

光纤全息技术研究与发展

吴国锋 卢文全

(桂林光通信研究所)

摘要: 本文介绍了光纤全息技术的原理和到目前为止国内外出现的各种技术方案。同时对光纤全息技术的应用前景作了简要阐述。

The research and development of optical fiber holography

Wu Guofeng, Lu Wenquan

(Guilin Institute of Optical Communications)

Abstract: The principle of optical fiber holography and a series of technical projects up to date at home and abroad are introduced. The application prospect of optical fiber holography is described in brief.

一、前言

传统的全息摄影,其工作范围通常被限制在光学实验台上,拍摄系统对抗振条件要求苛刻。而光纤全息术则大大地减少了传统全息术所必需的光学元件,使系统更为紧凑、简单。并且光纤可以使光线自由地弯曲前进,对系统的抗振条件也没有传统全息术那样严格。又由于光纤具有细软,电气绝缘性能优越和不受电磁干扰等一系列优点,使光纤全息术可以发挥传统全息术所不具备的特殊作用^[1~3]。经过十年来的发展,现在已出现了多种光纤全息术的试验方案,有的已用于工业和医学内窥、相干检测等许多方面。下面首先介绍光纤全息技术的原理,着重说明光纤全息技术中对光纤等光学元部件的要求,然后介绍已出现的各种光纤全息技术方案,并简要阐述光纤全息的应用前景。

二、光纤全息技术原理

图1为光纤全息原理的示意图。从激光器L出来的相干光经光分束器BS分为两束,再由透镜聚焦后分别注入两根光纤。其中一根光纤尾部出来的光线经扩束或直接作为物光照射在物体O上。从另一根光纤尾部出来的光线经扩束或直接作为参考光照射在全息记录材料H上。同

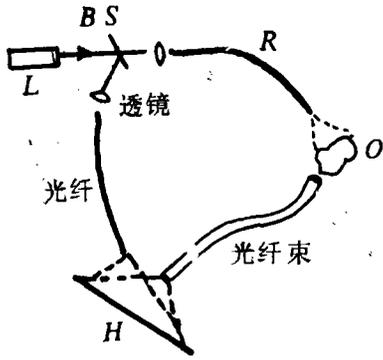


图1 光纤全息术原理示意图

时,记录材料也吸收着由光纤束B传来从被摄物体O上射出的物光。物光和参考光的干涉使记录材料上形成全息干涉条纹,冲洗后即得到一张全息干涉图。将全息图放在确定的光路中,用参考光照射全息图,则在物光的共轭位置形成物体的全息实象,在物光位置形成全息虚象。以上就是光纤全息图记录和重现过程^[5]。在光纤全息系统中,对系统的各个组成部分有一定的要求。下面就激光器、光分束器和全息记录材料作简要说明后,着重对光纤全息所用的光纤加以介绍。

1. 对激光器的要求^[5~9]

在不使光纤产生非线性光效应的前提下,选用激光器的功率应越大越好。为提高激光器的时间和空间相干性,应使激光器以单纵模和单横模输出。对连续激光器要求其输出稳定,对脉冲激光器要求能以一定重复频率运行。常用的激光器有:He-Ne、Ar离子或红宝石激光器。其中He-Ne激光器因其相干性好,使用方便而常被采用。

2. 对光分束器的要求^[10]

为使干涉条纹有较好的可见度,实验中使用的物光光强在参考光的2~100倍之间,最佳状态是10倍左右。这样,就可根据需要,选择适当分光比的分束器。

3. 对记录材料的要求^[5,11]

用作光纤全息的干板,对其分辨率和感光度有较高的要求。一般地,溴化银颗粒越大,感光度就越高;颗粒大小越均匀,反差就越好;颗粒越小,分辨率就越高。通常,分辨率和感光度具有相反的特性。

