

文章编号: 1001-3806(2013)01-0024-04

一种高分辨率 ITO 线路缺陷检测系统

沈淦松 叶玉堂* 李昌海

(电子科技大学 光电信息学院, 成都 610054)

摘要: 为了满足微米量级氧化铟锡线路检测的需求,提出了一种高分辨率的用于检测氧化铟锡线路缺陷的检测系统,其检测精度可达 $2\mu\text{m}$ 。采用高分辨率线阵 CCD 相机以及中长焦镜头以获得较高的图像放大率与图像精度;通过分离相机与镜头及镜头倒置以获得较大的动态范围和较好的调制转换函数优化值;采用直线电机提高系统的运动精度与稳定性;同时采用大理石底座以减小周围环境的振动等对系统精度的影响。通过具体分析系统精度与速度要求,再考虑现场环境,对不同结构系统的优劣势进行了研究与论证。结果表明,该系统具有精度高、稳定性高、操作灵活等显著特点。

关键词: 测量与计量;成像系统;高分辨率;光学检测;线扫描系统

中图分类号: TN247

文献标识码: A

doi: 10.7510/jgjs.issn.1001-3806.2013.01.006

A high resolution defect detection system for ITO lines

SHEN Gan-song, YE Yu-tang, LI Chang-hai

(School of Opto-electronic Information, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 610054, China)

Abstract: A defect detection system for lines on indium tin oxide glass was designed and the detection precision reached $2\mu\text{m}$. Firstly, higher image magnification and image accuracy were obtained by using a high resolution linear CCD camera and the telephoto lenses; secondly, larger dynamic range was realized through the separation of camera and lens and a suitable modulation transfer function value was achieved through ceiling mounting the lens; the system precision and system stability were improved with a linear motor. At the same time, marble base was used to reduce the influence of surrounding vibration on the accuracy of the system. Finally, the advantages and disadvantages of system with different structure were concretely analyzed. Experiments show that the system has high precision, high stability, flexible operation, and other notable features.

Key words: measurement and metrology; imaging system; high resolution; optical inspection; line scan system

引 言

氧化铟锡(indium tin oxide, ITO)是一种透明的导体,由于其同时具有透光与导电的特性,被广泛应用于液晶产品中。ITO 线路缺陷检测系统是用在液晶生产行业的检测设备。在生产 ITO 玻璃并通过曝光腐蚀等工艺流程在 ITO 玻璃上形成 ITO 线路时,会由于曝光不够或过度、腐蚀过度或欠腐蚀等造成 ITO 线路断路、ITO 线路短路等问题。

在实际的生产过程中,被检测的目标是尺寸一般为 $350\text{mm} \times 400\text{mm}$ 的 ITO, ITO 玻璃上线路尺寸一般为十几微米至数百微米。为了确保图像的准确程度、提高检测效率,一般要求一条线路的宽度需要用 4 个~5 个像素来表示。对于检测对象为数百微米的检测样本,由于其检测目标较大,分辨率要求相应较低,检测系统

及算法相对简单^[1],不需要考虑系统的运动稳定性及其抗外界扰动的能力,对于此类研究,国内不少学者均提出了可行的方案^[2-4],而对于宽度仅为十几微米的线路来说,为满足检测需求,其像素精度要求达到 $2\mu\text{m} \sim 3\mu\text{m}$,外界的轻微扰动也将严重影响线路图像采集的效果,在此类 ITO 线路检测中的应用国内外均鲜见报道。作者综合考虑考虑镜头的放大能力、相机分辨率、运动速度、外界干扰等因素,提出了一种高分辨率的 ITO 线路缺陷检测的方法。

1 系统工作原理及结构

本系统主要由图像采集系统、图像处理系统、运动控制系统、照明系统组成,如图 1 所示。

电机采用的是直线电机,通过安装在计算机上的运动控制卡来控制电机的运转,同时通过运动控制卡获取用来测量直线电机动子位置的光栅尺的数值^[5];直线电机的动子上安装有托盘,用作载物台,在其上放置待测的 ITO 玻璃;在电机的正上方安装有条形的 LED 光源、线阵 CCD 相机以及长焦镜头,LED 光源

