



普通高等院校“十三五”规划教材

光电信息 与技术实验教程

曹 辉 主 编

梁佩莹 蔡 静 樊 婷 副主编



国防工业出版社

National Defense Industry Press

光电信息与技术实验教程

曹 辉 主编

梁佩莹 蔡 静 樊 婷 副主编

曾亚光 韩定安 林洁丽 熊帮云 董 谦 参编

国防工业出版社

·北京·

内 容 简 介

光电信息技术广泛应用于国民经济和国防建设。近年来,随着光电信息技术产业的迅速壮大,对从业人员和专业人才的需求逐年增多,对光电信息技术基本知识和技能的需求也在不断增加。为了推进光电信息技术相关行业高素质应用型人才培养,本书选编了与光电信息技术相关的一些基础验证性实验、综合提高性实验,以及注重创新思维和知识技能应用的设计创新性实验,包括全息技术、激光技术、空间滤波、光电显示、光纤通信、光纤传感、光源检测、光电检测等方面的 20 个实验。本书的重点在于阐述实验的物理思想、设计思路和实现方法,注重培养学生的实验能力、实践能力和创新设计能力,提高其科学素质,突出应用型人才培养。

本书可作为理工类高等院校光电信息工程与科学、光学工程、光源与照明、测控技术与仪器、应用物理、电子科学与技术、电子信息科学与技术等专业本科生和研究生的实验教学用书,也可供其他相关专业师生和工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

光电信息与技术实验教程 / 曹辉主编. —北京:国防工业出版社, 2015. 8

ISBN 978-7-118-10219-2

I. ①光... II. ①曹... III. ①光电子技术—信息技术—实验—教材 IV. ①TN2-32

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第191022号

※

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路23号 邮政编码100048)

北京京华虎彩印刷有限公司印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 9½ 字数 235 千字

2015年8月第1版第1次印刷 印数1—1500册 定价38.00元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)88540777

发行邮购:(010)88540776

发行传真:(010)88540755

发行业务:(010)88540717

前 言

光电信息技术是由光学、光电子、微电子、微计算机、微材料等科学技术相结合而成的多学科融合的高新技术,涉及光信息的辐射、探测、变换、传输、控制、处理、存储与显示等众多内容。它将光的快速(世界上运动最快的物质光)与成熟的电子信息处理技术相结合,因而具有电子技术无可比拟的众多优点,包括极快的响应速度、极宽的频宽、极大的信息容量、极高的存储密度、极快的处理速度、极高的信息效率和分辨率等,推动着现代信息技术以及现代社会的发展。

光电信息技术快速发展的同时,不断向其他科技领域渗透,形成了许多市场前景可观、发展潜力巨大的光电子产业,包括光通信产业、光显示产业、光存储—光盘产业、光机电一体化、激光材料加工和合成产业、办公自动化与商用光电子产业、激光医疗器械产业、激光器件产业、激光全息产业、光电子材料产业、光电子检测产业和军用光电子产业等。在发达国家,与光电信息技术相关产业的产值已占国民生产总值的一半以上。为适应现代信息技术的发展,迫切需要培养一大批掌握光电信息技术的专门人才,也迫切需要普及光电信息技术方面的基础知识和技能。

《光电信息与技术实验教程》一书的出版,正好适应了这方面的需求。编者多年来一直在佛山科学技术学院的光信息类和物理类专业开设这方面内容的课程,并从事光电信息技术方面的科研工作,对光电信息技术的原理、方法和应用有比较深刻的认识和理解。在编写本教程时,编者非常关注实验教学改革的需要,除了力求思路清晰,突出光电信息技术的原理、方法和应用以外,还希望实验教学的实施有较大的灵活性,以适应各个层次的教学要求。例如,在实验内容方面,既有属于常规训练的基础验证性实验,如激光全息照相、氦氛激光器输出光束偏振特性、LED光源光强角分布测量等,又有属于综合运用的综合提高性实验,如电光调制、激光调控技术、基于LabVIEW的电机转速测量、液晶电光效应、电子散斑干涉术测离面位移等,还包括相当数量的设计创新性实验,如全息光栅的制作、不规则面积的非接触测量、基于计算机声卡的频率法测量温度、基于LabVIEW平台的光电检测系统设计、产品外观检测系统、显示器件驱动、基于激光干涉的话音内容解析装置的研制等。

在多年教学实践的基础上,由佛山科学技术学院曹辉博士负责组织光信息工程系教师和实验员完成了本书的编写工作。其中:实验1、实验18、实验19由曹辉博士编写;实验3、实验8、实验14由梁佩莹博士编写;实验2、实验5、实验12由蔡静实验员编写;实验4、实验9、实验15由樊婷博士编写;实验10、实验16、实验17由曾亚光博士和韩定安教授编写;实验6、实验7由董谦老师编写;实验13由林洁丽博士编写;实验11、实验20由熊帮云博士编写。

本书在编写过程中,征求了许多兄弟院校从事光电信息技术实验教学的老师的意见,参考并吸收了许多兄弟院校和实验仪器厂家的有关资料和经验;佛山科学技术学院教务处、科研处、电子与信息工程学院、光学工程重点学科、战略性新兴产业专业——光电信息科学与工程专业对本书的编写和出版给予了极大的支持;国防工业出版社的有关领导和编辑为本书的出版做了巨大的贡献。在此,一并表示衷心的感谢!

