

长度计量测试丛书

实用光电技术

李庆祥 徐端颐 编著



中国计量出版社

长度计量测试丛书

第六分册

实用光电技术

李庆祥 徐端颐 编著

长度计量测试丛书编委会 审订

中国计量出版社

图书在版编目(CIP)数据

实用光电技术/李庆祥,徐端颐编著.-北京:中国计量出版社,1996.11

(长度计量测试丛书/梁晋文主编)

ISBN 7-5026-0892-3/TB·495

I. 实… I. ①李… ②徐… II. 光电技术 N. TN2

中国版本图书馆CIP数据核字(96)第11309号

长度计量测试丛书

第六分册

实用光电技术

李庆祥 徐端颐 编著

长度计量测试丛书编委会 审订

中国计量出版社出版

北京和平里西街甲2号

邮政编码 100013

永清县第一胶印厂印刷

新华书店北京发行所发行

版权所有 不得翻印

*

787×1092毫米 32开本 印张10.75 字数245千字

1996年11月第1版 1996年11月第1次印刷

*

印数1-3000 定价:15.00元

前 言

长度计量测试丛书是根据中国计量出版社关于按学科分类组编丛书的总体计划,由中国计量测试学会几何量专业委员会配合计量出版社组织编写的。

党的十二大提出:到本世纪末,力争使全国工农业的年总产值翻两番。为实现此宏伟目标,必须发展机械工业,因为机械工业是国民经济的装备部,应该适当超前。而标准化和计量测试仪器与技术测量是机械工业发展的基础和先决条件,因此必须更超前于机械工业。在计量测试科学领域中,长度的计量测试是重要的一个方面。随着机械产品愈益向精密方向发展,介绍长度计量测试方面的知识、科研成果及经验,以便为机械工业未来的发展打好基础、积蓄力量、创造条件,实为当务之急。这就是组织这套丛书的目的。

翻两番,振兴经济,必须依靠科学技术进步。科学技术需要大量学有专长的专业人材去掌握。目前我国计量测试领域内很多职工缺乏必要的科学知识和操作技能,熟练工人和科学技术人员严重不足。为适应未来经济发展的需要,现在必须立即着手培养计量专业的人才,提高现有计量测试人员的科学技术水平。近年来,更有大批青年新同志参加工作,他们是发展计量测试科学技术的重要力量,迫切需要系统地学习一些计量基础知识,以便结合工作实践更快地提高技术水平,促进计量科学技术的进步。这套丛书主要是针对这部分人员编写的。当然也可以作为计量测试短训班的教材或参考资料,并可供大专院校师生及有关工程技术人员和科研工作者参考。

丛书比较全面地将长度计量测试领域中所涉及的基础理论、基本知识和实用技术等进行了深入浅出的阐述,重点放在计量测试技术的实际运用方面,同时也简要地对有关技术的发展动向作些介绍。

整套丛书共有二十个分册,每一分册独立论述一个专题。为照顾系统性和便于读者学习,有些内容在不同的分册中有些重复,但侧重点各不相同,这样就把丛书的系统性和分册的独立性统一起来,读者可根据自己的需要选择学习。

本丛书在组编过程中,得到计量出版社的全面支持,还得到有关计量部门、大专院校、科研机构、工矿企业和广大计量工作者的支持和关心,我们在此深表谢意。

限于我们的经验和水平,这套丛书可能存在不少缺点和错误,我们衷心欢迎广大读者给予批评指正。

长度计量测试丛书编委会

长度计量测试丛书编委会

主 编： 梁晋文

副主编： 许金钊 徐孝恩

编 委： (按姓氏笔划排列)

