

中国计量科学研究院
研究报告

1

1986

中国计量科学研究院
北京

中國社會科學院
研究報告

1

1986

· · · · ·

· ·

中国计量科学研究院 研究报告

1

1986

中国计量科学研究院
北京

THE NATIONAL INSTITUTE OF
METROLOGY OF CHINA
RESEARCH REPORTS

1986

Beijing China

THE NATIONAL INSTITUTE OF
METROLOGY OF CHINA
RESEARCH REPORTS

Published by:

Office of Technical Information NIM

Address.

Office of Technical Information

National Institute of Metrology

7, District 11, He Ping Street

Beijing 100013

People's Republic of China

CONTENTS

1. Study of the Linewidth Standard	(1)
2. SPJ-2 Type Multipurpose Double Frequency Laser Interferometer	(9)
3. The Realization of the Copper Freezing Point by Pyrometry	(19)
4. The Re-realization of the International Practical Temperature Scale Between 13 K and 273K.....	(25)
5. A New Primary Standard Mano-barometer.....	(33)
6. The Development of the Steam Flow Standard Apparatus.....	(41)
7. PVTt Equipment and Sonic Venturi	(47)
8. Generalized Injected Voltage Method for the Establishment of Multidecade Inductive Voltage Divider Standard	(57)
9. The Designing Method for Resistance Strain Gauge Calibrator and Its Optimization.....	(67)
10. Measuring Equipment of Magnetic Properties for Tapes and Particles	(75)
11. HST-1 Type Digital Milliteslameter	(83)
12. Automatic Standard System for Silicon Slice Resistivity	(89)
13. Ro-vibrational Levels of Iodine Molecules at He-Ne Laser Lines	(101)
14. Precise Measurement of Density of Mercury in Comparative Method.....	(107)
15. The Develop of Equipment Calibrated Axial Load Fatigue Testing Machines.....	(115)
16. The Realizability of Design in Double Hole Type Transducer	(125)
17. On Some Technical Problems of Microcalorimeter	(141)
18. A New Method of Measuring Nonlinearity of Light Measuring Systems— Double Beam Method	(147)
19. 5 kW Laser Power Working Standard	(153)
20. Micro Power Calibration Instrumentation for Optical Fiber Communication.....	(161)
21. High Sensitivity and Broadband Laser Power Radiometer	(169)

