



## 复合型高深宽比沟槽标准样板

赵琳 张晓东 雷李华 袁群 李锁印 梁法国 吴爱华

### A hybrid high-aspect-ratio trench standard template

Zhao Lin, Zhang Xiaodong, Lei Lihua, Yuan Qun, Li Suoyin, Liang Faguo, Wu Aihua

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.3788/IRLA20220646>

## 您可能感兴趣的其他文章

### Articles you may be interested in

#### 多维栅格标准样板的制备与表征

Development and characterization of multi-dimension grid standard template

红外与激光工程. 2019, 48(5): 503006 <https://doi.org/10.3788/IRLA201948.0503006>

#### 单频EYDFA中种子光功率和增益光纤温度对输出线宽的影响

Influence of seed power and gain fiber temperature on output linewidth in single-frequency EYDFA

红外与激光工程. 2018, 47(10): 1005004 <https://doi.org/10.3788/IRLA201847.1005004>

#### 紧凑型大变倍比红外光学系统设计

Design of compact high zoom ratio infrared optical system

红外与激光工程. 2017, 46(11): 1104002 <https://doi.org/10.3788/IRLA201746.1104002>

#### 光源线宽对相干激光测风雷达探测性能的影响分析

Influence of light source linewidth on detection performance of coherent wind lidar

红外与激光工程. 2019, 48(4): 406005 <https://doi.org/10.3788/IRLA201948.0406005>

#### 星载高光谱分辨率激光雷达的高光谱探测分光比优化分析

Splitting ratio optimization of spaceborne high spectral resolution lidar

红外与激光工程. 2019, 48(S2): 1 <https://doi.org/10.3788/IRLA201948.S205001>

#### 微通道波导栅型复合探测信号提取方法与验证

Extraction method and experiment validation for signal of complex detection based on microchannel waveguide gate

红外与激光工程. 2019, 48(10): 1016002 <https://doi.org/10.3788/IRLA201948.1016002>

## 复合型高深宽比沟槽标准样板

赵琳<sup>1</sup>, 张晓东<sup>1</sup>, 雷李华<sup>2\*</sup>, 袁群<sup>3</sup>, 李锁印<sup>1</sup>, 梁法国<sup>1</sup>, 吴爱华<sup>1</sup>

(1. 河北半导体研究所, 河北石家庄 050051;

2. 上海市计量测试技术研究院, 上海 201203;

3. 南京理工大学 电子工程与光电技术学院, 江苏南京 210094)

**摘要:** 硅基 MEMS 器件中存在大量高深宽比结构, 对这些结构进行线宽和深度的无损检测, 是当前的热点问题。为了实现对这些高深宽比结构无损测量系统的准确校准, 采用半导体工艺研制了一系列高深宽比沟槽标准样板, 宽度范围 2~30  $\mu\text{m}$ 、深度范围 10~300  $\mu\text{m}$ , 其深宽比最大达到 30 : 1。为了满足样板的校准功能, 设计了多种特征结构, 包括辅助定值结构、测量定位结构和定位角结构等, 还设计了样板量值的表征与考核方法。考核量值包括线宽尺寸、沟槽深度尺寸和均匀性。使用扫描电镜对标准样板进行了测试, 结果表明该标准样板可以用于校准近红外宽光谱干涉显微测量系统。

**关键词:** 高深宽比; 线宽; 沟槽深度; 复合型标准样板

**中图分类号:** TB921      **文献标志码:** A      **DOI:** 10.3788/IRLA20220646

## 0 引言

随着微机电系统 (MEMS) 的发展, 硅基 MEMS 器件由于存在大量的高深宽比结构, 呈现出体积小、功耗低、性能好的趋势<sup>[1-3]</sup>。通常 MEMS 高深宽比结构的深宽比一般在 10 : 1~100 : 1 之间, 沟槽宽度为几  $\mu\text{m}$ ~几十  $\mu\text{m}$ 。目前硅基 MEMS 工艺线中, 解剖测试是高深宽比结构测试的主要手段, 但是存在以下缺陷: 需要使用扫描电子显微镜进行辅助测量, 效率低, 过程繁琐; 属于破坏性测量, 对 MEMS 产品产生不可逆的破坏; 只能抽检, 不能完全反应工艺的特性。

硅基 MEMS 高深宽比结构无损测量技术主要包括白光显微干涉法<sup>[4-5]</sup>、激光共焦显微法<sup>[6]</sup>、低相干干涉光谱法<sup>[7]</sup>、反射光谱法<sup>[8]</sup>等。基于这些原理研制出高深宽比结构无损测量系统, 其测量准确性会直接影响被测器件的整体性能, 因此对该测量系统进行校准十分必要且迫切。高深比结构的待测信息主要包括线宽和深度, 目前国内外很多计量机构和标准样片公司都制作了很多相关尺寸的标准样板, 包

括台阶高度标准样板和线宽标准样板<sup>[9-10]</sup>, 但是这些标准样板都是线宽尺寸和台阶高度尺寸分离, 没有集成在一起的深宽比大于等于 10 : 1 的复合型高深宽比沟槽标准样板, 且样板的范围不能完全覆盖当前硅基 MEMS 器件尺寸的要求, 无法达到应用的目的。因此, 有必要开展高深宽比沟槽标准样板的研制。

