

CCD器件几何尺寸的一种 高精度的测量方法

刘桂云 丛树强

(航空航天工业部北京三〇三所)

摘要: 本文提出了一种 CCD 器件几何尺寸高精度测量的方法。并着重论述了 CCD 器件测量的目的、测量方案的选择、具体的测量方法及对测量数据进行了总结及分析。

一、问题的提出

电荷耦合器件即 CCD 器件自问世以来, 由于它具有体积小、功耗省、寿命长、动态范围大、高灵敏度和高可靠性等突出的优点, 使它在诸如: 工业过程监视、质量控制、机器人视觉系统、显微图像处理及卫星侦察和军事领域中得到越来越广泛的应用。随着先进的半导体工业, 特别是大规模集成电路技术的发展, 使 CCD 器件的性能得以不断地提高。使其向超高分辨率和微型化迈进, 并使其能在极低的光照度下进行工作, 这就使得它在卫星侦察、夜视等方面具有巨大的优势。特别是由于实时、高分辨率照相航空侦察数据的需要, 刺激了 CCD 成像阵列在新一代航空和航天照相机中代替胶片, 这一应用的发展。代替航空照相胶片的电光器件所要求的线列比任何所用的单片 CCD 器件都大。限于目前的工艺水平, 要达到这种要求只能用多个 CCD 器件通过光学方法拼接及配准, 组成等焦面的器件。这种等焦面的组合工艺技术制造出大尺寸的、高光学效率、无间隙结构的组合件, 使它几乎相当于单个整体的大块 CCD 器件。只有这样, 才能得到所需要的视场和分辨率。

目前, 用于航天照相机中拼接后的等焦面 CCD 器件大约需 6000 个象素左右, 这就需要每块有 2048 个象素的 3 块 CCD 器件拼接而成。拼接成的大块 CCD 器件上的象素在 x, y 向的几何尺寸和直线性及象素的共面性均有极其严格的要求。为了确保拼接配准后电光器件总精度的要求, 只能将经过测试符合要求的单件 CCD 器件提供使用。因此, CCD 器件的性能测试就是一个十分重要的问题。除了要测量器件最重要的参数如电荷转移效率和噪声等项目外, 还要对器件象素的几何尺寸做精密的测量。

我们测量的 CCD 器件是美国仙童照相机和仪器公司生产的 FCCD143ADC 型器件。每个器件有 2048 个象素, 要求测量出首象素至尾象素间的总长度值, 测量精度在 $1\mu\text{m}$ 之内。

二、方案选择

根据测量精度的要求, 我们选择的测量方案如图 1 所示。

把装有 CCD 器件的多功能调整工作台置于 IOTA0101 DIRMOND 精密型三坐标数控测量机 (简称测量机) 的花岗岩固定工作台上不动。测量机的 z 轴上同时装有德国生产的

OFD显微镜和美国HP公司(Hewlett-Packard Co.)生产的5528A激光测量系统(Laser Measurement System),又称双频激光干涉仪的后向反射器,调整好激光测量系统的各部件及被测件的位置。用显微镜瞄准 CCD 器件的首象素后,将激光测量系统的测量显示器置零。操纵测量机的人机对话控制盒(简称控制盒),使显微镜和后向反射器沿测量机高精度的 x 轴运动,并使显微镜瞄准CCD器件的尾象素,从测量显示器上读取首、尾象素间的总长度值。