王轶铮 许金钊 朱桂兰

刘瑞清 何 贡 陈林才

李继桢 李隆铸 庾以滦

林洪桦 费业泰 徐孝恩

黄生耀 黄福芸 梁晋文

目 录

第一章 绪论	(1)
一、光电技术在几何量测量中的地位	(1)
二、光电探测系统的基本结构	(5)
三、光电技术应用前景及发展趋势	(7)
第二章 光电技术基础知识	(11)
一、光电基础知识	(11)
(一) 光辐射物理	(11)
(二) 光电效应	(13)
(三) 辐射光学单位及换算公式	(15)
二、光源	(17)
(一) 激光器	(17)
(二) 白炽灯	(26)
(三) 气体放电灯	(27)
第三章 光电探测器	(30)
一、概述	(30)
(一) 光电器件分类	(31)
(二) 探测器性能比较	(32)
(三) 光电探测器选择的一般原则	(35)
二、外光电效应的光电探测器	(37)
(一) 无放大作用的光电管	(37)
(二) 特殊光电管	(37)
(三) 光电倍增管	(39)
(四) 像管	(51)

(五) 电视摄像管	(53)
三、内光电效应的光电管	(54)
(一) 光导器件(光导盒)	(55)
(二) 结光电管	(60)
(三) 几种国产光电管的特性	(64)
(四) 自扫描光电二极管阵列 (SSPD)	(68)
(五) 光电位置敏感器件 (PSD)	(71)
第四章 光学系统	(75)
一、光学系统在光电技术中的应用	(75)
(一) 线宽轮廓测量仪	(75)
(二) 大尺寸外径非接触测量系统	(76)
(三) 激光测速仪	(77)
二、光学系统的基本单元	(79)
(一) 透镜及透镜系统	(79)
(二) 反射镜	(97)
(三) 分光镜	(101)
(四) 棱镜	(105)
三、聚光照明系统	(112)
(一) 用途	(112)
(二) 对照明的要求	(112)
(三) 照明系统设计要求	(113)
(四) 亮视场照明系统	(114)
(五) 暗视场照明系统	(115)
(六) 照明系统中的几个问题	(116)
(七) 几种常用的照明系统	(117)
第五章 光电检测电路系统	(121)
一、光电探测器电路	(121)
(一) 双极结型光电探测器的探测电路	(121)

(二) 三极光电晶体管电路	(126)
(三) 白炽灯和双极光电晶体管耦合器电路	(129)
(四) 光电晶体管的逻辑电路	(129)
二、发光二极管调制发射器电路	(133)
(一) 最简单的发光二极管调制电路	(133)
(二) 发光二极管的正弦波调制发射器电路	(134)
(三) 带有发光二极管的脉冲调制脉冲发射器电路	(136)
三、受调辐射的光电探测器电路	(138)
(一) 光电晶体管电路	(138)
(二) 光电二极管和光电池接收电路	(141)
四、光电耦合器与光电开关电路	(143)
(一) 光电耦合器电路	(143)
(二) 光电开关电路	(148)
第六章 光电位移测量系统	(152)
一、干涉光电测量系统	(152)
(一) 单频激光干涉系统	(152)
(二) 双频激光干涉仪	(167)
二、光栅测量系统	(178)
(一) 莫尔条纹测量原理	(179)
(二) 莫尔条纹读数系统	(184)
(三) 光栅参数的选取	(188)
(四) 光栅副的间隙对莫尔条纹信号的影响	(189)
(五) 莫尔条纹信号的细分	(190)
(六) 圆光栅	(193)
(七) 零位光栅	(199)
三、光电编码器	(202)
(一) 线纹尺与度盘	(202)
(二) 码尺与码盘	(204)

第七章 对称目标光电对准系统	(206)
一、光电显微镜	(206)
(一) 显微镜的光学性能	(206)
(二) 光电显微镜的工作原理	(208)
二、对称目标光电对准系统	(212)
(一) 光度式光电自动对准	(212)
(二) 机械狭缝扫描式光电自动对准	(216)
(三) 激光束扫描式光电自动对准	(220)
(四) 电视摄像扫描积分自动对准	(222)
(五) 光栅衍射式光电自动对准	(223)
(六) 波带片式光电自动对准	(230)
(七) X射线和电子束自动对准	(233)
三、微分式轮廓对准动态测量显微镜	(236)
(一) 信号的产生	(236)
(二) 一阶光度微分边缘寻址器	(237)
(三) 二阶微分边缘寻址器	(238)
(四) 光度式边缘瞄准系统	(240)
四、光电准直仪	(241)
第八章 光电技术在微小尺寸测量中的应用	(246)
一、微图形尺寸的测量	(246)
(一) 电视测量显微镜	(246)
(二) 显微光密度计——计算机测量系统	(249)
(三) 其它测量方法	(251)
(四) 比较法测量微细图形	(255)
二、膜厚测量	(257)
(一) 椭圆偏振光法	(257)
(二) 干涉法	(260)
(三) 分光光度计法	(262)

