

高等学校教材

# 信息光学基础实验

游明俊 编



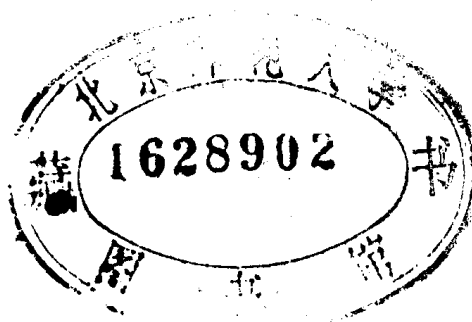
兵器工业出版社

高等学校教材

# 信息光学基础实验

游明俊 编

JY1/181/22



兵器工业出版社

(京)新登字 049 号

## 内 容 简 介

本书简介了信息光学实验的设备及其主要部件,阐述了信息光学实验的基本技术,详细地介绍了 60 个有关全息术、空间滤波、光学信息处理和激光散斑等方面的典型实验。本书在内容的广度和深度上作了比较合理的安排,既有能深刻体现信息光学基本原理的传统实验,又有近年来才提出的新颖实验。

本书可作为光学仪器专业和光学专业工科大学生及研究生的实验教材,也可供从事现代光学研究和光学测试工作的技术人员参考。

## 信 息 光 学 基 础 实 验

游 明 俊 编

兵 器 工 业 出 版 社 出 版

(北京市海淀区车道沟 10 号 邮政编码 100081)

新华书店总店科技发行所发行

各地新华书店经销

华东工学院印刷厂印装

开本: 787×1092 1/16 印张: 12.25 字数: 281 千字

1992 年 8 月第一版 1992 年 8 月第 1 次印刷

印数: 0 001—1 000 册 定价: 3.20 元

ISBN 7-80038-407-1/TH·23(课)

## 出版说明

遵照国务院关于高等学校教材工作的分工，原兵器工业部教材编审室自成立之日起就担负起兵工类专业教材建设这项十分艰巨而光荣的任务。由于各兵工院校，特别是参与编审工作的广大教师积极支持和努力，及国防工业出版社、兵器工业出版社和北京理工大学出版社的紧密配合，自1985年到1988年共编审出版了89种教材。

为了使兵工类专业教材更好地适应社会主义现代化建设培养人才的需要，反映兵工科学技术的先进水平，达到打好基础、精选内容、逐步更新、利于提高教学质量的要求，在总结第一轮教材编审出版的基础上，制订了兵工教材编审工作的五个文件。指导思想是：以提高教材质量为主线，完善编审制度，建立质量标准，明确岗位责任，充分发挥各专业教学指导委员会的学术和咨询作用，加强从教材列选、编写到审查整个教材编审过程的科学管理。

1985年根据教学需要，我们组织制订了“七五”教材编写规划，共列入教材176种。这批教材主要是从经过两遍教学使用、反映较好的讲义中遴选出来的，较好地反映了当前兵工教材的科学性和适合我国情况的先进性，并不同程度地更新了教材内容，是一批较好的新型教材。

本教材由北京理工大学于美文教授主审，经机械电子工业部工程光学教学指导委员会复查，兵工教材编审室审定。

限于水平和经验，这批教材的编审出版难免有错误之处，希望广大读者批评指正。

机械电子工业部兵工教材编审室

1989年8月

## 前 言

“信息光学”一词是从电讯术语中引伸过来的。一个电讯号可看作是一个携带着信息的时间序列。同样，一幅图像——一个两维的光场分布可看作是两维空间序列，信息寓于其中，即一幅图像就是一种光学信息。信息光学就是研究光学信息的传递、变换、记录、再现、编码、存贮、抽取、识别、恢复和运算等。它可以包括光学传递函数、光全息术、空间滤波、光学信息处理和激光散斑等内容。

60年代激光器的出现，使人们获得了新的相干光源。亮度高、相干性好的激光器为开展信息光学实验研究工作提供了性能优良的光源，使以往难以完成甚至根本无法实现的许多信息光学实验成为可能。近年来，国内外都开展了诸如全息术、空间滤波、光学信息处理和激光散斑等方面的信息光学实验工作，从而使信息光学技术得到迅速发展，并促使其在各领域中的应用走向实用化。

本书是为光学仪器专业和光学专业工科大学生及研究生编写的。本科学生在学习“傅里叶光学”课程时，可以根据实验学时数适当选做其中的一些难度适中的实验。研究生在学习“光全息学”和“光学信息处理”课程时，可选做其中难度较大的实验。本书是信息光学典型实验的选集。它所涉及的范围包括全息术、空间滤波、光学信息处理和激光散斑技术等各个方面，所列实验尽量选用业已成熟的典型实验。认真完成这些实验，不但有助于进一步加深对信息光学基本理论和基本原理的理解，而且有助于扩展读者的思路，培养独立进行实验研究的基本技能。因此，由于学时数限制而未能选做的实验，也可以作为学生学习有关课程的参考材料。本科高年级学生可以从中选择一些自己感兴趣的实验，利用课外时间到实验室进行实验。

