国家标准《硅片翘曲度和弯曲度的测试 自动非接触扫描法》

编制说明（送审稿）

1. 工作简况

1.立项目的与意义

作为集成电路或分立器件衬底的硅单晶抛光片，其重要的几何参数之一翘曲度和弯曲度的测量早已是国内外硅片生产厂家的基本测量和控制参数，由于它反映了硅片的体变形和应力情况，影响着光刻的质量，所以也是器件厂家的控制参数之一。从上世纪70年代开始，就有了对这两项参数的自动测量仪器。目前本标准方法的使用早已是硅片生产厂家的日常生产常规测量手段，也是供需双方都公认的方法。特别是抛光片，所有几何参数如厚度、平整度、总厚度变化、翘曲度、弯曲度都是需要片片测量分类，所以这类测试只能用自动测试设备完成。目前几乎所有硅片生产厂家和大的器件厂家都具有这类设备，可以说测试设备在国际国内都是非常成熟的。而针对非接触的弯曲度自动测试，因为还没有国标，因此企业只能直接引用SEMI相关标准。所以本标准的制定给国内硅片生产企业和使用企业都提供了测量依据，也有利于与国际交流。

虽然本标准方法在国内已经被广泛使用，相关全自动大型设备也拥有数十台之多，但是国内生产这种全自动检测设备的能力不够，关键技术指标还不能满足使用要求，而且设备昂贵，维修也还要靠国外。本标准涉及的设备要求以及测量计算方法给国内设备生产企业提供了依据，将促进国内硅片测试设备生产企业的发展和技术水平的提高。

GB/T 32280—2015《硅片翘曲度测试 自动非接触扫描法》只是针对了翘曲度的测试，而没有包含弯曲度的测试，也是由于当时条件下缺少对弯曲度的更详细资料。本次修改参照了SEMI标准的相关内容，在适用范围、干扰因素、参考样品、校准方法、测量步骤及精密度方面增加了弯曲度的内容，给国内硅片及器件供需双方提供更好的依据。也为国内设备商对设设的研制提供了参考，同时随着碳化硅、砷化镓、蓝宝石等半导体材料的迅速发展，这一方法也可应用于上述产品。修订后的标准中具有更普遍的实用性。

2.任务来源

根据《国家标准委关于下达20年第批国家标准制修订计划的通知》（国标委发[2019]40号）的要求，由有研半导体材料有限公司负责国家标准《硅抛光片表面颗粒测试方法》的修订工作，计划编号为2019413-T-469。

3.项目承担单位概况

有研半导体材料有限公司（以下简称“有研半导体”）成立于2001年6月，系中央企业有研科技集团有限公司（以下简称“有研科技集团”）的下属公司，注册资本130161万元人民币。有研半导体是国家级高新技术企业和首批国家技术创新示范企业，拥有半导体材料国家工程研究中心、国家企业技术中心，共建了国家有色金属及电子材料分析测试中心，位于北京市高新技术产业云集的中关村科技园区，员工七百余人，拥有整套具有自主知识产权的半导体硅材料的核心技术和符合国际标准的先进厂房设备。公司前身为有研科技集团401室，自上世纪50年代开始硅材料研究，承担了国家908、909、科技重大专项等重大工程和专项，拥有多项第一科研和产业化成果：拉制出国内第一根直拉硅单晶和第一根区熔硅单晶，生长出国内第一根12英寸硅单晶并为院士联合评为1997年十大科技新闻，第一家实现8英寸硅片批量产出，第一家建立12英寸硅片中试线。目前主要从事硅和其它电子材料的研究、开发与生产，提供相关技术开发、技术转让和技术咨询服务。主要产品包括数字集成电路用6-12英寸硅单晶及硅片、功率集成电路用6-8英寸硅片、3-8英寸区熔硅单晶及硅片、集成电路设备用超大直径硅单晶及硅部件等，产品可应用于集成电路、功率器件、太阳能等多个领域，远销美国、日本、韩国、台湾等多个地区，在国内外市场具有较高的知名度和影响力。