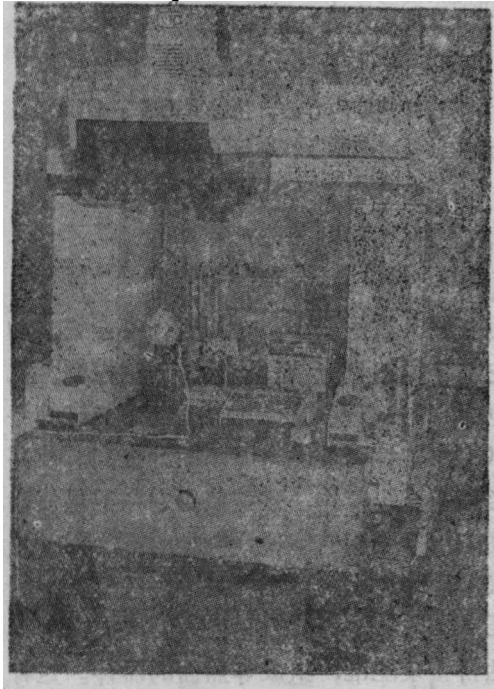


图1

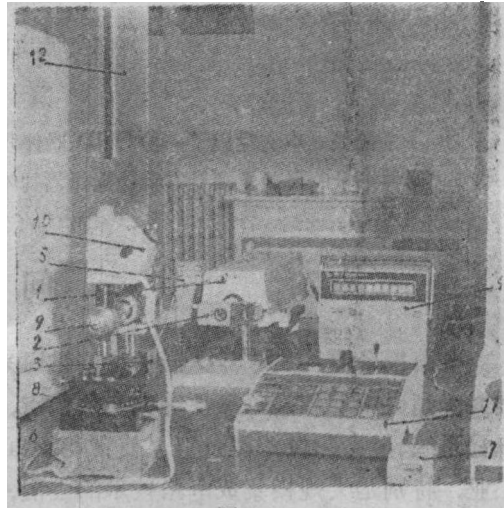


图2

1. 激光头; 2. 干涉仪; 3. 后向反射器; 4. 调整好, 打开测量显示器; 5. 将该数分辨率置于 $0.01\mu\text{m}$ 挡。系统中加入空气、湿度传感器; 6. 材料温度传感器; 7. 用遥控盒; 8. 轴控制测量显示器; 11. 测量机控制盒; 12. z 轴使全套激光测量系统处于最佳工作状态。

三、测量方法

整个测量过程是在调温厂房内进行的。室温为 $20^\circ \pm 1^\circ\text{C}$ 。具体的测量过程如下:

1. 调整好激光测量系统

将美国HP公司的激光测量系统按图2放置在测量机的花岗岩工作台上。

2. CCD器件的装夹

被测件按图3装入夹具内。夹具的 AB 面是经磨削加工的平行平面。把夹具的 A 面放在测量机的花岗岩工作台上,被测件装夹时,应先将CCD器件管脚朝上,盖玻片朝下放入夹具内,使CCD器件的盖玻片平面和夹具平面 A 处于同一平面内,旋紧夹具压块的两个固定螺钉。把装有被测件的夹具以 B 面为基面放于多功能调整工作台8上。

3. 瞄准显微镜的安装

在测量机的 z 轴测头安装孔中装入辅助支杆9、OFD显微镜(物镜 $10/0.25$,总放大倍率为125倍),10插入辅助支杆9中,并固紧。

4. 测量前的精确调整

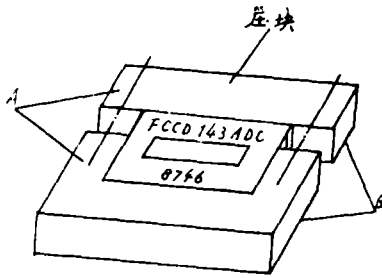


图3 CCD器件装夹示意图

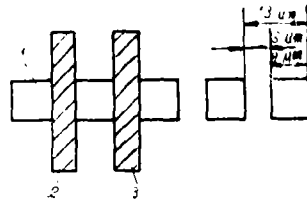


图4 主、副瞄准线与像素的尺寸间距
1—像素；2—主瞄准线；3—副瞄准线

- (1) 调整OFD瞄准显微镜，使在目镜中能清楚的看见被测件的像素图像。
- (2) 调整多功能调整工作台，使 CCD 器件像素边缘（x方向）与测量机x轴运动导轨平行，以减少二次误差。