(111) 标准文件 查 阅 字 号 1

(112) 标准文件 查 阅 字 号 1

(113) 标准文件 查 阅 字 号 1

(114) 标准文件 查 阅 字 号 1

(115) 标准文件 查 阅 字 号 1

(116) 标准文件 查 阅 字 号 1

(117) 标准文件 查 阅 字 号 1

(118) 标准文件 查 阅 字 号 1

(119) 标准文件 查 阅 字 号 1

(120) 标准文件 查 阅 字 号 1

(121) 标准文件 查 阅 字 号 1

(122) 标准文件 查 阅 字 号 1

(123) 标准文件 查 阅 字 号 1

(124) 标准文件 查 阅 字 号 1

(125) 标准文件 查 阅 字 号 1

(126) 标准文件 查 阅 字 号 1

(127) 标准文件 查 阅 字 号 1

(128) 标准文件 查 阅 字 号 1

(129) 标准文件 查 阅 字 号 1

(130) 标准文件 查 阅 字 号 1

(131) 标准文件 查 阅 字 号 1

(132) 标准文件 查 阅 字 号 1

(133) 标准文件 查 阅 字 号 1

(134) 标准文件 查 阅 字 号 1

(135) 标准文件 查 阅 字 号 1

(136) 标准文件 查 阅 字 号 1

(137) 标准文件 查 阅 字 号 1

(138) 标准文件 查 阅 字 号 1

(139) 标准文件 查 阅 字 号 1

(140) 标准文件 查 阅 字 号 1

(141) 标准文件 查 阅 字 号 1

(142) 标准文件 查 阅 字 号 1

(143) 标准文件 查 阅 字 号 1

(144) 标准文件 查 阅 字 号 1

(145) 标准文件 查 阅 字 号 1

(146) 标准文件 查 阅 字 号 1

(147) 标准文件 查 阅 字 号 1

(148) 标准文件 查 阅 字 号 1

(149) 标准文件 查 阅 字 号 1

(150) 标准文件 查 阅 字 号 1

(151) 标准文件 查 阅 字 号 1

(152) 标准文件 查 阅 字 号 1

(153) 标准文件 查 阅 字 号 1

(154) 标准文件 查 阅 字 号 1

(155) 标准文件 查 阅 字 号 1

(156) 标准文件 查 阅 字 号 1

(157) 标准文件 查 阅 字 号 1

(158) 标准文件 查 阅 字 号 1

(159) 标准文件 查 阅 字 号 1

(160) 标准文件 查 阅 字 号 1

(161) 标准文件 查 阅 字 号 1

(162) 标准文件 查 阅 字 号 1

(163) 标准文件 查 阅 字 号 1

(164) 标准文件 查 阅 字 号 1

(165) 标准文件 查 阅 字 号 1

(166) 标准文件 查 阅 字 号 1

(167) 标准文件 查 阅 字 号 1

(168) 标准文件 查 阅 字 号 1

(169) 标准文件 查 阅 字 号 1

(170) 标准文件 查 阅 字 号 1

(171) 标准文件 查 阅 字 号 1

(172) 标准文件 查 阅 字 号 1

(173) 标准文件 查 阅 字 号 1

(174) 标准文件 查 阅 字 号 1

(175) 标准文件 查 阅 字 号 1

(176) 标准文件 查 阅 字 号 1

(177) 标准文件 查 阅 字 号 1

(178) 标准文件 查 阅 字 号 1

(179) 标准文件 查 阅 字 号 1

(180) 标准文件 查 阅 字 号 1

(181) 标准文件 查 阅 字 号 1

(182) 标准文件 查 阅 字 号 1

(183) 标准文件 查 阅 字 号 1

(184) 标准文件 查 阅 字 号 1

(185) 标准文件 查 阅 字 号 1

(186) 标准文件 查 阅 字 号 1

(187) 标准文件 查 阅 字 号 1

(188) 标准文件 查 阅 字 号 1

(189) 标准文件 查 阅 字 号 1

(190) 标准文件 查 阅 字 号 1

(191) 标准文件 查 阅 字 号 1

(192) 标准文件 查 阅 字 号 1

(193) 标准文件 查 阅 字 号 1

(194) 标准文件 查 阅 字 号 1

(195) 标准文件 查 阅 字 号 1

(196) 标准文件 查 阅 字 号 1

(197) 标准文件 查 阅 字 号 1

(198) 标准文件 查 阅 字 号 1

(199) 标准文件 查 阅 字 号 1

(200) 标准文件 查 阅 字 号 1

目 录

长 度

1. 线宽标准的研制 杜贤和等 (1)

2. SPJ-2 型多功能双频激光干涉仪 武宝琦 (9)

温 度

1. 辐射法复现铜凝固点 赵 琪等 (19)

2. 重新复现 13—273K 国际实用温标 张国权等 (25)

压 力

1. 基准液体压力计 盛以唐等 (33)

流 量

1. 蒸汽流量标准装置 王建中等 (41)

2. PVTt 法装置和音速喷管 王自和等 (47)

电 学

1. 建立多十进盘感应分压器标准的广义电压注入法 张功铭等 (57)

2. 电阻应变仪校准器的设计方法及最佳方案 赵复真 (67)

磁 学

1. 磁带、磁粉磁性参数测量装置 杨春梅等 (75)

2. HST-1 型数字毫特斯拉计 金惕若 (83)

半 导 体

1. 硅单晶电阻率自动标准装置 张鸿祥等 (89)

激 光 器

1. 碘分子在 He-Ne 激光器输出谱线范围内的振转带 赵克功等 (101)

密 度

1. 用相对法精密测量水银密度 李兴华等 (107)

力 值

1. 轴向加荷疲劳试验机校准装置的研制 张克敏等 (115)

传 感 器

1. 双孔式负荷传感器设计可行性试验 李明明等 (125)

电 离 辐 射

1. 关于微量热计的几个技术问题 高钧成 (141)

光 学

1. 一种测量光辐射测量系统非线性新方法——双光束法 肖文宾等 (147)

光 功 率

1. 5 kW激光功率工作基准 王慰平等 (153)
2. 光通信用微小功率校准装置 刘沪保等 (161)
3. 高灵敏度宽波段激光功率计、比率计 张宝茹等 (169)

(1) 激光功率计 肖文宾等 (147)

(2) 激光功率计 王慰平等 (153)

(3) 激光功率计 刘沪保等 (161)

(4) 激光功率计 张宝茹等 (169)

(5) 激光功率计 肖文宾等 (147)

(6) 激光功率计 王慰平等 (153)

(7) 激光功率计 刘沪保等 (161)

(8) 激光功率计 张宝茹等 (169)

(9) 激光功率计 肖文宾等 (147)

(10) 激光功率计 王慰平等 (153)

(11) 激光功率计 刘沪保等 (161)

(12) 激光功率计 张宝茹等 (169)

(13) 激光功率计 肖文宾等 (147)

(14) 激光功率计 王慰平等 (153)

(15) 激光功率计 刘沪保等 (161)

(16) 激光功率计 张宝茹等 (169)

(17) 激光功率计 肖文宾等 (147)

(18) 激光功率计 王慰平等 (153)

(19) 激光功率计 刘沪保等 (161)

(20) 激光功率计 张宝茹等 (169)

(21) 激光功率计 肖文宾等 (147)

(22) 激光功率计 王慰平等 (153)

(23) 激光功率计 刘沪保等 (161)

(24) 激光功率计 张宝茹等 (169)

(25) 激光功率计 肖文宾等 (147)

(26) 激光功率计 王慰平等 (153)

(27) 激光功率计 刘沪保等 (161)

(28) 激光功率计 张宝茹等 (169)

(29) 激光功率计 肖文宾等 (147)

(30) 激光功率计 王慰平等 (153)