山东有研半导体材料有限公司成立于2018年8月，由有研半导体材料有限公司和德州经济技术开发区景泰投资有限公司共同出资成立，注册资本150000万元，承接有研半导体材料有限公司的资产和业务，公司主营业务是半导体材料及其他新材料的研发、生产、销售、贸易；相关技术开发、转让和咨询服务；相关器件、零部件、仪器设备的研制、销售、贸易；进料加工和“三来一补”业务等。2020年10月山东有研正式通线，主要8英寸-6英寸抛光片已经投产。

4.主要工作过程

本项目在下达计划后，组织了专门的标准编制小组，进行了设备、用户要求、相关标准应用等方面的调研和收集；结合多年来国内外用户对硅片弯翘曲度的要求和测试实践，修改了本标准。

1. 标准编制原则和确定标准主要内容的论据

1、编制原则

1）按照GB/T 1.1的要求进行格式和结构编写。

2）标准编制过程中，参照了SEMI MF1390《硅片弯曲度和翘曲度的测试 自动非接触扫描法》的内容。

3）有研半导体是硅单晶和硅片制造行业的龙头企业，从上世纪80年代开始就引进了国外

硅片几何参数包括弯翘曲度的测试设备，三十年多来，积累了丰富的实践中经验，我们在参照国外标准的同时，结合多年来的实践，研究弯翘曲度的测试，在标准中融入了多年来测试、校准、维修的经验。

3、主要变动内容及依据

与原标准相比，主要是增加了弯曲度的自动测试技术内容。

由于弯曲度是指硅片中心点的变形情况，因此也可以说，弯曲度是翘曲度的一个特殊情况，因此在测试原理上、干扰因素上以及校准等方面是完全相同的，差异只是计算时取点位置的不同。因此，在8.2校准及校准用参考片中，在可接受的参考片的实际测试值与参考片的标称值之间一致程度的判断中，只给出了翘曲度的判断公式（1）。

本次补充了精密度实验，原标准是200mm硅片，因此本次精密度保留了单个实验室的翘曲度测量结果，增加了150mm的翘曲度和弯曲度的实验结论。在巡回测试中，保留了原标准中的翘曲度测试结论，增加了弯曲度的结论。

本标准2020年8月19日在天津标准会议上提交了标准讨论稿，会上专家们共提出8条意见，会后编制组进行了逐条修改后形成预审稿；

本标准2021年3月25日在山东德州标准会议上提交了标准预审稿，会上专家们共提出8条意见，会后编制组进行了逐条修改后形成送审稿。

1. 标准水平分析

本标准达到国际一般水平。

四、与我国有关的现行法律、法规和相关强制性标准的关系

本标准与国家现行法律、法规和相关强制性标准不存在相违背和抵触的地方。

1. 重大分歧意见的处理经过和依据。

无

1. 标准作为强制性标准或推荐性标准的建议

建议本标准作为推荐性国家标准发布实施。

1. 代替或废止现行有关标准的建议

本标准颁布后，代替原标准GB/T 32280-2015。

1. 其他需要说明的事项
2. 预期效果

本标准方法实际上在国内已被使用多年，因为没有国标，只能参照SEMI标准，由于各种原因给使用者带来诸多不便。为了更好地发挥该标准的作用，使该标准在尽可能短的时间里在生产及使用单位得到应用，该标准发布实施后应及时进行宣贯。

本标准是硅抛光片、外延片和器件厂家的最常用测试方法之一，也是生产、科研中应用广泛和非常实用的标准。

**硅片翘曲度和弯曲度测量实验报告**

一 测试条件

1.样片：

单个实验室对翘曲度和弯曲度分别使用了八台非接触全自动扫描设备（包含了不同的探头尺寸，不同的设备精度、不同的取样间距、硅片传输系统不同），分别对直径150mm的10个硅抛光片进行了两种不同基准平面的测试；另外选择直径150mm的14个硅抛光片在四个厂家之间进行了翘曲度的巡回测试；在三个厂家之间进行了弯曲度的巡回测试。

2、校准

为去除人为操作产生的影响，单个实验室校准时均采用自动模式校准，并且采用了同一套标准样片校准设备，同一样片作为典型片。而多个实验室的巡回测试的典型片、校准片及校准模式是根据各个实验室的自行规定进行的。