三、表面粗糙度的光电测量方法	(266)
(一) 激光测量方法	(266)
(二) 光触针法	(269)
四、自动调焦	(272)
(一) 直接调焦	(272)
(二) 间接调焦	(277)
五、加工过程中尺寸控制	(281)
(一) 圆形零件外形尺寸的测量	(282)
(二) 同心度的测量	(284)
(三) 位置测量	(285)
(四) 尺寸间接测量	(290)
第九章 CCD 电荷耦合器件原理及其在测量中的应用	(293)
一、电荷耦合成像器件的基本原理及其结构	(293)
(一) MOS 电容	(293)
(二) 电荷耦合器件电极结构	(297)
(三) CCD 传感器的光敏区与转移区	(299)
(四) 输入输出结构	(300)
(五) 转移沟道	(302)
(六) CCD 阵列结构	(302)
二、电荷耦合器件的特性参数	(303)
(一) 量子效率	(303)
(二) 噪声	(304)
(三) 转移损失	(304)
(四) 工作频率	(305)
(五) 光电转换特性	(305)
(六) 光谱灵敏度	(305)
(七) 分辨能力	(306)
(八) 暗电流特性	(307)

三、电荷耦合器件在测量中的应用	(309)
(一) 两种典型CCD 测量系统	(309)
(二) 电荷耦合器件在测量中的应用举例	(311)
第十章 光纤传感器	(314)
一、光导纤维	(314)
(一) 光在光导纤维中的传输原理	(314)
(二) 光导纤维的传输性质与分类	(315)
二、光纤传感器 (DFS)	(319)
(一) 光纤传感器的原理和特点	(319)
(二) 光纤传感器的种类	(320)
三、光纤传感器的应用	(325)
(一) 水声传感器	(325)
(二) 生物系统的运动测量	(326)
(三) 光纤激光多普勒血液流速测量仪	(326)
(四) 光纤传输图像	(327)
(五) 测量表面粗糙度	(328)
参考文献	(332)

第一章 绪 论

一、光电技术在几何量测量中的地位

人类在认识和改造自然的活动中,会遇到大量的测量问题,其中几何量的测量是最普遍的。而在现代化机械制造业中,对产品的质量和互换性的要求越来越高,因此几何尺寸的测量与控制显得尤为重要。几何量测量的对象多数是具有—定形状的有形实体,在社会生产力和制造技术还不十分发达的时候,用较简单的机械类量具和量仪就能满足生产的需要。自第二次世界大战之后,生产技术特别是机械制造业在产品精度及复杂程度上的提高,机械量仪已远不能满足生产的需要,开始把光学技术广泛地引入几何量的测量中,用光学方法代替人眼的直接观测,使量仪的精度及性能取得了一次重要的技术进步。一代新型的光学计量仪器,包括各种工具显微镜、投影仪、干涉仪、干涉显微镜、万能测长仪、测长机及各种光学测角仪器等相继大量进入市场,一度成为几何量测量的主导设备,普遍地将测量精度提高到微米量级,这类仪器至今还在广泛地应用。随着科学技术和生产水平的发展,从本世纪60年代开始,几何量的测量技术与设备又酝酿着一场新的技术进步,即计算机和光电技术逐步被应用到几何量测量领域。一方面是生产过程自动化发展的需要,另一方面是微电子技术和光电子技术近十几年来的飞速发展以及激光、光纤、图像处理等相关技术的成熟,使计量仪器不仅提高了测量精度,而且实现了数字化和自动化。图1-1所示为大规模集成电路的