(31) 激光功率计 刘沪保等 (161)

(32) 激光功率计 张宝茹等 (169)

(33) 激光功率计 肖文宾等 (147)

(34) 激光功率计 王慰平等 (153)

(35) 激光功率计 刘沪保等 (161)

(36) 激光功率计 张宝茹等 (169)

(37) 激光功率计 肖文宾等 (147)

(38) 激光功率计 王慰平等 (153)

(39) 激光功率计 刘沪保等 (161)

(40) 激光功率计 张宝茹等 (169)

(41) 激光功率计 肖文宾等 (147)

(42) 激光功率计 王慰平等 (153)

(43) 激光功率计 刘沪保等 (161)

(44) 激光功率计 张宝茹等 (169)

(45) 激光功率计 肖文宾等 (147)

(46) 激光功率计 王慰平等 (153)

(47) 激光功率计 刘沪保等 (161)

(48) 激光功率计 张宝茹等 (169)

(49) 激光功率计 肖文宾等 (147)

(50) 激光功率计 王慰平等 (153)

(51) 激光功率计 刘沪保等 (161)

(52) 激光功率计 张宝茹等 (169)

(53) 激光功率计 肖文宾等 (147)

(54) 激光功率计 王慰平等 (153)

(55) 激光功率计 刘沪保等 (161)

(56) 激光功率计 张宝茹等 (169)

(57) 激光功率计 肖文宾等 (147)

(58) 激光功率计 王慰平等 (153)

(59) 激光功率计 刘沪保等 (161)

(60) 激光功率计 张宝茹等 (169)

(61) 激光功率计 肖文宾等 (147)

(62) 激光功率计 王慰平等 (153)

(63) 激光功率计 刘沪保等 (161)

(64) 激光功率计 张宝茹等 (169)

(65) 激光功率计 肖文宾等 (147)

(66) 激光功率计 王慰平等 (153)

(67) 激光功率计 刘沪保等 (161)

(68) 激光功率计 张宝茹等 (169)

(69) 激光功率计 肖文宾等 (147)

(70) 激光功率计 王慰平等 (153)

(71) 激光功率计 刘沪保等 (161)

(72) 激光功率计 张宝茹等 (169)

(73) 激光功率计 肖文宾等 (147)

(74) 激光功率计 王慰平等 (153)

(75) 激光功率计 刘沪保等 (161)

(76) 激光功率计 张宝茹等 (169)

(77) 激光功率计 肖文宾等 (147)

(78) 激光功率计 王慰平等 (153)

(79) 激光功率计 刘沪保等 (161)

(80) 激光功率计 张宝茹等 (169)

(81) 激光功率计 肖文宾等 (147)

(82) 激光功率计 王慰平等 (153)

(83) 激光功率计 刘沪保等 (161)

(84) 激光功率计 张宝茹等 (169)

(85) 激光功率计 肖文宾等 (147)

(86) 激光功率计 王慰平等 (153)

(87) 激光功率计 刘沪保等 (161)

(88) 激光功率计 张宝茹等 (169)

(89) 激光功率计 肖文宾等 (147)

(90) 激光功率计 王慰平等 (153)

(91) 激光功率计 刘沪保等 (161)

(92) 激光功率计 张宝茹等 (169)

(93) 激光功率计 肖文宾等 (147)

(94) 激光功率计 王慰平等 (153)

(95) 激光功率计 刘沪保等 (161)

(96) 激光功率计 张宝茹等 (169)

(97) 激光功率计 肖文宾等 (147)

(98) 激光功率计 王慰平等 (153)

(99) 激光功率计 刘沪保等 (161)

(100) 激光功率计 张宝茹等 (169)

线宽标准的研究

杜贤和 方仲平 刘剑平

摘要 本文介绍我院研制的线宽标准测量装置。应用了非相干光照明、弹性铰链微动工作台、高倍大数值孔径光电显微镜、在计算机控制下，作自动扫描测量。其测量范围为1-10 μm ，测量不确定度为0.1 μm 。同时设计了线宽标准板，可提供给集成电路生产厂家，作线宽测量仪器的定标样板大大提高其检测准确度。该线宽测量装置还可应用于磁头狭缝、微小颗粒、纤维直径等其它微小物体的精密尺寸测量。

引 言

随着计算机、大规模集成电路的发展，生产中对掩模板线条宽度的要求越来越高。大规模和超大规模集成电路的刻线宽度已接近和达到亚微米级，相应检测线宽的精确度需达到0.1 μm 。这在国外先进国家已经实现。目前国内集成电路生产厂家检测掩模板线宽主要靠光学显微镜目测测量法进行，精度低，误差可达1-2 μm ，严重影响了产品性能和合格率。不能满足我国半导体工业的需要。

我院建立的线宽标准填补了这个空白。它由一套线宽标准板和测量装置组成。测量范围为1-10 μm ，测量精密度为0.03 μm (3 δ)，测量不确定度为0.1 μm (3 δ)。经该测量装置检定过的高精度线宽标准板可提供给有关厂家作为校准仪器的标准使用。该装置还可用于磁头狭缝、微小颗粒、纤维直径等微小尺寸的测量。