3、测试设置

单个实验室的检测设备测试设置保持一致，对测试片均采用自测模式，每片测试10次，取10次测试值进行均值和标准偏差的计数和对比。

二 测试结果：

（1）单个实验室弯曲度、翘曲度测试数据如下：

1#设备：2\*2mm探头；皮带传输自动检测设备

单位：µm

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 硅片编号 | 测试次数 | 统计项目 | BOW-BF | WARP-BF | BOW-3P | WARP-3P |
| 1 | 10 | 平均值 | -0.208 | 7.347 | -1.697 | 8.426 |
| 标准偏差 | 0.550 | 0.504 | 1.120 | 0.777 |
| 2 | 10 | 平均值 | -0.066 | 6.406 | -1.150 | 7.141 |
| 标准偏差 | 0.539 | 0.787 | 1.071 | 0.718 |
| 3 | 10 | 平均值 | -1.185 | 6.599 | -1.087 | 6.922 |
| 标准偏差 | 0.510 | 0.482 | 1.068 | 0.295 |
| 4 | 10 | 平均值 | 0.945 | 6.749 | 0.737 | 8.037 |
| 标准偏差 | 0.542 | 0.515 | 1.097 | 0.435 |
| 5 | 10 | 平均值 | -0.142 | 7.028 | 1.219 | 10.483 |
| 标准偏差 | 0.531 | 0.433 | 0.960 | 0.849 |
| 6 | 10 | 平均值 | -1.049 | 6.756 | -1.408 | 6.836 |
| 标准偏差 | 0.559 | 0.499 | 1.146 | 0.672 |
| 7 | 10 | 平均值 | -1.296 | 8.701 | -4.708 | 8.521 |
| 标准偏差 | 0.463 | 0.523 | 0.942 | 0.774 |
| 8 | 10 | 平均值 | 2.821 | 9.950 | 6.231 | 11.136 |
| 标准偏差 | 0.540 | 0.604 | 0.974 | 0.605 |
| 9 | 10 | 平均值 | -1.307 | 8.958 | -3.842 | 10.082 |
| 标准偏差 | 0.551 | 0.382 | 1.021 | 0.559 |
| 10 | 10 | 平均值 | -0.478 | 6.412 | -1.493 | 7.026 |
| 标准偏差 | 0.452 | 0.346 | 0.873 | 0.696 |

2#设备：2\*2mm探头；皮带传输自动检测设备

单位： µm

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 硅片编号 | 测试次数 | 统计项目 | BOW-BF | WARP-BF | BOW-3P | WARP-3P |
| 1 | 10 | 平均值 | 0.039 | 6.371 | -1.494 | 7.095 |
| 标准偏差 | 0.175 | 0.281 | 0.419 | 0.411 |
| 2 | 10 | 平均值 | 0.085 | 5.176 | -1.216 | 6.191 |
| 标准偏差 | 0.163 | 0.328 | 0.301 | 0.364 |
| 3 | 10 | 平均值 | -1.422 | 8.226 | -1.836 | 8.703 |
| 标准偏差 | 0.163 | 0.651 | 0.254 | 0.875 |
| 4 | 10 | 平均值 | 0.430 | 8.146 | -0.461 | 11.075 |
| 标准偏差 | 0.239 | 0.149 | 0.510 | 0.224 |
| 5 | 10 | 平均值 | -0.401 | 9.095 | 0.354 | 12.408 |
| 标准偏差 | 0.176 | 0.429 | 0.457 | 0.509 |
| 6 | 10 | 平均值 | -1.084 | 5.987 | -1.754 | 6.561 |
| 标准偏差 | 0.229 | 0.340 | 0.544 | 0.344 |
| 7 | 10 | 平均值 | -1.158 | 9.958 | -4.730 | 8.829 |
| 标准偏差 | 0.157 | 0.402 | 0.292 | 0.471 |
| 8 | 10 | 平均值 | 3.095 | 10.520 | 6.328 | 12.955 |
| 标准偏差 | 0.186 | 0.321 | 0.441 | 0.335 |
| 9 | 10 | 平均值 | -1.647 | 9.373 | -4.711 | 9.815 |
| 标准偏差 | 0.173 | 0.455 | 0.412 | 0.545 |
| 10 | 10 | 平均值 | -0.864 | 8.683 | -2.595 | 10.261 |
| 标准偏差 | 0.150 | 0.559 | 0.302 | 0.915 |