本书的部分研究内容得到了广东省自然科学基金项目(项目编号 2015A030313633)、广东省高等学校科技创新(重点)项目(2014KTSCX153)、国家自然科学基金(61178030、11474053)的支持,谨表谢意。

实验教材的改革和建设是一项长期、复杂的工程,编者努力减少编写中的不足和错误,但由于编写时间有限,书中难免有疏漏甚至错误之处,敬请读者批评指正。

编者

2015年4月

目 录

第一章 基础验证性实验	1
实验 1 激光全息照相	1
实验 2 He - Ne 激光器输出光束偏振特性	11
实验 3 光纤无源器件	22
实验 4 光纤传感器及其应用	29
实验 5 光源光强角分布测量	33
实验 6 电光调制	36
实验 7 激光调制技术	42
实验 8 空间滤波与 θ 调制	46
第二章 综合提高性实验	53
实验 9 基于 LabVIEW 的电动机转速测量	53
实验 10 光栅传感实验仪	57
实验 11 液晶电光效应综合实验	64
实验 12 电子散斑干涉术测离面位移	73
实验 13 光源光色参数测量	77
第三章 设计创新性实验	86
实验 14 全息光栅的制作	86
实验 15 不规则面积的非接触测量	92
实验 16 基于计算机声卡的频率法测量温度	96
实验 17 基于 LabVIEW 平台光电检测系统设计	103
实验 18 产品外观检测系统	109
实验 19 基于激光干涉的语音内容解析装置的研制	116
实验 20 显示器件驱动综合实验	124

第一章 基础验证性实验

实验 1 激光全息照相

1971 年诺贝尔物理学奖授予了英国伦敦帝国科技学院的匈牙利裔物理学家伽博 (Dennis Gabor, 1900—1979), 以表彰他发明和发展了全息术。

伽博是在激光器还未出现前的 20 世纪 40 年代发明全息术的。当时他正在一家公司的研究室工作, 该公司制造电子显微镜需要提高分辨率。当时电子显微镜的分辨能力已比最好的光学显微镜提高了 100 倍, 但仍不足以分辨晶格, 其中球差和衍射差是限制分辨率的主要因素。要减少衍射差就要加大孔径角, 把孔径角增加 1 倍则衍射差减少 $1/2$, 但这时球差则增加了 8 倍。为了兼顾两者, 不得不把电子透镜的孔径角限制为 0.005rad , 从而算得分辨率的理论极限约为 0.4nm ; 而分辨晶格起码要 0.2nm 。面对这样的难题, 伽博苦苦思索。1947 年复活节那天, 天空晴朗, 伽博在网球场等待一场球赛时突然想到, “为什么不拍摄一张不清楚的电子照片, 使它包含全部信息, 再用光学方法去校正呢?” 他考虑到电子物镜永远不会完善, 若把它省去, 利用相干电子波记录相位和强度信息, 再利用相干光可再现无像差的像, 这样电子显微镜的分辨率就可以提高到 0.1nm , 达到观察晶格的要求。伽博就是从这一思想出发, 发明了全息术。

“全息”一词源于希腊词 Holos(全部)和 Grammar(消息), 在英文中用 Holography 表示, 在我国译为“全息”, 意思是“全部信息”。全息照相是既能记录光波振幅的信息, 又能记录光波相位信息的摄影。

全息照相的理论早在 1947 年就由英国科学家伽博提出来。但直到亮度高、颜色纯、相干性好的激光问世后, 才真正拍摄出全息照相。目前, 全息技术在干涉计量与无损检测、全息信息存储、全息显示(全息照相)、全息显微术、光学滤波(全息光栅、全息透镜、全息扫描器、全息滤波器)以及光学模拟计算等方面得到了越来越广泛的应用。

【实验目的】

- (1) 学习全息照相的基本原理和方法;
- (2) 了解全息照相的主要特点, 掌握全息照相与普通照相之间的区别;
- (3) 初步掌握全息照相光路调节方法, 掌握全息照相显影、定影的方法;
- (4) 学习观察全息照片的方法。

【预备问题】

- (1) 激光全息术是哪一年发明的? 发明人是谁? 有何意义?
- (2) 全息照相与普通照相之间的区别在哪里?
- (3) 全息照相拍摄对环境和光源有何要求?
- (4) 全息照相是如何把光波的相位记录下来的?
- (5) 参考光和物光的夹角、强度比对干涉条纹有什么影响?

(6) 曝光时间及显影时间对全息图的产生有什么影响?

【实验仪器】

全息照相的整套装置 PHYWE 如图 1-1 所示,包括 He-Ne 激光器、全息台及光学元件、曝光定时器、全息干板、暗室设备。

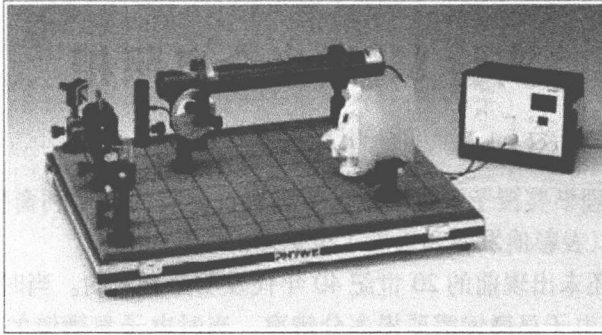


图 1-1 全息照相实验装置

【实验原理】

一、概述

全息照相的过程分两步:全息记录和全息再现。第一步是在记录介质上记录由参考光和物光形成的复杂的干涉图样——全息图;第二步是在适当的照明下从全息图再现出物体通常的图像。所以,全息照相的基本理论实质上是一种较为广义的双光束干涉场的计算。

