附录 4 光栅光谱仪的原理和使用 .....           | 169 |
| 参考文献 .....                       | 176 |

# 实验 1

## 数字干涉测量原理及应用

### 实验目的

- (1) 掌握精密位移的光学干涉测量方法。
- (2) 了解激光数字干涉技术的原理、特点以及测量方法。
- (3) 利用数字干涉测量技术完成一些实际测量。

### 实验原理

#### 1. 普通干涉测量技术

光学干涉测量实验采用泰曼 - 格林 (Twyman - Green, 简称 T - G) 干涉系统, T - G 干涉系统是著名的迈克尔逊白光干涉仪的简化系统。通常用激光作为光源, 可获得清晰、明亮的干涉条纹, 其原理如图 1.1 所示<sup>[1-5]</sup>。

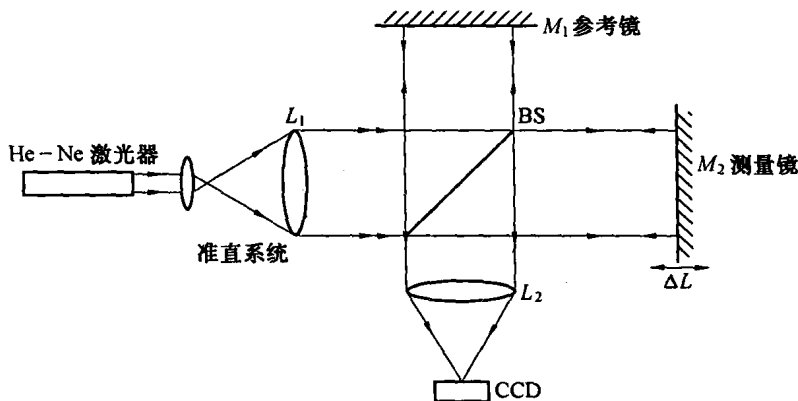


图 1.1 T - G 干涉系统原理图

激光通过扩束准直系统  $L_1$  (通常为透镜组) 提供入射的平面光波 (平行光束)。设光轴方向为  $z$  轴, 则此平面波可表示为

$$U = A \exp(ikz) \quad (1.1)$$

式中,  $A$  为平面波的振幅;  $k$  为波数,  $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ ;  $\lambda$  为激光波长。

此平面波经半反分束镜 BS(Beam splitter) 分为两束,一束经参考镜  $M_1$  反射后成为参考光束,其复振幅  $U_R$  可表示为

$$U_R = A_R \exp[i\Phi_R(z_R)] \quad (1.2)$$

式中,  $A_R$  为参考光束的振幅;  $\Phi_R(z_R)$  为参考光束的位相,它由参考光程  $z_R$  决定。

另一束为透射光,经测量镜  $M_2$  反射,其复振幅  $U_T$  可表示为

$$U_T = A_T \exp[i\Phi_T(z_T)] \quad (1.3)$$

式中,  $A_T$  为测量光束的振幅;  $\Phi_T(z_T)$  为测量光束的位相,它由测量光程  $z_T$  决定。

此两束光在分束镜 BS 上相遇,由于激光的相干性,因而产生干涉条纹。干涉条纹的光强  $I(x, y)$  为

$$I(x, y) = U \cdot U^* = (U_T + U_R) \cdot (U_T^* + U_R^*) \quad (1.4)$$

式中,  $U = U_T + U_R$ , 而  $U^*$ ,  $U_R^*$ ,  $U_T^*$  分别为  $U$ ,  $U_R$ ,  $U_T$  的共轭波。