3#设备：4\*4mm探头；机械手自动检测设备

µm

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 硅片编号 | 测试次数 | 统计项目 | BOW-BF | WARP-BF | BOW-3P | WARP-3P |
| 1 | 10 | 平均值 | -0.228 | 4.942 | -1.128 | 8.168 |
| 标准偏差 | 0.056 | 0.104 | 0.148 | 0.182 |
| 2 | 10 | 平均值 | -0.087 | 5.144 | -0.595 | 7.063 |
| 标准偏差 | 0.075 | 0.176 | 0.220 | 0.136 |
| 3 | 10 | 平均值 | -2.386 | 9.098 | -2.832 | 8.763 |
| 标准偏差 | 0.071 | 0.342 | 0.215 | 0.061 |
| 4 | 10 | 平均值 | -1.165 | 6.258 | -2.471 | 7.954 |
| 标准偏差 | 0.096 | 0.576 | 0.212 | 1.024 |
| 5 | 10 | 平均值 | -1.527 | 10.104 | -1.021 | 13.230 |
| 标准偏差 | 0.072 | 0.248 | 0.197 | 0.230 |
| 6 | 10 | 平均值 | -1.679 | 8.453 | -1.920 | 7.483 |
| 标准偏差 | 0.084 | 0.249 | 0.206 | 0.154 |
| 7 | 10 | 平均值 | -1.826 | 8.405 | -4.680 | 8.215 |
| 标准偏差 | 0.077 | 0.203 | 0.212 | 0.119 |
| 8 | 10 | 平均值 | 2.899 | 8.557 | 6.135 | 9.834 |
| 标准偏差 | 0.087 | 0.234 | 0.225 | 0.255 |
| 9 | 10 | 平均值 | -2.871 | 9.790 | -5.803 | 11.203 |
| 标准偏差 | 0.050 | 0.106 | 0.101 | 0.131 |
| 10 | 10 | 平均值 | -1.978 | 8.076 | -3.530 | 9.241 |
| 标准偏差 | 0.073 | 0.079 | 0.120 | 0.077 |

4#设备：4\*4探头，机械手自动检测设备

单位: µm

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 硅片编号 | 测试次数 | 统计项目 | BOW-BF | WARP-BF | BOW-3P | WARP-3P |
| 1 | 10 | 平均值 | -0.283 | 6.469 | -1.555 | 7.725 |
| 标准偏差 | 0.132 | 0.170 | 0.298 | 0.502 |
| 2 | 10 | 平均值 | -0.094 | 5.721 | -0.859 | 6.579 |
| 标准偏差 | 0.146 | 0.104 | 0.306 | 0.410 |
| 3 | 10 | 平均值 | -2.680 | 7.704 | -3.696 | 8.080 |
| 标准偏差 | 0.135 | 0.237 | 0.333 | 0.246 |
| 4 | 10 | 平均值 | -1.545 | 9.989 | -3.479 | 12.359 |
| 标准偏差 | 0.151 | 0.234 | 0.344 | 0.373 |
| 5 | 10 | 平均值 | -1.832 | 7.301 | -1.869 | 12.291 |
| 标准偏差 | 0.138 | 0.081 | 0.318 | 0.215 |
| 6 | 10 | 平均值 | -1.858 | 7.304 | -2.468 | 7.380 |
| 标准偏差 | 0.137 | 0.308 | 0.316 | 0.223 |
| 7 | 10 | 平均值 | -2.025 | 8.503 | -5.283 | 7.334 |
| 标准偏差 | 0.124 | 0.240 | 0.292 | 0.161 |
| 8 | 10 | 平均值 | 2.928 | 9.658 | 5.978 | 10.750 |
| 标准偏差 | 0.163 | 0.371 | 0.345 | 0.301 |
| 9 | 10 | 平均值 | -3.167 | 9.289 | -6.661 | 11.687 |
| 标准偏差 | 0.133 | 0.147 | 0.306 | 0.322 |
| 10 | 10 | 平均值 | -2.277 | 6.541 | -4.442 | 7.923 |
| 标准偏差 | 0.146 | 0.217 | 0.331 | 0.104 |