为了解决近红外宽光谱干涉显微测量系统的校准问题, 采用半导体工艺研制了宽度 2  $\mu\text{m}$ 、深度为 10  $\mu\text{m}$ 、宽度为 2  $\mu\text{m}$ 、深度为 60  $\mu\text{m}$ 、宽度为 30  $\mu\text{m}$ 、深度为 200  $\mu\text{m}$ 、宽度为 30  $\mu\text{m}$ 、深度为 300  $\mu\text{m}$  的复合型高深宽比沟槽标准样板。这些样板的深宽比大于 5 : 1, 最大达到 30 : 1。针对当前无法直接定值该类样板的现状, 需要设计一种辅助定值结构方便划片后对其截面进行测量。为了方便在近红外低相干干涉显微镜下观察, 需要设计定位角结构和测量定位结构, 快捷准确地对标准位置进行测量; 为了检验样板的一致性, 还设计了一致性考核方法, 分别对不同样板的测量定位结构也进行划片考核, 与辅助定值结构处的量值进行对比验证。

收稿日期: 2023-02-10; 修订日期: 2023-03-25

基金项目: 国家重点研发计划 (2019YFB2005503)

作者简介: 赵琳, 女, 高级工程师, 硕士, 主要从事微电子计量方面的研究。

通讯作者: 雷李华, 男, 高级工程师, 博士, 主要从事精密几何量计量方面的研究。

# 1 复合型高深宽比沟槽标准样板的研制

## 1.1 样板的设计

复合型高深宽比沟槽标准样板主要用于校准硅基 MEMS 高深宽比结构的无损测量系统。为了能够准确校准该系统,标准样板应具备复现高深宽比量值的功能,并且为了提高测量的准确性,同时考虑到无损测量系统中包含显微成像的功能,标准样板还需要具备准确定位测量位置及测量角度和辅助定值溯源样板的功能。为了实现标准样板的应用目的,设计了以下特征结构:具有深度、宽度尺寸的深槽(台阶)结构,复现 MEMS 工艺中需要测量的各种沟槽结构;沟槽辅助定值结构,通过该结构对样板进行剖开,准确复现其高深宽比量值,完成溯源;测量定位结构,准确定位标准沟槽所测量的位置;定位角结构,准确确定样板的测量方向。

根据样板的使用要求,设计的样板图如图 1 所示,其中高深宽比沟槽结构的设计尺寸为:宽度为标准沟槽宽度、加工刻深尺寸为沟槽深度,长度为 2 mm,居于中间位置;测量定位结构设计尺寸为:宽度与标准沟槽宽度一致,取上中下 3 个位置,每两段之间的空隙用来准确定位测量结构位置,其宽度与标准沟槽宽度一致,辅助定值结构用于确定样板划片位置和划片厚度,厚度尺寸设计为 0.5 mm,方便在电镜类仪器下测量,定位角结构为 4 个具有方向性的小三角,分别位于样板的 4 个角,成对匹配,辅助测量时准确找到标准样板结构。

表 1 给出了标准样板的设计尺寸。

测量中先对辅助定值结构进行切片,获得高深

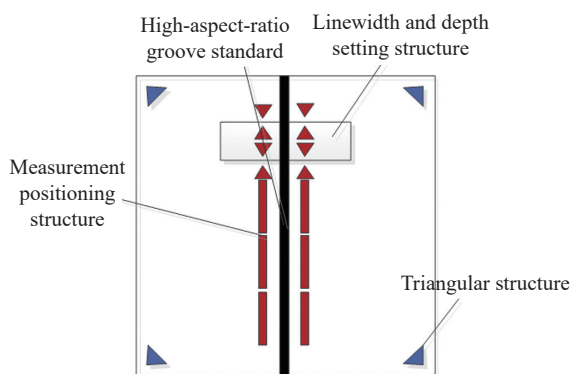


图 1 标准样板的图形设计方案

Fig.1 Graphic design scheme of standard template

表 1 设计标准样板的标称尺寸及深宽比

Tab.1 Nominal size and aspect ratio of design standard template

Nominal width/ $\mu\text{m}$	Nominal depth/ $\mu\text{m}$	Aspect ratio
30	300	10 : 1
30	200	Near 7 : 1
2	60	30 : 1
2	10	5 : 1

宽比沟槽结构的截面;使用扫描电镜或原子力显微镜等相应仪器对截面尺寸进行测量得到辅助定值结构的宽度和深度尺寸;将其赋值给高深宽比沟槽结构。如此赋值源于当前的计量方法无法直接对高深宽比达到 30 : 1 的标准样板进行直接表征,但是切片后样板的截面结构可通过电镜类仪器进行直接测量。

## 1.2 工艺设计

采用半导体工艺制备标准样板,考虑到标准样板结构与功能的特殊性,常规的工艺制备流程无法完成。为了实现样板设计中的各种结构与特殊功能,需要有针对性的设计工艺流程。图 2 是针对复合型高深宽比沟槽标准样板进行的工艺设计流程图,包括 SOI 片的制备、光刻、刻蚀、氧化以及腐蚀等,关键工艺为光刻和刻蚀。

(1) 材料选择与制备:标准样板的选材方面不仅需要考虑加工的工艺特性,更需要考虑样板的加工质量,以实现沟槽宽度和高度分布的高度一致性。研制的硅基标准样板当台阶高度尺寸大于 20  $\mu\text{m}$  时加工的质量很差,底面明显不平整,导致测量误差很大<sup>[11]</sup>。参考文献 [12] 的设计,提出采用绝缘衬底上的硅片,

