

3500 cm^{-1}) 出现的峰主要为 N-H 的伸缩振动。和红外谱相对应, 在 3200 cm^{-1} 前后 TSC 晶体的 $\nu(\text{N-H})$ 的三个振动模增加为多个。根据文献[5]~[7]报道, 当 TSC 仅以 S 原子和金属离子配位时, $\nu(\text{N-H})$ 仍为三条, 仅位置发生变化, 喇曼振动模的增加和红外吸收峰的增加一样, 说明了在 TSCCC 晶体中, TSC 是一个双齿配位体。另外, 在 X(ZZ)Y 和 X(YZ)Z 配置中从 3136~3185 cm^{-1} 均有一很宽的 R 峰, 这可能是由结晶水引起的氢键的作用, 多重峰是由于分辨率较差而造成的。

从红外谱看 $\nu(\text{C-S})$ 的振动吸收峰, TSC 晶体位于 803 cm^{-1} 处, 而 TSCCC 移至 700 cm^{-1} 处^[5-7]。与此对应, TSC 晶体中位于 803 cm^{-1} 的振动模移至 TSCCC 晶体 686 cm^{-1} , 这是所有谱中最强的峰。这种较大的位移有力地说明了 TSC 和 CdCl_2 络合后键长发生变化生成的五元环具有部分共轭性质。

从类似有机化合物的喇曼光谱还可以初步确定: 1384 cm^{-1} 是 N-H 弯曲振动和 C-N 反对称伸缩振动耦合而成^[7], 1361 cm^{-1} 为 C-N 的伸缩振

动^[8], 242 cm^{-1} 为 Cd-Cl 的伸缩振动^[8], 其它低频振动属 Cd-N 和 Cd-S 的振动模。

参 考 文 献

- 1 Haussuhl S. *Kristallphysik*, Physik-Verlag(D6940 Weinheim 1983), 5
- 2 Claus R *et al.* *Light Scattering by Photopolaritons*, Springer Tracts in Mod. Phys., 1975: 75
- 3 Mitsuo Ma Shima. *Bull. Chem. Soc. Jap.*, 1964; **37**(7): 974
- 4 Ademola Adejumo *et al.* *J. Inorg. Nucl. Chem.*, 1977; **39**: 910
- 5 Мурзев Галмов В. *Журнал неорганической химии*, 1982; **27**: 4~6
- 6 Hargreaves M K *et al.* *Chem. Rev.*, 1970; (70): 439
- 7 Rippon W B *et al.* *J. Amer. Chem. Soc.*, 1970; (92): 7455
- 8 Krishnan K. *Inorg. Chem.*, 1967; **6**: 55

(收稿日期: 1987年2月17日)

激光-CCD 微位移传感器的研究

汪良才 刘慕锦 蒋步生 陈继清 鲍健 朱延彬

(中国科学院上海光机所)

Study on laser-CCD sensors for microdisplacement measurements

Wang Liangcai, Liu Mujin, Jiang Busheng, Chen Jiqing, Bao Jian, Zhu Yanbin

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica, Shanghai)

Abstract: A laser-CCD sensor for microdisplacement measurement based on the transformation between the object and the image is described. The microdisplacement of cold rolling steel sheets was measured. In 1000 μm range, the absolute maximum error is of $<10 \times 10^{-6} \mu\text{m}$ and root-mean-square of $<3.5 \mu\text{m}$.

利用激光进行微小位移测量的激光-CCD 微位移传感器是近几年发展起来的一种新技术^[1-3]。它具有灵敏度高^[4]、速度快、非接触测量, 并与被测材料性质无关的优点。

一、基本原理

基本原理如图 1 所示, 激光光源通过狭缝 S 沿

着 45° 角方向由透镜 L_1 成像是被测表面 S' 处, 当被测表面沿着法线方向 N 产生 Δx 位移时, S' 由透镜 L_2 成像是焦平面外的像平面上, 即 CCD 接收面, 在实验中仔细调节 CCD 接收面俯仰角和倾斜角, 使之在整个量程内, 像点 S'' 沿 CCD 2048 个像元移动, 像位置的移动量 Δy , 入射角为 θ 时, Δx 与 Δy 的关系可简单地用下列关系式表示:

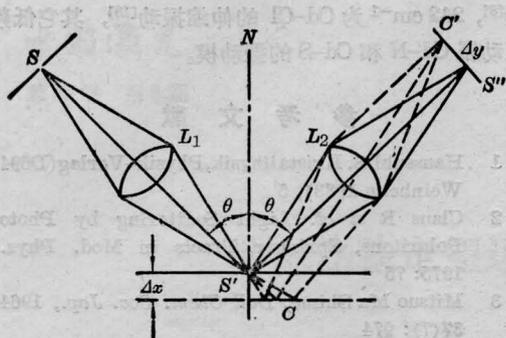


图1 激光 CCD 传感器原理图

$$\Delta x = \Delta y / 2 \cdot m \cdot \sin \theta \quad (1)$$

式中 m —— L_2 的横向放大倍数, θ ——入射角, 在特定情况下 $\theta = 45^\circ$, Δx ——沿差法线方向上的位移, Δy ——CCD 接收面上的像位移。实验表明在焦深范围内, 取适当的 m 值, Δx 与 Δy 是线性关系。