一、线宽标准测量装置

线宽测量与线纹测量不同。线纹测量只需测两根刻线间的中心距，因而对刻线质量要求不高，光电瞄准容易，易于测准。线宽测量则是测一根刻线两个平行边沿之间的垂直距离。对刻线质量要求高，线边沿光电对准不易。对应于刻线的光强信号输出，要考虑照明光的相干程度，及如何选择光强阈值问题。

从数学模型得到完全非相干光和部分相干光照明时的阈值选取公式：

$$I_{C\text{非相干}} = 0.5(I_M + I_0) \quad (1)$$

$$I_{C\text{部分相干}} = 0.25(I_M + I_0 + 2\sqrt{I_M I_0} \cos\phi) \quad (2)$$

其中， I_C 为阈值点处的光强亮度， I_M 为最大平均亮度； I_0 为基底亮度。公式(2)中的 ϕ 为透过

刻线和基底光线间的相位差。在一定程度上,这两个公式与实测值吻合很好,但公式(1)中的非相干条件在一般显微镜上不易实现;公式(2)用于不同的线宽测量仪,实测值相差较大。因此国际上对于线宽阈值的选取仍不统一。

我们研制的线宽标准测量装置采用非相干光照明,由扫描光度式光电显微镜、激光干涉测长系统、微动工作台、微机控制系统四部分组成。其原理如图1所示。

1. 光度式光电显微镜

线宽测量要求光电显微镜具有高分辨率、高放大倍数、高光电接收灵敏度和对准精度。因此对物镜、聚光系统、光狭缝、光电倍增管以及光源都提出了较高要求。本装置所用的光电显微镜由一台东德蔡司显微镜改装而成。在显微镜上方装有固定光狭缝和光电倍增管。光狭缝长3 mm、宽0.034 mm,位于物镜的后焦面上。采用100x/1.30的高倍油浸物镜和8倍的投影物镜,加上中间0.63倍转象物镜,使光电显微镜总放大倍数达到500倍,这样在物面上就可得到 $0.07\ \mu\text{m} \times 6\ \mu\text{m}$ 的有效扫描狭缝。这样细的扫描狭缝可以保证足够的瞄准灵敏度和准确度。当工作台上的线宽标准板作X向运动时,光狭缝就在光轴上均匀扫描整个刻线轮廓。光电倍增管接收刻线的光强信号、转换成模拟电信号输入到A/D变换板,再进入计算机进行数据处理。激光

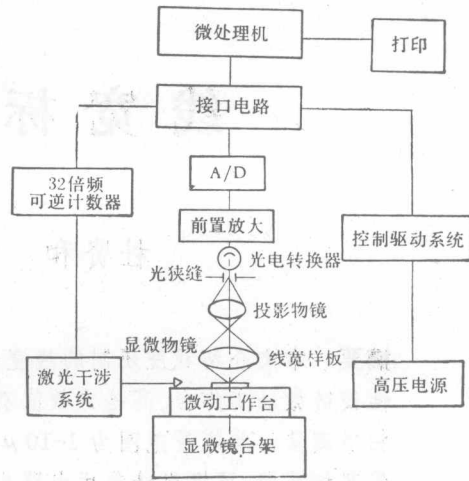


图1 线宽标准测量装置

表1 部分相干照明与非相干照明比对

名义 与测量 值 线 类	照明 方式 值	部份相干照明测量结果	非相干照明测量结果
黑 线	1(μm)	1.02(μm)	1.00(μm)
	2	2.11	2.09
	3	3.06	3.05
	4	4.00	4.01
	5	5.09	5.08
	6	6.04	6.07
	7.5	7.57	7.62
	10	10.07	10.00
亮 线	1(μm)	1.14(μm)	1.14(μm)
	2	2.67	2.61
	3	3.62	3.62
	4	4.56	4.53
	5	5.66	5.62
	6	6.63	6.64
	7.5	8.19	8.14
	10	10.60	10.57

干涉系统进行长度量绝对测量,最后由计算机绘图并计算出结果。

为实现非相干光照明,在聚光系统和物面之间加了一块特制的散射板。能大大消除由于照明光线的部分相干而产生的衍射条纹,提高光学系统的分辨能力。实验和理论表明,这种方法已实现近似非相干光照明,具有调焦散发小,测量示值重复性好、阈值确定简单等优点,有利于提高测量精度。表1列出了用这种方法照明和部分相干光照明下的测量结果。

2. 激光干涉测长系统

激光干涉测长系统由迈克尔逊干涉仪和32倍频可逆计数器组成。其原理如图2所示。光源使用波长为 $0.6328\ \mu\text{m}$ 的氦氖激光器,测量角锥棱镜装在微动工作台上,随线宽标准板而移动。每移动 $\lambda/2$ 距离,条纹变化一条,其光强信号由光电接收器接收,进入32倍频可逆计数器后进行电子细分,得到最小读数为 $0.01\ \mu\text{m}$ 的位移。测量数据送入计算机计算处理,加上倍增管输入的光强信号,由绘图仪绘出对应的位移——光强黑度曲线。