本书共分三章。第一章简要介绍典型的实验设备及其各主要零部件的性能和使用方法。第二章阐述最基本的实验技术，主要介绍信息光学实验的主要特点，基本实验光路的调整方法，记录介质的使用与处理，以及在实验中应特别注意的激光安全防护问题。第三章是典型实验选编，介绍了60个实验。每个实验都分别阐述了实验目的、实验光路、实验原理和实验步骤，大部分实验的后面附有思考题。应当指出，实验光路并不是唯一的，而且书中给出的光路也并非都是最佳的光路，因而有能力的读者可以用自行设计的光路来获得同样的实验结果。实验后面所附思考题是供加深对该实验基本原理的理解而提出的，教师可指定其中的一些题目让学生在实验报告中完成。

本书中所介绍的实验，编者绝大部分亲自做过。必须指出，掌握实验原理和实验方法通常是比较容易的，但要得到好的实验结果往往不可能一帆风顺。这是因为各种实验条件（如气温、曝光时间、底片处理等）都对实验结果有直接影响，必须适当掌握。这要靠实验者在实验中不断摸索，从而掌握实验的规律性。

本书由北京理工大学于美文教授担任主审，责任编辑：华东工学院徐金鏞教授。主管编

辑：机械电子工业部兵工教材编审室宋筱平。

在本书编写过程中，曾得到陶纯堪教授、迟泽英教授、卞松玲副教授、陈龙岗副教授和孙淑香工程师等专家的有益指教和帮助，在此深表感谢！

限于编者水平，书中可能有不少缺点和错误，望读者批评指正。

编 者

1989年10月于华东工学院

# 目 录

|                               |    |
|-------------------------------|----|
| <b>第一章 信息光学实验的一般装置</b> .....  | 1  |
| § 1-1 防震台 .....               | 1  |
| § 1-2 光学部件 .....              | 2  |
| § 1-3 光学组件及其镜架 .....          | 5  |
| § 1-4 机械部件 .....              | 7  |
| § 1-5 其它部件及设备 .....           | 9  |
| <b>第二章 信息光学实验技术基础</b> .....   | 12 |
| § 2-1 信息光学实验对激光器的要求 .....     | 12 |
| § 2-2 光路调整的基本技术 .....         | 16 |
| § 2-3 记录介质 .....              | 21 |
| § 2-4 记录技术 .....              | 27 |
| § 2-5 底片处理 .....              | 29 |
| § 2-6 关于激光安全防护问题 .....        | 33 |
| <b>第三章 信息光学基础实验</b> .....     | 35 |
| § 3-1 迈克尔逊干涉仪和马赫-策恩德尔干涉仪..... | 35 |
| 实验 1 迈克尔逊干涉仪.....             | 35 |
| 实验 2 马赫-策恩德尔干涉仪 .....         | 36 |
| § 3-2 全息光栅 .....              | 38 |
| 实验 3 全息光栅.....                | 39 |
| 实验 4 全息复合光栅.....              | 42 |
| § 3-3 全息透镜 .....              | 44 |
| 实验 5 同轴全息透镜.....              | 45 |
| 实验 6 离轴全息透镜.....              | 47 |
| 实验 7 反射全息透镜.....              | 49 |
| 实验 8 全息柱面透镜.....              | 50 |
| § 3-4 全息图的制作与波前再现 .....       | 51 |
| 实验 9 三维物体的菲涅耳全息图.....         | 52 |
| 实验 10 全息照相的景深扩展 .....         | 54 |
| 实验 11 体积全息图 .....             | 56 |
| 实验 12 像面全息图 .....             | 59 |

|        |                                |     |
|--------|--------------------------------|-----|
| 实验 13  | 二步彩虹全息图 .....                  | 61  |
| 实验 14  | 一步彩虹全息图 .....                  | 63  |
| 实验 15  | 合成彩虹全息图 .....                  | 65  |
| 实验 16  | 傅里叶变换全息图 .....                 | 66  |
| 实验 17  | 无透镜傅里叶变换全息图 .....              | 69  |
| 实验 18  | 全息图的复制 .....                   | 72  |
| § 3-5  | 计算机全息图 (CGH) .....             | 74  |
| 实验 19  | 傅里叶变换计算机全息图 .....              | 74  |
| 实验 20  | 计算全息干涉图 .....                  | 78  |
| § 3-6  | 光纤元件用于全息术 .....                | 80  |
| 实验 21  | 马赫-策恩德尔光纤干涉仪 .....             | 80  |
| 实验 22  | 用单模光纤制作全息图 .....               | 83  |
| § 3-7  | 全息干涉计量和全息无损检验 .....            | 84  |
| 实验 23  | 用二次曝光法研究位相物体的位相变化 .....        | 85  |
| 实验 24  | 弱位相物体的位相放大 .....               | 86  |
| 实验 25  | 全息无损检验 .....                   | 90  |
| 实验 26  | 全息应力分析 .....                   | 93  |
| 实验 27  | 振动物体的时间平均全息图 .....             | 95  |
| 实验 28  | 玻璃光学均匀性的全息干涉测量 .....           | 96  |
| § 3-8  | 全息资料存储 .....                   | 100 |
| 实验 29  | 全息资料存储 .....                   | 101 |
| § 3-9  | 空间频谱与空间滤波 .....                | 104 |
| 实验 30  | 傅里叶频谱与频谱分析 .....               | 104 |
| 实验 31  | 阿贝 (Abbe)-波特 (Porter) 实验 ..... | 106 |
| 实验 32  | 卷积定理的光学模拟 .....                | 109 |
| § 3-10 | 激光散斑 .....                     | 111 |
| 实验 33  | 用激光散斑检查人眼光焦度 .....             | 112 |
| 实验 34  | 激光散斑测量横向微小位移 .....             | 113 |
| 实验 35  | 散斑法测量物体形变 .....                | 116 |
| § 3-11 | 塔尔博特效应 .....                   | 118 |
| 实验 36  | 塔尔博特效应 .....                   | 118 |
| § 3-12 | 光学图像相减 .....                   | 121 |
| 实验 37  | 全息法图像相减 .....                  | 121 |
| 实验 38  | 光栅法图像相减 .....                  | 123 |
| 实验 39  | 散斑法图像相减 .....                  | 125 |
| 实验 40  | 塔尔博特效应法图像相减 .....              | 127 |
| 实验 41  | 维格特效效应法图像相减 .....              | 129 |
| § 3-13 | 光学图像微分 .....                   | 131 |