当反射镜  $M_1$  与  $M_2$  彼此间有一交角  $2\theta$  时,将式(1.2)和式(1.3)代入式(1.4);当  $\theta$  较小时,即有  $\sin \theta \sim \theta$ ,经简化可求得干涉条纹的光强为

$$I(x, y) = 2I_0[1 + \cos 2kl\theta] \quad (1.5)$$

式中,  $I_0$  为激光光强;  $l$  为光程差,  $l = Z_R - Z_T$ 。

式(1.5)说明干涉条纹由  $l$  及  $\theta$  来调制。当  $\theta$  为一常数时,干涉条纹的光强如图 1.2 所示。当测量在大气中进行,且干涉臂光程不大时,略去大气的影响,则

$$l = N \frac{\lambda}{2} \quad (1.6)$$

式中,  $N$  为干涉条纹数。

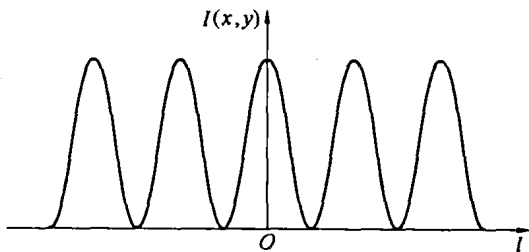


图 1.2 干涉测量过程中的条纹分布情况

因此,记录干涉条纹移动数,已知激光波长,由式(1.6)即可测量反射镜的位移量或反射镜的轴向变动量  $\Delta l$ 。由图 1.1 可知,定位在 BS 面上或无穷远上的干涉条纹由成像物镜  $L_2$  将条纹成在探测器上,实现测量和干涉条纹的计数。有关干涉测量更详细的讨论,请参考文献[1]。

由上述分析可以得出该方法的测量灵敏度。当  $N = 1$  时,(以 He - Ne 激光器为例,其波长为 632.5 nm)  $\Delta l \approx 0.3 \mu\text{m}$ 。如果细分  $N$ (通常,人眼能够分辨出小于 0.3 个条纹的移动量,而程序判断能达到更高的精度),一般以 1/10 细分为例,则干涉测量的最高灵敏度为  $\Delta l = 0.03 \mu\text{m}$ 。

## 2. 数字干涉测量技术

随着电子技术与计算机技术的迅速发展及其与传统的干涉检测方法的结合,产生了一种新的位相检测技术——数字干涉测量技术,这是一种位相的实时检测技术<sup>[1-3]</sup>,这种方法不仅能实现干涉条纹的实时提取,而且可以利用波面数据的存储功能消除干涉仪系统误差,消除(或降低)大气扰动及随机噪声的影响,使干涉技术达到 $\frac{\lambda}{100}$ 精度的测量,这是目前测量精度最高的近代干涉测量方法,其原理如图1.3所示。

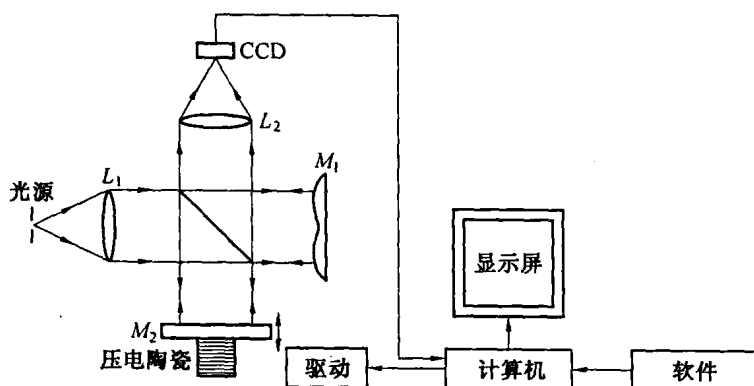


图 1.3 数字干涉系统结构示意图

图1.3中的实验系统仍采用T-G干涉仪,但参考镜 $M_2$ 由压电陶瓷PZT(Piezoelectric Pottery)驱动产生位移。此位移的频率与移动量由计算机控制。设参考镜的瞬时位移为 $l_i$ ,被测表面的形貌(面形)为 $w(x, y)$ ,则参考光路和测试光路可分别表示为

$$\left. \begin{aligned} U_R &= a \exp[i2k(s + l_i)] \\ U_T &= b \exp[i2k[s + w(x, y)]] \end{aligned} \right\} \quad (1.7)$$