作者简介:沈淦松(1988-),男,硕士研究生,现主要从事机器视觉及工业控制的研究。

* 通讯联系人。E-mail: ytye@uestc.edu.cn

收稿日期:2012-05-10;收到修改稿日期:2012-06-14

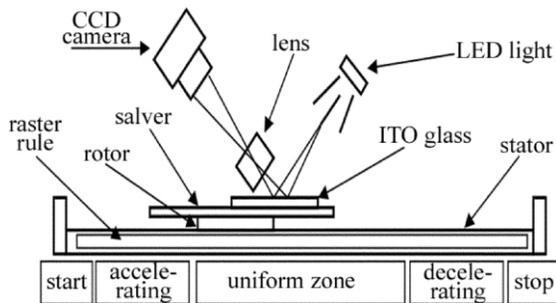


Fig. 1 Principle diagram of ITO lines defect detection system

发出的光通过 ITO 玻璃的反射进入镜头,经镜头的聚焦,将图像清晰地呈现在 CCD 相机的传感器上,CCD 传感器上的图像信息通过图像采集卡传送给计算机^[6]。

1.1 CCD 相机图像采集系统

采集图像的相机采用的是线阵 CCD 相机。该相机具有 7400 个像素,每个像素的尺寸为 $4.7\mu\text{m} \times 4.7\mu\text{m}$ 。镜头采用的是 Macro-Symmar 5.6/120-0061 镜头,其焦距为 $120\mu\text{m}$,标称倍率为 $0.33\times$ 。

镜头与相机并不直接连接,而是通过安装在同一个机械架上的两个丝杆来控制的,每个丝杆各由一个步进电机控制,这样有利于扩大图像采集系统的图像放大率调整范围。

1.2 直线电机与伺服系统

由于需要实现 $2\mu\text{m}$ 的图像采集精度,一般图像采集所采用的方法是伺服电机配以丝杆,由于普通丝杆的螺距误差等因素,很难达到如此高的精度,而定制精度满足要求的滚珠丝杆成本又相当高。同时,考虑到丝杆的工作原理,伺服电机与丝杆在运动过程中会产生很大的振动,必定会影响采集到的图像的清晰度与精确度,因此,考虑采用直线电机,直线电机有效行程为 500mm ,重现精度为 $1\mu\text{m}$,绝对精度为 $0.005\mu\text{m}/300\text{mm}$ 。再配以晶体管-晶体管逻辑(transistor-transistor logic, TTL) 数字式 $1\mu\text{m}$ 分辨率的光栅尺,就可以达到设计所需要的精度要求。

直线电机的运动由安装在计算机内的运动控制卡控制,控制卡提供了圆弧插补、直线插补、位置比较等功能函数,降低了电机控制的复杂度。

1.3 机械结构

如图 2 所示,整个系统的底座采用的是大理石底座,利用其重量来保持系统的平稳以及降低周围环境的扰动等对系统的影响。相机与镜头的位置调节采用的是步进电机,相机、镜头及控制这两者运动的步进电机安装在同一个底板上,该底板由一个伺服电机与丝杆控制,可沿水平面中与直线电机运动方向相互垂直的方向运动,在待检测的物体较大时可分成多排采集,

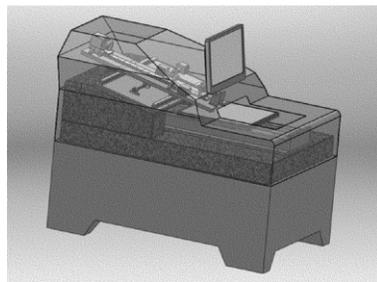


Fig. 2 Mechanical diagram of ITO lines defect detection system

然后利用计算机将采集的图像数据进行拼接,以获得完整的图像,同时,整个图像获取模块不采用传统的垂直拍摄的方式,而采用了横卧的方式,利用相机系统对光轴方向位移不如对纵向位移敏感的特点,有效降低了电机运动过程中的轴向振动对图像质量的影响^[7]。直线电机动子上安装的托盘采用的是白色塑料板,质量轻,可以减少电机运动时的惯性,对于系统的加速、减速有很好的效果。

1.4 照明系统

采用的光源是高亮度的条形发光二极管,发光面大小为 $35\text{mm} \times 6\text{mm}$,直流电供电,不存在频闪的问题,且发光均匀度较高,长期使用发光衰减低。

为了精确调节光源,使其形成明场照明,在调节光源时采用了西格玛光机的 θ 轴粗微调转动平台和 α 轴摆动平台。转动平台可以实现角度的精密调整,结合转动平台与摆动平台可实现光源的 3 维调整,且调整精度高,通过反复试验,可达到较好的打光效果,使产生的图像具有较高的图像分辨率。