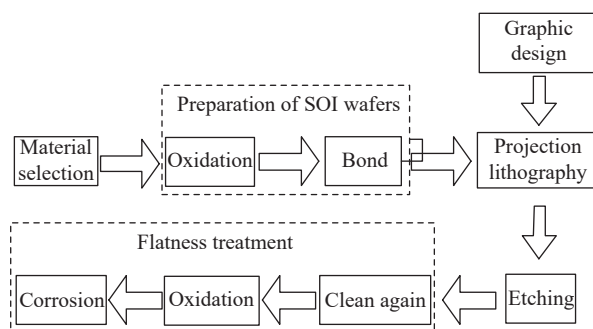


图 2 高深宽比沟槽标准样板的工艺设计流程图

Fig.2 Process design flow chart of high-aspect-ratio trench standard template

即 Silicon-On-Insulator (SOI), SOI 片作为加工基板。采用双面抛光的硅晶圆片作为衬底材料, 清洗干净, 表面生长一层二氧化硅<sup>[13]</sup>, 然后采用键合的方法使其与另一片清洗干净的硅晶圆片结合组装成 SOI 片, 其加工层的硅片厚度依据所用要求进行研磨得到, 具体流程图如图 3 所示。

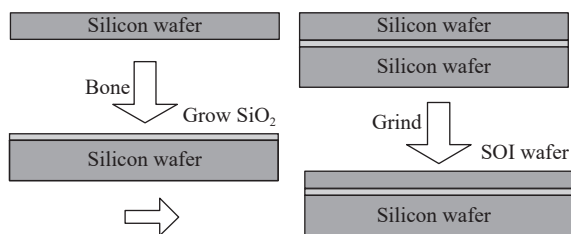


图 3 SOI 片的加工工艺流程图

Fig.3 Process flow chart of SOI chip processing

(2) 关键工艺: 光刻和刻蚀。为了提高样板的质量采用投影光刻和干法刻蚀完成样板的结构加工过程, 投影光刻的特点为分辨率高, 重复性好, 不易损坏掩模版。投影光刻的最小分辨力为 0.15 μm, 加工的所有样片的尺寸均可以采用该工艺完成。干法刻蚀其突出优点为可以获得及其精确的特征图形。

(3) 平整度处理: 由于样板的高深宽比参数大于等于 10 : 1, 首次刻蚀后的样板沟槽侧壁会存在很多毛刺, 侧壁的粗糙度较大给测量造成很大误差。采用氧化工艺对其表面生长一层比较薄的二氧化硅, 然后再进行二次腐蚀, 将二氧化硅层去除, 提高了样板沟槽侧壁的平整度<sup>[14]</sup>。

图 4 所示为基于以上工艺研制出的复合型高深宽比标准样板。

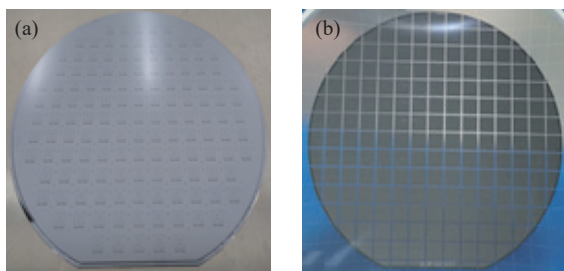


图 4 (a) 制作的标准样板实物图; (b) 划片后的样板图

Fig.4 (a) Physical map of the standard template; (b) Scribing map of the standard template

## 2 复合型高深宽比沟槽标准样板的表征

因复合型高深宽比沟槽标准样板的结构特性, 目前无法使用相关测量仪器对其线宽尺寸和沟槽深度尺寸进行同步直接表征。但是平面尺寸可以直接表征的, 因此对标准样板设计了辅助定值结构, 通过切片展示出高深宽比沟槽结构的截面, 再使用扫描电子显微镜或原子力显微镜等仪器对其测量。

考虑到样板的侧壁质量会影响到测试的结果, 采用激光切割技术对样板进行切片。切片表征区域在标准样板中的相对位置关系如图 5 所示, 3 个位置中相邻两处分别相距 300 μm。

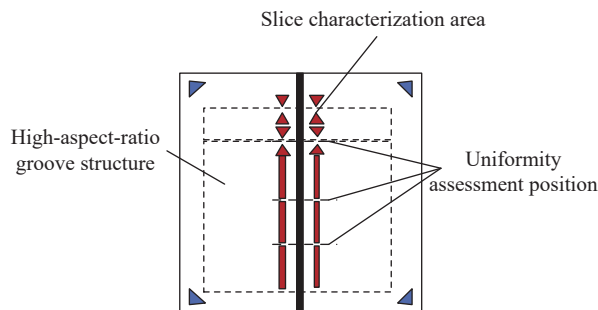


图 5 高深宽比沟槽标准样板表征位置及均匀性考核示意图

Fig.5 Schematic diagram of the characterization position and uniformity assessment of the high-aspect-ratio trench standard template

由于样板的沟槽深度和宽度量值是通过测量辅助定值结构的截面间接获得的, 而非直接测量得到, 因此切片表征区域和正式结构区域量值的差异会对表征结果产生较大的影响, 该影响可通过表征样板沟槽结构的均匀性来进行表征。图 5 所示为单一单元内考核的位置, 包括沟槽辅助定值结构和测量定位结构指示的 3 个位置, 考核参数为 3 个位置的沟槽结构宽度和深度量值。图 6 所示为加工的整个晶圆片上均匀性的考核位置, 采用贝塞尔公式计算标准偏差作为样板的均匀性<sup>[15]</sup>。

参照 ISO5436-1:2000 中给出的台阶高度定义<sup>[16]</sup>和线宽国际比中所用到的线宽定义<sup>[17]</sup>, 表征沟槽样板的宽度和深度尺寸。沟槽宽度尺寸选择为线条 50% 高度位置, 即  $W=W_{Middle}$ 。沟槽深度尺寸以沟槽 A、B、C 这 3 个区域作为测量计算区域, 采取测量沟槽 (高度或深度) 宽度的 3 倍进行测量。其中  $W$  代表沟槽宽度, 分别对 A、B、C 这 3 个有效区域内进行测