|                                 |     |
|---------------------------------|-----|
| 实验 42 复合光栅滤波法图像微分·····          | 131 |
| 实验 43 散斑法图像微分·····              | 134 |
| 实验 44 假彩色法图像微分·····             | 136 |
| § 3-14 光学图像识别·····              | 138 |
| 实验 45 光学图像识别·····               | 138 |
| § 3-15 光学图像假彩色编码·····           | 143 |
| 实验 46 $\theta$ 调制法空间假彩色编码·····  | 144 |
| 实验 47 白光等密度假彩色编码·····           | 146 |
| 实验 48 位相调制等密度假彩色编码·····         | 148 |
| 实验 49 多狭缝空间滤波假彩色编码·····         | 151 |
| 实验 50 散斑调制法等密度假彩色编码·····        | 154 |
| 实验 51 用像面全息彩色分离两组干涉条纹·····      | 155 |
| 实验 52 多重像的解卷积·····              | 157 |
| § 3-16 模糊图像的复原·····             | 159 |
| 实验 53 离焦模糊像的复原·····             | 160 |
| 实验 54 运动模糊像的消模糊·····            | 162 |
| § 3-17 用黑白胶片记录和重现彩色像·····       | 165 |
| 实验 55 用黑白胶片记录和重现彩色像·····        | 166 |
| § 3-18 彩色透明片资料存储·····           | 169 |
| 实验 56 用一步彩虹全息法作彩色透明片的存储·····    | 169 |
| 实验 57 用正交光栅编码作彩色透明片的存储·····     | 170 |
| 实验 58 用散斑调制屏法作彩色透明片的存储·····     | 174 |
| § 3-19 液晶光阀用于光学图像实时处理·····      | 176 |
| 实验 59 液晶光阀用于光学图像的实时相减和实时微分····· | 177 |
| 实验 60 液晶光阀用于光学图像的实时相关·····      | 180 |
| <b>参考文献</b> ·····               | 182 |

# 第一章 信息光学实验的一般装置

为了便于进行信息光学实验,国内外许多厂家相继研制了各种实验系统或实验仪器。这些实验设备型号不一,规格各异,性能也各有差异。国外较为典型的有美国NRC公司和ORIEL公司、法国Micro-Controle公司、日本中央精机株式会社以及美国Ealing Optics公司的产品。国内有航天工业部207所研制的GS79现代光学实验系统、上海机械学院附属工厂生产的ZJ型光学实验台等。这些设备多采用组合式结构,零部件品种多,通用性强,可以灵活地拼搭全息术、光学信息处理、激光散斑技术等方面的实验光路,能够满足信息光学实验的要求。

信息光学实验的一般装置通常由防震台、光学部件、机械部件和光源等组成。

## § 1-1 防震台

在信息光学实验特别是全息术实验中,通常在全息干板上记录的干涉条纹密度为每毫米数百条到数千条,条纹间距为波长级,因而要求在曝光期间各光学元件和全息干板必须保持高度的稳定性。如果在曝光期间由于某一个元件的抖动使干涉条纹相对于干板产生 $1/2$ 条纹间隔的漂移,则完全不能记录全息图。一般要求条纹移动量不得大于 $1/8$ 个条纹间隔。因此,信息光学实验通常都应在具有优良防震性能的防震台上进行。

防震台通常由台板、台架和防震装置组成。

台板是供布置光路用的。其尺寸有各种规格,一般宽度为 $0.6\sim 1.2\text{ m}$ ,长度 $1\sim 3\text{ m}$ 。台板一般用铸铁、磁不锈钢或大理石制成。台板的工作表面称为台面。台面应具有较高的平面度,以便于光路的调整。光具座在台面上的固定可采用磁吸、气吸或者在台面上加工螺孔阵列用螺钉固定。

台架用以支承台板,并与防震装置连接。简易的小型防震台通常不必使用台架,可以将台板直接安放在防震装置上。

防震装置是防震台的核心部件。防震装置的防震性能包括隔震和消震两个方面。对于外界振动干扰(如邻近地面上人员走动、汽车行驶、马达转动等)可以隔除,称为隔震;对于自身的冲击(如碰撞工作台、触碰光学元件等)和振动干扰能迅速消除,称为消震。防震台的固有频率 $f_0$ 可用下式表示

$$f_0 = 2\pi\sqrt{\frac{K}{m}} \quad (1-1)$$

式中  $K$ ——刚度,即单位长度变形产生的回复力;

