

CDMS-1型电视线宽测量仪设计与检测

沈蓓军 丁生华 邹海兴 路敦武 杨良民

(中国科学院上海光学精密机械研究所, 上海 201800)

摘要 本文介绍了中科院上海光机所研制的CDMS-1型电视线宽测量系统设计与检测。线宽测量技术主要用于集成电路生产的在线测量, 以及掩模制造中的质量控制, CDMS-1型电视线宽测量仪利用计算机对集成电路图像进行数字处理, 从而保证了仪器测量精度。经检测表明该系统的各项测试指标均达到原设计要求。

关键词: 线宽测量; 光学计量仪器

1 概 述

线宽测量仪是集成电路生产关键在线测试设备之一, 线宽测量对于保证生产的集成电路达到预期设计性能, 控制光刻工艺流程以及掩模制造质量控制起着重要的作用。随着集成电路技术的兴起和发展, 作为集成电路工艺控制重要手段的光学线宽测量技术也得到了不断的完善和发展。从早期的测微目镜法^[1]、象剪切法^[2]发展到了图像扫描法^[3]以及适合于亚微米测量的干涉法测量^[4]。目前, 光学线宽测量技术以其成本低廉、结构简单、操作使用方便等优越性在市场上占有优势地位。我国半导体集成电路生产的技术水平目前还远远落后于发达国家, 线宽测量技术的发展也很缓慢, 国内半导体制造厂家使用的几乎都是国外进口的线宽测量设备, 维护和维修这些设备比较困难, 当仪器发生故障时, 就会影响生产, 因此国内厂家迫切需要一种能适合于测量 $1\mu\text{m}$ 以上线宽的在线检测仪器。为了改变我国线宽测量技术的落后面貌, 解决我国目前集成电路生产的线宽在线检测问题, 我们研制了CDMS-1型电视线宽测量仪, 它适合于4英寸以下掩模和硅片线宽测量, 主要技术指标如下:

- 1、总放大率: 6000倍(视频)
- 2、可测最小线宽: $1\mu\text{m}$
- 3、准确度: $\pm 0.05\mu\text{m}$
- 4、重复性: $\pm 0.05\mu\text{m}$
- 5、测量时间: 2s

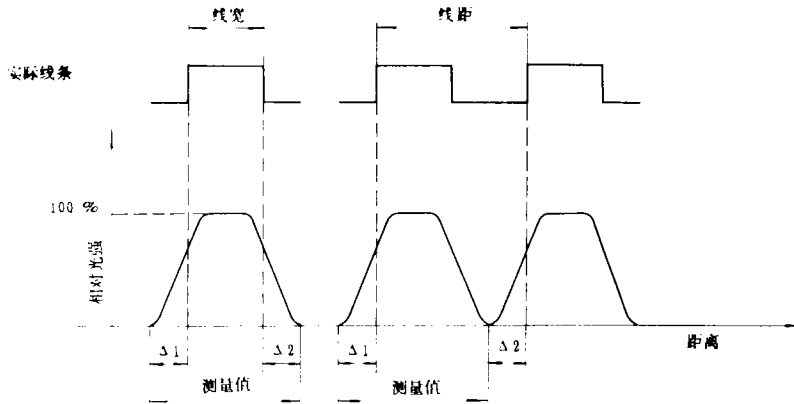


图1 线宽、线距的测量

2 线宽测量原理

线宽测量不同于线距测量，线距是指从一线条的左侧或右侧至另一条线条的左侧或右侧间的距离，而线宽是指某一线条的左侧至右侧间的距离，由于定义不同，在利用光学法测量时因边缘定位错误而引入的测量误差也有所不同。如图1所示，对于线距测量误差为 $\Delta 1 - \Delta 2$ ，线宽测量误差为 $\Delta 1 + \Delta 2$ 。由此可见，如果线条边缘位置不确定，将会严重影响线宽测量的精度。

