ICS 77.040

H 17



中华人民共和国国家标准

GB/T32280—XXXX

|  |
| --- |
| 代替 GB/T 32280-2015 |

硅片翘曲度和弯曲度的测试 自动非接触扫描法

Test method for warp and bow of silicon wafers by automated non-contact scanning method

点击此处添加与国际标准一致性程度的标识

|  |
| --- |
|  |
| 送审稿 |

XXXX - XX - XX发布

XXXX-XX-XX实施



前  言

本文件按照GB/T 1.1-2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件代替GB/T 32280-2015《硅片翘曲度测试 自动非接触扫描法》，与GB/T32280-2015 相比，除结构调整和编辑性改动外，主要技术变化如下：

a)标准名称修改为《硅片翘曲度和弯曲度测试 自动非接触扫描法》；

b)全本中增加了“弯曲度”的文字和公式。（见第1章，第4章、2015版第1章）；

c）删除了GB/T32280-2015 范围中“本方法可用于监控因热效应和（或）机械效应引起的硅片翘曲”内容。在也可用于……等其他半导体晶片的翘曲度和弯曲度测试的举例中增加了“碳化硅”，（见第1章，2015版第1章）；

d）规范性应用文件中增加了GB/T 6619（（见第2章和5.8；2015版第2章和5.8）；GB/T 16596（见第2章和9.13，2015版第1章）；

e）将规范性应用文件中GB/T 50073-2013洁净厂房涉及规范改为GB/T 25915.1洁净室及相关受控环境 第1部分：空气洁净度等级，（见第2章和7.3，2015版第2章和7.3）；

f）术语、定义中增加了“参考片”的内容，（见第3章，2015版第3章）；

g）增加了校准用参考片弯曲度不大于10μm的规定，（见8.2， 2015版8.2.1）

h）增加了确定以三点位置作为基准面计算弯曲度时，三点的位置及计算公式的内容，（见9.13和公式12）；

i）2015版中9.13和9.14相应变更章节号，（见9.14和9.15，2015版9.13和9.14）；

j）增加了精密度中弯曲度的内容，（见第10章，2015版第10章）。

本标准由全国半导体设备和材料标准化技术委员会(SAC/TC203)与全国半导体设备和材料标准化技术委员会材料分会(SAC/TC203/SC2)共同提出并归口。

本标准起草单位：有研半导体材料有限公司、山东有研半导体材料有限公司、上海合晶硅材料股份有限公司、浙江金瑞泓科技股份有限公司、杭州海纳半导体有限公司、浙江省硅材料质量检验中心、天津中环领先材料技术有限公司。

本标准主要起草人：孙燕、蔡丽艳、韩建超、张海英、潘金平、楼春兰、张雪囡

本标准所替代的历次版本发布情况为：

——GB/T 32280-2015。

硅片翘曲度和弯曲度测试 自动非接触扫描法

1. 范围

本文件规定了利用两个探头在硅片表面自动扫描的电容方法，测试硅片的翘曲度和弯曲度。

本文件适用于直径不小于50mm，厚度不小于100μm的洁净、干燥的硅片。包括切割、研磨、腐蚀、抛光外延、刻蚀或其他表面状态硅片，也可用于砷化镓、碳化硅、蓝宝石等其他半导体晶片的翘曲度和弯曲度测试。

1. 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 6619 硅片弯曲度测试方法

GB/T 6620 硅片翘曲度非接触式测试方法

GB/T 14264 半导体材料术语

GB/T 16596 确定晶片坐标系规范

GB/T 25915.1洁净室及相关受控环境 第1部分：空气洁净度等级

GB/T 29507 硅片平整度、厚度及总厚度变化测试 自动非接触扫描法

1. 术语、定义和缩略语
   1. 术语和定义

GB/T14264界定的下列术语和定义适用于本文件。

* + 1. 典型片 representative wafer

利用翻转的方法进行重力校正的代表性晶片。典型片应与被测晶片具有相同的标称直径、标称厚度、基准结构和结晶取向。

* + 1. 参考片 reference wafer

自身标有翘曲度和弯曲度参数的数据，该参数值是使用测试设备通过大量重复测试获得的平均值，或者是基于设备重复性研究的统计值，用以确定是否符合该设备操作说明中的可重复性要求。