$m$ ——防震台的质量。

由式(1-1)可知,防震台的质量 $m$ 越大,弹性越好,则固有频率 $f_0$ 就越低,与外界干扰频率差别就越大,隔震效果越好。外界干扰的频率一般在 $10\text{ Hz}$ 以上,若防震台的固有频

率值达到 5 Hz 时，其隔震性能已属优良。由于大地的自振频率约为 1 ~ 2 Hz，若将防震台的固有频率  $f_0$  降至 1 ~ 2 Hz，则不但经济代价大，而且反而会与大地共振。另一方面，防震台的消震效果与质量  $m$ 、阻尼系数  $\gamma$  有关。当  $m$  越小、 $\gamma$  越大时，系统的消震效果越好。为了同时获得优良的隔震和消震效果，通常使质量  $m$  和阻尼系数  $\gamma$  都足够大。

防震装置有各种型式。高档的多采用气浮式，中、低档的采用轮胎、乳胶泡沫层垫、防震弹簧等。气浮式防震装置是国际上较为先进的装置。它采用四个隔振筒支承台板。隔振筒内充以一定压力的氮气，使其将台板支浮起来。其上安装的电子自动平衡装置能自动使台面保持水平状态。ZJ 型光学实验台也采用气浮式防震装置。

图 1-1 所示是一种采用充气轮和橡胶海绵防震的防震台。它由铸铁台板 1、橡胶海绵 2、台架 3 和充气轮 4 等组成。台板经过人工时效及消除加工应力处理，以防日久发生变形。台面刮花，以使各部件能在其上灵活移动。该防震台采用二级防震：第一级为台架与地面之间的充气轮，当它充气适量时，压缩空气使轮胎产生弹性，成为低阻尼的减震器；第二级隔震是台板与台架之间的海绵层，它是高阻尼减震器。防震台的自振频率约为 3 Hz。为减小地面对轮胎的压力和便于更换海绵，台架上装有四只螺旋千斤顶 5。在一般实验室，可使用千斤顶支承台架，仅靠海绵层即可达到隔震目的。GS 79 现代光学实验系统采用这种减震方法。

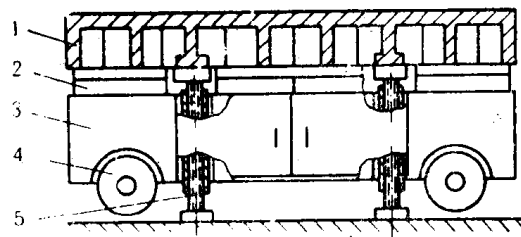


图 1-1 防震台

1—台板； 2—橡胶海绵； 3—台架；  
4—充气轮； 5—螺旋千斤顶。

## § 1-2 光学部件

### 一、平面反射镜

平面反射镜用于折转光路。其直径大小应根据所折转的光束直径而定。如图 1-2 所示，设光束直径为  $d$ ，光束光轴与反射镜法线的夹角为  $i$ ，则反射镜的直径  $D$  应为

$$D = \frac{d}{\cos i} \quad (1-2)$$

例如，若  $i = 45^\circ$ ，即光路折转  $90^\circ$ ，则  $D = \sqrt{2} d$ 。

用于折转宽光束的反射镜，除了有一定的孔径要求之外，还有表面平面度(光圈)的要求，一般选用一级平晶。另外，为了消除附加反射光的影响，反射镜通常都是在前表面上镀制反射膜。

反射镜上镀制的反射膜通常有两类：

(1) 真空镀铝外加一层一氧化硅薄膜，或者真空镀铝后经阳极氧化加固。这种反射膜的主要优点是其反射率几乎与入射角无关，也不存在明显色散。缺点是反射率不够高，仅 84% 左右，多片串联使用时光能损失较大，膜层的机械强度也不够高，擦拭时易出道子，一般只

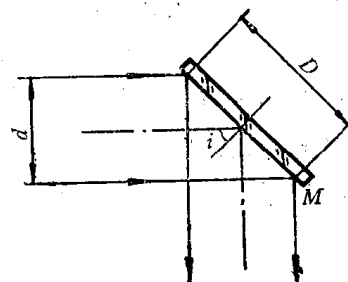


图 1-2 反射镜直径的确定

允许用吹气球吹去灰尘，必要时用 1:7 酒精、乙醚混合液轻轻擦拭。

(2) 多层介质反射膜。这种反射膜通常是在玻璃基片上交替蒸镀 19~21 层氟化镁和硫化锌膜系或者氧化钛和二氧化硅膜系而制成的。其优点是反射率高，可达 99% 以上。缺点是反射率会随光的波长和入射角的改变而改变，垂直入射时反射率最高，入射角增大时反射率迅速下降，入射角大于  $45^\circ$  时反射率很快下降到零。

反射镜的镜座应具有方位微调和俯仰微调装置。

## 二、分束镜

分束镜用于将入射光束分成具有一定光强比的两束光，通常是分成透射光束和反射光束。其主要性能参数是分束比，即透射光束强度  $T$  与反射光束强度  $R$  的比值，又称透反比。