2 系统分析与设计

2.1 相机分辨率与镜头焦距分析

被测的 ITO 线路的最小宽度为 $12\mu\text{m}$,为了保证图像处理的准确性,一般需用 4 个像素以上来表示线宽,因此,采用每个像素表示 $2\mu\text{m}$ 边长的点,这样最小线宽就可以用 6 个像素来表示,对于图像处理来说提供了很好的源图像^[8]。

由于 CCD 图像传感器的每个感光像元的大小为 $4.7\mu\text{m} \times 4.7\mu\text{m}$,为了满足上面 $2\mu\text{m}$ 的分辨率,需要图像采集系统的光学放大率为 2.35 倍。大部分镜头的像差矫正是按照成缩小的像从物方到像方来做的,当需要成放大的像的时候,一味缩短物距会使得成像范围超出调制转换函数(modulation transfer function, MTF) 优化的放大率范围,出现模糊等现象,图 3 所示的是 MTF 与放大倍率的关系,其中每幅图中 3 个曲线分别对应线对(line pair, LP) 为 $20\text{LP}/\text{mm}$, $40\text{LP}/\text{mm}$, $80\text{LP}/\text{mm}$ 时的 MTF,考虑到实际的液晶 ITO 线路的宽度为 $12\mu\text{m}$ 左右,近似于 $40\text{LP}/\text{mm}$ 。图 3 中第 1 幅图

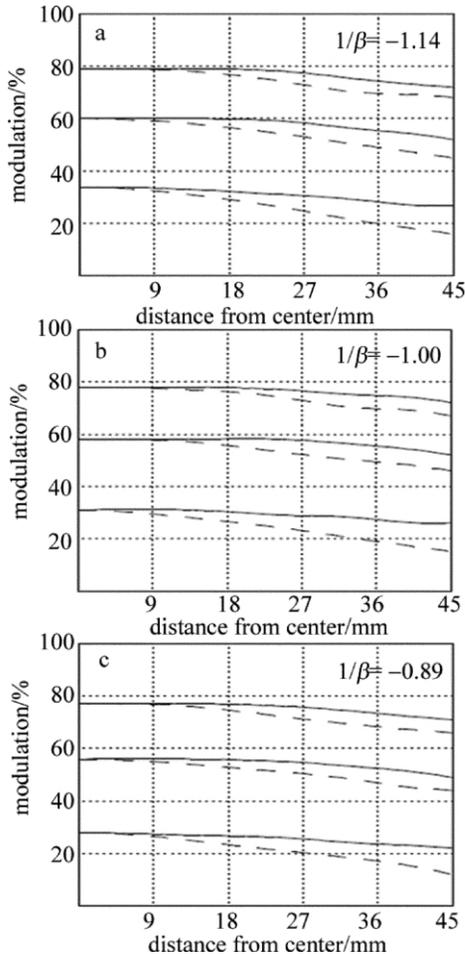


Fig. 3 Relationship between MTF and magnification

的放大倍率(图中标注的是放大倍率的倒数)为0.88,第2幅图的放大倍率为1.00,第3幅图的放大倍率为1.12。从图中可以看出,当镜头由缩小图像(放大倍率小于1)转为放大图像(放大倍率大于1)时,其MTF是下降的。基于此,对于放大倍率为2.35的镜头来说,根据光路可逆的原理,将镜头的物面和像面互调,使镜头的放大倍率变为1/2.35,这样便会使得镜头的MTF值较高,有助于提高图像的分辨率和对比度,图4中上面的图是按照官方的参考示例采集的图像;图4中下面的图采用的则是倒置镜头后采集的图像。倒置后的图像对比度明显增强可见,使用镜头倒装,会采集到更好的图像。