式中, $a, b$ 为光场振幅常数。参考光与测试光相干产生干涉条纹,由式(1.7)可得其瞬时光强为

$$I(x, y, l_i) = 1 + r \cos\{2k[w(x, y) - l_i]\} \quad (1.8)$$

式中, $r = \frac{2ab}{a^2 + b^2}$ 是干涉条纹的对比度。

式(1.8)说明干涉场中任意一点的光强都是 $l_i$ 的余弦函数。由于 $l_i$ 随时间变化,因此式(1.8)的光强是一个时间周期函数,可用傅里叶级数展开。设 $r = 1$ ,则

$$I(x, y, l_i) = a_0 + a_1 \cos 2kl_i + b_1 \sin 2kl_i + \cdots \quad (1.9)$$

式中, $a_0 = a^2 + b^2$ ,  $a_1 = 2ab \cos[2kw(x, y)]$ ,  $b_1 = 2ab \sin[2kw(x, y)]$ 。

由三角函数的正交性,可求出傅里叶级数的各个系数,即

$$\left. \begin{aligned} a_0 &= \frac{2}{n} \sum_{i=1}^n I(x, y, l_i) \\ a_1 &= \frac{2}{n} I(x, y, l_i) \cos 2kl_i \\ b_1 &= \frac{2}{n} I(x, y, l_i) \sin 2kl_i \end{aligned} \right\} \quad (1.10)$$

从而求得被测波面为

$$w(x, y) = \frac{1}{2k} \arctan \frac{\frac{2}{n} \sum_{i=1}^n I(x, y, l_i) \sin 2kl_i}{\frac{2}{n} \sum_{i=1}^n I(x, y, l_i) \cos 2kl_i} \quad (1.11)$$

式中,  $l_i = \frac{\lambda i}{2n}$ ,  $i = 1, 2, 3, \dots$ 。

为进一步降低噪声, 提高测量精度, 可用  $p$  个周期进行驱动扫描, 测量数据作累加平均, 即

$$w(x, y) = \frac{1}{2k} \arctan \frac{\frac{2}{n} \sum_{i=1}^{n \times p} I(x, y, l_i) \sin 2kl_i}{\frac{2}{n} \sum_{i=1}^{n \times p} I(x, y, l_i) \cos 2kl_i} \quad (1.12)$$

式(1.12)说明孔径内任意一点的位相可由该点上的  $n \times p$  个光强的采样值计算出来, 因此, 可获得整个孔径上的位相。利用该方法及计算机自动处理功能, 除了能够实现自动检测外, 还可以测定被测件的三维形貌。

### 3. 三维形貌的数字干涉测量及评价

采用上述的数字干涉测量原理可以实现形貌的三维测量。高精度光学零部件的形貌精度可用下列两个评价指标描述, 如图 1.4 所示。其中参数的意义为:

- ①PV 值是表面形貌的最大峰谷值之差。
- ②RMS 值是表面形貌的均方根值, 其定义为

$$\text{RMS} = \sqrt{\frac{\sum v_i^2}{N-1}}$$

式中,  $v_i = x_i - T$ ,  $x_i$  为单次测值,  $T = \frac{\sum x_i}{N}$  为  $N$  次测量的平均值;  $N$  为重复测定次数。

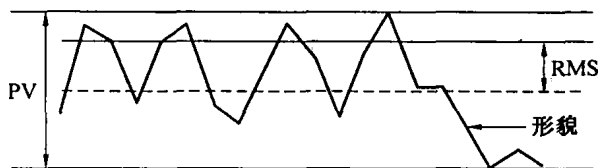


图 1.4 光学表面精度的评价参数示意图

## 实验内容与操作步骤

本实验的基本内容是掌握数字干涉测量的基本原理和操作方法。要求搭建正确的光路,首先用“数条纹”的方法进行普通的光学干涉测量,测量较大的位移。然后进行数字干涉测量,对比两种方法的特点,掌握测量方法,加深对数字干涉测量原理的理解。最后测量并评价被测光学系统三维形貌。