分束镜通常有两类：固定分束比分束镜和可变分束比分束镜。前者分束比不能调整，可在宽光束中使用；后者分束比可以调整，但只能在未经扩束的激光细光束中使用。可变分束比分束镜又分为阶跃分束镜和连续渐变分束镜两种。

固定分束比分束镜是在玻璃基片上镀制均匀的析光膜而制成的，选用不同的膜系可获得不同的分束比。实验室中应备有透反比为 1:1、1:4、1:7、1:9 和 9:1 等多种规格的分束镜，以供根据实验需要选用。用于装夹固定分束比分束镜的镜座应具有方位微调和俯仰微调装置。

阶跃分束镜是在玻璃基片的不同区域分别镀制不同的膜系，使各区域具有不同的分束比。连续渐变分束镜是在玻璃基片上镀制厚度连续变化的析光膜。由于膜厚连续变化，吸收率也随之连续变化，借此连续改变透反比，使用十分方便。连续渐变分束镜有条形和圆形两种型式。条形渐变分束镜的镜架具有精密平移装置和俯仰微调装置，如图 1-3 所示。当分束镜平移时，透反比将随之变化。圆形渐变分束镜是通过转动分束镜来改变透反比，因而其镜架应具有精密旋转装置，如图 1-4 所示。

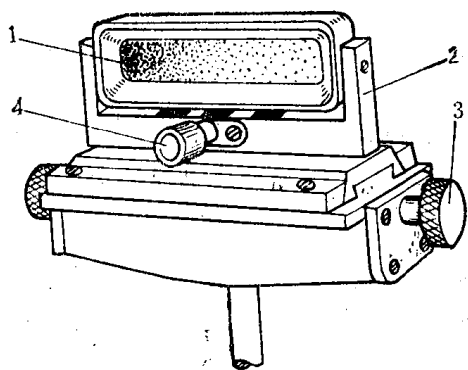


图 1-3 条形渐变分束镜

1—分束镜； 2—分束镜架；  
3—平移手轮； 4—俯仰微调手轮。

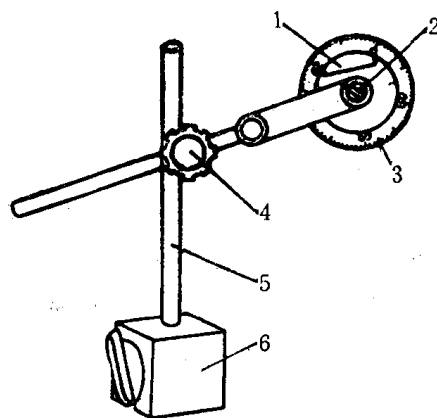


图 1-4 圆形渐变分束镜

1—分束镜； 2—旋转装置； 3—圆盘；  
4—紧定旋钮； 5—杆架； 6—磁性座。

为了消除附加光线（二次及更高次的反射光线）的干扰，常常将分束镜的玻璃基片加工成

楔形，以便使附加光线与正常光线分开，如图 1-5 所示。设分束镜玻璃基片的楔角为  $\theta$ ，光线的入射角为  $i$ ，则玻璃后表面反射的附加光线 2 与前表面反射的正常光线 1 之间存在夹角  $\Delta i$ 。正常光线 1 只经过前表面的一次反射，其出射角等于入射角  $i$ 。附加光线 2 经前表面折射后被后表面反射，然后再经前表面折射后出射。由折、反射定律和几何关系有

$$\begin{aligned} \sin i &= n \sin i' \\ i_1 &= i' + \theta \\ i_2 &= i_1 + \theta = i' + 2\theta \\ \sin i_2 &= n \sin i'_2 = n \sin(i' + 2\theta) \\ &= n \sin i' \cos 2\theta + n \cos i' \sin 2\theta \end{aligned}$$

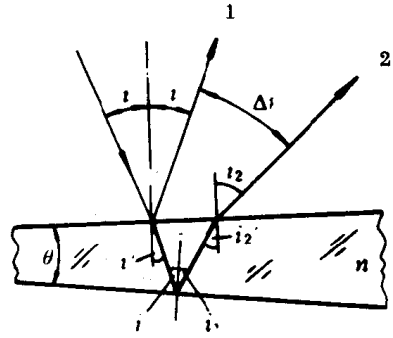


图 1-5 附加光线与正常光线的分离

由于  $\theta$  较小，可认为  $\cos \theta \approx 1$ ， $\sin 2\theta \approx 2\theta$ ，故有

$$\begin{aligned} \sin i_2 &= n \sin i' + 2\theta n \cos i' \\ &= \sin i + 2\theta n \sqrt{1 - \sin^2 i'} \\ &= \sin i + 2\theta \sqrt{n^2 - \sin^2 i} \end{aligned}$$

所以

$$\sin i_2 - \sin i = 2\theta \sqrt{n^2 - \sin^2 i} \quad (1-3)$$

又因为

$$\begin{aligned} \sin i_2 - \sin i &= 2 \cos \left( \frac{i_2 + i}{2} \right) \sin \left( \frac{i_2 - i}{2} \right) \\ &= 2 \cos \left( \frac{2i + \Delta i}{2} \right) \sin \left( \frac{\Delta i}{2} \right) \\ &\approx 2 \cos i \cdot \frac{\Delta i}{2} \\ &= \cos i \cdot \Delta i \end{aligned} \quad (1-4)$$