二、实验装置与结果

试验装置和光路如图 2 所示, 实验中利用一台输出功率为 1 mW 的单模 He-Ne 激光器作为探测用光源。图中 L_1 、 L_2 和小孔光阑 C 组成一个扩束比 $\beta = 10$ 的空间滤波器, L_3 为显微物镜, L_4 为照相物镜, P 为被测平面, B 为压电陶瓷测微器。被测平面和压电陶瓷测微器固定在一个 x 、 y 、 z 三个方向都可以移动的光学调整架上。图中虚线部份为 CCD 探测器和数据处理系统。CCD 为 2048 个像元阵列探测器, D 为主机, E 为监视器, 可以显示出成像光斑尺寸和 Δx 的数值。 F 为打印机。

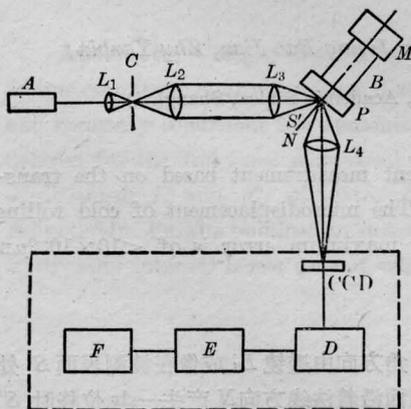


图2 传感器实验装置光路图

假定显微物镜和照相物镜的像差呈理想状态, 一束强度为高斯分布的 He-Ne 激光经显微物镜聚焦后, 当 $4\sigma_L \leq 2a$ 时, 即高斯径向强度分布的激光束

截面小于或者等于聚焦口径时, 在焦平面上的一维光强分布可为^[5]

$$B(x') = B_0 e^{-4\pi\sigma_L^2 x'^2 / \lambda^2 f_0^2} \quad (2)$$

式中 σ_L ——高斯函数的特征系数, f_0 ——显微物镜的像方焦距, λ ——激光波长, B_0 ——显微物镜的直径, x' ——激光聚焦系统焦平面上横坐标。为了提高像位移测量精度, 一般希望在一定的输入功率下有尽可能小的光斑尺寸, 使 CCD 接收面上的光斑波形前后沿较陡, 以便单值地计算 Δy 的数值。为此在光路中加入一个扩束比 $\beta = f_2 / f_1 = 10$ 的空间滤波器, 其针孔光阑 C 的孔径 $d \geq 6\lambda f_1 / 2\pi\sigma_L$, 当显微物镜的口径大于或者等于经过此种空间滤波器的激光束直径时, 即 $2a \geq 4f_2 / f_1$, 则在显微物镜焦平面上的—维光强分布为^[5]:

$$B(x') = B_0 e^{-4[\pi\sigma_L \frac{f_2}{f_1} \sigma_L / \lambda f_0]^2} \quad (3)$$

式中 f_1 、 f_2 分别为透镜 L_1 、 L_2 的焦距, 光路图 2 中 S' 处于显微物镜 L_3 的焦平面上。式(3)与式(2)相比, 采用空间滤波器后光强分布宽度压缩了近 β 倍, 图 3 和图 4 表示了上述二种情况的光斑强度分布波形。实验表明在光路中加入空间滤波器后不仅能提高测量的精度, 同时也能提高抵抗各种环境干扰的能力。

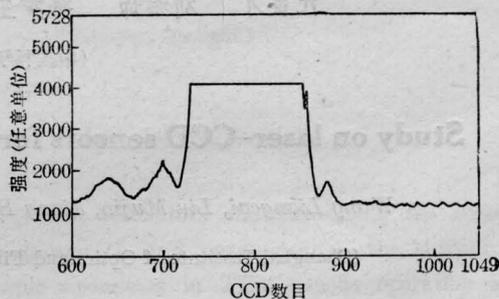


图3 没有空间滤波器时 CCD 面元上的饱和强度分布

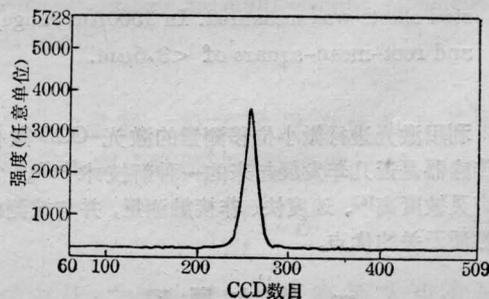


图4 有空间滤波器时 CCD 面元上的光强分布

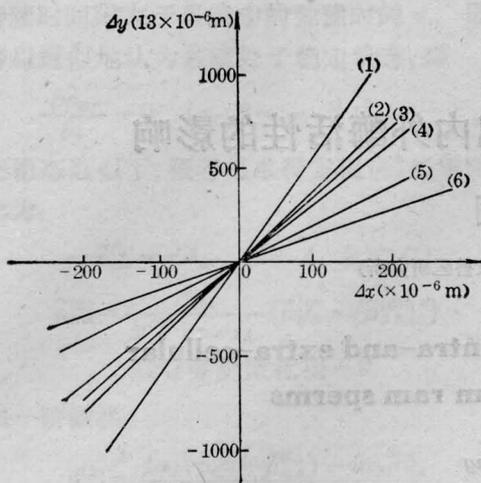


图5 六种材料的 Δx 与 Δy 关系 (m 值不同)