由激光束发出的相干光经分束器之后,一束照明物体成为物光,另一束为参考光。两光束成一定的夹角入射到记录介质上,相互干涉而记录下全息图。由于记录介质只能记录振幅,可见物波的相位也是利用干涉的原理转换成相应的振幅关系加以记录的。当两束相干光的相位相同,合成光波的振动就增强,反之就减弱。光波的相位是随空间位置的变化而变化的,因此,光波的合振幅也随位置而变化。这样,在两束光的交叠处就产生强弱相间的干涉条纹。条纹的分布情况反映了合成光波的相位在不同位置的变化情况。因此,全息摄影就是利用光的干涉,以干涉条纹的形式把物体散射光波的振幅和相位信息同时记录在感光材料上,也就是说,把物体的全部信息都记录下来,因而具有获得立体图像的许多优点。

人眼能够识别物体的三维立体图像,是借助物光波的主要特征参量——振幅、波长和相位——对人体视觉的作用。光波的振幅反映了光的强弱,给人眼以物体明暗的感觉;光波的波长反映了光波的频率,给人眼以色彩的感觉;光波的相位反映了光波等相位面的形状,给人眼以立体的感觉。利用干涉和衍射原理,将物光波的特征参量——振幅和相位——以干涉条纹的形式记录下来,并在一定条件下使其再现,从而形成与原物体逼真的立体图像。

二、全息图的记录原理

拍摄全息照片的原理如图 1-2 所示,激光光源(波长为 λ)的光分成两部分:一部分是直接照射到底片上,称为参考光;另一部分经物体表面散射的光也照射到照相底片,称为物光。参考光和物光在底片上各处相遇时将发生干涉,底片记录的即是各干涉条纹叠加后的图像。因此,物光波的记录过程是一个光波的干涉过程。

用单色的激光光源照射物体,物体因漫反射而发出物光波,光场每一点的振幅和相位都是

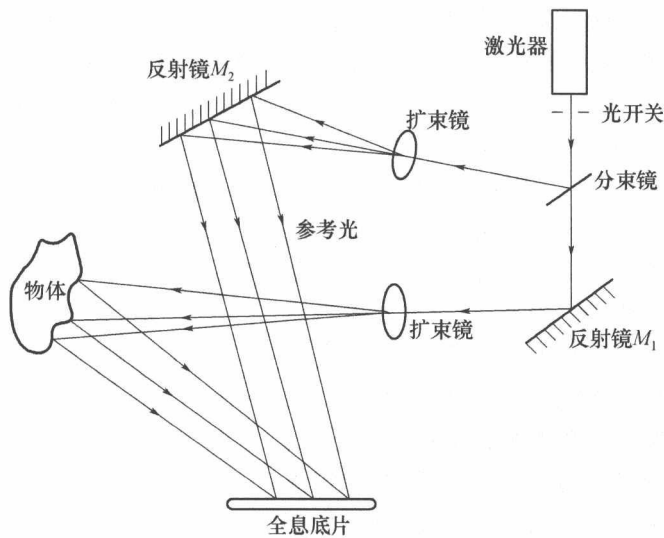


图 1-2 记录全息图的典型光路示意图

空间坐标的函数,物光波每一点的复振幅可表示为

$$O(x, y, z) = A_o(x, y, z) \exp(-j\phi_o(x, y, z)) \quad (1-1)$$

式中: $A_o(x, y, z)$ 和 $\phi_o(x, y, z)$ 分别为物光波的振幅和相位。

物体的全部信息就包括振幅和相位这两方面,但是所有的记录介质都只对光强(振幅)有响应,所以必须把相位的信息转换成强度的变化才能记录下来。干涉法是常用的一种转换方法。因此,为了记录物光波在照相底板上每一点振幅与相位的全部信息,用同一激光光源的另一部分直接照射到底板上。这个光波称为参考光,它的振幅和相位也是空间坐标的函数,参考光每一点的复振幅可表示为

$$R(x, y, z) = A_r(x, y, z) \exp(-j\phi_r(x, y, z)) \quad (1-2)$$

式中: $A_r(x, y, z)$ 和 $\phi_r(x, y, z)$ 分别为参考光的振幅和相位,参考光束通常是球面波或平面波。

如果在物光和参考光叠加的位置放置记录底板,记录底板上总光场是二者的叠加。设记录平面为 xy 平面,该平面上物光波的复振幅分布为

$$O(x, y) = A_o(x, y) \exp(-j\phi_o(x, y)) \quad (1-3)$$

参考光波在记录平面上的复振幅分布为

$$R(x, y) = A_r(x, y) \exp(-j\phi_r(x, y)) \quad (1-4)$$

两相干光波在记录平面上的合光场的复振幅分布为

$$u(x, y) = O(x, y) + R(x, y) \quad (1-5)$$

所以,记录底板上合光场的光强分布为

$$\begin{aligned} I(x, y) &= u(x, y)u^*(x, y) \\ &= A_o^2(x, y) + A_r^2(x, y) + O(x, y)R^*(x, y) + O^*(x, y)R(x, y) \\ &= A_o^2(x, y) + A_r^2(x, y) + 2A_o(x, y)A_r(x, y)\cos[\phi_o(x, y) - \phi_r(x, y)] \end{aligned} \quad (1-6)$$