5#设备：2\*2mm探头；皮带传输自动检测设备

单位： µm

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 硅片编号 | 测试次数 | 统计项目 | BOW-BF | WARP-BF | BOW-3P | WARP-3P |
| 1 | 10 | 平均值 | -0.501 | 4.596 | -1.827 | 6.279 |
| 标准偏差 | 0.093 | 0.145 | 0.148 | 0.153 |
| 2 | 10 | 平均值 | -0.429 | 3.572 | -1.409 | 5.444 |
| 标准偏差 | 0.049 | 0.142 | 0.073 | 0.113 |
| 3 | 10 | 平均值 | -1.386 | 6.112 | -1.545 | 5.755 |
| 标准偏差 | 0.041 | 0.097 | 0.082 | 0.089 |
| 4 | 10 | 平均值 | -0.031 | 5.974 | -0.937 | 8.390 |
| 标准偏差 | 0.035 | 0.136 | 0.054 | 0.155 |
| 5 | 10 | 平均值 | -0.540 | 7.888 | 0.271 | 10.622 |
| 标准偏差 | 0.049 | 0.149 | 0.100 | 0.124 |
| 6 | 10 | 平均值 | -1.559 | 6.316 | -1.985 | 5.946 |
| 标准偏差 | 0.054 | 0.075 | 0.110 | 0.142 |
| 7 | 10 | 平均值 | -1.734 | 7.575 | -4.763 | 7.602 |
| 标准偏差 | 0.065 | 0.066 | 0.112 | 0.099 |
| 8 | 10 | 平均值 | 2.673 | 7.069 | 5.570 | 8.660 |
| 标准偏差 | 0.063 | 0.117 | 0.145 | 0.154 |
| 9 | 10 | 平均值 | -1.797 | 7.075 | -4.377 | 8.996 |
| 标准偏差 | 0.068 | 0.086 | 0.135 | 0.150 |
| 10 | 10 | 平均值 | -0.966 | 5.822 | -2.175 | 6.656 |
| 标准偏差 | 0.054 | 0.093 | 0.118 | 0.156 |

6#设备：2\*2mm探头；皮带传输自动检测设备

单位：µm

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 硅片编号 | 测试次数 | 统计项目 | BOW-BF | WARP-BF | BOW-3P | WARP-3P |
| 1 | 10 | 平均值 | 0.205 | 3.912 | -0.851 | 8.877 |
| 标准偏差 | 0.137 | 0.090 | 0.243 | 0.214 |
| 2 | 10 | 平均值 | 0.392 | 3.227 | -0.351 | 7.968 |
| 标准偏差 | 0.122 | 0.137 | 0.188 | 0.135 |
| 3 | 10 | 平均值 | -2.549 | 7.025 | -3.356 | 10.615 |
| 标准偏差 | 0.171 | 0.231 | 0.300 | 0.283 |
| 4 | 10 | 平均值 | -1.346 | 6.451 | -3.246 | 9.709 |
| 标准偏差 | 0.209 | 0.194 | 0.325 | 0.307 |
| 5 | 10 | 平均值 | -1.584 | 6.484 | -1.351 | 11.314 |
| 标准偏差 | 0.215 | 0.249 | 0.332 | 0.313 |
| 6 | 10 | 平均值 | -1.317 | 5.323 | -1.659 | 10.498 |
| 标准偏差 | 0.170 | 0.198 | 0.253 | 0.216 |
| 7 | 10 | 平均值 | -1.473 | 7.123 | -4.718 | 11.741 |
| 标准偏差 | 0.167 | 0.242 | 0.292 | 0.262 |
| 8 | 10 | 平均值 | 3.479 | 10.195 | 6.765 | 13.098 |
| 标准偏差 | 0.155 | 0.258 | 0.262 | 0.324 |
| 9 | 10 | 平均值 | -2.835 | 7.985 | -6.337 | 12.556 |
| 标准偏差 | 0.222 | 0.268 | 0.373 | 0.364 |
| 10 | 10 | 平均值 | -1.925 | 6.788 | -4.028 | 10.841 |
| 标准偏差 | 0.172 | 0.113 | 0.310 | 0.187 |