- (1) — 平面镜; (2) — 塑料薄膜;
 (3) — 冷轧钢板; (4) — 电镀 45# 钢;
 (5) — 镜头纸; (6) — 黑色软橡胶

实验中我们利用这台激光—CCD 微位移传感器, 改变照相物镜 L_4 的横向大倍数 m 值, 分别测量了平面镜、冷轧钢板等六种材料, 表面光洁程度各不相同的 Δx 与 Δy 之间的关系, 其结果如图 5 所示, 表面光洁程度不同, m 的最佳值不同。光洁程度越高, m 值可以取得越大; 相反, 粗糙的表面只能利用小 m 值的照相物镜。对于二个光洁程度不同的表面, 在同一 m 值情况下, 当 m 值小于或等于粗糙表面的最佳 m 值, 测得的 Δx 与 Δy 直线基本重合。

三、数据处理及讨论

激光—CCD 微位移传感器的测量数据采用智能化处理。在 CCD 接收面上的像位移 $\Delta y = (n_2 - n_1)d$, 其中, d 为 CCD 单个像元的宽度 ($d = 13 \mu\text{m}$), n_1, n_2 分别为像元的序数, 在测量两次信号之间的位置差 ($n_2 - n_1$) 时, 由于各种原因可能造成信号质量不好, 使得信号的位置确定带来一定的困难。因此数据处理软件采用如下的方法: 若以 $S(N)$ 代表任一像元的信号强度, 则 2048 个像元的信号平均值为 E_{Avg} , 则有

$$E_{\text{Avg}} = \frac{1}{2048} \sum_{N=1}^{2048} S(N) \quad (4)$$

设信号的峰值强度为 E_{max} , 阈值电平 C 的高度如图 6 所示的 h , 则:

$$h = E_{\text{Avg}} + (E_{\text{max}} - E_{\text{Avg}}) \cdot C \quad (5)$$

C 为一常数, 数值在 0~1 之间, 由实验确定, 改变 C 值就可以使阈值电平在 E_{max} 与 E_{Avg} 之间平移, 避

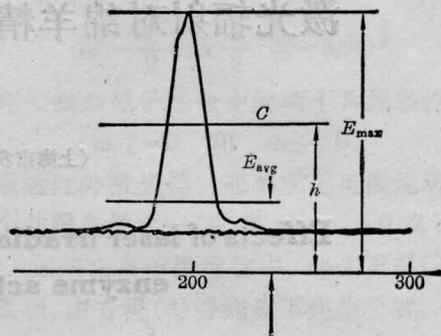


图6 信号处理示意图

开信号中的不良部份以提高测量精度。在测量中还可以根据信号情况取前沿与 C 的交点, 或者后沿与 C 的交点, 或者两者兼而有之确定 CCD 像元序数 n 的值。确定第一个信号的位置 n_1 后, 由于第二个信号的幅度、形状同第一个信号相比可能有变化, 这样 $E_{\text{max}}, E_{\text{Avg}}, C$ 值就需重新计算。

两个信号位置一旦确定, 根据公式(1)可得出表面的 Δx 位移值:

$$\Delta x = K(n_2 - n_1) \quad (6)$$

式中, $K (= d/2 \cdot m \cdot \sin \theta)$ 为灵敏度, 可通过实验来测定。最后将一个修正的 K 值输入计算程序, 就可以自动快速地测出表面的位移 Δx 值。对一块冷轧钢板表面实测结果表明: 激光—CCD 微位移传感器测得的数据, 与用阿贝比长仪测得的数据相比较, 当量程在 0~1000 μm 内, 最大绝对误差 $< 10 \mu\text{m}$, 均方根误差 $< 3.5 \mu\text{m}$ 。

在我们的研究工作中, 位移量的定标是由季龙生同志帮助解决的, 在此表示感谢。

参 考 文 献

- Bertani D, Cetica M, Ciliberto S. *Opt. Commun.*, 1983; **46**: 1~3
- Tanwar L S, Kunzman H. *J. Phys. E: Sci. Instruments*, 1984; **17**: 864~866
- Gupta B N, Tanwar L S. *Opt. and Laser in Engin.*, 1985; **6**: 35~42
- Constans A, Daurg G, Dupoisot H. *Opt. and Laser in Engin.*, 1980; **1**: 69~76
- 朱延彬. *光学仪器*, 1983; **5**(4): 1~5

(收稿日期: 1987年2月23日)