

接触式轮廓仪探针状态检查图形样块的研制

韩志国, 李锁印, 冯亚南, 赵 琳

(中国电子科技集团公司 第十三研究所, 石家庄 050051)

摘要: 针对接触式轮廓仪存在的探针沾污、探针缺陷、扫描位置不准的问题, 采用半导体工艺技术, 在硅晶圆片上制备出探针状态检查样块。该样块具有探针沾污及缺陷检查图形和探针扫描位置检查图形, 可实现探针针尖 10 个位置沾污和缺陷的检查以及偏移量为 $-150 \sim 150 \mu\text{m}$ 内探针扫描位置的检查。使用探针状态检查样块对一台型号为 P-6 的接触式轮廓仪进行了检查, 实验结果表明: 该样块能够准确判断出轮廓仪存在探针缺陷和扫描位置不准的问题, 进而有助于接触式轮廓仪探针的故障检查和维修。

关键词: 轮廓仪; 探针沾污; 探针缺陷; 扫描位置; 检查图形

中图分类号: TN307 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-4776 (2019) 09-0761-05

Development of the Inspection Pattern Specimen for the Contact Profiler Stylus State

Han Zhiguo, Li Suoyin, Feng Yanan, Zhao Lin

(The 13th Research Institute, CETC, Shijiazhuang 050051, China)

Abstract: In order to resolve the problems of stylus contamination, stylus defects and inaccurate scanning position in the stylus profiler, a stylus state inspection specimen was prepared on the silicon wafer using the semiconductor process technology. The specimen had a stylus contamination and defect inspection pattern and a stylus scanning position inspection pattern, which could inspect the contamination and defects of the stylus tip at 10 positions, and the stylus scanning position in the offset range from $-150 \mu\text{m}$ to $150 \mu\text{m}$. A contact profiler of type P-6 was inspected using the stylus state inspection specimen. The experimental results show that the specimen can accurately determine the problems of stylus defects and inaccurate scanning position of the profiler, which facilitates fault inspection and repair of the contact profiler stylus.

Key words: profiler; stylus contamination; stylus defect; scanning position; inspection pattern

DOI: 10.13250/j.cnki.wndz.2019.09.012 **EEACC:** 0170L

0 引言

在微电子、光电子、微电子机械系统 (MEMS)

等半导体相关领域中, 各种器件中包含大量的台阶结构, 台阶结构的高度与器件性能息息相关, 因此需要使用台阶高度测量仪器对其量值进行监控。半

导体行业中使用的台阶高度测量仪器^[1]包括接触式轮廓仪、原子力显微镜、光学轮廓仪等。接触式轮廓仪相比其他仪器来说,具有测量范围大、分辨率高、测量力小、重复性好、测量速度快等优点,在半导体行业中得到广泛应用。目前,在计量领域中,对接触式轮廓仪的研究主要集中在研制台阶高度标准样块解决仪器 Z 轴测量性能的校准问题,使该类仪器的量值能够通过标准样块溯源至计量标准^[2-3]。

但是,单纯地解决轮廓仪 Z 轴性能的校准问题并不能够完全保证仪器测量结果的准确性,这主要是因为接触式轮廓仪的探针在工作过程中经常出现以下几种问题^[4]: ①在测量光刻胶等软质表面时针尖会出现沾污; ②在长期测量硬质表面过程中探针的针尖会出现磨损,导致针尖出现缺陷; ③轮廓仪探针在发生轻微碰撞或更换探针后,探针扫描位置会发生偏移,导致实际扫描位置与设定扫描位置不同。因此,要保证轮廓仪测量结果的准确性,实现轮廓仪综合性能的校准,需要对轮廓仪的探针状态进行检查^[5]。目前,国际上知名标准物质研究机构美国 VLSI 公司已经研制出轮廓仪探针状态检查图形标准样块^[6],该样块可实现轮廓仪探针扫描位置和探针针尖 0° 、 45° 、 135° 、 180° 、 225° 和 315° 共 6 个位置的检查;然而,我国目前研制的台阶标准样块仅用于校准轮廓仪 Z 轴测量性能^[7-9],不满足接触式轮廓仪探针状态检查的校准需求。为此,本文开展了接触式轮廓仪探针状态检查图形的设计与制作,实现轮廓仪探针状态检查图形样块的国产化,进而推动接触式轮廓仪校准技术的发展。