3. 微动工作台系统

为实现线宽标准板作自动横向扫描运动,我们研制了由微机控制驱动的弹性铰链微动工作台。总行程可达 $160\ \mu\text{m}$,灵敏度优于 $0.01\ \mu\text{m}$,在给驱动元件压电晶体的加压过程中,仰角和扭摆都小于 $1.5''$ 。其原理是利用一块整体的金属材料,机械加工出弹性铰链和杠杆系统,在压电晶体的驱动下,由弹性铰链产生小的弹性变形,经杠杆放大后使微动工作台产生较大的位移。根据测量时对位移量大小的需要,由微机控制压电晶体的加压量,从而达到自动移动工作台的目的。这种微动工作台具有许多滑动或滚动导轨工作台都无法得到的优点:(1)没有机械磨擦力,因而没有机械爬行,可达到极高的位移灵敏度。(2)整体式结构,体积小、结构紧凑。(3)压电晶体作驱动,没有震动和发热问题。(4)不需要润滑,免除润滑油的污染。

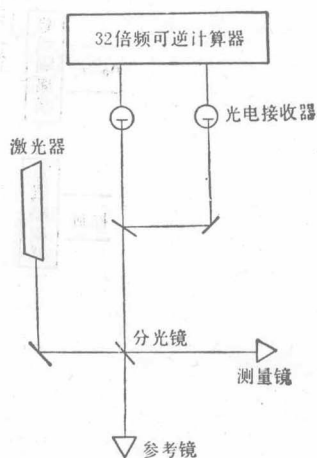


图2 激光干涉仪系统原理图

二、计算机数据处理和控制电路

微机在整个测量过程中要自动控制测量动运的起停及行程大小、采集数据、计算处理,将测量结果作图和打印输出。其接口电路主要结构原理如图3所示。

本接口电路的功能主要是:(1)设置了总线隔离驱动器,与计算机相连,以加强总线的负载能力。(2)建立多路数据采集口,以便采集来自激光干涉仪的八位十进制数据和来自光电显微镜、经模数转换器转换后的12位A/D数据。(3)步进马达高压系统的控制。驱动微动工作台的PZT晶体需要非常稳定的直流高压,否则电压的漂移将引起微动工作台的漂移。因此对整个测量过程的控制也就是对驱动PZT晶体直流高压的精密控制。图4所示的负反馈运算式高压稳压电源。其中 V_i 是标准电源, R_i 和 R_f 是输入电阻和反馈电阻。DC-DC是直流电压变换器,由逆变器和倍压整流器组成。显然:

$$V_0 = -\frac{R_f}{R_i} V_i$$

调节输入电阻 R_i ,即可调节输出电压 V_0 。采用微型马达、经限位装置、用程序控制马达运动,

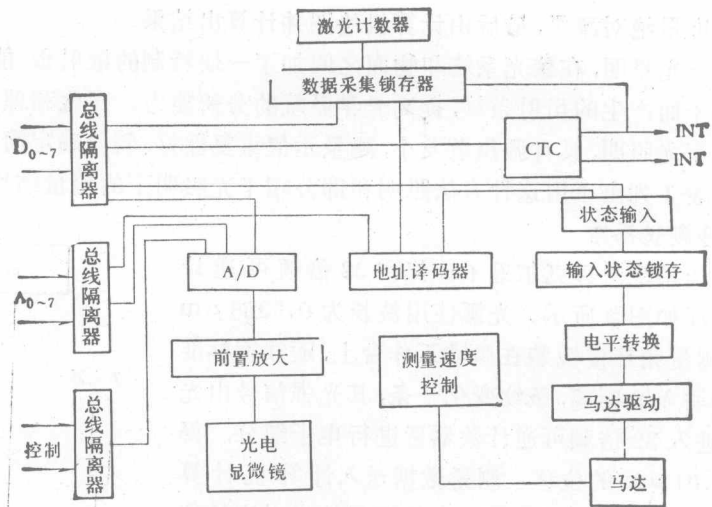


图 3 接口电路原理图

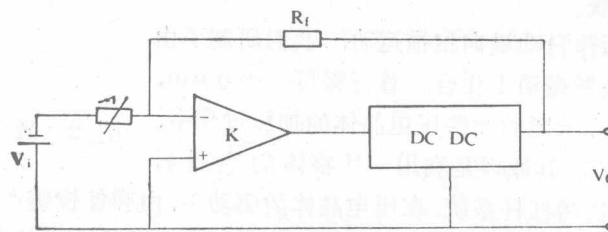


图 4 负反馈运算放大式高压电源

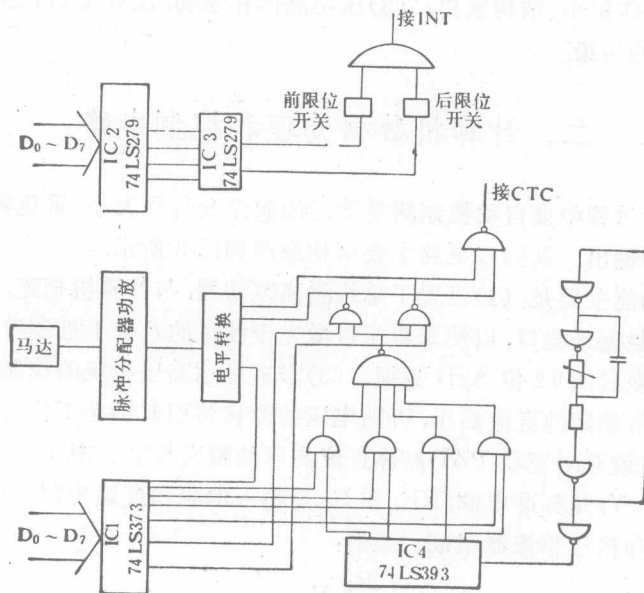


图 5 步进马达高压控制电路

达到调节多圈绕线电位器 R_i , 实现对直流高压的控制。电路原理图如图 5 所示。

三、线宽测量的程序设计

1. 线宽测量的数学模型

线宽测量需绘制出图 6 所示的刻线轮廓曲线。然后按相应的阈值计算其对应边沿的距离。

图中, M_0 : 线条透明部分透过的光强极大值;

M_1 : 线条不透明部分透过的光强极小值;

$$MAX = 0.85(M_0 + M_1)$$

$$MIN = 0.15(M_0 + M_1)$$

I_1, I_2, I_3, I_4 分别为光强值 Y 在 MIN, MAX 时的下标变量 X_i 中的 i 值。

T_C : 选定的线宽测量阈值。

该图形的绘制和测量具有如下特点: (1) 测量过程中, 需要快速、密集地采集大量数据才能精确绘制一条客观的线条轮廓曲线。(2) 每次测量没有固定的起测标志, 因此每次测量的起测点不同, 也必须大量采集数据, 才能不遗失地把所有线条轮廓信息包括在内。(3) 线宽测量的核心是确定 I_1, I_2, I_3, I_4 的值。

采用下法计算线宽值。令下标变量 $X(I)$ 表示位移量, $Y(I)$ 表示光强变化量。由点坐标:

$$\begin{cases} X(I_1) \sim X(I_2) \\ Y(I_1) \sim Y(I_2) \end{cases} \quad \text{和} \quad \begin{cases} X(I_3) \sim X(I_4) \\ Y(I_3) \sim Y(I_4) \end{cases}$$

按最小二乘法回归, 得到线条轮廓二条边沿的直线方程。

最小二乘法回归方程:

$$Y = bX + a \quad (3)$$

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n X_i^2 \sum_{i=1}^n Y_i - \sum_{i=1}^n X_i \sum_{i=1}^n X_i Y_i}{n \sum_{i=1}^n X_i^2 - (\sum_{i=1}^n X_i)^2} \quad (4)$$

$$b = \frac{n \sum_{i=1}^n X_i Y_i - \sum_{i=1}^n X_i \sum_{i=1}^n Y_i}{n \sum_{i=1}^n X_i^2 - (\sum_{i=1}^n X_i)^2} \quad (5)$$

阈值计算公式:

$$T_C = 0.5(I_M + I_0) \quad (\text{散射光照明}) \quad (6)$$

$$T_C = 0.25(1 + T_0 + 2\sqrt{T_0 \cos \phi}) \quad (\text{单色光照明}) \quad (7)$$

$T_0 = \frac{M_2 - M_1}{M_2 - M_0}$ 为线条不透明部分的相对透过率;

M_2 : 完全不透明时的 A/D 变换信号值;

M_1 : 线条最小透明部分 A/D 变换信号值;

M_0 : 线条透明部分 A/D 变换信号值。

线宽求解公式:

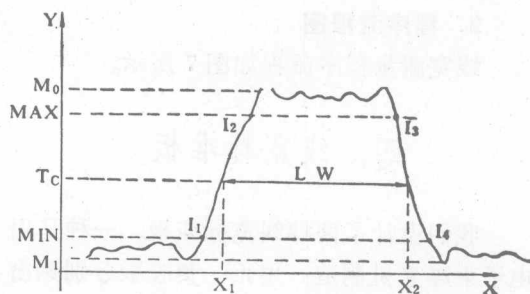


图 6 线宽测量轮廓图

$$\begin{cases} y = b_1 x_1 + a_1 \\ y = T_0 \end{cases} \quad (8)$$

$$\begin{cases} y = b_2 x_2 + a_2 \\ y = T_c \end{cases} \quad (9)$$

从(8)、(9)两式解出 X_1, X_2 , 得线宽值:

$$L - W = X_2 - X_1 \quad (10)$$

2. 程序流程图

线宽测量程序流程如图7所示。

四、线宽标准板

我们设计了两种线宽标准板。一种是用电子束曝光机制造。用正、负胶板分别刻出“黑线”板、“亮线”板, 组成一套标准板。其线宽名义值为: $0.5 \mu\text{m}, 1 \mu\text{m}, 2 \mu\text{m}, 3 \mu\text{m}, 4 \mu\text{m}, 5 \mu\text{m}, 6 \mu\text{m}$ 和一个 $10 \mu\text{m}$ 的线间隔。胶层厚度为 58 nm , 刻线边沿弯曲小于 $0.1 \mu\text{m}$, 边沿陡直, 适用于高精度比较测量。