7#设备：2\*2mm探头；皮带传输自动检测设备

单位： µm

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 硅片编号 | 测试次数 | 统计项目 | BOW-BF | WARP-BF | BOW-3P | WARP-3P |
| 1 | 10 | 平均值 | -0.372 | 4.670 | -1.996 | 6.449 |
| 标准偏差 | 0.072 | 0.860 | 0.140 | 0.393 |
| 2 | 10 | 平均值 | -0.392 | 4.137 | -1.641 | 5.790 |
| 标准偏差 | 0.100 | 0.434 | 0.147 | 0.535 |
| 3 | 10 | 平均值 | -1.362 | 6.747 | -1.495 | 6.996 |
| 标准偏差 | 0.047 | 0.667 | 0.098 | 1.394 |
| 4 | 10 | 平均值 | 0.040 | 5.087 | -1.117 | 6.720 |
| 标准偏差 | 0.056 | 0.282 | 0.087 | 0.493 |
| 5 | 10 | 平均值 | -0.471 | 8.488 | 0.268 | 9.818 |
| 标准偏差 | 0.095 | 0.610 | 0.177 | 0.717 |
| 6 | 10 | 平均值 | -1.615 | 6.185 | -2.190 | 5.447 |
| 标准偏差 | 0.043 | 0.093 | 0.059 | 0.113 |
| 7 | 10 | 平均值 | -1.653 | 8.110 | -5.132 | 7.463 |
| 标准偏差 | 0.085 | 0.092 | 0.155 | 0.167 |
| 8 | 10 | 平均值 | 3.017 | 8.496 | 5.977 | 10.799 |
| 标准偏差 | 0.149 | 0.264 | 0.239 | 0.467 |
| 9 | 10 | 平均值 | -1.766 | 8.671 | -4.858 | 8.963 |
| 标准偏差 | 0.056 | 0.191 | 0.086 | 0.260 |
| 10 | 10 | 平均值 | -0.757 | 8.585 | -2.176 | 9.413 |
| 标准偏差 | 0.069 | 0.082 | 0.089 | 0.199 |

8#设备：4\*4mm探头；机械手自动检测设备

单位：µm

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 硅片编号 | 测试次数 | 统计项目 | BOW-BF | WARP-BF | BOW-3P | WARP-3P |
| 1 | 10 | 平均值 | 0.108 | 4.341 | -1.013 | 6.209 |
| 标准偏差 | 0.068 | 0.093 | 0.115 | 0.118 |
| 2 | 10 | 平均值 | 0.703 | 3.569 | 0.269 | 5.221 |
| 标准偏差 | 0.054 | 0.089 | 0.086 | 0.122 |
| 3 | 10 | 平均值 | -0.562 | 6.684 | -0.269 | 6.924 |
| 标准偏差 | 0.029 | 0.107 | 0.055 | 0.115 |
| 4 | 10 | 平均值 | 0.922 | 5.348 | 0.513 | 8.244 |
| 标准偏差 | 0.069 | 0.078 | 0.102 | 0.091 |
| 5 | 10 | 平均值 | 0.349 | 8.247 | 1.609 | 11.197 |
| 标准偏差 | 0.041 | 0.072 | 0.074 | 0.066 |
| 6 | 10 | 平均值 | -0.531 | 5.449 | -0.465 | 5.027 |
| 标准偏差 | 0.070 | 0.092 | 0.147 | 0.099 |
| 7 | 10 | 平均值 | -0.670 | 6.554 | -3.179 | 6.735 |
| 标准偏差 | 0.096 | 0.079 | 0.187 | 0.075 |
| 8 | 10 | 平均值 | 3.829 | 9.167 | 7.285 | 10.326 |
| 标准偏差 | 0.068 | 0.108 | 0.153 | 0.135 |
| 9 | 10 | 平均值 | -0.958 | 7.725 | -3.108 | 9.372 |
| 标准偏差 | 0.031 | 0.077 | 0.049 | 0.058 |
| 10 | 10 | 平均值 | -1.071 | 6.747 | -2.152 | 7.999 |
| 标准偏差 | 0.029 | 0.070 | 0.058 | 0.088 |

