

用实时全息术测量胶体在硬化 过程中的厚度变化

王 文 生

(长春光学精密机械学院)

B. Pfister

(Inst für Technische Optik, Univ. Stuttgart, West Germany)

提 要

本文从原理和实验两个方面,研究了应用硅酸铋($\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$)光电晶体作为全息记录材料和运用三个干涉图方法在计算机控制的全息装置上自动计算全息图的实时全息术。并测量了二元胶体在长达4个小时的硬化过程中各个时刻的胶层厚度变化。

关键词: BSO 晶体;实时全息术。

一、引 言

实时全息是全息干涉的一种方法。用这种方法可以用一个零全息图研究某一物体任意的不同的变形状态。这种变形可以通过在全息重现时产生的干涉条纹计算出。自动计算全息图有很大的意义。它不仅提供了变形的大小,而且也提供了变形的方向。

如果零全息图被记录在一个普通的全息干板上,为了显影必须把干板从全息装置上取下来,然后再以小于 $\lambda/2$ 的精度复位(λ : 应用的激光波长)。近年来,许多新的全息材料被应用于实时全息术上,这种材料可以就地显影,省掉了调校时间。实验表明,硅酸铋晶体(BSO)是一种极好的实时全息记录材料。

二、应用 BSO 晶体作为全息记录材料

图1示出硅酸铋晶体记录信息的情况。这种晶体具有线性的电光效应和光导特性。实验表明,当加一横向电场($\approx 5 \text{ kV/cm}^2$)时,能得到一个可以同高分辨率的全息乳剂相比较的灵敏度。最大的衍射效率约2%,大约得到400 limes/mm^[1]。和所有其它的全息记录材料相比,BSO晶体的优点是,其全息图可以任意多次地消去,然后晶体再被重新应用,它不会产生任何损耗或疲劳现象;它也不需要任何时间进行显影,因为相应于光强分布的折射率变化在物光照明晶体时就已产生,也就是说,在物光照明时,全息图自动实现显影。

由物波和参考波的重叠所产生的显微干涉图将做为BSO晶体的折射率的空间调制而

被记录下来。由于线性的电光效应, 折射率按晶体内所建立起来的电场变化 Δn 为^[2]:

$$\Delta n = \frac{1}{2} n^3 \gamma_{41} E. \quad (1)$$

式中 E 为电场强度; γ_{41} 为电系数; n 为晶体的折射率。

在厚度为 D 和折射率为 n 的晶体和折射率为 1 的空气之间位相变化 $\Delta\phi$ 为:

$$\phi = \frac{2\pi}{\lambda} (n-1) D, \quad (2)$$

$$\Delta\phi = \frac{2\pi}{\lambda} [D\Delta n + (n-1)\Delta D]. \quad (3)$$

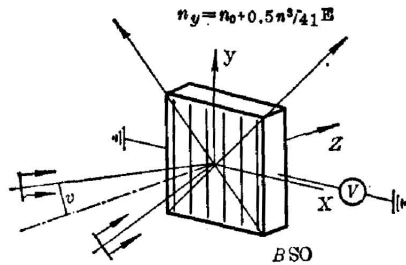


Fig 1 Information storage in BSO crystal

因为 λ 远小于 nD , 所以在照明晶体时较小的折射率变化 Δn 可以引起较大的相位变化 $\Delta\phi$ ($\Delta D=0$)。因此 BSO 晶体可用于全息干涉, 是理想的实时全息的信息记录材料。其缺点是, 在全息重现时信息会很快地消去。在测量时要考虑到这一点。

三、自动计算全息图

在全息干涉中(二次曝光全息, 实时全息)虽然可以借助于重现全息图中可见的干涉条纹来确定某一变形的大小, 但不能确定变形的方向, 不能区分凸和凹。而用自动计算全息图可使之成为可能。为此需要比较波前(参考波)位相不同的三个全息图。见图 2, 为了简单起见, 设物波是旋转对称的, 参考波是平面波, 那么在这种变形中所得到的干涉条纹是圆形的。如果参考波按箭头方向移动, 那么干涉条纹在凸的情况下向外移动; 凹的情况向里移动。按照三个干涉图的方法可以确定变形的方向。