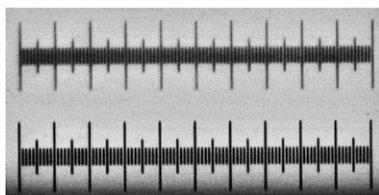


Fig. 4 Images before and after inverting lens

2.2 相机、镜头与目标的位置

由于精度的要求,采用了相机与镜头分离的方法来设计图像采集系统。在确定了相机与镜头后,根据

相机与镜头的参量,再结合实际需求,设计了相机、镜头、物体之间的具体距离参量。根据牛顿公式可以算出 OO' 等重要参量,相机、镜头、目标三者之间距离的具体公式如下所示:

$$\beta = \frac{s}{L} \quad (1)$$

$$OO' = \left(\beta + \frac{1}{\beta} + 2\right) \times f + HH' \quad (2)$$

$$A = OO' - A_\beta - L_0 \quad (3)$$

式中 L 是测量区域宽度, s 是线探测器长度, β 是垂直放大率, HH' 是主点距离, f 是镜头焦距, OO' 是测量区域到线探测器距离, A_β 是给定放大率下像面到镜头法兰距离, L_0 是镜头法兰面到镜筒前端距离, A 是镜头镜筒前端到测量区域的距离。如图5所示。

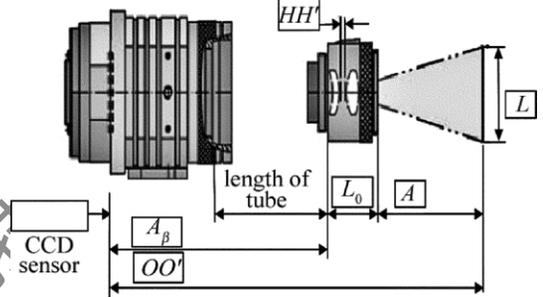


Fig. 5 The image acquisition diagram of ITO lines defect detection system

设计参量时,为了调试方便,设计的分辨率为 $1\mu\text{m} \sim 3\mu\text{m}$,利用以上公式计算得到如表1中所示的参量。由表1可以看到,在精度 $P = 1\mu\text{m}$ 的情况下,镜头镜筒前端到测量区域的距离 $A = 148.03\text{mm}$,测量区域到线探测器距离 $OO' = 830.13\text{mm}$;在精度 $P = 3\mu\text{m}$ 的情况下,镜头镜筒前端到测量区域的距离 $A = 199.10\text{mm}$,测量区域到线探测器距离 $OO' = 505.20\text{mm}$ 。由此,也就确定了控制相机与镜头运动的丝杆的长度范围。

Table 1 Lens parameters table of ITO lines defect detection system

$P/\mu\text{m}$	f/mm	s/mm	L/mm	β	HH'/mm	OO'/mm	A_β/mm	A/mm
1	120.00	34.78	7.40	4.70	0.60	830.13	649.50	148.03
2	120.00	34.78	14.80	2.35	0.60	573.66	367.50	173.56
3	120.00	34.78	22.20	1.57	0.60	505.20	273.50	199.10

2.3 照明相关关键问题

光源对于图像采集系统至关重要,打光的效果直接影响图像的成像效果,适合的光源配合好的打光方法,可以使图像的对比度达到最优的情况。采用的光源应具有亮度高、频闪高或不闪、光强分布均匀的特点。通常所说的LED光源是由分立的LED按照一定的顺序排列而成的阵列,在应用过程中,采集的图像由于各分立LED在不同区域的合亮度不同,而导致其明暗随位置的变化而变化,在图像处理的过程中需要对

此进行校正,需要耗费一定的时间,对于高精度的图像,该问题则尤为严重。在本系统中,由于每次采集的范围较小,因此,采用了条状 LED 光源,其各个 LED 之间的距离极短,每个 LED 的发光亮度极高,在较小的照明范围内发光亮度高且亮度均匀。

3 实验与测试

系统以计算机为控制核心,对线阵相机、直线电机、用于调节相机和镜头距离的步进电机、以及用于测量电机位置的光栅尺进行控制,使线阵相机与直线电机相互配合,得到完整的、高精度的液晶 ITO 玻璃的线路图像。并从多个方面分析了各个部分的指标参量,结合应用的具体要求,设定系统指标,通过设计以及包括统照明成像、采图方式、载物台材料等所进行的实验,使系统完全满足应用的要求。

针对不同材料的载物台对于采图的对比度、清晰度的影响进行了实验。采用了本色铝板、乳白色塑料板、黑色塑料板,同时考虑到防止塑料被 ITO 玻璃划伤影响采图效果,考虑了在底板上放置玻璃的情况,以考察何种情况下可以获得最佳的采图效果。