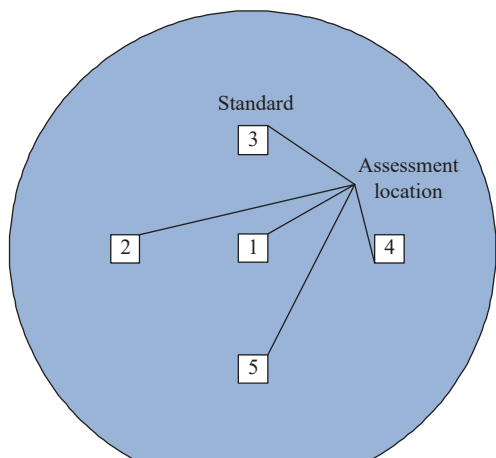


图 6 晶圆片样板均匀性考核位置图

Fig.6 Location map of wafer sample uniformity assessment

量得出  $H_1$ 、 $H_2$ 、 $H_3$ , 最后取三者的平均值作为沟槽深度尺寸, 如图 7 所示。

采用 S-4800 型扫描电镜对标准样板的切面进行了测试, 结果如图 8 所示。依据测量定义对所研制的标准样板进行了测试与评价, 均匀性是以晶圆片中 5 个不同样板考核位置的结果进行表征, 每个样板需

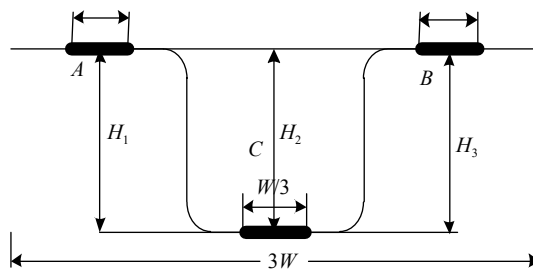
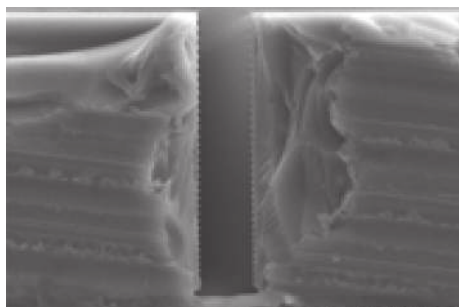


图 7 沟槽深度测量定义

Fig.7 Definition of groove depth measurement

要考核 3 个位置数据, 共计 15 组数, 评价结果如图 9~图 12 所示。由图中测量数据可知, 对于线宽  $2\ \mu\text{m}$ 、沟槽深度  $10\ \mu\text{m}$  的样板其线宽尺寸的平均值为  $1.83\ \mu\text{m}$ , 均匀性为  $0.005\ \mu\text{m}$ , 沟槽深度尺寸的平均值为  $9.99\ \mu\text{m}$ , 均匀性为  $0.050\ \mu\text{m}$ ; 对于线宽  $2\ \mu\text{m}$ 、沟槽深度  $60\ \mu\text{m}$  的样板其线宽尺寸的平均值为  $2.2\ \mu\text{m}$ , 均匀性为  $0.012\ \mu\text{m}$ , 沟槽深度尺寸的平均值为  $59.8\ \mu\text{m}$ , 均匀性为  $0.006\ \mu\text{m}$ ; 对于线宽  $30\ \mu\text{m}$ 、沟槽深度  $200\ \mu\text{m}$  的样板其线宽尺寸的平均值为  $29.6\ \mu\text{m}$ , 均匀性为  $0.3\ \mu\text{m}$ , 沟槽深度尺寸的平均值为  $200.3\ \mu\text{m}$ , 均匀性为  $0.4\ \mu\text{m}$ ;



(a) 线宽  $2\ \mu\text{m}$ 、深度  $10\ \mu\text{m}$  的样板

(a) Standard template of line width  $2\ \mu\text{m}$  and depth  $10\ \mu\text{m}$



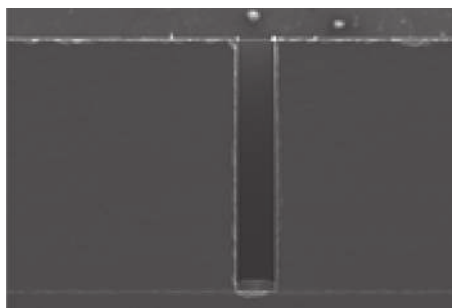
(b) 线宽  $2\ \mu\text{m}$ 、深度  $60\ \mu\text{m}$  的样板

(b) Standard template of line width  $2\ \mu\text{m}$  and depth  $60\ \mu\text{m}$



(c) 线宽  $30\ \mu\text{m}$ 、深度  $300\ \mu\text{m}$  的样板

(c) Standard template of line width  $30\ \mu\text{m}$  and depth  $300\ \mu\text{m}$