胶片片基易受环境振动的影响,故大多喜欢使用玻璃干板,以平面度好、无色透明、没有气泡和无变形的玻璃为佳。

4. 对光纤的要求^[1,2,4,6,12~14]

(1) 光纤类型的选择 在光纤全息记录和再现过程中,辐射光的相干性和偏振态是重要因素,这些因素因光纤的类型不同而异。多模光纤芯径大,能提高物体的照明度,但多模光纤端的辐射光由很多小亮斑组成,其中小亮斑之间的暗区不能照明物体,因而物体上的许多信息在记录过程中丢失,再现时不能获得物体的细节。改善这一现象的措施是在光纤端增置一块漫射板。单模光纤端输出的光辐射与高斯球面波非常相似,它可以直接照明,而不用象传统全息那样使用空间滤波器,但因受激光与单模光纤耦合效率及非线性效应的限制,其输出光强较弱。

(2) 光纤中偏振态的影响^[4,15] 若物光与参考光的偏振方向平行,则相干性最好,故光纤能否保持偏振是一个很重要的问题。理想的圆形单模光纤有两个简并模传播,实际的光纤存在弯曲、扭转、变形等情况。这些因素增加了单模光纤中HE₁₁模的两个正交偏振态的耦合。为减少其耦合,从光纤本身来考虑,是使其结构能使两个正交模的传播常数差值尽可能大。当差拍长度远小于光纤中的几何扰动的空间周期时,光纤中光偏振可保持稳定。多模突变光纤是消偏振的。因为每一导模有各自的偏振态,它们在辐射图样的亮点中随机分布。这

一特性导致全息干涉条纹对比度减小。

(3) 光源谱宽对多模光纤长度的限制^[4] 设激光谱宽为 $\Delta\omega$ ，多模光纤为突变折射率分布。为使从多模光纤端出来的光具有较好的相干性，则多模光纤的长度 L 应满足下式：

$$L \ll 2\pi c n_{包} / [\Delta\omega n_{芯} (n_{芯} - n_{包})] \quad (1)$$

式中， c 为光速， $n_{芯}$ 、 $n_{包}$ 分别为纤芯及包层折射率。

使用渐变折射率光纤，可避免突变光纤中光在包层处的反射而增大各光线间的位相差，故在全息术中，它可以比突变光纤作得更长一些，且全息干涉条纹的对比度更好。

(4) 单模光纤振动相移效应的影响 设光线通过一芯径为 $2a$ ，弯曲半径为 R 的光纤。假使光纤受外界扰动，使弯曲半径变为 $R' = R + r$ ，($R \gg r$)。为使干涉条纹稳定，对连续激光器来说，物光光纤 L_o 和参考光光纤 L_r 的长度应满足下式 (λ 为激光波长)：

$$L_o + L_r < \lambda R^2 n_{包} / (4ar n_{芯}) \quad (2)$$

(5) 光非线性效应对光纤长度的限制^[2] 光纤允许传输最大的光功率受非线性效应所限制。其过程主要是受激布里渊散射，当散射明显时，应满足关系式 (适于连续光波)：

$$P/A = C/L_e \quad (3)$$

式中， P 为光纤能传输的最大光功率 (W)， A 是光纤的有效横截面积 (m^2)， C 是给定光纤的常数， L_e 是特征长度，由下式确定

$$L_e = \alpha^{-1} [1 - \exp(-\alpha L)] \quad (4)$$

式中， L 是光纤长度。 $\alpha = 0.23\alpha_{10.5}$ ，为光纤衰减系数， $\alpha_{10.5}$ ，为光纤损耗 (dB/km)。