线宽测量仪,它采用显微电视非接触测量,测量精度可达 $0.06\mu\text{m}$,其分辨率可达 $0.01\mu\text{m}$,测量过程及数据处理实现全自动化。在这些复杂的系统中,无论是从被测物的定位还是每一空间坐标的读数,都是利用光电技术,把光学信息转换为计算机可接受的数字信号。又如用来测量复杂图形尺寸及坐标的图形分析仪(见图1-2),它用于测量图1-3所示的集成电路

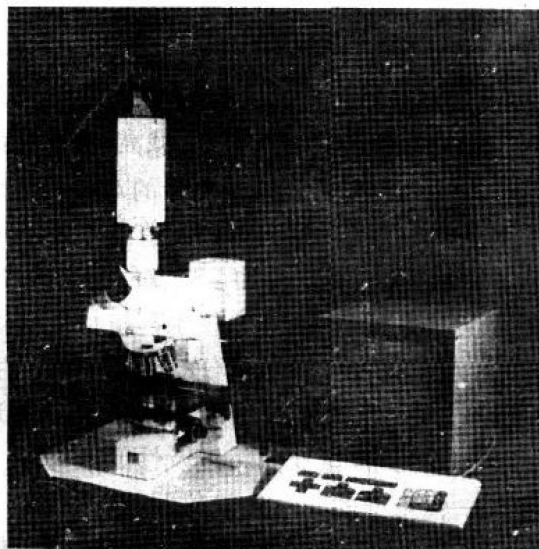


图1-1 精密轮廓形貌测量仪

版图图形尺寸,图形数量从数万到数百万,用人工测量几乎是不可能的。它采用阵列光电探测器对通过光学放大的图像逐行进行扫描,工作台运动用激光干涉测量仪定位,为避免焦距失调还采用了光电自动跟踪调焦。用这样的系统测量一幅超大规模集成电路的版图,并与原设计图形的数据进行比较,一共只需十几分钟即可完成,其工作原理如图1-4所示。而如采用人工测量,以每秒钟测一个数据计算,则需要连续测量一个月。

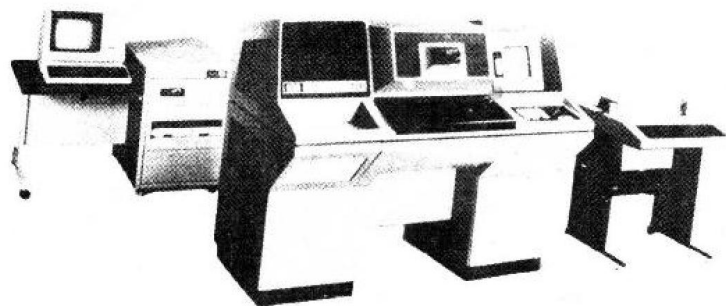


图 1-2 图形分析测量仪

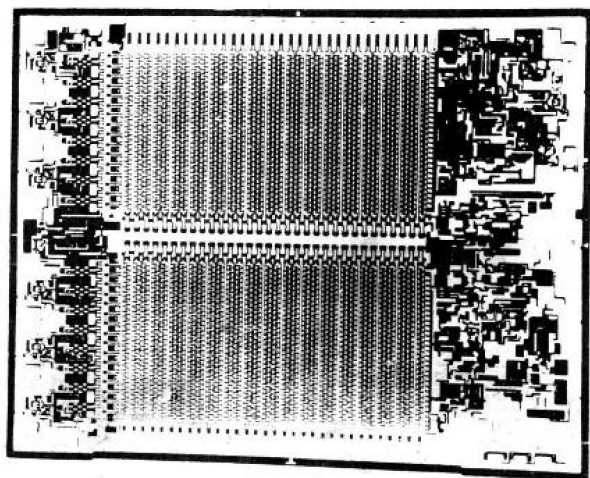


图 1-3 4096 掩模版(之一)

目前通用的计量仪器也逐渐用光电技术代替传统的测量方法。如图 1-5 所示卡尺、深度尺、高度尺、比较仪等车间常用的检测仪器,采用光栅技术,可使测量精度提高一个数量级。可见,光电技术已成为现代测量技术的基础。