1. 方法原理

将被测晶片放置在平坦、洁净的吸盘上，吸盘带动晶片沿规定的图形在两个相对的探头之间运动，两个探头同时对晶片的上下表面进行扫描，获得一组晶片上下表面分别到最近的探头间的距离数据。对应扫描的每一点，得到一对X和Y坐标都相同的距离数值；成对的位移数值用于构造一个中位面，而在中位面上的重力效应的校正是通过从一个典型片测量值，或理论值减去一个重力校正值得到的，也可以通过翻转晶片重复扫描进行校正。从合适的中位面构造一个最小二乘法基准面，计算每对测量点上的基准面偏离（RPD）。翘曲度即为最大的正数（RPD）和最小的负数（RPD）间的代数差。弯曲度即为中心位置的中位面与晶片三点构成的基准面的代数差。

注：晶片的翘曲可能是由于晶片的上下表面不相同的应力造成的，所以它不可能通过测量其中一个面确定。中位面包含了向上、向下或两者都有的曲度，在某些情况下，中位面是平的，因此，翘曲度为零或正数值，弯曲度则是一个带正号或负号的数值。

1. 干扰因素

在扫描测试期间，任何探头间或探头沿测试轴的相对运动都会产生横向位置等效测试数据误差。晶片相对于探头测试轴的振动也会引入误差。为了使上述误差降低到最小，系统提供了特征分析及校正程序。设备内部的监控系统也可以用来校正重复和非重复的系统机械误差，如未能提供这样的校正可能会导致误差。

系统晶片夹持装置的差异可能引入测试差异。本测试方法允许使用不同的晶片夹持装置（见6.1），相同的晶片在不同的晶片夹持装置中会得到不同的几何形状结果。

* 1. 数据点的数量及其间距不同可能影响测试结果。

5.4　本方法不受晶片厚度及表面加工状态的影响。因设备具有一定的厚度测试（结合翘曲度和弯曲度）范围，无需调整即可满足要求。如果校准或被测晶片厚度超出测试范围，可能产生错误的结果。操作者可通过设备的超量程信号得知。

5.5　使用重力补偿时，被测晶片与用于重力补偿的晶片在直径、厚度、表面状态、晶向等各种方面的差别都可能引起重力补偿结果的差异。对于不同直径和厚度引起的重力补偿错误的预计见附录A。如果被测晶片的晶体取向与用于重力补偿晶片的晶体取向不同，重力补偿引入的测量值与实际值偏差达15%。

5.6　重力可以改变晶片形状，本标准包含了几种消除重力影响的方法，包括典型片翻转的方法。实行重力补偿，不同的方法和不同的实施水平可能会得到不同的测试结果。

5.7　当使用典型片翻转的方法进行重力补偿时，典型片的翘曲度和弯曲度过大可能给测试结果带来影响。建议按照设备商推荐的要求进行。

5.8　选择基准面不同，得到的翘曲度和弯曲度的值可能不同。GB/T 6620 和GB/T 6619 是使用背表面3点作为基准面测量翘曲度和弯曲度，而背表面基准面的翘曲度和弯曲度的结果中包含了厚度差异。本方法使用中位面做基准面消除了这一影响，使用最小二乘法平面拟合参照平面降低了三点平面计算参考点位置时选择不同点带来的差异。使用特殊的校准或补偿技术，可最大限度地减少重力造成的晶片畸变的影响。

1. 仪器和设备

6.1晶片夹持装置：采用吸盘或晶片边缘夹持装置，该装置的类型和尺寸可由测试双方协商确定。

6.2多轴传输系统，提供晶片夹持装置或探头在垂直于测试轴的几个方向的可控移动方式。该移动应允许在合格质量区域内以指定的扫描方式收集数据，且可设定采样数据点的间距。