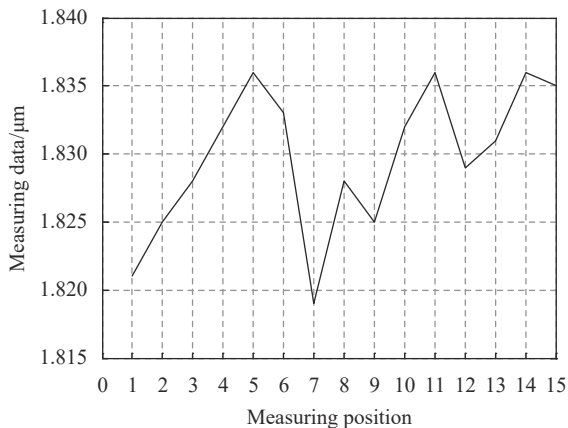


(d) 线宽  $30\ \mu\text{m}$ 、深度  $200\ \mu\text{m}$  的样板

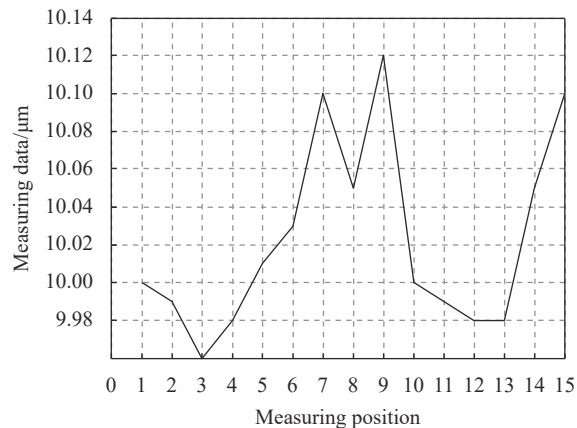
(d) Standard template of line width  $30\ \mu\text{m}$  and depth  $200\ \mu\text{m}$

图 8 标准样板在 SEM 下的测试结果图

Fig.8 Measurement result of the standard template sample under SEM



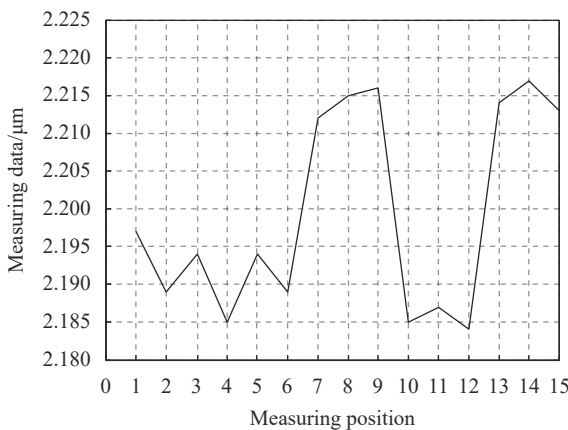
(a) 线宽尺寸测量结果  
(a) Measurement result of line width



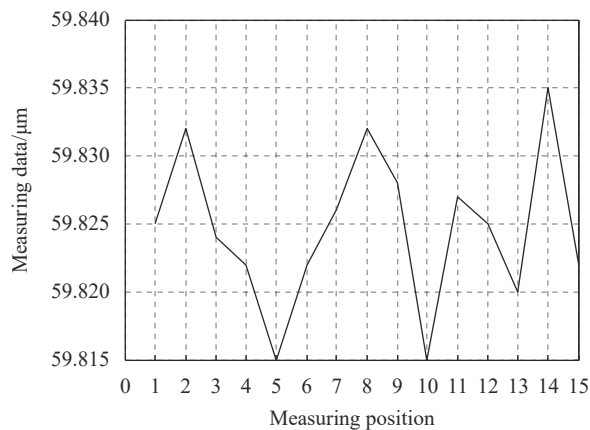
(b) 沟槽深度尺寸测量结果  
(b) Measurement result of trench depth

图 9 线宽 2 μm、沟槽深度 10 μm 样板的均匀性测量结果

Fig.9 Uniformity measurement results of a sample template with a line width of 2 μm and a trench depth of 10 μm



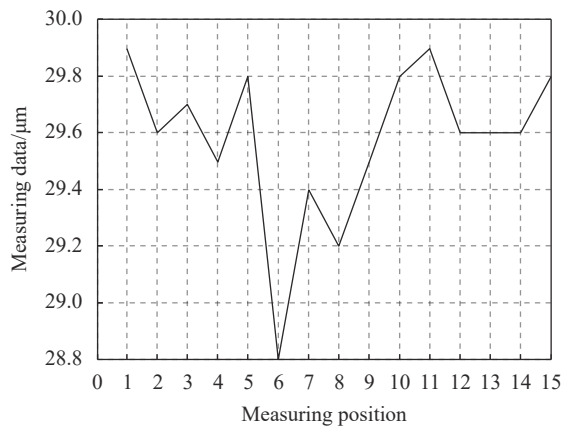
(a) 线宽尺寸测量结果  
(a) Measurement result of line width



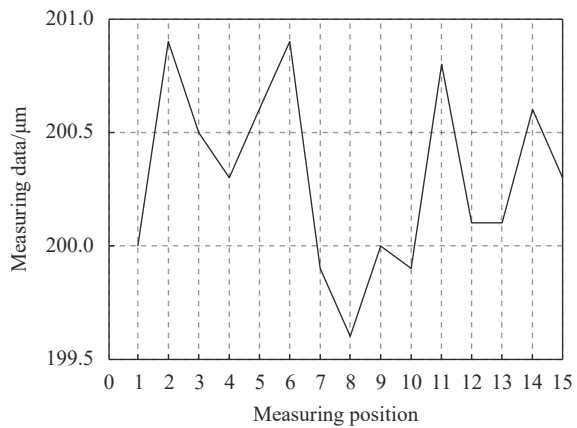
(b) 沟槽深度尺寸测量结果  
(b) Measurement result of trench depth

图 10 线宽 2 μm、沟槽深度 60 μm 样板的均匀性测量结果

Fig.10 Uniformity measurement results of a sample template with a line width of 2 μm and a trench depth of 60 μm



(a) 线宽尺寸测量结果  
(a) Measurement result of line width



(b) 沟槽深度尺寸测量结果  
(b) Measurement result of trench depth

图 11 线宽 30 μm、沟槽深度 200 μm 样板的均匀性测量结果

Fig.11 Uniformity measurement results of a sample template with a line width of 30 μm and a trench depth of 200 μm