由式(1-3)和式(1-4)可见

$$\Delta i = 2\theta \frac{\sqrt{n^2 - \sin^2 i}}{\cos i} \quad (1-5)$$

当已知楔角  $\theta$  和入射角  $i$  时，利用式(1-5)便可计算出附加光线偏离正常光线的角度  $\Delta i$ 。例如，若  $\theta = 3^\circ$ 、 $i = 45^\circ$ ，则  $\Delta i \approx 11^\circ$ 。随着距离的增大，附加光线迅速偏离，很容易使其不干扰光路。所以，分束镜的楔角取  $3^\circ$  左右即可。

另一种采用偏振分光原理的分光器也能实现连续渐变分光。图 1-6 所示就是这类分光器的一种。平面偏振光通过半波片  $H_1$  后振动面发生变化，旋转  $H_1$  可控制振动面的方位。由于渥拉斯顿(Wollaston)棱镜的作用，从棱镜中出射的两束振动方向相互垂直的光线  $E_{\parallel}$  和  $E_{\perp}$  具有不同的方向，其间夹角为

$$\gamma = 2 \arcsin[(n_o - n_e) \operatorname{tg} \alpha] \quad (1-6)$$

而两束光的强度比取决于入射光振动方向与第一块晶体

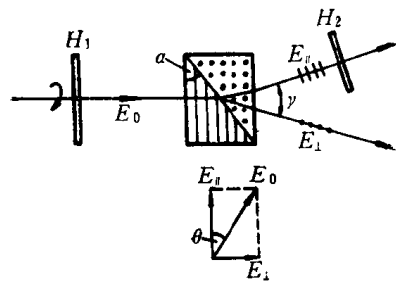


图 1-6 采用偏振分光原理的分光器

光轴之间的夹角 $\theta$ 。由于 $H_1$ 可转动,使得 $\theta$ 可调,于是分束比也连续可调。半波片 $H_2$ 用于改变 $E_1$ 的方位,使得两束光的振动方向都垂直于台面。这种分光器的优点是能连续改变分束比,且光能损失小。如果严格控制好 $H_1$ 的平行度及转动精度,则在改变分束比过程中两束出射光束方向不变,这将给光路调整带来极大的方便。

### 三、平行双面平晶

平行双面平晶用于构成剪切干涉仪,以此检测光束的准直度。要求其两面平面度均 $<\lambda/10$ ,两面平行度 $<2''$ 。使用时将其装入镜圈中,然后装夹到二维镜座上。

### 四、滤光片

滤光片用于白光图像处理,实验室中应备有红、橙、黄、绿、蓝等多种颜色和多种密度的截止滤光片,以及各种密度的中性滤光片,以供实验中根据需要选用。

### 五、偏振片

在与偏振有关的实验中要使用偏振片。安装偏振片的旋转架可旋转 $360^\circ$ ,刻度格值 $1^\circ$ 。

### 六、柱面透镜

柱面透镜能将点光源转换成线光源,在全息术或激光散斑技术中用于对长物体照明,在制作合成彩虹全息图中用于对图像进行一维压缩。柱面透镜的尺寸和焦距应根据实验要求来选定。柱面透镜安装在专用镜框内,镜框可固定在能进行二维调节的载物台上。

## § 1-3 光学组件及其镜架

### 一、光束升降器

光束升降器主要用于改变光束离台面的高度,并兼有折转光路的功能。其作用是通过两块镀有反射膜的反射镜来实现的。单片反射镜的反射率大于98%,镜面平面度 $<\lambda/10$ 。图1-7所示是光束升降器的结构。两块反射镜分别安装在上镜座1和下镜座2内。下镜座2可绕 $z$ 轴旋转。上镜座1除了可绕 $z$ 轴旋转外,还具有两个角度微调,可对出射光的方向加以控制。移动镜座支杆3或沿长支杆5移动下弹簧夹头4,可以实现下反射镜的高度调节。移动上弹簧夹头7可实现光束高度粗调,旋转上弹簧夹头上的螺母可微调光束高度。

应当注意,当入射激光与出射方向交叉时,激光束的偏振方向将发生旋转。在进行干涉实验时必须对此加以考虑。可采用旋光晶体来调整偏振面,以获得较高的条纹对比度。

### 二、扩束-准直装置

扩束-准直装置用于将激光细光束扩展为平行的宽光束。它包括扩束镜、针孔滤波器和准直透镜三部分。扩束镜能将激光细光束变换为球面波。准直透镜则是把这个球面波变成较大直径的平面波。扩束镜的后焦点和准直透镜的前焦点重合,二者构成逆望远系统,如图1-8所示。

在公共焦点处放置针孔滤波器，可以消除高频噪音，如由扩束镜上的灰尘而引起的激光散斑等，以提高准直光束的质量，获得亮度均匀的宽光束。

实验室中应备有各种焦距和各种孔径的扩束镜和准直透镜，以便适当组合获得所需的倍率。设扩束镜  $L_0$  和准直透镜  $L_c$  的焦距分别为  $f_0$  和  $f_c$ ，则光束的放大倍率为

$$\Gamma = \frac{f_c}{f_0} \quad (1-7)$$

由于  $f_c \gg f_0$ ，激光束经扩束-准直系统后光束直径变大，而发散角却变小。

扩束镜一般采用超半球或半球透镜。由于通过扩束镜的光束孔径小，它产生的球差可以忽略。准直透镜的设计一般要求消除球差和彗差，以形成高质量的平面波。

由于激光束基模的振幅分布曲线是高斯曲线，故扩束后的光斑内光场分布差别悬殊。为了得到亮度均匀的准直光束，通常要求扩束后入射到准直透镜上的光斑直径是准直透镜直径的 1.5~2 倍。这样做虽然损失了一部分光能量，但却提高了光场的均匀性。