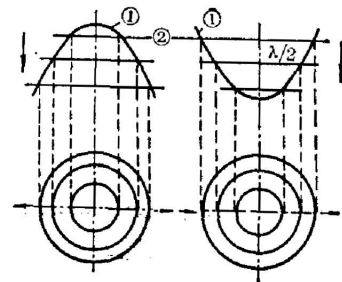


Fig.2 To recognize "the mountain" and "the valley" through the phase shift of the reference wave
(a) mountain; (b) valley

在拍摄全息图时, 物波的每一点相对参考波都有一确定的未知的相位。这个相位和物体变形后每一点的位移成正比。下面的相位关系适于每一物点:

$$\phi(x, y) = \frac{2\pi}{\lambda} [K_1(x, y) - K_2(x, y)] \cdot L(x, y). \quad (4)$$

式中, λ 为所应用的激光波长; K_1 为照明方向的单位矢量; K_2 为观察方向的单位矢量; L 为变形矢量。如果相位 $\phi(x, y)$ 已知, 那么可以计算出变形矢量 $L(x, y)$, K_1 和 K_2 可以从全息装置的几何结构中得到。

对于重现全息图中的每一点的光强有

$$I(x, y) = a(x, y) + b(x, y) \cos[\phi(x, y)]. \quad (5)$$

如果 I_0 为物光的强度, I_R 为参考光的强度, 那么,

$$a(x, y) = I_0 + I_R, \quad b(x, y) = 2\sqrt{I_0 \cdot I_R}$$

因为 $I(x, y)$ 可以测出, 公式(5)包含三个未知量 $a(x, y)$, $b(x, y)$ 和 $\phi(x, y)$ 。为了确定

$\phi(x, y)$ 需要的三个公式可以通过引入附加相位移 θ 得到:

$$I_1(x, y) = a(x, y) + b(x, y) \cos[\phi(x, y) - \theta], \quad (6)$$

$$I_2(x, y) = a(x, y) + b(x, y) \cdot \cos[\phi(x, y)], \quad (7)$$

$$I_3(x, y) = a(x, y) + b(x, y) \cdot \cos[\phi(x, y) + \theta], \quad (8)$$

如果附加的相位移 θ 已知为 $\pm 90^\circ$, 那么由公式(6)~(8)相位 $\phi(x, y)$ 确定为:

$$\phi(x, y) = \arctan \frac{I_1(x, y) - I_3(x, y)}{2I_2(x, y) - I_1(x, y) - I_3(x, y)} \circ \quad (9)$$

那么由公式(4)可以计算出每一物点 $P(x, y)$ 的位移矢量 $L(x, y)$ 。公式(4)和(9)是实现自动计算全息图的基础。

四、实验装置

图 3 示出实验装置简图。

这里应用所谓的像面全息图,也就是说,物体通过物镜在 BSO 晶体附近成像,从而大大地减少照明时间。

为了自动计算全息图的相位移 θ , 在平行的参考光路中借助于一平行平板来实现。用一压电位移器, 它使平行平板转动一定角度, 相应相位移为 $\pm 90^\circ$ 。在测量之前必须进行一次调校。

自动计算全息图由电视摄像机, 电视监视器, 具有图像储存器的计算机, 一个计算机控制的用于相位移的压电位移器和一个打印机组成。

为了自动计算所需要的三个全息图将连续地通过电视摄像机在 IBM-PC 图像储存器中储存起来。同时每次相位移动为

$$\theta_1 = 90^\circ, \theta_2 = 0, \theta_3 = -90^\circ。$$

为了减少数据, 每个全息图仅有 32 列在微机中储存起来。然后, 利用公式(4)和(9)计算相位 $\phi(x, y)$ 以及变形矢量 $L(x, y)$ 。其最多的计算点是 32×32 。计算结果将在一个文件中储存起来, 然后在一个画图监视器上以假 3 维坐标描述出来或者在打印机上打印出来。

理论与实验表明, 偏振效应大大地减少了在重现全息图中的干涉条纹的对比。在垂直方向线性偏振的全息技术中使用的激光, 在非镜面物体上漫反射时, 产生的消偏振约 50%^[3]。因此, 必须在装置中放入偏振滤光片。

五、用实时全息术测量二元胶体在硬化过程中的厚度变化

在近代工业生产中, 胶粘技术以日益增长的规模应用到许多领域。对于很精密的连结, 胶层在硬化时的厚度变化不能忽略, 因为由此可以引起尺寸变化并产生应力, 导致不可忽略的元件变形或元件完全破坏。