式中: $A_o^2(x, y)$ 是物光波在记录平面上造成的强度分布,它不均匀,但实验上一般让它比参考光波弱很多; $A_r^2(x, y)$ 是参考光波在记录平面上造成的强度分布,因为一般采用简单的平面波

或球面波作为参考光,因此,在底板上不同位置的变化比较缓慢,该项近似为常数,即光斑均匀,在全息记录中不起主要作用; $2A_0(x,y)A_r(x,y)\cos[\phi_0(x,y) - \phi_r(x,y)]$ 是物光波和参考光波的干涉项,产生以 $\phi_0(x,y) - \phi_r(x,y)$ 为变量按余弦规律明暗变化的干涉条纹,该干涉图样包含了物光波全部的振幅和相位信息。

用记录介质将以上各项记录下来,就是一张全息图。值得注意的是,记录介质上每一点的光强是参考光与到达该点的所有物光波干涉的结果。物体上各点发出的光只要到达底板上的这一点,都对这一点的光强产生影响。因此,记录介质上各点的光强和物点之间并不存在一一对应关系,而是记录介质上任何一点都包含了整个物体的信息。

记录介质一般使用全息干板。所谓全息干板,就是在玻璃基板上涂敷一层卤化银乳胶形成的银盐感光干板。乳胶的颗粒很小,密度大,能保证干板的高分辨率。全息干板的作用相当于一个线性变换器。它将曝光期间的人射光强度 E 线性地转换为显影后负片的振幅透过率 t 。为此,如图1-3所示,必须将曝光量变化范围控制在全息干板 $E-t$ 曲线的线性段内。

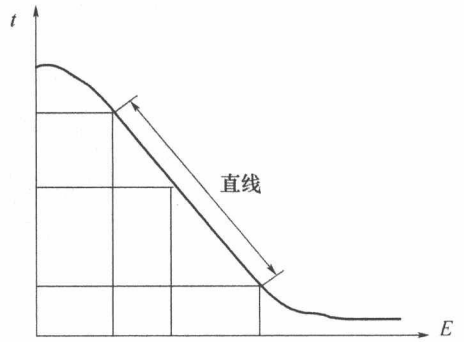


图1-3 全息干板的 $E-t$ 曲线

将曝光后的干板经过线性冲洗(显影、定影),得到全息图的复振幅透过率为

$$t(x,y) = t_0 + \beta E = t_0 + \beta[\tau I(x,y)] = t_0 + \beta' I(x,y) \quad (1-7)$$

式中: t_0 为未曝光时的干板透过率; β 为 $E-t$ 曲线上直线部分的斜率,称为全息感光度; τ 为曝光时间。

假定参考光在整个记录表面上是均匀的,有

$$\begin{aligned} t(x,y) &= t_0 + \beta' I(x,y) = t_0 + \beta' (|R|^2 + |O|^2 + R^*O + RO^*) \\ &= t_0 + \beta' |R|^2 + \beta' (|O|^2 + R^*O + RO^*) \\ &= t_b + \beta' (|O|^2 + R^*O + RO^*) \end{aligned} \quad (1-8)$$

式中: t_b 为均匀偏置透过率; $\beta' (|O|^2 + R^*O + RO^*)$ 为一个复杂的干涉图样。

至此,全息照相的记录过程就完成了。如图1-4所示,全息照片呈现出来的是干涉条纹,而不是物体的像。



图1-4 显微镜下观察到的全息照片

三、全息图的再现原理

全息图波前再现的理论依据是衍射原理,观察全息照片的光路如图 1-5 所示。

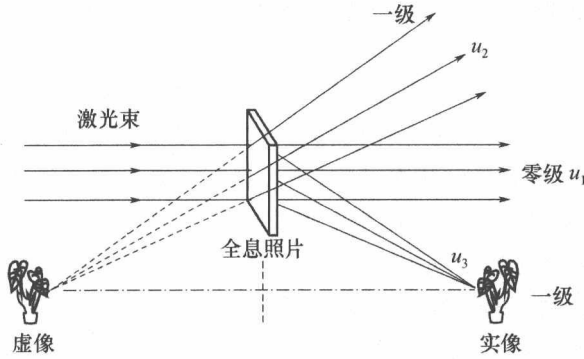


图 1-5 全息图波前再现的典型光路示意图

设用复振幅分布为 $G_i(x, y)$ 的相干光束作为入射光,照射在全息照片上。部分入射光束透过干板产生衍射,绝大部分光被乳胶吸收,少部分被反射。照明光波(再现光)经过全息图衍射后出现一个复杂的光波场 $G_t(x, y)$ 。根据透射率(即透射光的振幅与照相光的振幅之比)的定义,得

$$t(x, y) = \frac{G_t(x, y)}{G_i(x, y)} \quad (1-9)$$

将合光强的分布表达式代入式(1-7),有

$$\begin{aligned} G_t(x, y) &= t_0 + \beta E = t_0 + \beta[\tau I(x, y)] = t_0 + \beta' I(x, y) \\ &= G_i(x, y)t_b + \beta\tau[G_i(x, y)A_0^2(x, y) + G_i(x, y) \\ &\quad O(x, y)R^*(x, y) + G_i(x, y)O^*(x, y)R(x, y)] \end{aligned} \quad (1-10)$$