6.3探头部件带有一对非接触位移传感探头，探头支持装置和指示单元，如图1所示，且应满足下列要求：

a）探头应能独立探测晶片的两个表面到距之最近探头的距离a和b；

b）将探头分别安装在晶片两面，并使两探头相对；

c）两探头同轴，且其共同轴为测试轴；

d）校准和测试时探头距离D应保持不变；

e）位移分辨率应不大于100nm；

f）典型的探头传感器尺寸为4mm×4mm或2mm×2mm，也可由测试双方确定；

g）数据指示分辨率应不大于100 nm。

6.4采用典型片翻转或晶片翻转的重力补偿方法，测试应在同一位置进行，因此测试设备应在每个方向提供精确的定位。

6.5控制系统，包括数据处理器及合适的软件。测试设备应具有程序输入及选择清单的功能，可以按照操作者设定的条件自动进行测试、数据处理，并根据操作者的设置数值对晶片分类。必要的计算应在设备系统内部自动完成，并可直接显示测试结果。

6.6晶片传输系统，包括晶片的自动装载和分类功能。

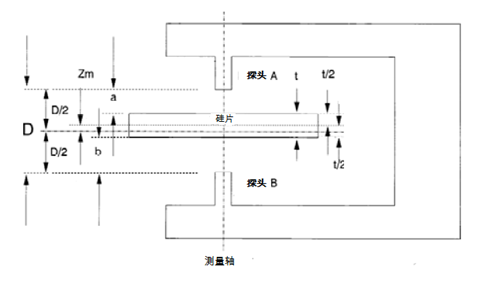


图1 探头部件示意图

图中：

*D*——探头A和B间的距离；

*a*——探头A与最近的晶片表面（晶片上表面）的距离；

*b*——探头B与最近的晶片表面（晶片下表面）的距离；

*t*——晶片厚度。

1. 测试环境

除另有规定外，应在下列环境中进行测试：

7.1 温度：23℃±5℃；

7.2 湿度：不大于65%；

7.3 空气洁净度：根据使用要求选择，建议使用不低于GB/T 25915.1中6级洁净间；

7.4 防止震动及电磁干扰。

1. 试验步骤
   1. 参数设置

根据需要选择测试晶片的参数，例如：直径、晶片厚度、数据显示和输出方式等。

选择下列重力校正方法中的一种：

1. 翻转典型片的方法；
2. 翻转晶片的方法；
3. 理论模型的方法

对自动测试设备，可进行基准面的选择，构成基准面的点应位于合格质量区内：

a)最小二乘法拟合的基准面（bf）；

b)背表面3点拟合的基准面（3p）。

通过规定边缘去除（EE）尺寸选择合格质量区(FQA)。

* 1. 校准及校准用参考片

用翘曲度值不大于20µm且弯曲度不大于10µm的参考片确定由测试设备测得的翘曲度值与参考片翘曲度值间的一致程度，二者之间的偏差*Δ*warp的可接受水平由供需双方协商确定。Δwarp按公式（1）计算：

…………………………………………(1)

注：如果测试设备也用来测试其他参数，如除翘曲度外还测量平整度和厚度变化，参考片的翘曲度值可以被列入由GB/T 29507指定的参考片的系列数据中。

8.2.2 校准，执行一个校准设备的测量因子和其他常数的程序设置。如果使用典型片翻转方法校正重力，校准过程也确定了设备的机械信号和晶片上的重力效果，建议使用设备商推荐的校准方法对设备进行校准。

* 1. 测试

将被测晶片正面朝上放入测试设备，通过测试确定和记录每个测试位置两探头间的距离及每个探头到最近的晶片表面的距离a和b。根据事先确定的方法翻转晶片或者典型片，得到对由于重力带来的晶片变形影响的修正。

1. 测试结果的计算

9.1测试结果的计算通常由设备内部自动完成，以下提供的离线计算是为显示完整的程序。

9.2沿扫描路径间距测量两个探头间和每个探头到最近的晶片表面的一对距离数据。

9.3设定Z轴原点在两个探头A和B的中点。

9.4找出晶片每一点上Z轴的中位面距离*zm*，*zm*按公式（2）或公式（3）计算：

……………………………………………………………(2)

和………………………………………………………(3)

公式(2)与(3)相加，得到公式（4）、（5）：

…………………………………………………(4)

即………………………………………………………………(5)