以上给出了环境条件的变化，对光纤长度限制的几种情况。此外还应对光纤热效应、微弯、扭曲等影响作一些定量分析，才能全面掌握光纤在全息术中的特点。这里就不再分析了。

三、各种光纤全息技术的试验方案

如图2(a)所示，用单模或多模光纤照明物体，用单模光纤作参考光路，两者长度相等。伦敦大学1978年做了该实验。在图2(b)中，增加了传象光纤束，可拍摄远离实验台的物体及实现全息内窥。武汉邮电研究院及北京邮电学院1988年做了该试验。在图2(c)中，用光纤分路器取代分光器 (BS)，使结构更为紧凑。在图2(d)中，用多层光纤取代物光光纤和参考光光纤，减少了许多组元。1985年美国西北大学做了这类实验^[14, 17, 18]。

图3示出采用脉冲 (20ns) 红宝石激光器拍摄运动物体的全息术。在图3(a)中，采用一根 $\phi 3mm$ ，长50cm的多模光纤束照明物体；参考光用同样直径、长91cm的多模光纤传输。在图3(b)中，照明物体的多模光纤束增加为两条，约为 $\phi 3mm$ ，长50cm，以减少由于引入 $\phi 10mm$ 、长100cm的传象多模光纤束对物体信息量的降低，同时也起到均匀照明物体的作用。美国贝尔实验室1983年做了该项工作^[17]。

为某种特殊目的而设计的如图4和图5所示的光纤全息方案。在图4中，物体放在一个转盘上。在记录材料与单模传象光纤束之间加入一柱面透镜。使物体在各个位置的全息图分别记录在同一张底片的各个部分。这样便于分析物体各个位置的状态。日本 Hokkaido 大学1985年做了这样的实验^[18]。在图5中，物光和参考光均由同一根多模光纤束直接传递到底

