

激光全息技术及其在医学中的应用

罗乐袁航陈兴

(合肥工业大学理学院 合肥 230009)

1948年英国科学家伽伯在研究电子显微镜的分辨本领时提出了全息理论并开始了全息照相的研究工作。但是由于缺少理想的相干光源,研究工作进展缓慢,直到1960年梅曼研制出世界上第一台红宝石激光器以后,激光的高度相干性和高强度为全息照相提供了理想的光源。在1962年利思和厄帕特尼克斯提出了离轴全息图以后,使全息技术的研究与应用进入了一个新阶段。

由光的波动理论可知,从物体表面发出的光波可表示为: $Y = A \cos(\omega t + \varphi - 2\pi y/\lambda)$, 其中 A 是振幅,表示光强的大小, $(\omega t + \varphi - 2\pi y/\lambda)$ 是位相,表示光在传播过程中各点所在的位置和振动方向。振幅和位相是物光的两个主要特征,即使物体本身不存在,只要产生具有物光的振幅和位相分布的光波,就能观察到该物体的3维图像。普通照相术是把物体表面发出的光波经光学透镜成像在涂有感光材料的底片上,底片记录下物光的光强分布。因为无法记录物光的位相分布,所以普通照相术不能反映物体表面的远近、凹凸,缺乏立体感。全息技术利用光的干涉和衍射理论,在感光底片上不仅能记录物光的光强分布,而且也能记录物光的位相分布,所以利用全息成像技术可以观察到3维立体图像。

全息技术采用的是两步成像法:波前记录和波前再现:

1. 波前记录:利用分束镜把一束激光分成两束。一束照射在物体上并被物体表面反射到全息底片上。另一束激光作为参考光直接照射到全息底片

上(如图1(a)所示),这样物光和参考光将会在全息底片处产生干涉,于是全息底片记录下两束光的干涉条纹图样,从光的干涉理论可知,这时物光的光强分布和位相分布均被记录在全息底片上。但底片上只有干涉条纹并没有物体的像。

2. 波前再现:用一束参考激光照射到记录有干涉条纹的全息底片上时,全息底片相当于一块衍射光栅将对激光束进行衍射,它的一级衍射光波具有物光的光强分布和位相分布,因此通过衍射波可以观察到3维的立体图像。

全息技术的一个应用就是全息干涉测量技术,全息干涉和普通干涉在原理上是相同的,只是在获得相干光的方法上有所不同。普通干涉一般采用的是分振幅法(如迈克耳逊干涉仪)和分波前法(如双缝干涉)。而全息干涉则是把同一物光在不同时刻的波前记录在同一张全息底片上。当一束参考激光束照射在底片上时,将会产生同一物体在不同时刻的两个像,这两个像等同于两个相干光源。它们的光波将产生干涉。所以全息干涉采用的是所谓“时间分割法”。该技术常用的方法有:单次曝光法(实时法)、二次曝光法、多次曝光法、时间平均法、多波长干涉法和错位干涉法等。下面举一个二次曝光法的简单例子来说明全息干涉测量的原理。如图1所示: AB 为一平面薄板, B 端固定在底座上,在 A 端加一个微小的力后, AB 产生一个极其微小的形变,使 A 端到达 A' 位置,利用全息干涉测量技术的二次曝光法可以准确地测量这一微小变化量 AA' 。首先

作者简介



刘喜莲,女,1963年出生。1984年山西大学物理系理论物理专业(学士)毕业,1996年北京理工大学应用物理系电子、离子与真空物理专业(硕士)毕业。长期从事大学物理、物理实验教学工作,主要研究领域为光纤通信,现

任北京石油化工学院数理部讲师。



彭天翔,男,1960年出生。1983年山西大学物理系光电子专业(学士)毕业。长期从事军事光纤通信工作,曾获全军科技进步三等奖和全军优质工程二等奖,主要研究领域为全光通信系统,现任海军91917部队高级工程师。

对平面薄板的初始状态 AB 进行激光全息照相的曝光, 这时在全息底片上记录下 AB 的光强和位相分布。在 AB 受力变为 $A'B$ 时进行第二次曝光, 这时在全息底片上又记录下 $A'B$ 的光强和位相分布。当用再现激光照射全息底片时, 可以同时产生 AB 和 $A'B$ 两个物光的光波, AB 和 $A'B$ 如同一个微小的劈尖干涉装置, 因此在 AB 的图像上可以观察到干涉条纹(如图 1(b) 所示), 由等厚干涉原理可知 $AA' = N \cdot \lambda / 2$ 。 N 为条纹数, λ 为再现激光的波长, 该技术的测量精度能够达到波长数量级的水平。