式(1-10)是表示全息照相再现过程的基本方程,称为全息方程。

如果再现照明光束采用与制作全息片的参考光束相同,则有

$$\begin{aligned} G_i(x, y) &= R(x, y) \\ G_t(x, y) &= R(x, y)(t_b + \beta\tau A_0^2(x, y)) + \beta\tau A_r^2(x, y)O(x, y) + \beta\tau O^*(x, y)R^2(x, y) \\ &= u_1 + u_2 + u_3 \end{aligned} \quad (1-11)$$

式中: G_t 为再现照明光经过全息片上复杂光栅衍射的结果。

普通刻画出来的黑白光栅得到的透射率是突变的,全息片上复杂光栅的透射率是按余弦函数渐变。光波经过全息片的衍射,除了产生零级衍射光以外,只能产生正一级和负一级的衍射光波。式(1-11)等号右边各项的物理意义如图 1-5 所示。

u_1 代表再现照明光束经过全息照片后的透射波,相当于零级衍射波。

u_2 代表 +1 级衍射光波,与制作全息片时记录介质所在处的物光波成正比,按一定比例准确再现了原物光波的信息。它离开全息片后按照惠更斯—菲涅尔原理继续传播,它给人体的视觉与原物在原来位置发出的光波相同(仅仅强度按一定比例改变)。在全息片后面的观察者如果对着该一级衍射波观察,可以看到原物体的三维立体像,这个像是原物的虚像(由光线的反向延长线构成)。其效果如同通过一个窗口来观察原来的物体,如果观察者改变观察角度就可以观察到物体各部分之间或者不同物体之间透视关系的变化,具有明显的视差效应,产

生强烈的三维立体感。可见,全息片具有不用透镜就能成像的特点。

u_3 代表 -1 级的衍射波,与物光波的共轭光波 $O^*(x,y)$ 成正比,称为孪生波。就波面而言,如果原物光波发散,则孪生物光波是会聚的,在观察者看来物体的前后关系与实物相反,构成一个实像。

四、全息图的特点

(1) 全息片上的花纹与被摄物体无任何相似之处。用高倍显微镜观看全息图表面,看到的是复杂的条纹,丝毫看不到物体的形象,这些条纹是利用激光照明的物体所发出的物光波与标准光波(参考光波)干涉,在平面感光底板上被记录形成的,即用编码方法把物光波“冻结”起来。一旦遇到类似于参考光波的照明光波照射,就会衍射出成像光波,它好像原物光波重新释放出来一样。所以全息照相的原理可用 8 个字来表述:“干涉记录,衍射再现”。

(2) 立体感很明显(三维再现性)。某些隐藏在物体背后的东西,只要把头偏移一下,就可以看到,因此视差效应很明显。

(3) 全息图打碎后,只要任取一小片,照样可以用来重现物光波。犹如通过小窗口观察物体那样,仍能看到物体的全貌。这是因为全息图上的每一个小的局部都完整地记录了整个物体的信息(每个物点发出的球面光波都照亮整个感光底片,并与参考光波在整个底片上发生干涉,因而整个底片上都留下了这个物点的信息)。当然,由于受光面积减少,成像光束的强度要相应地减弱,观察方向受到限制导致视差效应不那么显著;由于全息图变小,边缘的衍射效应增强,必然会导致像质的下降。

(4) 在同一张照片上,可以重叠数个不同的全息图。在记录时或改变物光与参考光之间的夹角,或改变物体的位置,或改变被摄的物体等,一一曝光之后再行显影与定影,再现时能一一重现各个不同的图像。

由于具有这些特点,全息照相术现在已经得到了广泛的应用。前面提到的全息信息存储和全息干涉分析就是分别应用了上述第(3)和第(4)个特点。

五、基元全息图

从不同的角度考虑,全息图可以有不同的分类方法。从物光与参考光的位置是否同轴考虑,可以分为同轴全息和离轴全息;从记录时物体与全息图片的相对位置分类,可以分为菲涅耳全息图、像面全息图和傅里叶变换全息图;从记录介质的厚度考虑,可以分为平面全息图和体积全息图。从物光为单一物点还是复合物点分类,可以分为基元全息图和复合全息图。

对全息图所记录的干涉条纹进行分析可知,全息图的干涉花样一般说来总是复杂的,但也是有规律的,它不外乎是平面波与平面波、平面波与球面波、球面波与球面波三种干涉中的一种。

所谓基元全息图,是指由单一物点发出的光波与参考光波干涉所构成的全息图。任何一种全息图均可以看作是许多基元全息图的线性组合。了解基元全息图的结构和作用,对于深入理解整个全息图的记录和再现机理,是十分有益的。

从空域的观点,可以把物体看作是一些相干点源的集合,物光波前是所有点源发出的球面波与参考光波相干涉,所形成的基元全息图称为基元波带片。

从频域的观点,可以把物光波看作是许多不同方向传播的平面波(角谱)的线性叠加,每一平面波分量与参考平面波干涉而形成的基元全息图是一些平行直条纹,称为基元光栅。

图 1-6 给出了几种典型基元全息图的示意图,曲线为干涉场的等强度条纹,矩形则画出了记录干板的位置。图 1-6(a) 表示平面波与平面波干涉,得到的干涉条纹为平行线;图 1-