1 检查图形的设计

轮廓仪在使用过程中,探针针尖沾污或存在缺陷,扫描得到的台阶结构图形与实际图形不符,仪器使用人员对真实的台阶结构容易产生误判。另外,探针针尖扫描位置发生偏移后,探针实际扫描位置与设定扫描位置不相符。如图 1 所示,设定扫描位置为 A,而实际扫描位置为 B,导致测量得到的结果不是设定位置的结果。图 1 中, H_A 和 H_B 分别为扫描位置 A 和 B 的测量高度。为了保证轮廓仪测试结果的准确,提高微电子器件台阶高度测试水平,有必要设计探针状态检查图形对轮廓仪的

探针状态进行检查。

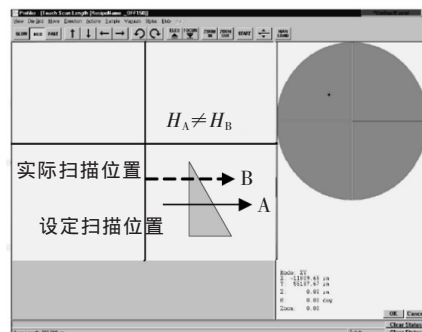


图 1 探针状态不佳对测量结果的影响

Fig. 1 Effect of poor stylus state on measurement results

1.1 沾污和缺陷检查图形的设计

轮廓仪测量时,工作台带动被测样品在 X 或 Y 方向移动,探针随着被测样品表面形貌上下移动,探针上下移动的位移通过传感器转换为电信号,经过计算机处理得到样品的表面轮廓,其测量原理如图 2^[10]所示。

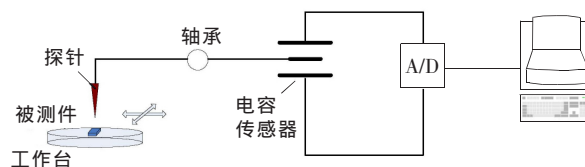


图 2 轮廓仪测量原理^[10]

Fig. 2 Measuring principle of the profiler^[10]

微电子器件中,台阶结构并非规则的矩形结构,其结构形式多种多样。轮廓仪测量台阶结构时,探针的扫描方向不是每次都与台阶结构的走向垂直,只要探针针尖与台阶侧壁接触的位置均有可能对针尖造成沾污和磨损,沾污和磨损可能分布在探针针尖周围任意位置上。

一般情况下,可将轮廓仪探针取下,使用高倍光学显微镜对探针针尖进行检查,确定是否存在沾污或缺陷及沾污和缺陷的位置,并采取措施对探针进行处理。但是探针重新安装后需要对轮廓仪传感器的线性、探针测力及探针扫描位置等进行调校,一旦调整不好轮廓仪将不能正常工作。因此,这种做法操作复杂,存在一定的风险,需要专业人员进行操作。而使用沾污和缺陷检查图形则可以在不取下探针的情况下方便、快捷地确认探针是否存在沾污和缺陷,并确定其位置。

本文设计的沾污和缺陷检查图形如图 3 (a) 所示, 该图形设计与水平线夹角为 30° 、 60° 、 90° 、 120° 和 150° 的不同走向的台阶结构, 可以对轮廓仪探针的 10 个位置进行检查, 检查图形为凸的台阶结构, 设计高度参照国外同类商品化样品, 设计台阶高度为 $1\ 000\ \text{nm}$ 。检查时, 探针针尖按图中箭头所示方向进行扫描, 探针针尖的 10 个位置依次与图形台阶侧壁接触, 如果探针针尖无沾污和缺陷, 则扫描图形如图 3 (b) 所示。