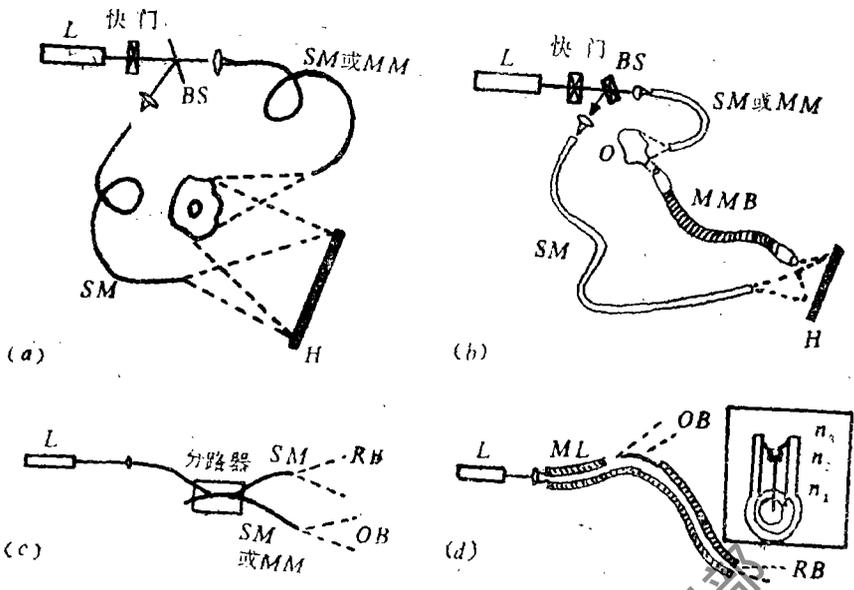


图2 光纤全息术的几种常见类型

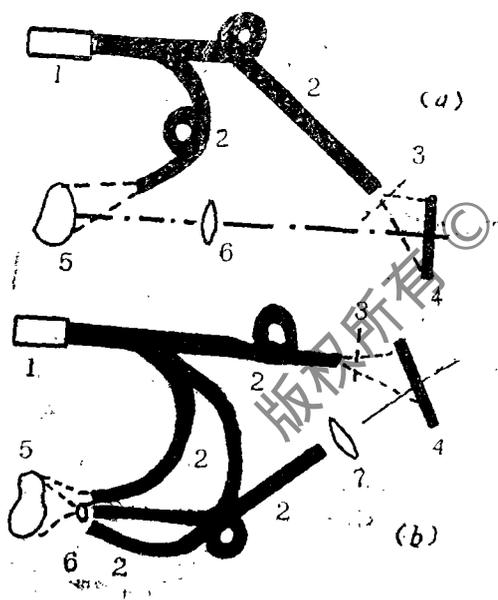


图3 脉冲激光全息术

- 1—脉冲红宝石激光器
- 2—多模光纤束
- 3—衰减器
- 4—全息片
- 5—物体
- 6、7—透镜

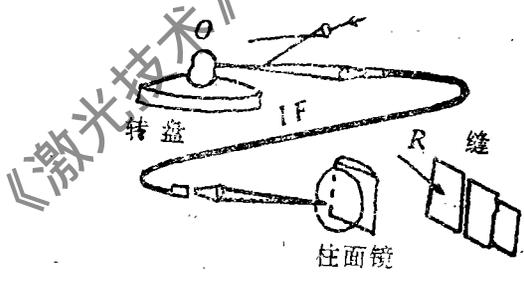


图4 光纤多路全息实验

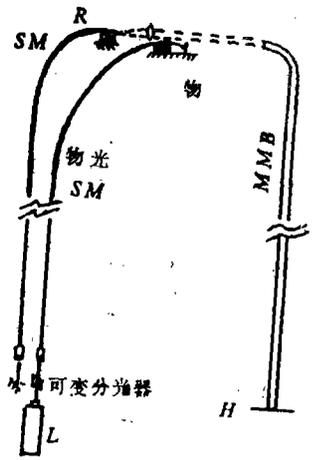


图5 单根多模光纤束传递物光和参考光的全息实验

片上。该装置适于微小物体及低空间频率的全息拍摄。1982年美国贝尔实验室做了这类实验。

还有一种采用变折射率棒的光纤全息实验方案。激光穿过该棒照明物体，物体的反射光反向穿过该棒与参考光一起射到底片上形成全息图。在图6 (a) 中，变折射率棒两端面均垂直于光线。在图6 (b) 中，把变折射率棒两端面磨成斜面，从而避免了端面的反射光进入全息图。它所产生的全息图干涉条纹的对比度比图6 (a) 有明显的提高。在图6 (c) 中，多模光纤束被换成了单模光纤，它产生干涉条纹的对比度又比图6 (b) 提高很多，但条纹分辨率有所下降。该装置在全息内窥方面有较大的实用价值，缺点是光路不能弯曲。1983至1986年联邦德国Münster大学对此曾作过系列研究^[20,21]。

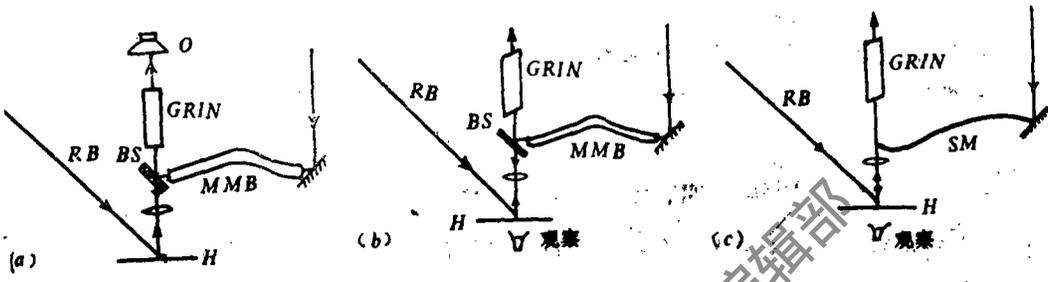


图6 采用变折射率棒的内窥全息技术实验

由于制作有序光纤束非常困难，且目前的最大长度仅5m以下，所以又出现了一种采用无序光纤束的全息试验方案。如图7所示，物光经透镜 L_4 进入无序光纤束，同时模拟信号进入 L_2 和 L_3 的光路。参考光由反射镜 M 调节，在底片上有一位置可移动的圆形光孔。通过圆孔在底片上的不同位置曝光，可制得全息图。实验表明，无序光纤束越长，所含光纤数越多，