6(b) 表示平面波与球面波干涉,条纹为旋转抛物面;图 1-6(c)表示两个发散的球面波干涉,条纹为旋转的双曲面;图 1-6(d)表示一个会聚的球面波 R 与一个发散的球面波 O 干涉,条纹为旋转的椭圆面。

实际全息图可以看做是由无数多组基元波带片或基元光栅组成,每组基元光栅的空间取向以及条纹间隔均不相同,因此如图 1-4 所示,全息图看起来是一些杂乱无章的分布。

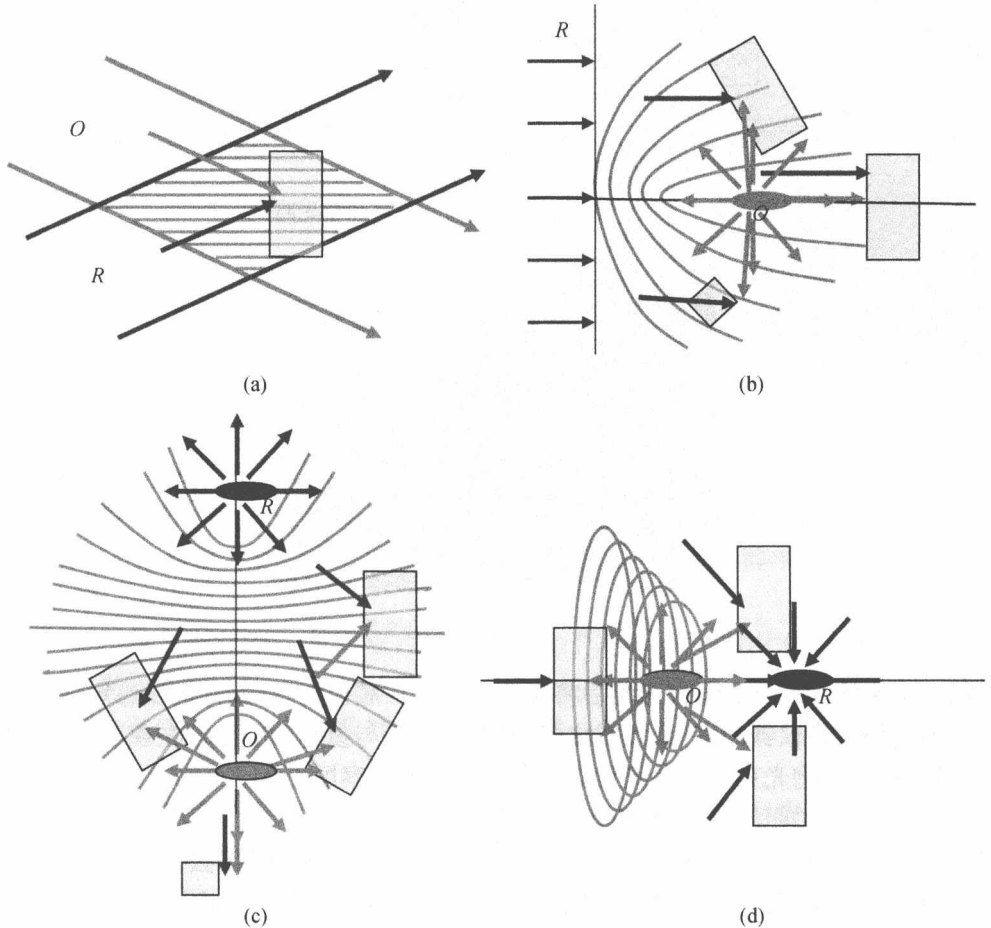


图 1-6 几种典型基元全息图的示意图

【实验内容与步骤】

一、实验方法一

(一) 实验内容

制作漫反射物体的全息片的典型光路图如图 1-7 所示,这是一种典型的利思—厄帕特尼克斯(离轴型)全息照相的光路图。He-Ne 激光器发出的激光由分束镜分成两束,两光束从底片的同一侧入射。两束光强的比例,由被摄物的漫反射能力以及参物两光束在底片上的比例决定。

(二) 实验步骤

(1) 开始实验前,激光器要预热 1h,以免发生波长振动。

(2) 实验中,图 1-7 为光路图,图 1-8 为仪器摆放图。调节激光器使激光束距离底板 13cm,按图 1-7 和图 1-8 排好光路。实验中考虑到光程差的问题,将反射镜 M_3 取消,分束