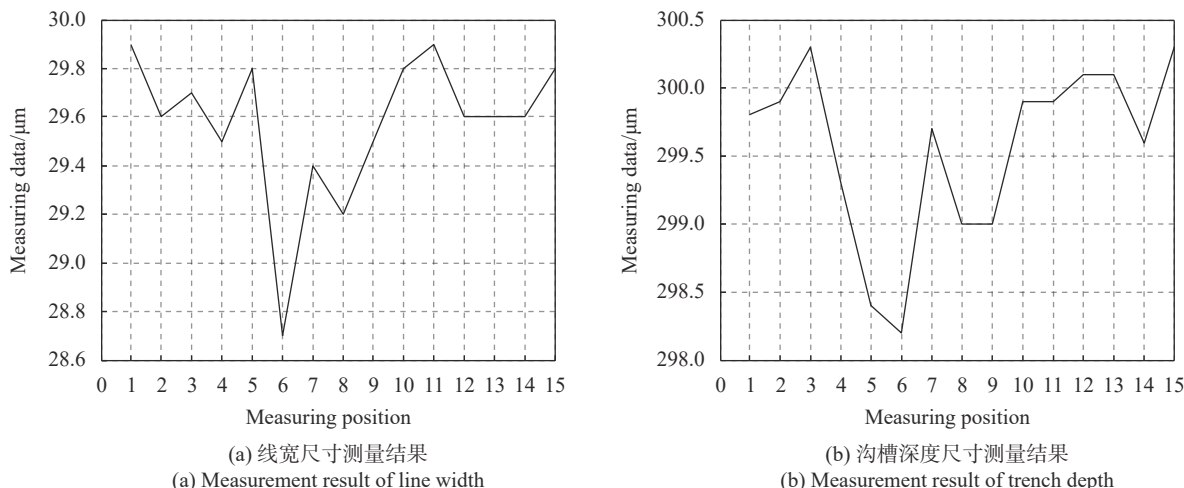


图 12 线宽 30 μm、沟槽深度 300 μm 样板的均匀性测量结果

Fig.12 Uniformity measurement results of a sample template with a line width of 30 μm and a trench depth of 300 μm

对于线宽 30 μm、沟槽深度 300 μm 的样板其线宽尺寸的平均值为 29.6 μm，均匀性为 0.3 μm，沟槽深度尺寸的平均值为 299.6 μm，均匀性为 0.7 μm。

### 3 复合型高深宽比沟槽标准样板的应用

复合型高深宽比沟槽标准样板可以用于校准近红外宽光谱干涉显微测量系统。近红外宽光谱干涉显微技术的基本原理是基于干涉测量法。硅材料在可见光波段不透明，但在近红外波段的透过率较高。采用近红外的宽带光源，穿透硅基 MEMS 的高深宽比结构，可获取宽带干涉光谱信号，进而提取高深宽比结构的形貌信息。大 NA 近红外宽光谱干涉显微无损测量系统可基于透射、反射模态实现高深宽比硅

基 MEMS 器件的测量<sup>[18-19]</sup>。

使用近红外宽光谱干涉显微测量系统对上述表征后的复合型高深宽比沟槽标准样板进行测试。测试过程中首先通过定位角结构找准测试方向，然后再扫描正交扫描标定结构确定测量角度，最后通过测量定位结构选定测量位置，开始测试。测试结果如表 2 所示。对于线宽 2 μm、沟槽深度 10 μm 的样板其线宽尺寸的平均值为 1.8 μm，与定值结果的偏差为 0.03 μm，沟槽深度尺寸的平均值为 9.9 μm，与定值结果的偏差为 0.09 μm；对于线宽 2 μm、沟槽深度 60 μm 的样板其线宽尺寸的平均值为 2.3 μm，与定值结果的偏差为 0.10 μm，沟槽深度尺寸的平均值为 60.2 μm，与定值结果的偏差为 0.40 μm；对于线宽 30 μm、沟槽深度 200 μm

表 2 样板定值结果与仪器测量结果对比

Tab.2 Comparison of sample template setting results and measurement results

Model standard value/μm	Characterization results/μm	Measurement results/μm	Deviation/μm	
Line width	2	1.83	1.8	0.03
Trench depth	10	9.99	9.9	0.09
Line width	2	2.20	2.3	0.10
Trench depth	60	59.80	60.2	0.40
Line width	30	29.60	30.7	1.10
Trench depth	200	200.30	200.7	0.40
Line width	30	29.60	30.8	1.20
Trench depth	300	299.60	300.4	0.80

的样板其线宽尺寸的平均值为 30.7  $\mu\text{m}$ , 与定值结果的偏差为 1.10  $\mu\text{m}$ , 沟槽深度尺寸的平均值为 200.7  $\mu\text{m}$ , 与定值结果的偏差为 0.40  $\mu\text{m}$ 。对于线宽 30  $\mu\text{m}$ 、沟槽深度 300  $\mu\text{m}$  的样板其线宽尺寸的平均值为 30.8  $\mu\text{m}$ , 与定值结果的偏差为 1.20  $\mu\text{m}$ , 沟槽深度尺寸的平均

值为 300.4  $\mu\text{m}$ , 与定值结果的偏差为 0.80  $\mu\text{m}$ 。以上数据显示测试结果与样板的 SEM 表征结果基本一致。图 13 给出了线宽 30  $\mu\text{m}$ 、沟槽深度 300  $\mu\text{m}$  的样板在近红外宽光谱干涉显微测量系统下的测试结果图。