在结构上，针孔滤波器通常与扩束镜固定在同一镜架上，而准直透镜的镜架是独立的。针孔滤波器的座架至少应有三维调节机构，即沿光轴  $z$  方向的平移以及在滤波器面内的水平方向  $x$  和垂直方向  $y$  的平移。三维调节机构可以采用三套精密机械导轨分别实现，也可以在  $x$ 、 $y$  方向用磁性材料构成磁性导轨并用精密丝杆调节。后者空回小，结构简单，调节方便稳定。

### 三、傅里叶变换镜头

傅里叶变换镜头用于对图像进行傅里叶变换，成对使用可构成常用的  $4f$  系统。

傅里叶变换镜头与一般物镜不同，它需要对两对共轭面同时校正像差。当物面位于镜头前焦面上时，其共轭面在无穷远，但物面上每一点的成像光束的主光线必须通过像方焦点，此时孔径光栏位于像方焦面处。另一方面，正入射的平面光波经物面衍射后成为不同方向的角谱，每一角谱对应于一列平面波。这些平面波的主光束通过镜头的前焦点，经镜头会聚后聚于后焦面（即频谱面）上。因而物方无穷远又与像方焦平面共轭，此时孔径光栏位于物方焦平面上。设计傅里叶变换镜头时必须对上述两对共轭面（即物方焦平面-像方无穷远，物方无穷远-像方焦平面）同时消除像差，但实际上不可能完全消除像差，只能是近似的。

傅里叶变换镜头的视场（即处理面积）取决于镜头的孔径，而能得到准确傅里叶变换的最大空间频率取决于镜头的孔径和焦距。

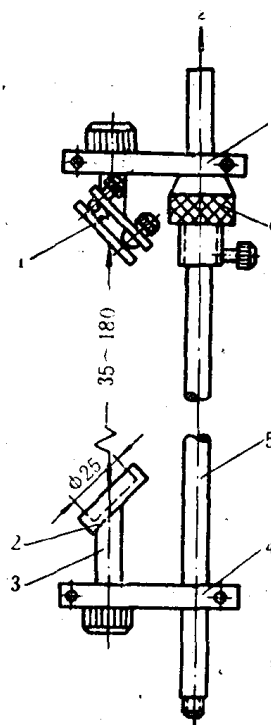


图 1-7 光束升降器

- 1—上镜座；2—下镜座；3—镜座支杆；  
4—下弹簧夹头；5—长支杆；  
6—螺母；7—上弹簧夹头。

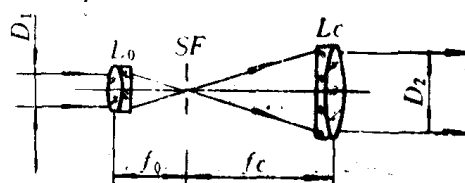


图 1-8 扩束-准直系统

- $L_0$ —扩束镜； $L_c$ —准直透镜；  
 $SF$ —针孔滤波器。

设傅里叶变换镜头的孔径为  $D$ ，焦距为  $f$ ，物体的线度为  $\Delta x$ ，则由图 1-9 可见，物体上衍射的光全部通过镜头的平行光的最大角度为

$$\theta_M = \frac{D - \Delta x}{2f} \quad (1-8)$$

与此对应的频谱面的最大线度为

$$\Delta u = 2f\theta_M = D - \Delta x \quad (1-9)$$

相对的空间频率分量最大值为

$$\nu_M = \frac{\Delta u}{2\lambda f} = \frac{D - \Delta x}{2\lambda f} \quad (1-10)$$

频宽

$$\Delta\nu = 2\nu_M = \frac{D - \Delta x}{\lambda f} \quad (1-11)$$

此时系统的空间带宽积为

$$SW = \Delta x \cdot \Delta\nu = \frac{\Delta x(D - \Delta x)}{\lambda f} \quad (1-12)$$