### 1. 实验光路

本实验所用光路如图 1.5 所示。

#### 【光线传播路径】

激光器 1 发出的激光经衰减器 2(用于调节激光强度)后由两个定向小孔 3,5 引导,经反射镜 6,7 后进入扩束准直物镜 8,10(即图 1.1 中的  $L_1$ ),由分光镜 14(即图 1.1 中 BS)分成二束光,分别由工作台 16,18 中的反射镜(即图 1.1 中的  $M_1, M_2$ )反射形成干涉条纹,并经成像物镜 20(即图 1.1 中  $L_2$ )将条纹成于 CMOS23(即图 1.1 的 CCD)上,这样在计算机屏上就可看到干涉条纹。

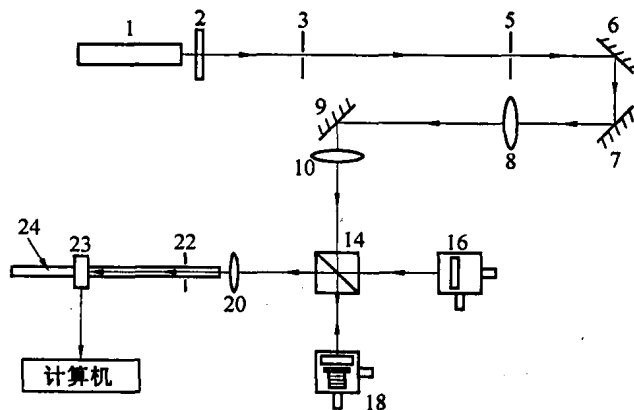


图 1.5 实验光路

#### 【仪器操作】

在进行所有实验之前,本套实验设备都必须进行如下实验操作步骤:

- (1) 开机,激光器 1 迅速起辉,等待光强稳定。
- (2) 打开 PZT 驱动电源开关。
- (3) 检查 CMOS23 上信号灯亮否。
- (4) 针对不同实验要求,分别进行其他不同的操作步骤。

### 2. 干涉位移测量

这一部分实验内容是普通干涉测量,实验操作步骤如下:

- (1) 首先将扩束系统装入。
- (2) 在组合工作台 16,18 上分别装平面反射镜,调节工作台 16,18 上调平调向测微器,

使两路反射光较好重合(在成像物镜 20 后焦面上,两反射光会聚的焦斑重合)。

(3) 打开计算机,然后微调工作台上的测微器,在显示屏上看见干涉条纹。

(4) 调整 CMOS23 在轨道上的位置,使干涉条纹清晰,锁定 CMOS23。

(5) 调节可调光阑 22 的孔径位置,滤除分光镜寄生干涉光。

(6) 测量程序操作参见软件操作说明书。

(7) 将实验结果记录在表 1.1 中。表格中的驱动位移量系压电陶瓷在电压驱动下的位移量,通常可以由公式  $\Delta x = c_1 U + c_2 U^2 + c_3 U^3$  近似给出;其中  $\Delta x$  为驱动位移量,  $U$  为所加电压,而  $c_1, c_2, c_3$  为与具体机构和特性相关的系数。本仪器使用的 PZT 晶体,  $c_1 = 3.657 \text{ nm/V}$ ,  $c_2 = 0.003 \text{ nm/V}^2$ ,  $c_3 = 0 \text{ nm/V}^3$ 。

表 1.1 精密位移测量实验结果记录(其中  $\lambda = 632.8 \text{ nm}$ )

| 序号 | 驱动位移量( $L$ ) | 条纹数( $N$ ) | 测量位移 $N \frac{\lambda}{2}$ | 相对误差 |
|----|--------------|------------|----------------------------|------|
| 1  |              |            |                            |      |
| 2  |              |            |                            |      |
| 3  |              |            |                            |      |
| 4  |              |            |                            |      |

### 3. 数字干涉测量技术

数字干涉测量技术的基本操作步骤与干涉位移测量类似,但是根据程序的计算方法,要求条纹为竖直分布(此时的计算精度最高)。具体步骤如下:

(1) 装入扩束系统。

(2) 调节工作台 18 上的测微螺杆并启动压电晶体工作电源,使反射镜产生轴向位移,在计算机上看到条纹平移。

(3) 调整 CMOS23 在轨道上的位置,使干涉条纹清晰,锁定 CMOS23。

(4) 调节可调光阑 22 孔径,滤除寄生干涉光。

(5) 点击“实时采样”,确定采样周期,扫描步数、波面类型等一系列参数,得到采集数据,然后点击“数据显示”,得到计算机自动处理后的结果,具体操作过程见仪器说明书。