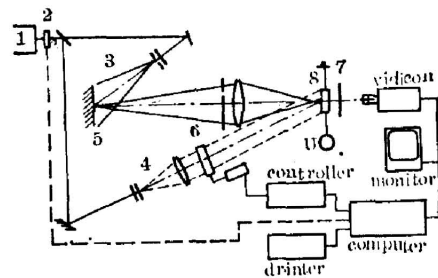


Fig. 3 Experimental setup with the BSO crystal and automatic hologram analysis

1—Ar laser; 2—shutter; 3—objective,
4—reference beam; 5—measured subject;
6—parallel; 7—polarizer; 8—BSO crystal

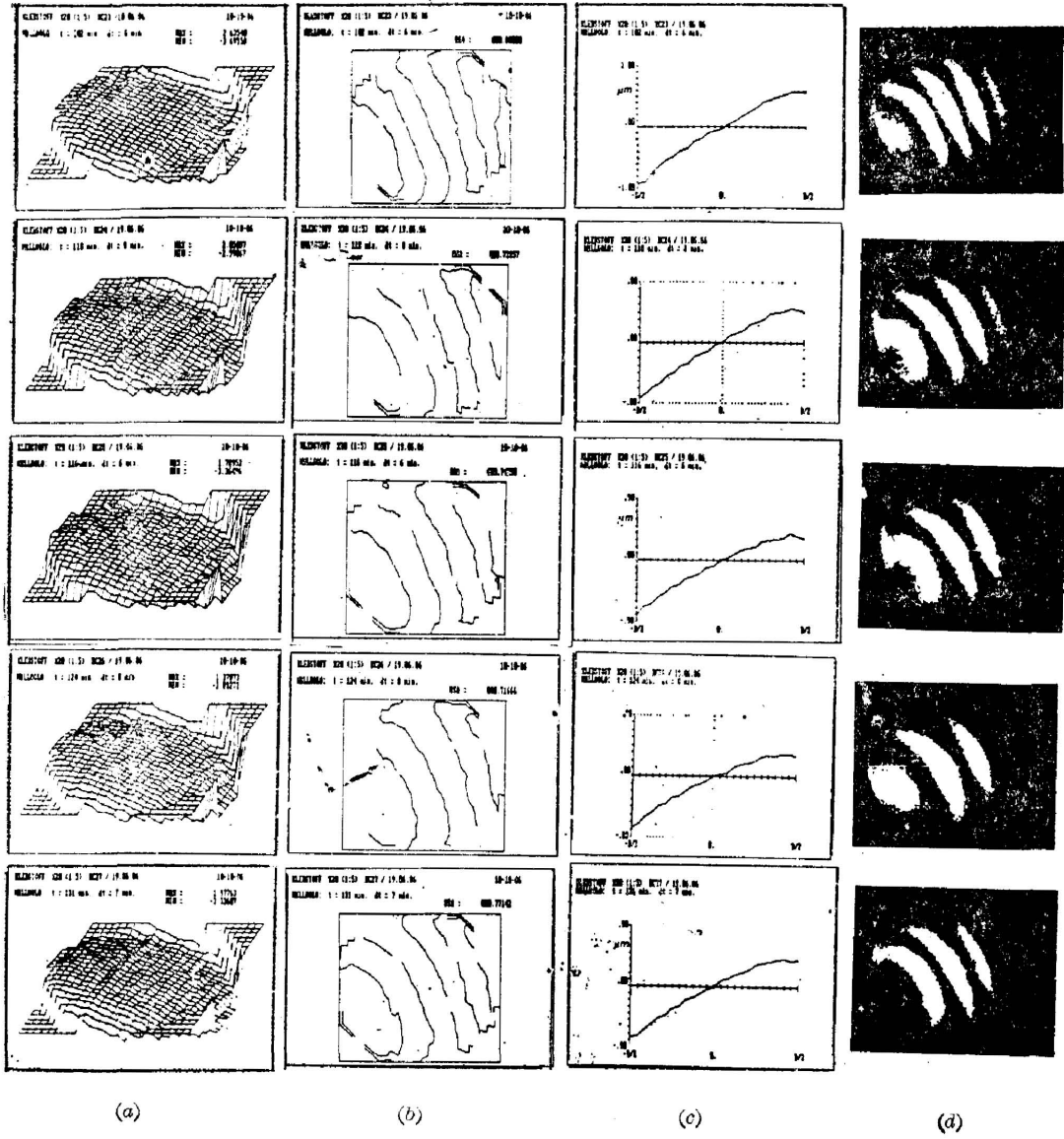


Fig. 4 Automatic hologram analysis of the real-time holography.
Section from a hardening process of a 2-components-adhesive