（2）单个实验室的重复性、再现性评价数据

BOW



WARP



结论：单个实验室的测试中

a. 同一硅片在同一基准平面下，在同一台设备中测量翘曲度在3μm 至14μm范围10个硅片，标准偏差<1.4μm；

b. 使用不同尺寸、扫描间距不同的探头，对同一硅片在同一基准面下测量的翘曲度最大差值<6μm。

c. 同一硅片在同一基准平面下，在同一台设备中测量弯曲度在-7μm 至7μm范围的10个硅片，标准偏差<1.2μm；

d. 使用不同尺寸、扫描间距不同的探头，对同一硅片在同一基准面下测量弯曲度的最大差值<6μm。

e. 单个实验的MSA监控显示选取10个硅片进行重复性再现性评价，翘曲度测试的重复性、再现性R&R为0.84%,评价结果合格。

**（**3）多个试验室巡回测试结果

14片硅片，在四个企业进行翘曲度的巡回测试：

翘曲度数据

单位：µm

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 片号 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
| A | 39.33 | 39.64 | 29.83 | 40.58 | 47.65 | 16.27 | 17.89 | 17.10 | 5.73 | 7.11 | 8.71 | 20.52 | 21.71 | 20.85 |
| B | 39.06 | 38.86 | 29.37 | 44.21 | 47.30 | 15.57 | 16.50 | 15.19 | 5.05 | 8.29 | 10.23 | 18.82 | 19.57 | 18.77 |
| C | 40.42 | 40.18 | 30.95 | 41.76 | 45.66 | 16.35 | 17.83 | 16.97 | 5.37 | 11.00 | 8.44 | 21.39 | 22.42 | 21.25 |
| D | 39.03 | 38.63 | 29.65 | 41.32 | 43.84 | 14.73 | 16.08 | 15.27 | 4.93 | 9.55 | 7.41 | 19.29 | 20.26 | 19.23 |
| 平均值 | 39.46 | 39.32 | 29.95 | 41.97 | 46.11 | 15.73 | 17.07 | 16.13 | 5.27 | 8.99 | 8.70 | 20.01 | 20.99 | 20.02 |
| 标准偏差 | 0.65 | 0.71 | 0.69 | 1.57 | 1.75 | 0.75 | 0.92 | 1.04 | 0.36 | 1.67 | 1.17 | 1.17 | 1.31 | 1.21 |
| 最大差值 | 1.39 | 1.32 | 1.57 | 3.63 | 1.98 | 0.78 | 1.39 | 1.91 | 0.69 | 3.89 | 1.79 | 2.58 | 2.85 | 2.48 |

14片硅片，在三个企业进行弯曲度的巡回测试

弯曲度数据

单位： µm

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 片号 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
| A | 7.14 | 6.77 | 7.21 | 3.59 | 4.80 | 9.86 | 10.76 | 9.68 | 1.20 | 3.22 | 2.69 | 9.30 | 13.03 | 8.79 |
| B | 6.70 | 6.59 | 7.08 | 3.42 | 4.74 | 9.76 | 10.52 | 9.51 | 1.18 | 3.07 | 2.56 | 9.31 | 13.08 | 8.62 |
| C | 7.05 | 6.86 | 7.11 | 3.67 | 4.87 | 9.67 | 10.48 | 9.75 | 1.09 | 3.25 | 2.71 | 9.31 | 13.12 | 8.93 |
| 平均值 | 6.96 | 6.74 | 7.13 | 3.56 | 4.80 | 9.76 | 10.59 | 9.64 | 1.15 | 3.18 | 2.65 | 9.31 | 13.08 | 8.78 |
| 标准偏差 | 0.23 | 0.13 | 0.07 | 0.13 | 0.07 | 0.09 | 0.15 | 0.12 | 0.06 | 0.10 | 0.08 | 0.00 | 0.05 | 0.16 |
| 最大差值 | 0.441 | 0.264 | 0.136 | 0.254 | 0.133 | 0.185 | 0.282 | 0.236 | 0.111 | 0.183 | 0.123 | 0.008 | 0.090 | 0.314 |

结论：多个试验室巡回测试结果表明：

a. 巡回测试数据显示，从5μm到48μm的14个片子，对同一片四个企业测量的标准偏差<1.8μm，最大差值<4μm。

b. 巡回测试数据显示从1μm到14μm的14个片子，对同一片三个企业测量的标准偏差<0.3μm，最大差值<0.5μm。

标准编制组

2021年5月22日