另一种线宽标准板用光刻法制造。将“黑线”与“亮线”都刻在同一块板上, 使用方便。其名义值为: $1 \mu\text{m}, 2 \mu\text{m}, 3 \mu\text{m}, 4 \mu\text{m}, 5 \mu\text{m}, 6 \mu\text{m}, 7.5 \mu\text{m}, 10 \mu\text{m}$ 。铬层厚度为 100 nm , 刻线边沿弯曲小于 $0.2 \mu\text{m}$ 。

两种线宽标准板图形类形, 见图8。

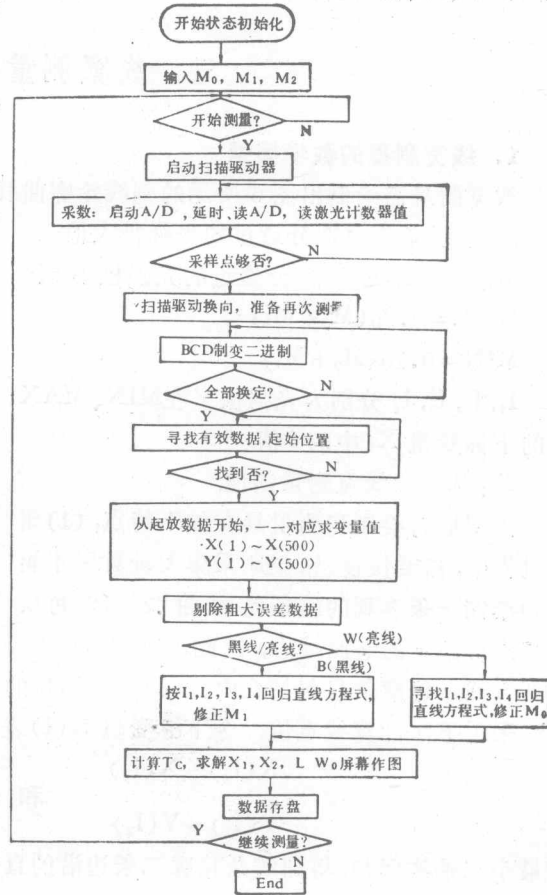
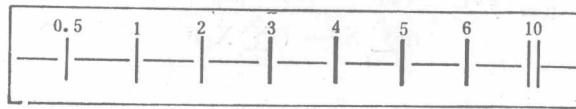
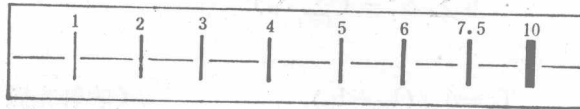


图7 线宽测量程序流程图



a) 电子束曝光线宽标准板图形



b) 光刻线宽标准板图形

图8 线宽标准板图形

五、精度分析与实验结果

1. 精度分析

根据理论和实验估算本线宽测量装置误差如下:

1) 利用最小二乘法对线条轮廓曲线二边沿直线方程回归误差。包括 A/D 变换误差： $\Delta_1 = 0.03 \mu\text{m}$ 。

2) 标准板线边沿斜坡造成的误差： $\Delta_2 = 0.04 \mu\text{m}$

3) 光狭缝与被测刻线不平行造成的误差： $\Delta_3 = 0.014 \mu\text{m}$ 。

4) 阈值选取偏差引起的误差： $\Delta_4 = 0.035 \mu\text{m}$

5) 测量随机误差： $\Delta_5 = 0.03 \mu\text{m}$ 。

6) 干涉系统误差：因测量范围很小，时间很短，可忽略不计。

由此得该装置的总不确定度为：

$$\Delta = \sqrt{\Delta_1^2 + \Delta_2^2 + \Delta_3^2 + \Delta_4^2 + \Delta_5^2} = 0.07 \mu\text{m}$$

2. 实验结果

我们用这套线宽标准测量装置检测了一些线宽标准板，并用同一块标准板在国内现有的线宽测量仪上进行了比对测量，结果如表 2 所示。

经该装置检定过的线宽标准板已用于清华大学研制的“电视显微测量仪”的校准和核工业部第 5 研究所的“微小颗粒测量”，取得了明显的经济效益。

在本课题的研制过程中，谭竟同志参加过部分工作；在接口电路设计和调试中，得到了张云力、叶孝佑、张玲、肖勃勃的帮助；在线宽标准板的制作中，得到了电子工业部 1413 所江泽流同志、878 厂王明光同志的帮助，在此致谢。