因为必须在胶硬化时测量胶层的厚度变化,而实时全息术正适合这种实时、无接触的长长度测量要求。实验表明,胶层在硬化时的总变形远远大于一个全息图的测量范围,因为条纹的密度过大。因此整个过程不能用一个零全息图进行比较。由于这个原因,必须把许多零全息图一个接一个地排列起来,即是当干涉条纹的密度刚要过大之前,计算出全息图,并把瞬时的变化状态做为新的零全息图记录下来。

这种要求需要的全息记录材料要能允许在实验装置上进行全息显影,以及自动计算后,记录的全息图能相当迅速地再被消去,以便形成一个无空隙的连续系列的全息图。用 BSO 晶体和用三个干涉图法的自动计算全息图的实时全息装置能够完成这个任务。因为应用 BSO 晶体总是可以迅速地消去全息记录(在 $5 \cdots 10 \text{ sec}$),并为拍摄新的零全息图做好准备。

测量是在一个楔形的胶层上进行,初始楔形胶层厚度为 0.15 mm (最大的楔度)。胶层外面盖上一层薄的乳白色漆,使表面漫反射。

作为实例,图 4 示出在胶硬化过程中 5 个连续的自动计算全息图的系列,每个系列由 35 个全息图组成。图 4(a)是借助于三个干涉图法所计算的描绘出方向的变形;图 4(b)为根据变形所计算的等高线;图 4(c)示出中间一行的变形截面曲线;图 4(d)示出从电视监视器上所拍摄下来的重现的实时全息图。最大的相对变形从全息图(A)到全息图(E)为 $1.5 \mu\text{m}$, $1.15 \mu\text{m}$, $1.15 \mu\text{m}$, $1.0 \mu\text{m}$ 和 $1.35 \mu\text{m}$, 相应的硬化时间为 $t=102 \text{ min}$, 110 min , 116 min , 124 min 和 131 min 。

图 5 是在胶硬化过程中,为测胶层厚度变化 ΔS 用实时全息所测量的 35 个全息图相对变形叠加后的曲线,其时间 $t=39 \text{ min}$ 到 $t=250 \text{ min}$,初始楔形胶层的厚度为 0.15 mm 。

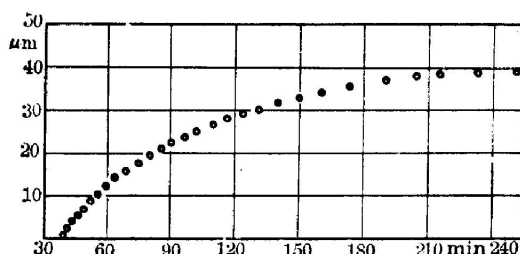


Fig. 5 A layer thickness variation of 2-components-adhesive with hardening time t , measured by real-time holography with automatic hologram analysis

在胶层硬化初期,两次测量之间的时间差为 1.5 min 。在这个时间内,必须用微机把 BSO 晶体中储存起来的重现的全息图自动计算出。经过大约 250 min 后,重现的全息图经过长时间的观察(18 min),不再产生任何干涉条纹(见图 6),即是在这期间胶层不再变形和不再收缩。

对于所研究的初始厚度为 0.15 mm 的胶层,经过大约 250 min 后,最大的厚度变化为 $40 \mu\text{m}$,即胶层收缩大约为 26% 。这是一个很大的量级。所以对灵敏的精密连结,不能忽略胶层收缩。图 6 示出了图 5 所描述的胶层厚度变化的重现的实时全息图。