为了确定线条边缘点的光强阈值，提高线宽测量精度，美国首先开展了线宽测量阈值研究工作，Diana Nyssonen 从理论上得出了线条边缘阈值点，并在实验中得到论证^[1]。由光强阈值理论可得对于掩模线宽测量，在非相干照明时取 50% 为光强阈值，在相干照明时取 25% 为光强阈值。硅片测量光强较为复杂，光强阈值随具体的硅片集成电路工艺条件而定。

线条边缘点光强阈值的获得为线宽测量铺平了道路。CD MS-1 型电视线宽测量仪采用了上述理论成果，利用数字图像采集卡将显微放大线条图像转换成数字图像输入计算机中，利用计算机对图像光强进行数字分析，找出线条的实际边缘轮廓，从而实现线条宽度的测量。

3 CDMS-1 型电视线宽测量仪系统结构

仪器总体结构如图2所示，从图可见，CDMS-1 型电视线宽测量仪系统分为三部分：(1) 以正置式金相显微镜为基础的显微成像系统；(2) CCD 图像摄录系统；(3) PC286 计算机图像处理系统。

以正置式金相显微镜为基础的显微成像系统是线宽测量仪的核心，为了实现对最小线宽 $1\mu\text{m}$ 的测量，并达到所需的测量精度，对物镜的放大倍率和数值孔径以及光学系统的质量都要有一定的要求^[5]。CDMS-1 型电视线宽测量仪采用 $50\times$ 、 $NA=0.85$ 的远心平场复消色差

显微物镜，为了使仪器结构紧凑，我们取中间物镜为 3×。由于硅片和掩模所需的照明方式不同，显微成像系统配备了透射、反射二套照明装置，并装有一 100×100mm 行程的工作台以适用于 4 英寸的硅片和掩模线宽测量。为了解决水平线条和倾斜线条的测量，显微成像系统还装有图像转动机构，可以将水平的或倾斜线条调至垂直，以便于测量。

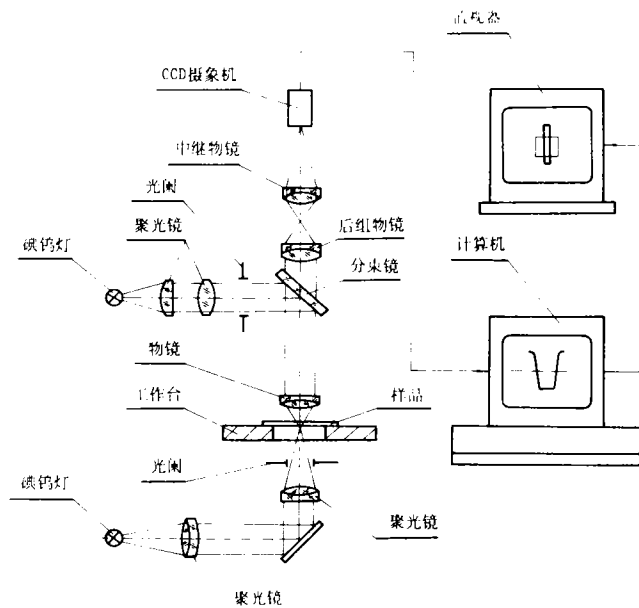


图 2 CDMS-1 型电视线宽测量仪系统图

CDMS-1 型电视线宽测量仪采用 CCD 固体器件作为图像摄取元件，这种摄像头与光导管摄像机相比，具有灰度响应线性动态范围大 (1000: 1)，无电子束扫描畸变，体积小等优点。为了将摄像机图像输入计算机，系统配备了 M540 型图像采集卡，其技术参数如下：

- 图像采集速度： 25 帧/秒
- 帧体存储容量： 4 幅 512×512×8bit
- A/D 转换： 10MHz
- D/A 转换： 10MHz
- 数据转换运输速度 : 10MHz
- 扫描方式： 隔行扫描 625 行/50Hz