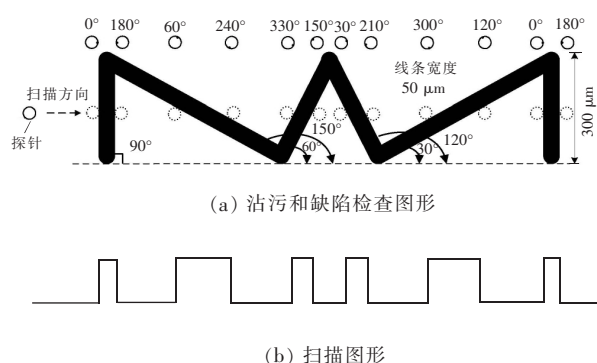


图 3 探针沾污和缺陷检查图形

Fig. 3 Stylus contamination and defect inspecting pattern

1.2 扫描位置检查图形的设计

轮廓仪探针在发生意外碰撞或更换探针后, 探针扫描位置发生偏移出现图 1 中所示的问题, 会导致轮廓仪在测量精细结构时结果出现偏差。扫描位置检查图形可以用来判断轮廓仪探针扫描位置是否存在偏移并确定偏移量的大小。本文设计的扫描位置检查图形如图 4 (a) 所示, 设计为两个等腰直角三角形斜边平行对向设置, 并且每个等腰直角三角形的一个直角边与水平方向平行, 在扫描位置检查图形两侧分别有 T 字线, 用来指示探针针尖扫描位置和方向, 检查图形同样为凸的台阶结构, 设计高度为 $1\ 000\ \text{nm}$ 。扫描位置检查图形中, 等腰直角三角形的直角边长为 T 字线中心到三角形直角边距离的 2 倍。检查时, 探针沿 T 字线按图中虚线所示扫描方向工作, 假设扫描得到的波峰的宽度分别为 W_1 和 W_3 , 波谷的宽度为 W_2 (图 4 (b))。如果 $W_1 = W_2 = W_3 = 150\ \mu\text{m}$, 说明扫描位置准确; 反之, 说明扫描位置有偏差。探针扫描位置偏移量 E_{offset} 的计算公式为

$$E_{\text{offset}} = W_3 - W_1$$

偏移量 E_{offset} 为正时, 说明探针扫描位置向上偏移; 反之, 说明向下偏移。图形中, 两个等腰直角三角形斜边之间的水平距离为 $150\ \mu\text{m}$, 图形在放置水平的情况下, 不管探针扫描位置是否存在偏移, 扫描图中 $W_2 = 150\ \mu\text{m}$ 。如果 $W_2 \neq 150\ \mu\text{m}$ 说明图形放置发生了倾斜, 因此, 该图形还具有判断图形放置是否倾斜的功能。

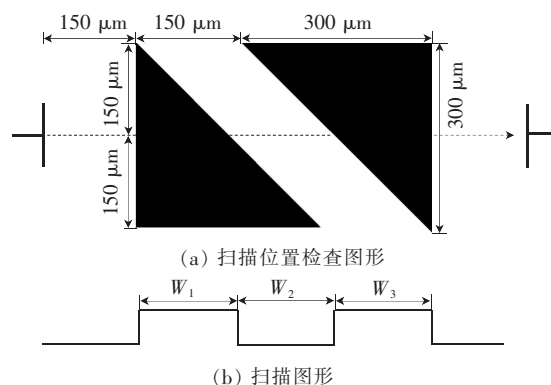


图 4 探针扫描位置检查图形

Fig. 4 Stylus scanning position inspecting pattern

2 检查图形的制作与应用

2.1 检查图形的制作

本文设计的检查图形制作在 $10\ \text{mm} \times 10\ \text{mm}$ 的硅片上, 采用半导体工艺技术进行制备, 制作工艺基本流程如图 5 所示。首先通过热氧化工艺在 4 英寸 (1 英寸 = $2.54\ \text{cm}$) 硅晶圆片上生长厚度为 $1\ 000\ \text{nm}$ 的二氧化硅氧化层; 其次通过光刻工艺将掩膜版上设计好的图形转移到硅片上; 再通过刻蚀工艺刻蚀掉硅上不需要的二氧化硅得到所需的检查图形 (图 3 (a) 和图 4 (a) 所示的两种图形); 最后溅射一层 $90\ \text{nm}$ 厚的金属铬对图形进行保护。

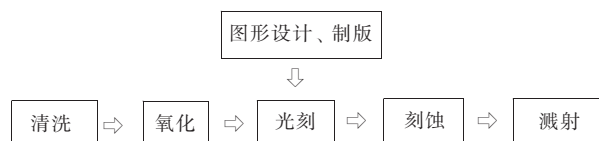


图 5 检查图形制作工艺流程图

Fig. 5 Manufacturing process flow chart of the inspection pattern

为了便于使用,将4英寸硅晶圆片进行划片处理,划片后的样块尺寸为 $10\text{ mm}\times 10\text{ mm}$ 。最后,将制备的检查图形样块固定在 $30\text{ mm}\times 30\text{ mm}\times 5\text{ mm}$ 的石英基座上,如图6所示。