本文实验测试是在西德斯图加特大学技术光学所进行的。德文原稿经技术光学所所长 H. Tiziani 教授审阅和修改,在此表示衷心感谢。

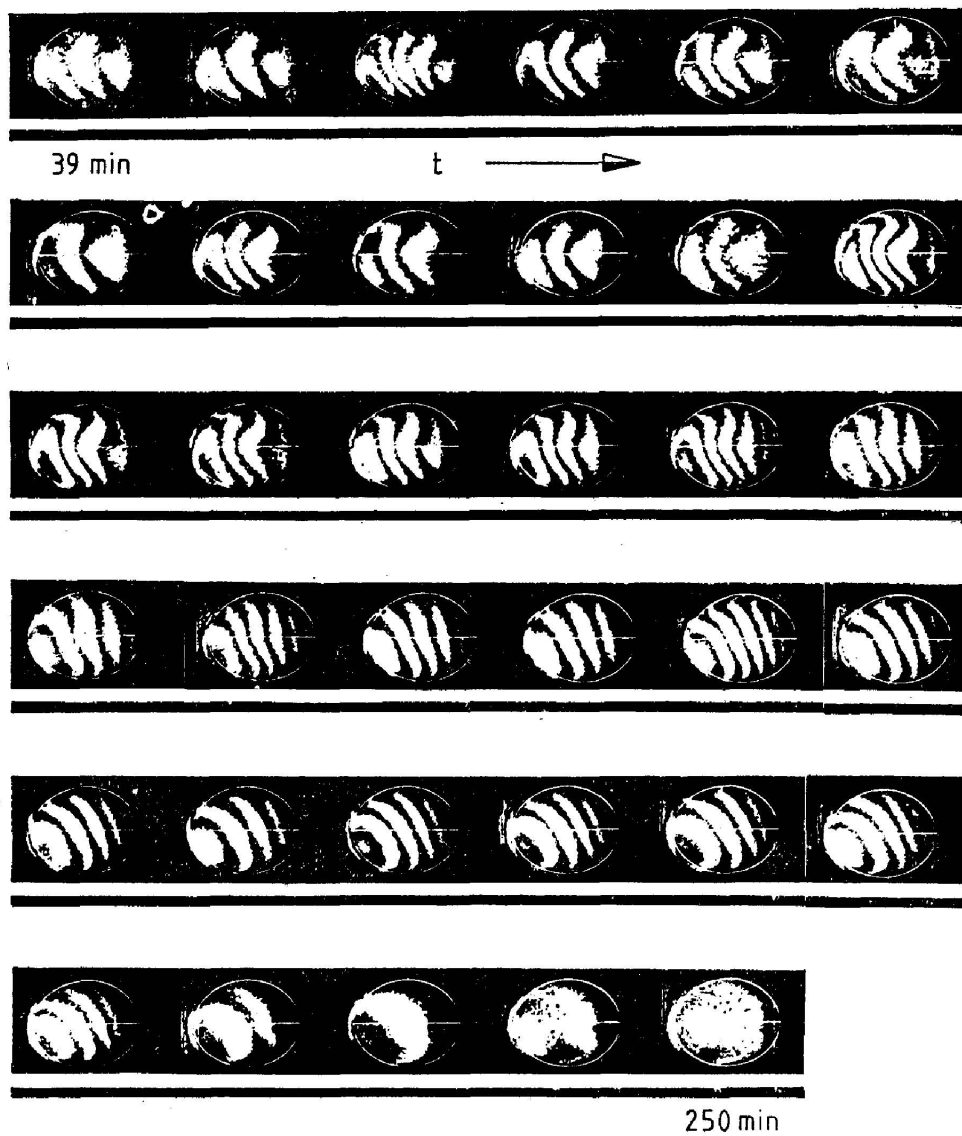


Fig. 6 Real-time holography for a layer thickness variation

参 考 文 献

- [1] H. J. Tiziani; *Optica Acta*, 1982, **29**, No. 4 (Apr), 463.
- [2] H. J. Tiziani, J. Klenk; *Appl. Optics*, 1981, **20**, No. 8 (Apr), 1467.
- [3] C. M. Vest; *Holographic Interferometry*, (John Wiley & Sons, New York, Chichester, Brisbane, Toronto, 1979), 202.

Measurement of layer-thickness variation in the hardening process of adhesive by real-time holography

WANG WENSHENG

(Changchun College of Optics and Fine Mechanics)

B. PFISTER

(Institut für Technische Optik, Univ. Stuttgart, West Germany)

(Received 8 January 1987; revised 27 February 1987)

Abstract

In this article real-time holography with electro-optic BSO crystal ($\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$) as the holographic material and automatic hologram calculation of 3-interferogram-method in a computer-controlled holographic setup is theoretically and experimentally studied. This new holographic material and automatic hologram calculation method make it possible to use the real-time holography in industry.

As a practical example, a layer thickness variation in the hardening process in 4 hours of a 2-component-adhesive was measured as a function of time.

Key Words: BSO crystal; Real-time holography.