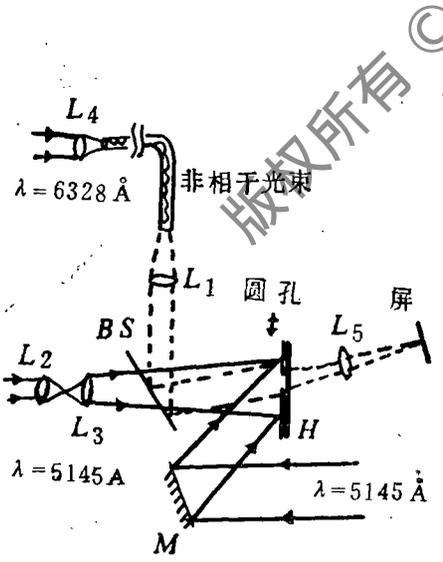


图7 无序光纤束全息实验

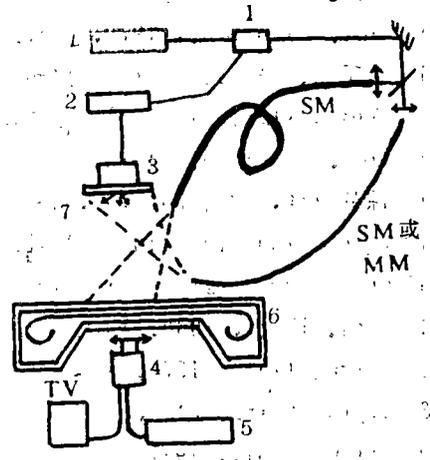


图8 物体振动实时全息

- 1—克尔盒 2—频率发生器 3—压电体
- 4—摄影机 5—磁镜 6—胶片 7—振动平板

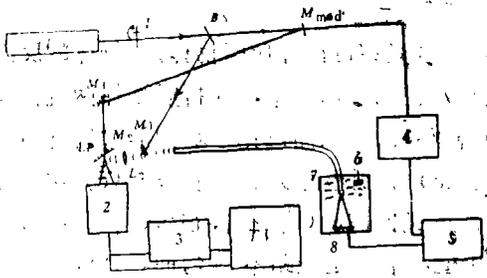


图9 物体水下振动实时全息监测示意图

- 1—斩波器 2—摄影机 3—滤波器
4—自动电子仪 5—正弦波发生器
6—螺旋桨 7—水箱 8—物

则再现象损失的物光信息就越少。显然，该方法比有序光纤束重现象的质量要差得多。1979年以色列Weizmann科学院做了这类试验^[22]。

有人发展了将电视监测系统与光纤全息系统结合起来的实验方案。它主要用于全息图的实时监测，对连续观察物体的运动或变形，有较大的应用价值。图8和图9是它们的应用实例示意图。1983年法国F·Albe等人研究了振动平面板的全息实时监测（如图8所示）^[23]。挪威技术学院1980年作了图9中水波动物体全息图的实时监测工作^[9]。

四、结 束 语

以上我们介绍了十几年来光纤全息技术的发展动态，分析了所用光纤的有关特性。目前，光纤全息技术正向实用化方向发展。在这一领域，全息图象的处理技术也是至关重要的。光纤全息技术在工业及医学内窥、长距离实时监测、运动物体全息测量及全息相干检测等许多方面有着广阔的应用前景，特别是对微小物体全息的应用，更具有现实的意义。