采用不同材料的基板获取 ITO 线路的图像,发现其中不带玻璃的白色塑料板、不带玻璃板的黑色塑料板与本色铝板作为托盘基板采得的图像较为清晰,无杂散光的影响,而其它材料所成像对比度差的原因是图像采集过程中作为基板的玻璃将光源发出的光反射到相机中,造成图像背景太亮,图像对比度变差。对图像进行直方图统计后可以发现:托盘上的材料为白色塑料板且上面不覆盖玻璃板的情况下获得的图像的对比较明显,而且两个波峰相对能量集中,信噪比较高,因此考虑采用白色塑料作为托盘材料。

最后,使用经过分析可行的各组成部分搭建成系统,在系统整体调试完成后对 3 个具有标准尺寸的工件进行采图测量,其数据见表 2。

Table 2 Measurement on standard workpieces

standard size/mm	measurement size/mm											
0.511	0.512	0.511	0.512	0.513	0.512	0.511	0.511	0.512				
5.375	5.375	5.374	5.375	5.375	5.376	5.375	5.376	5.374				
10.350	10.349	10.351	10.350	10.349	10.350	10.350	10.351	10.349				

重复性精度 $\pm 2\sigma = \pm 1.59\mu\text{m}$,对 ITO 的实际采图效果如图 6 所示。

实验已经证明本文中所设计的液晶 ITO 线路缺陷检测系统具有高精度、高稳定性、采集图像速度快、控

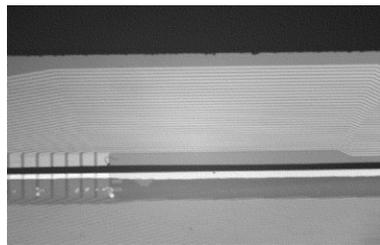


Fig. 6 Images of ITO lines acquired by defect detection system

制方便,由于使用了 2 维的运动控制,系统可适应不同尺寸的 ITO 玻璃板的检测要求。

4 结论

基于自动光学检测技术设计了检测液晶产品表面 ITO 线路缺陷的检测系统,并从技术上加以实现,像素精度达到了 $2\mu\text{m}$ 。系统实现了玻璃表面 ITO 线路图像的采集、存储、传输。系统对于外界轻微振动不敏感,直线电机直线度高、电机振动与噪声均比较小,从多方面保证了图像采集的精度,为后续的图像处理提供了很好的源图像。系统结构设计合理、可升级空间大,不仅可应用到 ITO 线路缺陷的检测中,在其它的对于精度要求高的行业也是有很大的利用空间的,可推广到军事、工业检测等诸多领域。

参考文献

- [1] ZHENG G F, ZHANG K, HAN Sh L, *et al.* Design of test system for motion images of space TDICCD cameras [J]. *Optics and Precision Engineering* 2010, 18(3): 623-629 (in Chinese).
- [2] HE X, ZHANG B, ZHOU K. Automatic acquiring and analyzing system of laser spot based on virtual instruments [J]. *Laser Technology*, 2012, 36(2): 243-246 (in Chinese).
- [3] FAN Ch, ZHAO F Y, WU Y F, *et al.* Digital image capturing in infrared circuit card tester [J]. *China Measurement* 2006, 32(1): 50-52 (in Chinese).
- [4] LUO H Y, ZHAI Ch, JIN Y, *et al.* Experimental research on rotary precision of CCD measurement system [J]. *Chinese Journal of Scientific Instrument* 2008, 29(10): 2141-2145 (in Chinese).
- [5] ZHANG D W, SHU X W, MOU X D, *et al.* Digitalization optical open loop test system for fiber optic gyros [J]. *Chinese Journal of Scientific Instrument* 2005, 26(10): 1031-1034 (in Chinese).
- [6] ZHANG H, WANG Y N, ZHOU B W. Research on foreign substance detection system for medicinal solution based on machine vision [J]. *Chinese Journal of Scientific Instrument*, 2009, 30(3): 548-553 (in Chinese).
- [7] TONG Q B, MA H P, LIU L H, *et al.* Key technology study on radial vibration detection system of high-speed rotating machinery [J]. *Chinese Journal of Scientific Instrument*, 2011, 32(5): 1026-1032 (in Chinese).
- [8] YANG D Y, XU Ch L, ZHOU B, *et al.* Electrical capacitance tomography system based on single measurement channel [J]. *Chinese Journal of Scientific Instrument* 2010, 31(1): 132-136 (in Chinese).