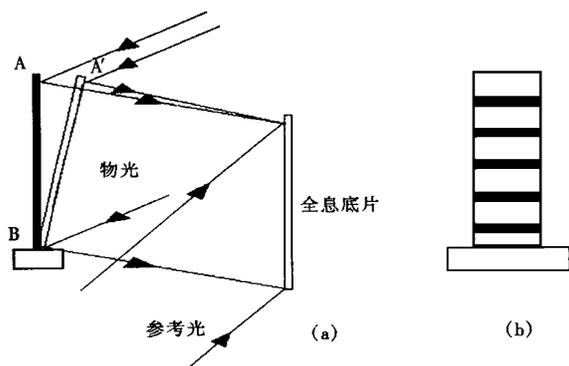


图 1 全息干涉测量技术二次曝光法示意图
(a) 波前记录 (b) AB 上的干涉条纹

全息干涉测量和普通干涉测量相比具有以下优点: 1. 全息干涉的相干光束是由同一系统产生的, 因而可以消除系统的误差、降低对光学元件的精度要求。2. 普通干涉只能用于测量形状比较简单而且经过抛光的透明物体或反射面, 而全息干涉可以用于测量任意形状的 3 维漫反射表面的物体, 对物体表面的光洁度也没有要求。3. 它可以对一个物体在两个不同时刻的状态进行对比, 从而可以探测到物体在一段时间内发生的微小变化。全息干涉测

Keck 开始光学天文学的新时代

据《CERN 快报》报道, 2001 年 3 月 12 日, 位于美国夏威夷的 Keck 干涉仪开始运行。它是目前世界上最大的光学望远镜, 其分辨率相当于一架直径为 85 米的望远镜。在 Keck 运行 5 天之后, 欧洲南方天文台设在智利的极大望远镜(VLT) 也开始干涉观测。干涉量度学是将几台不同的望远镜的数据结合起来, 模拟出单一望远镜的效果, 起初是射电天文的禁区。在波长更大时, 综合不同望远镜信号所需的精度水平很容易达到。多亏有了干涉量度学, 多年来, 射电天文学中的毫弧秒分辨率已经是很平常

量技术已与莫尔技术、光电检测技术、CCD 数据采集技术、计算机技术等结合起来, 实现了自动、快速、准确地实时测量。这使得该技术在无损检测、微应力应变的测量、形状和等高线的测量、振动分析等领域中得到了广泛的应用。尤其是在医学领域中, 全息干涉测量技术以它独有的优点解决了许多其他技术难以解决的问题, 为疾病的诊治做出了贡献。

激光全息技术首先在眼科疾病诊治的应用中获得了成功, 一张全息照片所提供的信息相当于 480 张普通眼底照片所提供的信息。在眼科疾病的诊断过程中, 利用激光全息成像技术可以提供整个眼睛的 3 维立体图像, 并且可以用显微镜对整个眼睛图像的不同位置(如: 角膜、前房、晶状体、玻璃体以及视网膜等) 进行逐层观察和研究。也可以利用激光全息成像技术提供眼睛各个部分单独的 3 维立体图像以做深入的检查。利用激光全息干涉测量技术可以准确地观测玻璃体皱缩、玻璃体条索的生长、白内障的发展、视网膜水肿的改变、黑色素瘤的生长或缩小以及角膜的微小病变和角膜应力等。

超声波检测是目前临床诊断中的一种重要的手段。超声波也是一种波动, 两列超声波在一定的条件下也可以形成干涉, 但它却难以记录和观测。随着激光全息技术的发展, 这一问题得以有效地解决: 让穿过人体检查部位的超声波作用在液面上, 同时把一束激光分成两束, 一束照射到液面上并被液面反射到摄像机上, 另一束作为参考光直接照到摄像机上, 这样摄像机便可以记录下带有声全息干涉图, 再通过激光还原就可以得到超声波的全息图。在临床检查中, 利用这种全息诊断方法可以查出直径在 1mm 以上的乳腺癌, 有利于癌症的早期诊断和治疗。

的事了。由于技术方面的巨大进步, 光学干涉量度学最终赶了上来, 为大量新发现打开了大门。尤其重要的是, 天文学家现在能够展望其他星系行星的直接图像; 看到太阳以外的恒星表面的景象; 研究黑洞附近的环境; 回顾第一批恒星和星系开始闪耀的时代。Keck 干涉仪有两架 10 米望远镜, 每架望远镜由 1.8 米的镜块组成。而 VLT 有 4 架 8.2 米的望远镜, 还有几架 1.8 米的辅助望远镜正在建造中。它的收集范围更大, 因而将能提高灵敏度。

(卞吉 编)