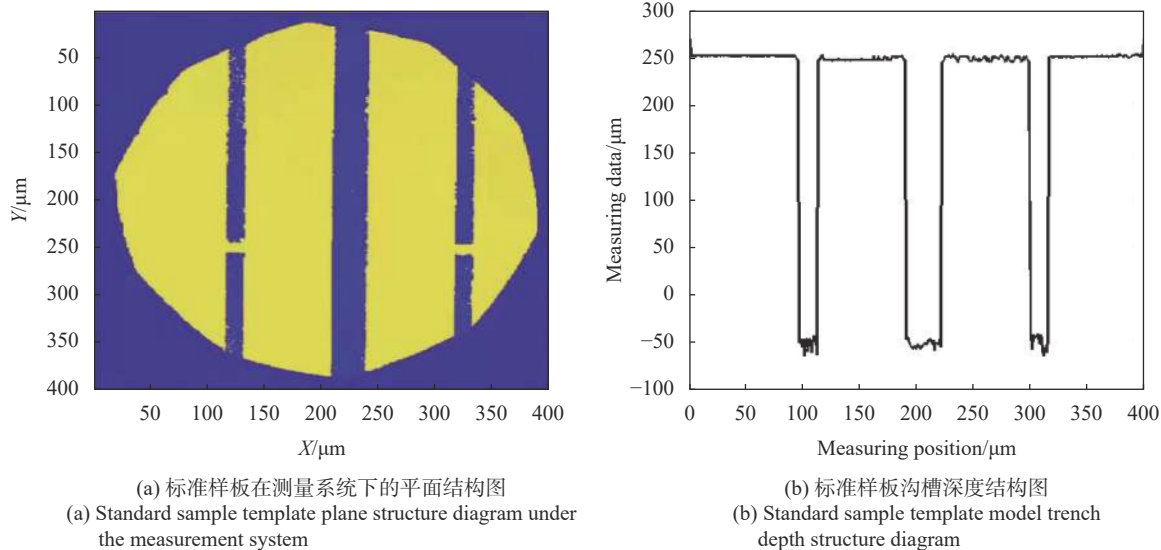


图 13 30~300  $\mu\text{m}$  标准样板在近红外宽光谱干涉显微测量系统下的测量结果

Fig.13 Measurement results of the 30-300  $\mu\text{m}$  standard sample template in the near-infrared broad-spectrum interference microscopy measurement system

## 4 结 论

为了解决近红外宽光谱干涉显微测量系统的校准问题,进行了以下工作:

(1) 设计了一套宽度范围 2~30  $\mu\text{m}$ 、深度范围 60~300  $\mu\text{m}$  的复合型高深宽比沟槽标准样板,其高深宽比最大达到 30 : 1;

(2) 采用半导体工艺制备出标准样板;

(3) 由于当前没有合适的测量仪器可以直接表征复合型高深宽比沟槽标准样板的量值,对标准样板设计了辅助定值结构,通过切片展示出高深宽比沟槽结构的截面,再使用扫描电子显微镜或原子力显微镜等仪器对其测量,并对样板的均匀性进行了表征以确保样板测量结果的一致性;

(4) 最后使用近红外宽光谱干涉显微测量系统测量了研制的标准样板,测量结果显示量值与表征结果基本一致。

接下来,笔者将继续对标准样板进行考核,提高

样板的定值准确度。此外,将再研究其他量值的标准样板,如宽度 10  $\mu\text{m}$ 、深度 300  $\mu\text{m}$  的样板等,并应用于校准测试系统上,进一步复现 MEMS 器件中的结构特性,确保量值准确可靠。

## 参考文献:

[1] Gabriel K J. Micro electro mechanical systems [C]//Proceedings of the IEEE, 1998, 86 (8): 420-457.

[2] Greywall D S. MEMS safety and arming devices having launch and rotation interlocks and method of manufacturing the same: US, US7371982 B2[P]. 2008-05-13.

[3] Grace R H. Application opportunities of mems/mst in the automotive market: The great migration from electromechanical and discrete solutions [J]. *Advanced Microsystems for Automotive Applications*, 2001, 17(3): 1-16.

[4] Jo T, Kim S, Pakh H. 3D measurement of TSVs using low numerical aperture white-light scanning interferometry [J]. *Journal of the Optical Society of Korea*, 2013, 17(4): 317-322.