(3) 调整多功能调整工作台，使被测件首像素和尾像素的图像在 OFD 显微镜中都看得同样清楚。

(4) 调整 OFD 瞄准显微镜的分划线距离调节旋钮，使显微镜中分划板的双刻线夹住一个像素，并确定主瞄准线和副瞄准线，如图 4 所示。

5. 正式测量

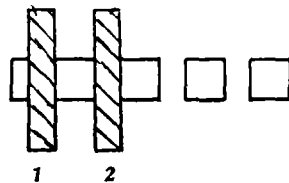


图5 首像素瞄准示意图
图中1—主瞄准线 2—副瞄准线

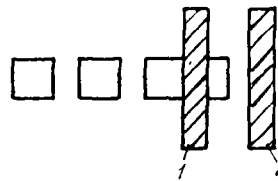


图6 尾像素瞄准示意图
图中1—主瞄准线 2—副瞄准线

如图 5 所示，先将 OFD 瞄准显微镜的双刻线瞄准被测件的起始位置首像素，用激光测量系统的遥控盒将测量显示器置零。驱动测量机，使 OFD 显微镜和后向反射器沿测量机的 x 轴运动，OFD 显微镜瞄准被测件的尾像素，如图 6 所示，从测量显示器上读取所测值，即为被测件首尾像素间的几何总长度值。总长度的理论值为： $2048 \times 0.013\text{mm} = 26.6240\text{mm}$ 。

四、测量数据及分析

我们用上述方法共测量30块FCCD143ADC器件，其测量数据见表1。

我们又对另一块同类型的器件进行多点测量，即把2048个像素分为五段，共测六个点，每点均从零开始，如图7所示，测量结果见表2。

0	1	2	3	4	5 测点序号
0	410	819	1229	1638	2048
被测像素数					

图7 被测点、像素示意图

1. 结果分析

我们认为CCD器件几何尺寸测量的精度

表 1

被测件号	实 测 值	max-min	\bar{v} 平均值	与理论值之差	被测件号	实 测 值	max-min	\bar{v} 平均值	与理论值之差
1	26.6164	0.0007	26.6168	0.00718	13	26.6183	0.0005	26.6180	0.006
	26.6169					26.6180			
	26.6171					26.6178			
2	26.6157	0.0003	26.6157	0.0083	14	26.6147	0.0008	26.6151	0.0089
	26.6155					26.6151			
	26.6158					26.6155			
3	26.6152	0.0003	26.6150	0.009	15	26.6145	0.0007	26.6149	0.0091
	26.6149					26.6152			
	26.6149					26.6149			
4	26.6138	0.0006	26.6137	0.0103	16	26.6172	0.0004	26.6173	0.0067
	26.6140					26.6176			
	26.6134					26.6172			
5	26.6163	0.0003	26.6163	0.0077	17	26.1675	0.0006	26.6172	0.0068
	26.6161					26.6173			
	26.6164					26.6169			
6	26.6159	0.0005	26.6162	0.0078	18	26.6161	0.0002	26.6160	0.008
	26.6164					26.6161			
	26.6164					26.6159			
7	26.6140	0.0005	26.6142	0.0098	19	26.6156	0.0004	26.6159	0.0081
	26.6141					26.6160			
	26.6145					26.6160			
8	26.6156	0.0002	26.6156	0.0084	20	26.6150	0.0005	26.6153	0.0087
	26.6157					26.6155			
	26.6155					26.6153			
9	26.6150	0.0004	26.6151	0.0089	21	26.6175	0.0006	26.6175	0.0065
	26.6154					26.6178			
	26.6150					26.6172			
10	26.6150	0.0007	26.6152	0.0088	22	26.6169	0.0001	26.6170	0.0070
	26.6157					26.6170			
	26.6150					26.6170			
11	26.6148	0.0005	26.6150	0.009	23	26.6173	0.0006	26.6170	0.007
	26.6148					26.6167			
	26.6153					26.6171			
12	26.6153	0.0001	26.6153	0.0087	24	26.6163	0.0006	26.6160	0.008
	26.6154					26.6157			
	26.6153					26.6161			

续表1

被测件号	实测值	max-min	\bar{v} 平均值	与理论值之差	被测件号	实测值	max-min	\bar{v} 平均值	与理论值之差
25	26.6157	0.0004	26.6155	0.0085	28	26.6152	0.0004	26.6153	0.0087
	26.6153					26.6155			
	26.6155					26.6151			
26	26.6164	0.0001	26.6165	0.0075	29	26.6159	0.0003	26.6158	0.0082
	26.6165					26.6159			
	26.6165					26.6156			
27	26.6161	0.0001	26.6161	0.0079	30	26.6147	0.0002	26.6146	0.0094
	26.6160					26.6145			
	26.6161					26.6145			