(6) 改变条纹分布的方向(如前所述,条纹竖直分布时测量结果精度最高),观察结果的变化情况。

### 4. 三维形貌的数字干涉测量

三维形貌的数字干涉测量内容紧接数字干涉测量技术的内容,将数字干涉测量技术的实验结果进行分析,记录其波差、PV 值、RMS 等特征值。将实验结果记录在表 1.2 中。

表 1.2 三维形貌测量实验结果记录

| 序号 | PV | RMS | EM | 等高图(凸凹) |
|----|----|-----|----|---------|
| 1  |    |     |    |         |
| 2  |    |     |    |         |
| 3  |    |     |    |         |
| 4  |    |     |    |         |

**思考题**

- (1) 一般干涉测量有哪些优点和不足之处,如何改进?
- (2) 干涉条纹的间隔大小对测量有什么影响?应如何取值?
- (3) 增加一个周期内的台阶数( $n$ ),增加扫描的周期数( $p$ ),对测量结果有什么影响?分析其利弊关系。
- (4) 试分析决定数字干涉仪测量准确性的因素和提高测量准确性的主要方法。
- (5) 试说明光圈数  $N$ 、局部光圈数  $\Delta N$ 、EM 的物理意义以及与 PV、RMS 的大致关系。
- (6) 测量表面三维形貌有什么意义和作用?为什么说本实验中所用方法可以消除干涉仪自身的系统误差,而普通干涉仪则不可能(只能靠加工水平来保证)。

## 实验 2

# 光学衍射测量

### 实验目的

- (1) 了解激光衍射计量原理,利用衍射计量法测量狭缝缝宽。
- (2) 了解艾里圆测定方法,利用艾里圆测定法测量微孔直径。
- (3) 深刻理解互补原理,并以此测量细丝直径。

### 实验原理

#### 1. 缝宽的衍射测量

激光衍射计量的基本原理是激光束的夫琅禾费(Fraunhofer)衍射效应,夫琅禾费衍射是一种远场衍射。衍射计量利用被测物与参考物之间的间隙所形成的远场衍射图样来完成。当激光照射被测物与参考的标准物之间的间隙时,其衍射图样相当于单缝的远场衍射。当入射平面波的波长为 $\lambda$ ,入射到长度为 $L$ 、宽度为 $w$ 的单缝上( $L > w > \lambda$ ),并与观测屏距离 $R \gg w^2/\lambda$ 时,在观测屏 $E$ 的视场上将看到十分清晰的衍射条纹,其原理如图2.1所示。由物理光学原理可知,在观察屏 $E$ 上由单缝形成的衍射条纹,其光强 $I$ 的分布为<sup>[8]</sup>

$$I = I_0 \frac{\sin^2 \beta}{\beta^2} \quad (2.1)$$

式中, $\beta = \pi \frac{w}{\lambda} \sin \theta$ , $\theta$ 为衍射角; $I_0$ 为 $\theta = 0$ 时的光强,即光轴上的光强度。

式(2.1)就是远场衍射光强分布的基本公式,说明衍射光强随 $\sin \beta$ 的平方而衰减。当 $\beta = \pm \pi, \pm 2\pi, \pm 3\pi, \dots, \pm n\pi$ 处将出现强度为零的条纹,即 $I = 0$ 的暗条纹。测定任意一个暗条纹的位置变化就可以知道间隙 $w$ 的尺寸,这就是衍射计量的原理。

因为 $\beta = \frac{\pi w}{\lambda} \sin \theta$ ,对暗条纹则有 $\frac{\pi w}{\lambda} \sin \theta = n\pi$ 。当 $\theta$ 不大时,从远场条件可得

$$\sin \theta \approx \tan \theta = \frac{x_n}{R}$$

式中, $x_n$ 为第 $n$ 级暗条纹中心距中央零级条纹中心的距离; $R$ 为观察屏距单缝平面的距离。