参 考 文 献

- [1] 《应用激光》，1988年，第8卷，第3期，第123页。
[2] 《光通信技术》，1987年，第11卷，第2期，第18页。
[3] 《光电子技术与信息》，1988年，4月，第1页。
[4] Opt. Commun., 1979, Vol. 28, No. 3, P. 303.
[5] 松下昭，平井纪光，《全息照相术的原理及实验》，科学出版社，1988年1月第1版。
[6] Appl. Opt., 1977, Vol. 16, No. 1, P. 225.
[7] Opt. Commun., 1985, Vol. 55, No. 4, P. 261.
[8] 陈钟鸣译，《国外技术》，1988年，6月，第66页。
[9] Opt. Commun., 1981, Vol. 38, No. 3, P. 155.
[10] Opt. and Laser tech., 1983, Aug., P. 194.
[11] Opt. Eng., 1980, Vol. 19, No. 6, P. 908.
[12] Appl. Opt., 1976, Vol. 15, No. 3, P. 609.
[13] Appl. Opt., 1977, Vol. 16, No. 2, P. 494.
[14] Appl. Opt., 1987, Vol. 26, No. 11, P. 2159.
[15] 王德荣译，《光纤光缆传输技术》，1987年，6月，第52页。
[16] Opt. Eng., 1985, Vol. 24, No. 4, P. 645.
[17] Appl. Phys. Lett., 1983, 43(B), P. 730.
[18] Appl. Opt., 1986, Vol. 25, No. 4, P. 480.

- [19] Appl. Opt., 1983, Vol. 22, No. 7, P. 1000.
[20] Appl. Opt., 1984, Vol. 23, No. 11, P. 1725.
[21] Appl. Opt., 1986, Vol. 25, No. 19, P. 3425.
[22] Appl. Opt., 1980, Vol. 19, No. 10, P. 1661.
[23] J. Optics., (Paris), 1984, Vol. 15, No. 6, P. 397.

* * *
作者简介: 吴国锋, 男, 助工。现从事光纤通信无源器件及光纤全息技术工作。
卢文全, 男, 高工。现从事光纤传感技术及光纤全息技术工作。

收稿日期: 1989年4月17日。

· 简 讯 ·

展望光通信未来的欧洲光通信会议

1988年9月11日~15日在英国Brighton召开的欧洲光通信会议(EOCOC'88)展现了替代的纤维光学的发展动向。会议讨论了光放大器, 光开关和非经典的光行为。在170篇的论文中重点论述的是远程通信而不是近程通信元件和光纤的发展。

日本东京NTT基础研究实验涉及到非经典光波通信的新近进展。光量子技术, 例如光压缩和量子非破坏探测, 能克服散粒噪声极限的性能。实现这些技术的关键将是采用非线性光学功能优良的材料。

法国Nice大学研究了超导体/光波的相互作用。超导体器件, 例如, 开关、约瑟夫逊结和可编程计算机元件, 能影响未来的远程通信技术。

英国伦敦College大学校长J. E. Midwinter援引会议关于光纤的非线性光学效应(包括激光作用)的报告说, “实现全光纤中继器的日期可能为期不远了。”

摘自L.F./E.-O., 1988, No.11, P. 14.

邹福清 译 邹声荣 校

用准分子光在硅上沉积超导薄膜

美新泽西州雷德班克Bellcore的研究人员把硼钇铜氧化物薄膜直接沉积在硅表面上。过去是用的缓冲器, 而且在样品退火时使用的高温引起了超导体和衬底之间熔融及一层粗糙表面。现在用KrF准分子激光器便在低温脉冲激光沉积, 退火温度从高于800℃下降到600℃, 退火时间也从几小时减到30min。样品表面比过去的光滑。已证明薄膜在液氮温度(约80K)具有超导性。

据改善表面研究的Bellcore的负责人Venkatesan说, 下一步的任务是提高制作技术的重复性和进一步降低沉积温度, 还打算在这些表面上制作微米和亚微米电路。

摘自L.F./E.-O., 1988, Vol.24, No.5, P.8.

张先绪 译 邹声荣 校