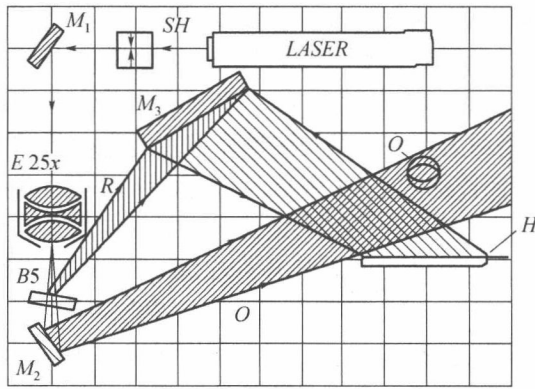


图 1-7 利思—厄帕特尼克斯全息照相光路图

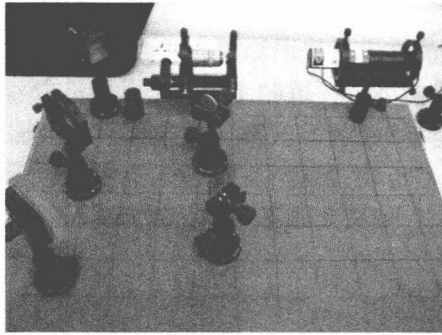


图 1-8 实验方法一的仪器图

镜的功能由 $1/4$ 波片执行。调好光路后将各原件固定在底板上,以保持机械稳定性。

(3) 通过调节各仪器的高低、相对位置,初步将物光与参光调节至打在观察屏上使得光斑已调节至近圆均匀,物光束和参考光束应从同一侧打到观察屏上。

(4) 预热好后,关闭激光器,在暗环境下更换新的照相底片。

(5) 打开激光器,让底片在暗环境和无声环境中曝光 60s 后,关闭激光器。

(6) 暗环境下,将底片置于 30°C 左右的清水中 20s,再置于异丙醇中 120s,进行显影、停影和定影。

(7) 全息片从异丙醇中取出后,立即用吹风机将底片吹干,注意吹风机与底片的距离要大些,以免吹风机温度过高损伤乳胶面,影响实验结果。

(8) 在有光条件下观察波前重建。

由于粗略估计各仪器的摆放位置,纳米级别的光程差太大而使乳胶面上不能形成干涉图样,故没能实现波前重建。

二、实验方法二

(一) 实验内容

反射式全息片的制作法是让物光束和参考光束分别从照相底板的两面进入乳胶层,如图 1-9 所示,激光器发出的光经反射镜打在乳胶层上作为参考光,透过乳胶层的部分光透过干版,经硬币反射后与参考光在乳胶层处干涉,干涉条纹被记录下来。

(二) 实验步骤

(1) 开始实验前,激光器要预热 1h,以免发生波长振动。

(2) 实验中,图 1-9 为光路图,图 1-10 为仪器摆放图。调节激光器使激光束距离底板 13cm,按图 1-9 和图 1-10 排好光路,且使激光器、反光镜和物体三者构成以反光镜为顶点的直角。为避免参考光太强,激光束要经过反射镜 M 后才能打到乳胶面上。全息片的乳胶面应正对激光,硬币成像面应紧贴全息片背面。应保证照射到全息片上的激光能均匀完全地覆盖硬币。调好光路后将各原件固定在底板上,以保持机械稳定性。

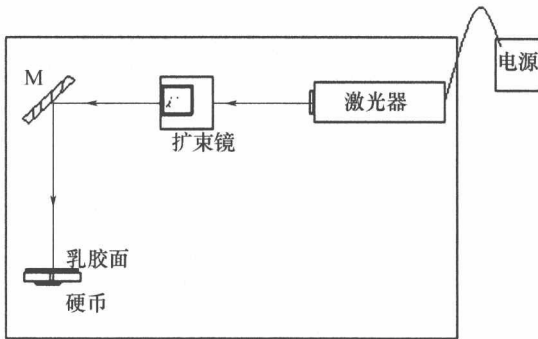


图 1-9 反射式全息照相实验光路图

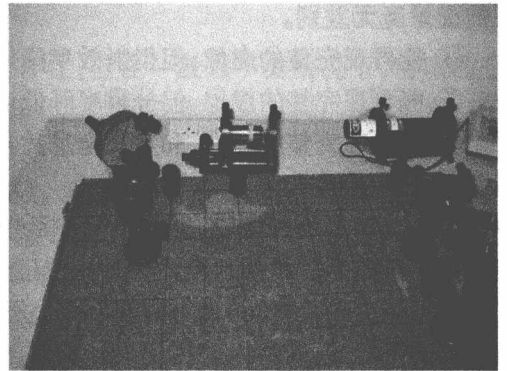


图 1-10 实验方法二的仪器摆放图

(3) 预热好后,关闭激光器,更换新的照相底片。

(4) 打开激光器,在暗环境和无声环境让底片曝光 60s 后,关闭激光器。

(5) 暗环境下,将底片置于 30℃ 左右的清水中 20s,再置于异丙醇中 120s,作显影、停影和定影。

(6) 从异丙醇中取出后,立即用吹风机将底片吹干,吹风机与底片的距离不能太近,以免吹风机温度过高损伤乳胶面,影响实验结果。

(7) 在有光条件下,选择适当角度观察波前重建。

【注意事项】

(1) 要注意安全,绝对不能用眼睛直视未扩束的激光束,防止视网膜损伤。

(2) 不要用手触摸实验仪器的光学元件的镜面。

(3) 拍摄全息图的光学元件必须置于足够稳定的全息台面上。元件与台面之间需要用磁座链接固定。

(4) 曝光前稳定一段时间。

(5) 拍摄前和拍摄中应禁止一切振动干扰,包括空气流动和声波干扰。

(6) 使物光与参考光的夹角尽量减小,以增大干涉条纹的间隔。这样在发生微小振动时,只要条纹移动的距离小于条纹间隔的 1/4,仍可保证全息图样的清晰度。

(7) 尽可能采用相干性能好的激光器,尽可能使物光和参考光的光程相等。多纵模 He-Ne 激光器其相干长度只有 20cm,使用时应注意这一点。

(8) 在化学处理过程及其前后,应拿住全息片的边缘。注意不要触摸药膜面,以免碰伤全息片。

【思考题】

(1) 用两个激光器分别作为物光源和参考光源,能否记录全息图,为什么?