图 3 为 CDMS-1 型电视线宽测量仪计算机软件操作系统框图，如图所示，该测量系统提供了两种线宽测量方法，即 General 测量法和 Special 测量法。General 测量为普通测量，操作人员只需将所要测的线条放入测量系统中测量，即可测出线宽值。当使用 Special 测量法时，操作人员必需先用与被测线宽值相近的标准线条对仪器进行定标，然后才能对所测量的线条进行测量。General 测量法与 Special 法的区别在于其测量的精度不同，General 法测量受环境的影响大，如果测量时的环境条件如温度、照明光强等与仪器出厂前标定时的条件不同，就会引入一定的测量误差，因此，当需对线条进行精确测量时，应采用 Special 测量法。

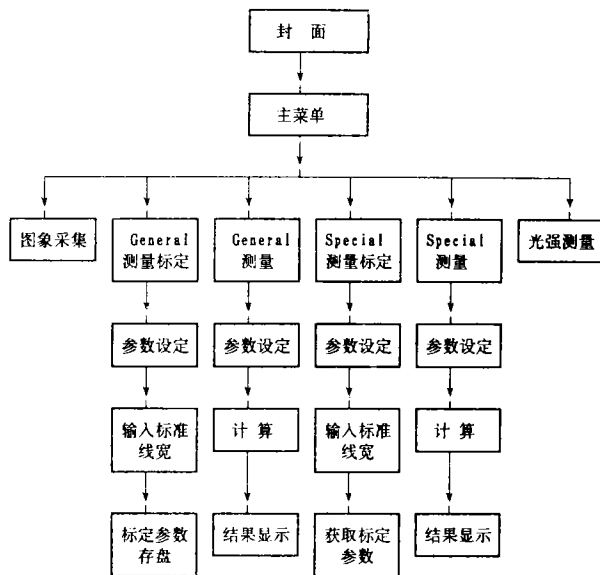


图 3 计算机软件操作系统框图

在线宽测量过程中，虽然系统配有图像转向装置，仍不可能将被测线条调整到于 CCD 扫描线相垂直，当线条与扫描行相倾斜时，就会使所得的测量值大于实际线宽值，从而引入测量误差。为了解决这一问题，我们在软件编制中对线条倾斜产生的测量误差进行了补偿，表一为经软件补偿后对线条进行倾斜测量的测量结果，从表中可以看出，经软件补偿后，线条倾斜测量误差大大下降了。

在软件中设置光强测量功能目的在于保证照明系统光强稳定在 CCD 摄像机测量线性范围之内，从而保证测量具有较高的精确度和重复性。

表 1 线条倾斜测量误差软件补偿 单位： μm

倾斜角	84.6°	82.4°	80.9°	-86.5°	80.83°
测量值	3.120	3.128	3.118	3.128	3.132
平均值	3.125				
重复性	0.005				
未补偿	0.048 (理论计算误差)				
补偿后	0.014 (包括测量误差)				

在线宽测量过程中，影响线宽测量精度的因素很多：如被测线条本身质量、光学成像系统的不完善、线宽定义理论的缺陷、系统放大倍率和畸变、CCD 摄像头及采集卡的量化误差等。为了有效地减小系统的测量误差，提高系统的测量精度，我们采取了二项措施：一是在运用统计学原理对测量数据进行处理，从而使系统的随机误差大大下降；二是在软件中设置定标功能，用软件来修正测量系统的系统误差。所谓定标，就是要确定单位线宽值所占的象

素数目，从图三可以看到，CDMS-1 型线宽测量仪设置了两种标定方法，即 General 标定法和 Special 标定法，General 标定是厂家在仪器出厂前对其定标时使用的程序，定标数据储存在计算机中，测量时，系统会自动对测量数据进行修正，操作人员也可以利用标准线宽掩模自己定标，将数据储存在计算机中。Special 标定法为精密测量提供系统定标，当要对线条精确测量时，可以采用一与测量线宽值相近的标准线条对系统进行定标，然后再对线条进行测量。表 2 为一标定实验结果，如表 2 所示，系统的定标最大偏差为 0.03 μm 。