表 2 国内几台线宽测量仪实测结果比较

		3*		中国计量院 线宽测量装置	无锡 742 厂 (英国) Vickers	无锡 742 厂 (德国) Leize	无锡 742 厂 (美国) ITP	清华大学 (中国) 电视测微仪
		2*	4*					
1*								
黑 线	1(μm)			0.92 (μm)	0.82 (μm)	1.32 (μm)	0.55 (μm)	1.23 (μm)
	2			2.06	2.12	2.20	1.66	1.99
	3			2.92	3.08	3.08	2.60	2.98
	4			3.91	4.01	3.97	3.56	3.92
	5			5.04	5.06	4.88	4.62	5.03
	6			6.04	6.10	5.91	5.61	6.05
	7.5			7.53	7.61	7.50	7.14	7.58
	10			10.00	10.03	10.00	9.54	10.07
亮 线	1(μm)			1.07	0.97	1.47	1.43	1.87
	2.5			2.61	2.54	2.42	2.84	3.02
	3.5			3.59	3.48	3.34	3.85	3.97
	4.5			4.60	4.40	4.32	4.75	4.73
	5.5			5.60	5.49	5.36	5.81	5.80 用
	6.5			6.60	6.50	6.51	6.83	6.83 Canon
	8.1			8.11	8.02	7.95	8.35	8.25 版
	10.5			10.60	10.41	10.50	10.83	10.62 版定标

1*线类；2*线宽名义值；3*线宽实测值；4*所使用的仪器

参 考 文 献

- [1] D. Nyyssonen. Theory of optical edge detection and imaging of thick layers, *Optical Society of America*, **72**, 10 (1982) 1425—1436
- [2] D. Nyyssonen. Optical Linewidth Measurements on Silicon and Iron-Oxide Photomasks. *Semiconductor Microlithography Optical Society of America* **100** (1977) 127—134
- [3] Dennis A. Swyt. *Solid State Technology*, January (1978) 35—42
- [4] W. Mirande. Vorträge des 50. PTB-Seminars "Mikrometrologie" (1983) 3—16
- [5] 梁铨庭《物理光学》，机械工业出版社，北京(1980)47—189

STUDY OF THE LINEWIDTH STANDARD

Du Xianhe Fang Zongping Liu Jianping

ABSTRACT

This paper describes the device for the measurement of linewidth standards, using incoherent illumination, micro-scanning stage and automatic measurement under the control of computer. The measuring range is 1 to 10 μm , the uncertainty is 0.1 μm . Calibrated linewidth artifacts for the use of industry has been developed, and the national linewidth standard of China has been established.

Line No.	Value 1	Value 2	Value 3	Value 4
1	1.0	1.0	1.0	1.0
2	1.5	1.5	1.5	1.5
3	2.0	2.0	2.0	2.0
4	3.0	3.0	3.0	3.0
5	4.0	4.0	4.0	4.0
6	5.0	5.0	5.0	5.0
7	6.0	6.0	6.0	6.0
8	7.0	7.0	7.0	7.0
9	8.0	8.0	8.0	8.0
10	9.0	9.0	9.0	9.0
11	10.0	10.0	10.0	10.0

SPJ-2型多功能双频激光干涉仪

武宝琦

摘要 本文简述了 SPJ-2 型多功能双频激光干涉仪的组成、工作原理、功能和技术指标。

前 言

双频激光干涉仪是现代化的高精度几何量测试仪器,与单频激光干涉仪相比,具有干涉讯号稳定、抗干扰能力强、测量速度快、能测距离长等优点,很受精密测量界的欢迎。

我国第一台设计和制造的 SPJ-1 型双频激光干涉仪,于 1975 年底诞生在我院。在生产 and 制造双频激光干涉仪的数年中,我们积累了许多经验。为了提高它的性能,我们在与国外同类仪器进行分析对比的基础上,又重新全面地进行了研究和设计,并于 1985 年研制成功了这种新型的 SPJ-2 型多功能双频激光干涉仪。

一、仪器的组成和工作原理

1. 仪器的组成

本仪器的基本部份系由激光头、云台、三脚架、数字电路箱和电源稳频箱五个部份组成。再配以测长干涉部件和测小角度干涉部件以完成对不同几何量的测量。仪器功能齐全、结构简单、刚性好、操作方便。

2. 工作原理

多功能双频激光干涉仪的原理图见图 1。

图中 3 是磁钢,在可调磁场的作用下,由于赛曼效应,He-Ne 激光器 4 发出的光,分裂为两个旋向相反的圆偏振光。一个左旋、一个右旋,其频率分别为 f_1 与 f_2 ,它们的频差大约为 1.8 兆赫。光束经 $\lambda/4$ 波片 6 后转化成为水平和垂直的两束线偏振光,其频率仍为 f_1 和 f_2 。然后进入准直管 7 进行准直和扩束。在分光镜 8 上反射出 10% 的双频激光用于稳频,其余 90% 的光透过该镜片直接射向测长干涉仪或小角度测量干涉仪。激光器尾端射出的光经检偏器 2 检偏,光电接收器 1 则可接收到一个 $f_1 - f_2$ 的拍频用作参考讯号。此讯号经放大后送入计算机。

1) 测长原理

射向长度测量干涉仪的互相垂直的两束线偏振光 f_1 和 f_2 在偏振分光镜 10 上被分开。 f_2 被