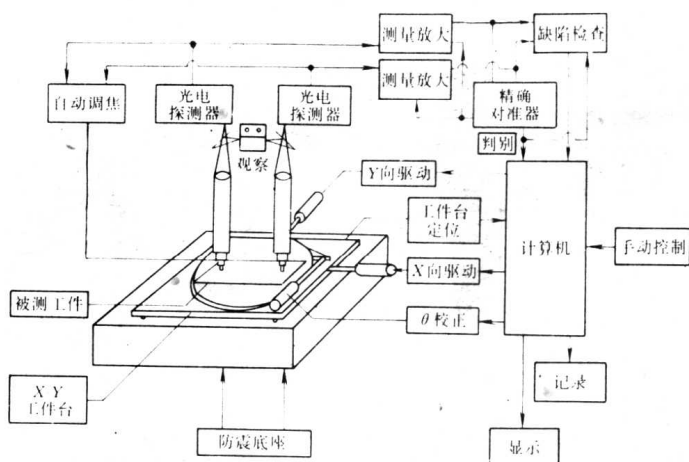


图1-4 图形分析测量仪原理图

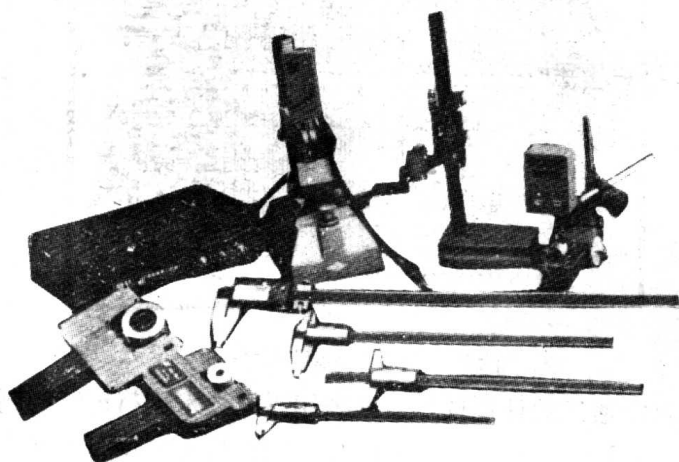


图1-5 光栅数显通用量具

二、光电探测系统的基本结构

光电技术在几何量计量仪器中主要有两个作用：

- a. 代替人眼进行观测,对目标(或工件)进行探测或对准;
- b. 将光学(位移或角度)传感器获得的光学信号转换成电信号。

为了了解光电技术的作用,首先对人眼的功能和结构作一简单的分析。人眼的断面如图1-6所示,人眼的工作条件是可见光照明或目标为发光体

(可见光),对红外光和紫外光是不能感知的。人眼结构从功能上分主要有四部分:第一部分成像系统。它由晶状体4、前室1和后室7组成。内充满折射率大于空气折射率的透明液体(折射率约为1.33),其中晶状体4表面有多层折射率为1.33~1.43的膜系,以

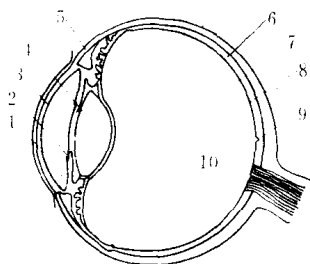


图1-6 人眼结构

实现对各种像差的校正。晶状体的曲率半径可通过周围肌肉自动调节(调节范围2~10mm),以保证目标清晰地成像于视网膜6上。眼球后室7内壁覆盖一层黑色膜8(或称脉络膜),它的主要作用是防止光线漫射。第二部分接收系统。它由对光强十分敏感的七百万个圆柱形细胞和近一亿个对光频率特性(即颜色)敏感的圆锥形细胞排列而成的视网膜6组成探测系统,这个面阵形的探测系统中央部分灵敏度最高的称为黄斑9,成像信号通过视神经束10传入大脑,此出口通道处没有光敏细胞称为“盲点”。这些光敏细胞的直径约为 $4\mu\text{m}$,因此人眼分辨率应大于此值。第三部分接收光能控制系统。人眼光敏