式中：

*D*——探头A和B间的距离；

*a*——探头A与最近的晶片表面（晶片上表面）的距离；

*b*——探头B与最近的晶片表面（晶片下表面）的距离；

*t*——晶片厚度。

9.5晶片正面朝上时的测量值称为中位点*znor*。

9.6翻转晶片，即晶片背面朝上时的测量值称为中位点*zinv*。

9.7对使用典型片或晶片翻转方法，对中位面进行重力校正，可得*zgravity*按公式（6）计算：

………………………………………………………(6)

式中：

注：*zgravity*——典型片的形状效果记忆抵消了重力的影响，因此它是重力校正后的测量值。

9.8确定中位面的重力补偿方法如下：

1. 翻转典型片方法-从每个测量点的*znor*值减去重力抵消后的*zgravity*，得到测试晶片的*zcom*。这个公式是由典型片翻转前后每一点的测量差值得到的；

注：翻转典型片方法不仅与一阶重力影响有关，也与其他影响因素有关，如晶片边缘轮廓、形貌及机械参数特性等，这些可能影响测量值。

………………………(7)

式中：*Zcom*是利用典型片翻转的方法抵消重力影响后被测晶片的测量值。

1. 翻转晶片方法-从每个测量点的*znor*值减去重力*zgravity*。注意这相当于将翻转前后每点的测量值取差值；
2. 理论模型方法-应用理论模型得到重力校正。虽然严格的模型并不知道，近似的校正可计算出来（见附录A）。

9.9使用最小二乘法对扫描的所有测量点数据拟合构建一个重力补偿的中位面作为基准面,基准面*zref*的形式见公式（8）：

……………………………………………………………(8)

选择aR 、bR、cR 常数值，使公式（9）的数值最小：

……………………………………………(9)

9.10从补偿值*zcom*值减去基准面的*zref*。得到扫描路径中所有点的*zcom*基准面偏差RPD按公式：

………………………………………………………………(10)

9.11用最大值（最正）与最小值（最负）RPD，按公式（11）计算晶片翘曲度：

………………………………………………………(11)

9.12记录计算的翘曲度值。

9.13确定以三点位置作为基准面时弯曲度的计算时，这三点位于在GB/T 16596坐标系中的90°、210°和330°，而在GB/T 16596确定的坐标系中,晶片的主基准面是在270°(见图2)。这些点是在同一半径:

*r3p=**rnom-dn* ………………………………………………………(12)

式中：

r*3p* ———以三点做基准面时，点的半径值，单位：mm

r*nom* ——晶片的标称半径值，单位：mm

*dn*——晶片半径上距离边缘的距离，单位：mm

注：d*n*通常选用6mm。

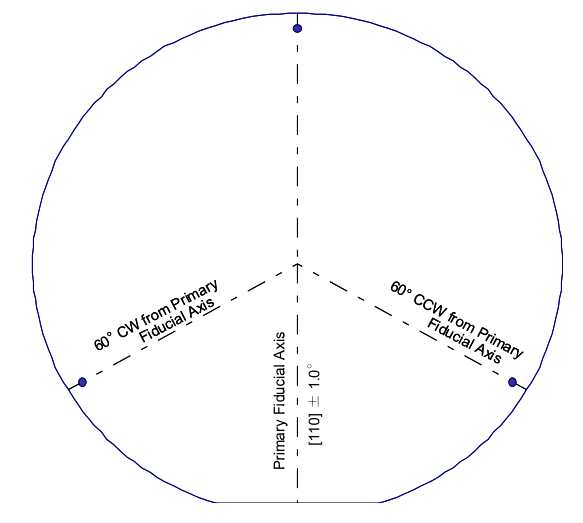


图2 构成基准面三点的角度

9.14,通过在扫描模式中最接近三点的重力补偿中位面数据，建立一个三点基准面:

…………………………(13)