表 2 系统标定误差 单位： μm

标称值	标准值	五次测量平均值	偏差	均方差
10	9.06	9.09	0.03	0.01
7.5	7.17	7.18	0.01	0.01
5	4.71	4.73	0.02	0.01
4	3.68	3.71	0.03	0.007
3	2.70	2.70	0.0	0.002
2	1.71	1.74	0.03	0.01
1.5	1.15	1.14	0.01	0.003

4 系统检测

系统重复性精度的检测采用一具有不同线宽值的掩模，将掩模上的线条测量五次，求其均值从而得出系统测量重复性精度。表 3 为检测结果。

表 3 重复性精度测量 单位： μm

测量次数 标称值	1	2	3	4	5	均值	均方差
10	9.705	9.691	9.680	9.696	9.683	9.69	0.01
7.5	7.171	7.167	7.186	7.193	7.196	7.18	0.01
5	4.713	4.749	4.745	4.719	4.725	4.73	0.01
4	3.709	3.712	3.710	3.719	3.700	3.71	0.007
3	2.706	2.702	2.705	2.702	2.700	2.70	0.002
2	1.749	1.745	1.731	1.722	1.731	1.74	0.01
1.5	1.138	1.133	1.135	1.137	1.132	1.14	0.003

目前市场上所能提供的标准线宽掩模其最高准确度为 ± 0.05 微米，与本测量仪器的准确度相当，因而无法用现有的标准线宽来测定本仪器的准确度指标，而必须采用高档的测量仪器如扫描电镜来检测系统的准确度。利用扫描电镜我们标定出 0.835、0.850 以及 2.388、2.394 两组线条，用这两组线条中的其中一条线条来标定系统，测量另一条线的宽度，表 4 为检测结果。

表 4 准确度测量 单位: μm

标定线宽	被测线宽	测 量 值					均值	偏差	σ	准确度
0.835	0.850	0.859	0.868	0.869	0.871	0.847	0.863	0.013	0.01	0.043
2.388	2.395	2.384	2.378	2.389	2.384	2.394	2.386	0.009	0.006	0.025

如表 3、表 4 所示,系统的测量重复性、准确度、可测最小线宽这几项主要技术指标均达到原设计指标。

5 总 结

CDMS-1 型电视线宽测量仪研制完成后,上海冶金所和上无十四厂对该系统进行了实际使用,使用结果表明系统各项指标达到原设计指标,已基本达到实用水平。

参 考 文 献

- [1] D. Nyyssonen, Linewidth Measurement Spotlight. *Semiconductor International*, 1980: 39-56
- [2] J. Dyson, Precise Measurement by Image-splitting. *Journal of the Optical Society of America*, 1960, 50 (8): 754-757
- [3] Peter H. Singer, Linewidth Measurement Aids Process Control. *Semiconductor International*, 1985: 66-73
- [4] Mark Davidson, Kalman Kaufman, Isaac Mazor, Felix Cohen, An Application of Interference Microscope to Integrated Circuit Inspection and Metrology. *SPIE*, 1987, 775: 233-247
- [5] Chris P. Kirk, Aberration Effects in an Optical Measurement Microscope, *Applied Optics*, 1987, 26: 4317-4327

Design and Test for Model CDMS-1 Video Scanning Linewidth Measurement System

Shen Beijun, Ding Shenghua, Zou Haixing, Lu Dunwu and Yang Liangmin

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics Academia Sinica, Shanghai 201800)

Abstract

The paper introduces the design and test for Model CDMS-1 Video Scanning Linewidth Measurement System developed by Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics. The linewidth measurement technology is mainly used in IC manufacture and mask quality control. This instrument gains high accuracy by using computer digital image processing technology. The test result of this measurement system shows that all expected system specifications are achieved.

Key Words: Linewidth Measurement, Optical Metrology Instruments