表2

测点	0		0—1		0—2		0—3		0—4		0—5	
项目	0		410		819		1 229		1 638		2 048	
被测象素数	0		410		819		1 229		1 638		2 048	
理论值	0		5.33		10.647		15.977		21.294		26.624	
实测值	0		5.3290		10.6442		15.9721		21.2869		26.6158	
	0		5.3287		10.6444		15.9717		21.2869		26.6158	
	0		5.3288		10.6443		15.9722		21.2872		26.6158	
max-min	0		0.0003		0.0002		0.0005		0.0003		0	
\bar{v} 平均值	0		5.3288		10.6443		15.9720		21.2870		26.6158	
与理论值之差	0		0.0012		0.0027		0.005		0.007		0.0082	

主要取决于激光测量系统的误差和 OFD 显微镜对象素的瞄准误差这两大项。其中，瞄准误差是起决定作用的。为此，我们曾对瞄准精度做过试验，即对象素的固定点（我们取器件的首象素）进行多次瞄准，具体数据见表 3。从十次瞄准结果看，数值均在 0.00005—0.0001 mm 之内，平均值为 0.000082mm，近似取其为 0.0001mm。

表3

瞄准读数		读 数 值	瞄准读数	
次 数			次 数	
1		0.0001	6	0.0001
2		0.0001	7	0.0001
3		0.00008	8	0.00006
4		0.00006	9	0.00007
5		0.0001	10	0.00005
平均值		0.000082		

激光测量系统的测量显示器分辨率定为 $0.01\mu\text{m}$ 挡。从表1测量数据上看,如 26.6164mm 这个数中最后一位4是由十万分之一毫米位上四舍五入而得到的有效数字,其本身是万分之一毫米位。同一数值三次读数的最大、最小值之差一般均在 $0.0001-0.0007\text{mm}$ 之间,最大差 0.0008 (只出现一次)。在数据处理时,取三次读数值的算术平均值做为首尾象素的总长度值。再把测量机 x 轴导轨运动 26.624mm 距离存在的误差考虑在内,估计总的测量误差保证在 0.0005mm 之内。

为了证实测量数据的稳定性和可靠性,我们对图7所示器件的首象素、410象素、819象素和2048象素,在测试完取得数据以后,重新开机对以上各点复测,所得数据见表4。

表4

		被 测 象 素			
		0	410	819	2048
上 午	实 测 值	0	5.3290	10.6442	26.6158
		0	5.3287	10.6444	26.6158
		0	5.3288	10.6443	26.6158
下 午	实 测 值	0	5.3288	10.6441	26.6158

上、下午所测同一数据只在万分之一毫米位上略有差异。我们又对两天前测量的第21号CCD器件进行复测,在重新安装、定位、调整的情况下,所得数据只与二天前所测数据差 0.0001mm 。

五、结 束 语

美国Itek公司研制出了在双导体层厚膜混合基体上成功地安装了四个线列CCD芯片的工艺,其象素位置(x 、 Y 和共面性)重复精度优于 $5.08\mu\text{m}$ (200毫英寸)。他们是用分辨率在 x 、 Y 上优于 0.02m in (相当于 $0.5\mu\text{m}$),共面性上优于 0.1m in (相当于 $2.5\mu\text{m}$)的仪器来测量的。我们所用的激光测量系统的分辨率为 $0.01\mu\text{m}$,并加入了空气温度、湿度、压力及材料膨胀系数等项目的综合补偿。使用数控三坐标测量机高精度的 x 轴导轨,保证OFD显微镜和后向反射器组成的系统运动时具有高的直线性,由经验丰富的测量人员操作,所测得的数据在稳定性和可靠性方面都是令人满意的。实践证明,这种测量方法是能够满足和确保CCD器件测量精度要求的,也可以用于多块CCD器件拼接后的大尺寸的测量。目前,该方法是对CCD器件几何尺寸的一种高精度的测量方法。

参 考 文 献

- [1] 王以铭,《电荷耦合器件原理与应用》,科学出版社,1987
- [2] 航空航天部第七技术情报网,光电检测技术现状与发展动向,北京,1990

A High Accuracy Measurement Method of Geometry Size of CCD

Liu Guiyun Cong Shuqiang

Abstract

The paper describes a high accuracy measurement method of geometry size of CCD, with emphasis on the measurement purpose and the choice of the program. Finally the measurement data are given and analysed.