式中：

Zref3 ——三点作基准面的坐标；

aR3 、bR3、cR3 ——常数值。

9.15 计算晶片的弯曲度，为晶片中心的中位面与修正后晶片三点基准面的代数差。

……………………………………（14）

式中*：*

*Zcom*（0,0）——晶片中心点的中位面坐标；

*Zref3*（0,0）——修正后晶片中心点基准面的指标

9.16记录计算的弯曲度值。

9.17对仲裁或其他测量，晶片被测量次数大于一次时，计算被测晶片在所有测量范围的最大值、最小值、标准偏差、平均值。

9.18记录晶片测量标准偏差和其他测试双方约定的测量数据。

1. 精密度

单个实验室使用四台不同型号的非接触全自动扫描设备，（包含了不同探头尺寸、选择不同参考面以及不同的取样间距和不同的设备精度），对直径200mm，翘曲度分布在12μm -72μm的10片硅片进行了每片3次的重复性测试，同一片在同一基准面的测试标准偏差<1.5μm。使用八台不同型号的非接触全自动扫描设备（包含了不同探头尺寸、选择不同参考面以及不同的取样间距和不同的设备精度），对直径150mm翘曲度在3μm 至14μm，弯曲度在-7μm 至7μm范围的10个硅片进行了每片10次的重复性测试, 同一片在同一基准面的测试标准偏差<1.4μm；对同一硅片在同一基准面下测量的翘曲度最大差值<6μm；测量的翘曲度最大差值<6μm。

使用14片抛光片，在四个企业进行巡回测试，测量时使用不同的典型片和参考片进行校准和修正。翘曲度从5μm到47μm的14个片子，对同一片测量的标准偏差<1.8μm，最大差值<4μm。

使用14片抛光片，在三个企业进行巡回测试，测量时使用不同的典型片和参考片进行校准和修正。弯曲度从1μm到14μm的14个片子，同一片测量的标准偏差<0.3μm，最大差值<0.5μm。

附录B中给出了SEMI MF 1390-0707中的精密度。

1. 报告

试验报告应包含以下内容：

a) 测试日期、时间；

b) 测试环境；

c) 操作者；

d) 测试实验室；

e) 测试设备，包括晶片夹持装置的直径、数据点间距、传感器尺寸、重力修正方法；

f) 测试晶片信息：包括晶片编号、直径、标称厚度、规定的边缘去除区域 EE；

g) 翘曲度和弯曲度测试结果；

h) 如作为仲裁测试，试验报告应包含测试晶片的标准偏差、测量统计信息以及测试双方约定的内容；

i) 本标准编号。

1. （资料性附录）  
   典型片和被测晶片间由于直径和厚度的差异带来的测量误差
   1. 支撑硅片的中心，边缘由于重力下垂或倾斜引起的偏差按公式A.1计算：

……………………………………………(A.1)

式中：

*s*——偏差 ，单位为微米（µm）；

k——几何常数，0.5854；

g——重力加速度(980 cm/s2)；

d——硅片密度(2.329 g/cm3)；

E——杨氏模量，1.6×1012 达因/cm2；

D——硅片标称直径，单位为毫米（mm）；

*t*——硅片标称厚度，单位为微米（µm）；

K——比例常数，7.83 × 10−3 μm3/mm4。

* 1. 表A.1给出了SEMI M1-0812给出的100mm至300mm的标称直径和厚度硅片由于地球引力引入的下垂的估计值。
  2. 100mm～300mm标称直径和厚度硅片的下垂估计值

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 直径，mm | 厚度，µm | 估计下垂值，µm |
| 300 | 775 | 105.6 |
| 200 | 725 | 23.8 |
| 150 | 675 | 8.7 |
| 150 | 625 | 10.1 |
| 125 | 625 | 4.9 |
| 100 | 525 | 2.8 |

表A.2给出了重力影响下直径和厚度的标称值的微小相对变化。从公式A.2可以得到重力引起的直径的变化。从公式A.3可以得到重力引起的厚度的相对变化。  ……………………………………………………(A.2)

……………………………………………………(A.3)

从公式A.4得到：重力效应的相对变化是直径相对变化的4倍，从公式A.5得到重力效应的相对变化是厚度相对变化的2倍。

……………………………………………………(A.4)

……………………………………………………(A.5)