- [5] Hyun C, Kim S, Pakh H. Methods to measure the critical dimension of the bottoms of through-silicon vias using white-light scanning interferometry [J]. *Journal of the Optical Society of Korea*, 2014, 18(5): 531-537.
- [6] Peng B, Hou W, Xu Q. Precision 3D profile in-line measurement of through-silicon via (TSV) based on high-frequency spectrum signals in the pupil plane [J]. *Optics Communications*, 2018, 424: 107-112.
- [7] Krauter J, Osten W. Nondestructive surface profiling of hidden MEMS using an infrared low-coherence interferometric microscope [J]. *Surface Topography: Metrology and Properties*, 2018, 6(1): 015001.
- [8] Shi J H, Han B C. Internal profile reconstruction of microstructures based on near-infrared light transmission reflection interferometry with optical path compensation [J]. *Chinese Optics*, 2019, 12: 395-404.
- [9] Bennett J M. Comparison of instruments for measuring step heights and surface profiles [J]. *Applied Optics*, 1985, 24(22): 3766-3772.
- [10] Potzick J E, Nunn J W. International comparison of photomask linewidth standards: United States (NIST) and united kingdom (NPL)[C]//Proceedings of SPIE, 1996, 2725: 124-129.
- [11] Feng Yanan, Li Suoyin, Han Zhiguo, et al. Selection of the etching processes for the fabrication of the micro step height specimens [J]. *Micronanoelectronic Technology*, 2016, 53(11): 773-778. (in Chinese)
- [12] Seah M P. CCQM-K32 key comparison and P84 pilot study: Amount of silicon oxide as a thickness of SiO<sub>2</sub> on Si [J]. *Metrologia*, 2008, 45(1A): 08013.
- [13] Gore S P, Funde A M, Salve T S, et al. Properties of silicon dioxide films prepared using silane and oxygen feeds by PE-CVD at low power plasma [J]. *Journal of Nano- and Electronic Physics*, 2011, 3(1): 370-375.
- [14] Hanssen L M, Wei H C, Lo C W, et al. The design of microscope type spectral reflectometry for the depth measurement of high-aspect-ratio through silicon via[C]//Proceedings of SPIE, 2016, 99610: 99610L.
- [15] Lei Lihua, Zhang Xinyin, Wu Junjie, et al. Characterization of nanofilm parameters based on hybrid optimization algorithm [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2020, 49(2): 0213001. (in Chinese)
- [16] UNE-EN ISO 25178-70-2015. Geometrical product specification (GPS) - Surface texture: Areal - Part 70: Material measures (ISO 25178-70: 2014)[S]. Austria: Osterreichisches Normungsinstitut, 2015.
- [17] Bodermann B, Zurbrick L S, Montgomery M W, et al. Results of an international photomask linewidth comparison of NIST and PTB[C]//Proceedings of SPIE, 2009, 7488: 74881H.
- [18] Kessel T V, Wickramasinghe H K. Measurement of trench depth by infrared interferometry [J]. *Optics Letters*, 1999, 24(23): 1702-1704.
- [19] Lebrasseur E, Pourciel J, Bourouina T, et al. A new characterization tool for vertical profile measurement of high-aspect-ratio microstructures [J]. *Journal of Micromechanics and Microengineering*, 2002, 12(3): 280-285.

## A hybrid high-aspect-ratio trench standard template

Zhao Lin<sup>1</sup>, Zhang Xiaodong<sup>1</sup>, Lei Lihua<sup>2\*</sup>, Yuan Qun<sup>3</sup>, Li Suoyin<sup>1</sup>, Liang Faguo<sup>1</sup>, Wu Aihua<sup>1</sup>

(1. Hebei Semiconductor Research Institute, Shijiazhuang 050051, China;

2. Shanghai Institute of Measurement and Testing Technology, Shanghai 201203, China;

3. School of Electronic and Optical Engineering, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China)

### Abstract:

**Objective** There are a large number of high-aspect-ratio structures in silicon-based MEMS devices, and non-destructive testing of linewidth and depth of these structures is a hot issue at present. Generally, the depth-to-width ratio of MEMS high-aspect-ratio structures is generally between 10 : 1 and 100 : 1, and the trench width is a few microns to tens of microns. At present, in the silicon-based MEMS process line, anatomical testing is the main means of high-aspect-ratio structure testing, but there are the following defects: it is necessary to use

scanning electron microscopy (SEM) for auxiliary measurement, which is inefficient and cumbersome; It is a destructive measurement that causes irreversible damage to MEMS products; It can only be sampled and cannot fully reflect the characteristics of the process. Based on this, a non-destructive measurement system with high-aspect-ratio structure near-infrared broad-spectrum microscopy measurement system was developed, and its measurement accuracy will directly affect the overall performance of the device under test, so it is necessary and urgent to calibrate the measurement system.

**Methods** In order to achieve the accurate calibration of the non-destructive measurement system of high-aspect-ratio structure, a series of standard samples of high-aspect-ratio trenches are designed and developed by semiconductor process, with a width range of 2-30  $\mu\text{m}$ , a depth range of 10-100  $\mu\text{m}$ , and a maximum high-aspect-ratio of 30 : 1 (Tab.1). The samples were characterized and fixed, and finally the developed standard samples were applied to the calibration of the near-infrared broad-spectrum microscopy measurement system (Fig.13).

**Results and Discussions** In order to meet the calibration function of the standard samples, a variety of characteristic structures are designed (Fig.1), including auxiliary fixed value structure, measurement positioning structure and positioning angle structure, etc., and the characterization and assessment method of the sample value are designed (Fig.5-6). Measurement values include line width size, trench depth size, and uniformity. Finally, the developed standard template is applied to the near-infrared broad-spectrum microscopy measurement system to further verify the accuracy of the developed system, that is, the applicability of the template (Tab.2).

**Conclusions** In order to solve the calibration problem of the near-infrared broad-spectrum interferometric microscopy system, a series of standard samples of high-aspect-ratio grooves were developed, with a width range of 2-30  $\mu\text{m}$  and a depth range of 10-300  $\mu\text{m}$ , and its high-aspect-ratio reached a maximum of 30 : 1. In order to meet the calibration function of the template, a variety of characteristic structures are designed, including auxiliary fixed value structure, measurement positioning structure and positioning angle structure, etc., and the characterization and assessment method of the sample measurement value is designed. Since there is no suitable measuring instrument to directly characterize the value of the standard template of the composite high-aspect-ratio trench, an auxiliary fixed value structure is designed for the standard template, and the cross-section of the high-aspect-ratio trench structure is displayed by sectioning, and then it is measured by scanning electron microscope or atomic force microscope, and the uniformity of the template is characterized to ensure the consistency of the measurement results of the template. Finally, the developed standard template was measured by the near-infrared broad-spectrum interferometric micrometry system, and the measurement results showed that the magnitude was basically consistent with the characterization results.

**Key words:** high-aspect-ratio; line width; trench depth; trench standard template

**Funding projects:** National Key Research and Development Program of China (2019YFB2005503)