(2) 直接记录干涉图的底片在显形后形成一张全息负片,用此负片可复制全息图正片,试问正片和负片的重像有何区别? 重现像的反衬是否相反(如同普通照相的正负片),为什么?

(3) 若全息片不小心打碎,用其中一块再现来观察其虚像,下面哪种说法是正确的?

- ① 再现原物的一部分。
- ② 完全不能再现虚像。
- ③ 能再现完整的虚像,和没打碎的整块全息照片再现的虚像毫无差别。
- ④ 能再现完整的虚像,但衍射效率降低。
- ⑤ 能再现完整的虚像,但分辨率降低。
- ⑥ 能再现完整的虚像,和整块全息片再现的虚像毫无差别,仅仅观察起来不太方便。

(4) 与普通照相比较,全息照相有哪些特点?

(5) 全息照相是如何把光波的相位记录下来的?

(6) 研究基元光栅,光路如图 1-11 所示,参考光和物光均为平行光,对称入射到记录介质上, $\theta_o = -\theta_r$ 。

① 求出全息图上干涉条纹的形状和条纹间距公式。

② 当采用 He-Ne 激光记录时,试计算夹角为 1° 和 60° 时,条纹间距分别是多少? 某感光胶片厂生产的全息记录干板,其分辨率为 3000 条/mm,此干板能否记录下其干涉条纹?

【参考文献】

[1] 吴思诚,等. 近代物理实验[M]. 2 版. 北京:北京大学出版社,1995.
 [2] 林木欣,等. 近代物理实验教程[M]. 北京:科学出版社,2000.
 [3] 陶世荃. 光学体全息技术及应用[M]. 北京:科学出版社,2013.
 [4] 于美文. 光全息学及其应用[M]. 北京:北京理工大学出版社,1996.
 [5] 曾贻伟. 普通物理实验教程[M]. 北京:北京师范大学出版社,1989.
 [6] 王永昭. 光学全息[M]. 北京:机械工业出版社,1981.

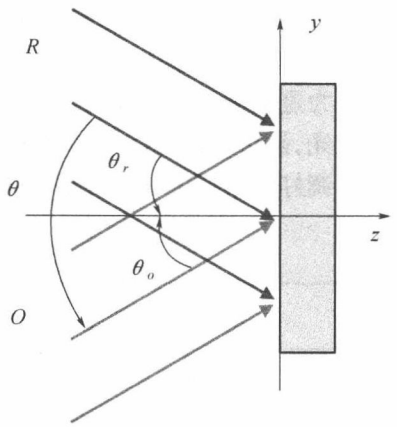


图 1-11 全息记录光路示意图

实验 2 He - Ne 激光器输出光束偏振特性

虽然爱因斯坦在 1917 年就预言了受激辐射的存在,但在一般热平衡情况下,物质的受激辐射总是被受激吸收所掩盖,未能在实验中观察到。直到 1960 年,第一台红宝石激光器的面世,标志着激光技术的诞生。

激光器由光学谐振腔、工作物质、激励系统构成。相对一般光源,激光有良好的方向性。也就是说,光能量在空间的分布高度集中在光的传播方向上,但它也有一定的发散度。在激光的横截面上,光强是以高斯函数型分布的,故称为高斯光束。同时,激光还具有单色性好的特点,也就是说,它可以具有非常窄的谱线宽度。受激辐射后经过谐振腔等多种机制的作用和相互干涉,最后形成一个或者多个离散的、稳定的谱线,这些谱线就是激光的模式。

在激光生产与应用中,如定向、制导、精密测量、焊接、光通信等,常常需要先知道激光器的构造,同时还要了解激光器的各种参数指标。

【实验目的】

- (1) 理解和验证激光谐振原理,掌握激光谐振腔的调节方法;
- (2) 了解共焦球面扫描干涉仪的结构和性能,掌握其使用方法;
- (3) 加深激光器物理概念的理解,掌握激光器纵模模式分析的基本方法;
- (4) 了解激光器的偏振特性,掌握激光偏振测量方法;
- (5) 了解激光纵模正交偏振理论与模式竞争理论。

【预备问题】

- (1) 常见激光器有哪些?
- (2) 本实验用到的是哪种激光器?
- (3) 使用激光器的过程中要注意哪些事项?

【实验仪器】

He - Ne 激光器,共焦球面扫描干涉仪,共焦球面扫描干涉仪控制器,光阑,示波器,光探测器。

【实验原理】

一、He - Ne 氦氖激光器

1. He - Ne 激光器原理与结构

如图 2 - 1 所示,He - Ne 激光器由光学谐振腔(输出镜与全反镜)、工作物质(密封在玻璃管里的氦气、氖气)、激励系统(激光电源)构成。

对 He - Ne 激光器而言,增益介质就是在毛细管内按一定的气压充以适当比例的氦、氖气体。当氦、氖混合气体被电流激励时,与某些谱线对应的上下能级的粒子数发生反转,使介质具有增益。介质增益与毛细管长度、内径粗细、两种气体的比例、总气压以及放电电流等因素有关。

对谐振腔而言,腔长要满足频率的驻波条件,谐振腔镜的曲率半径要满足腔的稳定条件。总之,腔的损耗必须小于介质的增益,才能建立激光振荡。