求  $\partial(SW)/\partial(\Delta x)$  并令其等于 0，得到  $SW$  的极大值条件为

$$\Delta x_M = \frac{D}{2} \quad (1-13)$$

此时对应的空间频率极大值为

$$\nu_M = \frac{D}{4\lambda f} \quad (1-14)$$

可见，傅里叶变换镜头的线视场总是小于或等于镜头孔径之半，而能获得准确傅里叶变换的最大空间频率值小于或等于  $D/4\lambda f$ 。

用于单色光的傅里叶变换镜头，采用两片透镜即可满足使用要求。用于白光信息处理的傅里叶变换镜头则需由多片透镜组成，加工和装配精度要求高，因而价格昂贵。

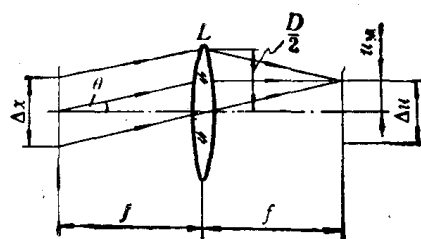


图 1-9 傅里叶变换镜头的视场和最大空间频率值

## § 1-4 机械部件

### 一、光学镜架

在信息光学实验中，要求光路中所有光学元件的光轴同在一个与台面平行的平面内，因而各光学镜架的机械调节是十分重要的。所有光学镜架必须有相同的中心高。为了精确调节各光学元件的空间位置，各光学镜架一般都能作三维微调（高度、方向和俯仰微调），有的光学镜架具有六维微调机构，即沿光轴平移、垂直光轴的水平平移、高度平移、水平方位旋转、俯仰和绕光轴旋转。

在信息光学实验中，台面上的各部件通常都是独立的，光路采取积木式的拼搭方法。光路一旦调整完毕，则要求各部件之间不能有偶然的相对运动，因而必须要有锁紧装置。锁紧装置通常分磁吸、气吸和机械紧固等方式。最简单的磁吸方法是在光学镜架与台面之间垫以磁铁块，依靠其吸力将光学镜架与台面紧固在一起。由于磁铁块的吸力有限，此法不够牢靠。更牢靠的方法是在各光学镜架底部装上磁性座，调整光路时可扳动磁性开关使磁路闭合，调整

完毕可以锁紧，使用非常方便。当台面材料是大理石时可以采用气吸。气吸锁紧装置是在镜架底座下部挖出空洞，并衬以橡皮。当机械装置使橡皮中部向里隆起时，底座便紧紧吸住台面。机械锁紧装置是采用螺钉直接将镜架底座固定在台面上，这就要求台面上具有足够多的螺孔列阵。这种方法比较麻烦，而且有时会受到螺孔位置的限制。

图 1-10 是一种典型的三维小镜座。装有光学元件（如反射镜、扩束镜等）的镜框用螺纹固定在镜座 1 内。螺杆 2 和 8、螺母 6 分别用于方向微调、俯仰微调和高度微调。增减垫块 3 可作高度粗调。调整完毕后用螺钉（如螺钉 7 和 5）锁紧。磁性座 4 可将整个镜座牢牢地吸在台面上，扳动磁性开关可使磁路闭合，吸力消失。

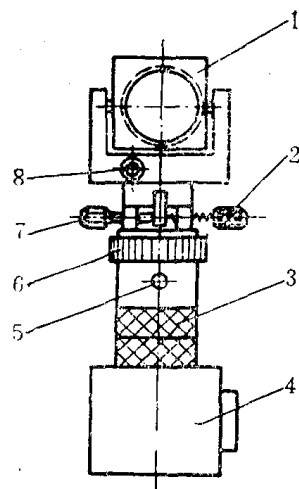


图 1-10 小镜座

- 1—镜座；2—方向微调螺杆；  
3—垫块；4—磁性座；  
5—螺钉；6—高度微调螺母；  
7—锁紧螺钉；8—俯仰微调螺杆；

## 二、光栏

光栏可分为针孔滤波器、固定光栏、可调光栏、狭缝、扇形缝板等形式。

针孔滤波器用于对激光束滤波，以便得到亮度均匀的亮斑。每片针孔片中心都有一个小孔，其直径在  $5 \sim 40 \mu\text{m}$  之间构成序列，可根据需要选用。小孔必须很圆，孔内壁应光滑，通常使用激光打孔机加工。针孔片可粘贴在针孔座内，针孔座通过针孔微调器调节，可在针孔片平面内作二维移动。

固定光栏片用于限制光束直径，其内孔直径在  $0.1 \sim 30 \text{ mm}$  内构成序列，可根据需要选用。

可调光栏可采用照相机上的光栏，其孔径可在  $\phi 2 \sim \phi 30 \text{ mm}$  内连续变化，可根据实验需要调节。

狭缝用于彩虹全息实验，缝宽可在  $0 \sim 10 \text{ mm}$  内连续调节，要求两缝边平行度  $< 1'$ 。把狭缝固定在读数转动架上，可使狭缝旋转任意角度。

扇形缝板作为方向滤波器使用。按其结构可分为中心实心 and 中心空心两类，如图 1-11 所示。按其通光范围每类又分为  $10^\circ$ 、 $20^\circ$ 、 $30^\circ$ 、 $40^\circ$  四种。

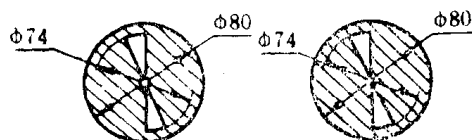


图 1-11 扇形缝板

## 三、干板架

信息光学实验多用全息干板作为记录介质。夹持全息干板的干板架分一般干板架和干板复位架两类。

一般干板架用于干板不需复位的场合。它是在载物台上铣出一条比干板厚度宽一些的直槽，全息干板插入槽中，用螺钉从侧面夹紧。为了避免螺钉夹紧处应力集中致使干板破碎，应在干板与螺钉之间放置一块小衬板。对干板架的主要要求是干板夹紧后能与台面垂直。

干板复位架用于全息干板需要精确复位的场合，如全息干涉的实时法，图像识别中的匹