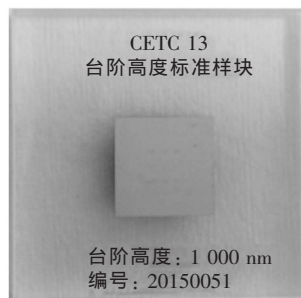
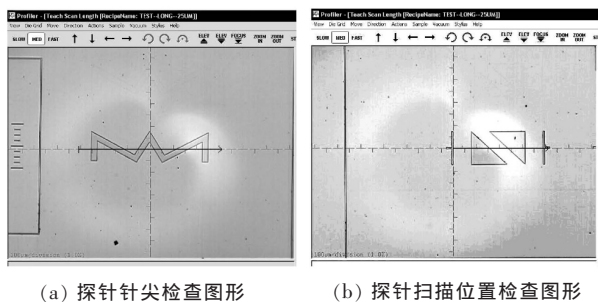


图6 检查图形样块

Fig. 6 Inspecting pattern specimen

2.2 检查图形的应用

检查图形样块制备完成后,使用该样块对型号为P-6的接触式轮廓仪的探针进行状态检查,图7为轮廓仪下观察到的检查图形结构。



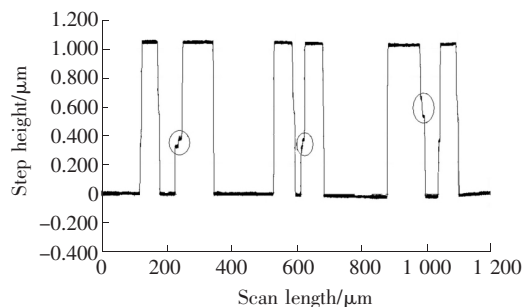
(a) 探针针尖检查图形

(b) 探针扫描位置检查图形

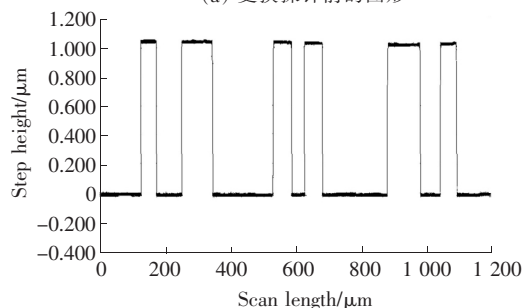
图7 轮廓仪下观察到的探针状态检查图形

Fig. 7 Stylus state inspection pattern observed by the profiler

首先,使用轮廓仪对沾污和缺陷检查图形进行扫描,更换探针前后的扫描图形分别如图8(a)和(b)所示。从图8(a)中可以判断出探针针尖 30° 、 60° 和 120° 的位置上存在明显的缺陷。由于缺陷无法修复,因此建议更换新的探针。为了对上述判断进行验证,探针取下后在放大倍率为100倍的高倍光学显微镜下进行观察,发现探针针尖确实存在缺陷或沾污,清洗后再次观察,但仍无法去除,证明该处为探针缺陷,如图9所示。探针更换后对探针扫描位置、测力等进行调校,然后再次对检查图形进行扫描,扫描图形如图8(b)所示。可见,探针更换后扫描图形得到了明显的改善。



(a) 更换探针前的图形



(b) 更换探针后的图形

图8 轮廓仪实测沾污和缺陷检查图形的扫描图

Fig. 8 Scanning diagrams of contamination and defect inspection pattern measured by the profiler

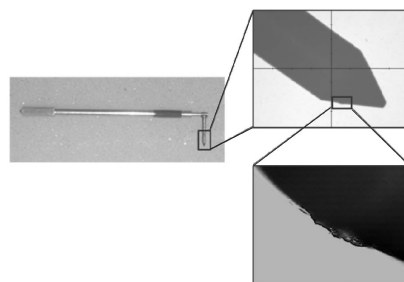


图9 探针某一位置的缺陷

Fig. 9 Defect in a position of the stylus

其次,使用轮廓仪对扫描位置检查图形进行扫描,扫描图形如图10(a)所示。从扫描图形可以看出两个波峰的宽度不等,相差 $50\text{ }\mu\text{m}$ 左右。分析可知:实际扫描位置与设定扫描位置不重合,向上偏离了 $50\text{ }\mu\text{m}$ 左右。根据式(1)计算探针偏移量,通过软件对探针位置进行修正^[11]。调校后重新测量扫描位置检查图形,扫描图形如图10(b)所示,可见调校后两个波峰宽度相等,设定扫描位置与实际扫描位置重合,仪器可正常使用。