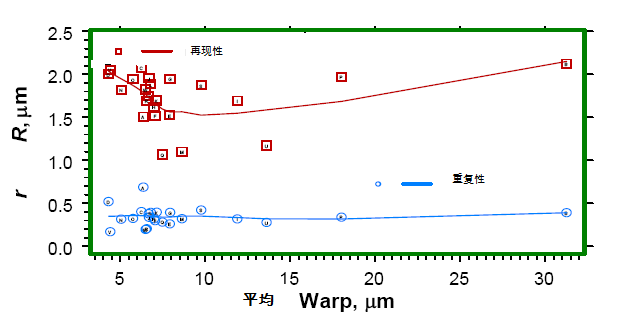
表A.2 给出了最坏情况下，100mm～300mm标称直径硅片的直径和厚度的允许偏差范围内重力效应的误差。

* 1. 重力影响的误差示例

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 300mm直径硅片 | | | | |
| 直径，mm | | 299.8 | 300 | 300.2 |
| 重力引入误差，µm | | | | |
| 厚度  µm | 755 | 3.90 | 5.67 | 5.96 |
| 775 | -1.68 | 0,00 | 0.28 |
| 795 | -6.84 | -5.25 | -4.98 |
| 200mm直径硅片 | | | | |
| 直径，mm | | 199.8 | 200 | 200.2 |
| 重力引入误差，µm | | | | |
| 厚度  µm | 705 | 0.77 | 1.37 | 1.47 |
| 725 | -0.57 | 0,00 | 0.10 |
| 745 | -0.52 | -1.26 | -1.17 |
| 150mm直径硅片 | | | | |
| 直径，mm | | 149.8 | 150 | 150.2 |
| 重力引入误差，µm | | | | |
| 厚度µm | 655 | 0.49 | 0.54 | 0.59 |
| 675 | -0.05 | 0,00 | 0.05 |
| 695 | -0.54 | -0.49 | -0.45 |
| 150m直径硅片 | | | | |
| 直径 mm | | 149.8 | 150 | 150.2 |
| 重力引入误差，µm | | | | |
| 厚度µm | 610 | -0.45 | 0.51 | 0.56 |
| 625 | -0.05 | 0,00 | 0.05 |
| 640 | -0.52 | -0.47 | -0.42 |
| 125mm直径硅片 | | | | |
| 直径，mm | | 124.5 | 125 | 125.5 |
| 重力引入误差，µm | | | | |
| 厚度  µm | 605 | 0.25 | 0.33 | 0.41 |
| 625 | -0.08 | 0.00 | 0.08 |
| 645 | -0.37 | -0.30 | -0.22 |
| 100mm直径硅片 | | | | |
| 直径，mm | | 99.5 | 100 | 100.5 |
| 重力引入误差，µm | | | | |
| 厚度  µm | 505 | 0.17 | 0.23 | 0.29 |
| 525 | -0.06 | 0,00 | 0.06 |
| 545 | -0.26 | -0.20 | -0.15 |

1. （资料性附录）  
   SEMI MF1390-0707给出的精密度
   1. 试验中23个200mm直径的圆形抛光片，是采用三个不同的工艺过程进行加工的，且所有硅片正表面都是裸片，其中两个工艺过程加工的硅片背表面也是裸片，另一个背表面有氧化层。
   2. 上述23个硅片在8个实验室完成翘曲度的测量，硅片的翘曲度测量值范围见表B.1。这23个硅片，每片都在同一天在自动测量系统上使用本方法连续测量了3次（盒对盒3次）。
   3. 所有测量数据都是在边缘去除3mm的要求下获得的。
   4. SEMI MF1390-0707中确定精密度的实验室和样品的最小数目按ASTM E 691的规定进行。
   5. 统计是在95%包含区间范围对同一样品进行两次测量做出的，实验室内部的重复性和实验室之间的再现性见表B.1。
   6. 图B.1包含了相对翘曲度平均值的实验室内部重复性（r）和实验室间再现性（R）的95%包含区间。
   7. 翘曲度测量值范围

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 参数 | | 翘曲度 |
| 平均，µm | 最小值 | 4.30 |
| 最大值 | 31.25 |
| 重复性（r），µm | 最小值 | 0.184 |
| 最大值 | 0.695 |
| 再现性（R），µm | 最小值 | 1.112 |
| 最大值 | 2.097 |



图B.1 翘曲度平均值的重复性、再现性区间

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_