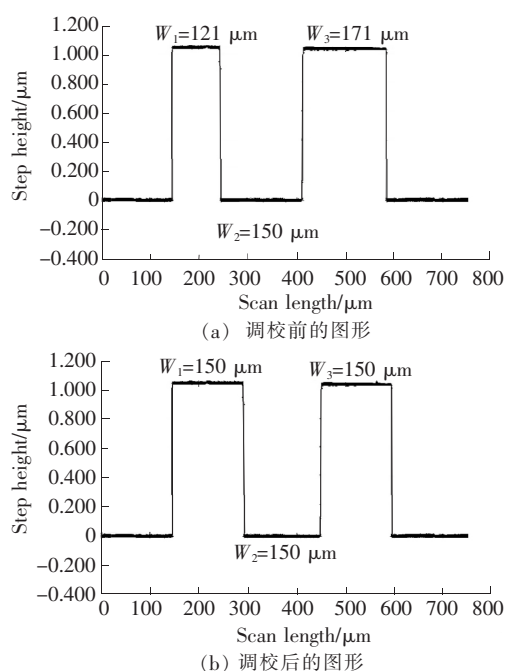


图 10 轮廓仪实测扫描位置检查图形的扫描图

Fig. 10 Scanning diagrams of scanning position inspection pattern measured by the profiler

3 结 论

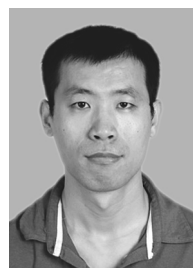
通过使用探针状态检查图形对某一台型号为 P-6 轮廓仪探针进行检查, 发现了轮廓仪探针存在的缺陷, 通过更换探针消除了探针缺陷, 并且使用检查图形对探针扫描位置进行了调校。台阶高度标准样块是校准轮廓仪 Z 轴测量能力的标准器, 探针状态检查图形是检查轮廓仪工作正常性的检验标准, 为轮廓仪使用前的调校提供了必要的技术手段, 保证了轮廓仪探针状态的正常, 是台阶高度标准样块有益的补充。

轮廓仪 Z 轴测量能力可以使用台阶高度标准样块进行校准, 探针状态可以使用本文研制的探针状态检查样块进行检查和调校。然而对于影响轮廓仪测量结果的探针针尖直径、工作台扫描速率和工作台的定位精度等参数的校准问题还缺少相应的手

段。随着特征尺寸的日益减小, 上述因素对台阶高度的影响无法忽略, 甚至会造成测量结果出现错误。因此, 如何解决针尖直径、扫描速率和定位精度检查图形的设计和制作, 将是进一步提高轮廓仪校准水平所要面临的问题。

参考文献:

- [1] 韦丰, 陈本永, 丁启全. 大范围高精度的纳米测量现状与发展趋势 [J]. 光学技术, 2005, 31 (3): 302-305.
- [2] HAYCOCKS J, JACKSON K. Traceable calibration of transfer standards for scanning probe microscopy [J]. Precision Engineering, 2005, 29 (2): 168-175.
- [3] DAI G L, KONENDERS L, DANZEBRINK H U, et al. Metrological scanning probe microscopy applied for calibrations of micro- and nanoscale transfer standards [J]. Precision Engineering, 2006, 4 (1): 13-19.
- [4] 韩志国, 李锁印, 赵革艳, 等. 接触式台阶测量仪常见故障的调修 [J]. 电子工业专用设备, 2015, 11: 43-46.
- [5] ISO. ISO 25178-601 geometrical product specifications (GPS) — surface texture: areal—part 601: nominal characteristics of contact (stylus) instruments [S]. ISO, 2010.
- [6] VLSI Standards Company. Application notes thin step height standard [K]. USA: VLSI Standards Company, 2012.
- [7] 雷李华, 邹子英, 李源, 等. 纳米台阶标准样板的制备和表征 [J]. 微纳电子技术, 2011, 48 (9): 600-605.
- [8] 刘忍肖, 高洁, 葛广路. 我国纳米标准样品研究进展 [J]. 中国标准化, 2012, 10: 80-84.
- [9] 王岳宇. 纳米计量的溯源与传递 [J]. 宇航计测技术, 2010, 30 (1): 75-79.
- [10] SONG J F, VOBRUGRER T V. Stylus profiling at high resolution and low force [J]. Applied Optics, 1991, 30: 42-50.
- [11] KLA-Tencor Corporation. P-16+/P-6 user's guide [K]. USA: KLA-Tencor Corporation, 2009.



作者简介:

韩志国 (1982—), 男, 河北石家庄人, 高级工程师, 主要研究方向为微电子工艺参数计量、测试。

欢迎本领域的专家、学者和研究人员踊跃投稿,
欢迎英文稿件!