



中华人民共和国国家标准

GB/T 41853—2022/IEC 62047-9:2011

半导体器件 微机电器件 晶圆间键合强度测量

**Semiconductor devices—Micro-electromechanical devices—
Wafer to wafer bonding strength measurement**

**(IEC 62047-9:2011, Semiconductor devices—
Micro-electromechanical devices—Part 9: Wafer
to wafer bonding strength measurement for MEMS, IDT)**

2022-10-12发布

2022-10-12实施

国家市场监督管理总局 发布
国家标准化管理委员会

目 次

前言	III
1 范围.....	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义.....	1
4 测量方法	1
4.1 总则	1
4.2 目测法	1
4.3 拉力测试法	2
4.4 双悬臂梁测试法	4
4.5 静电测试法	6
4.6 气泡测试法	7
4.7 三点弯曲测试法	9
4.8 芯片剪切测试法.....	12
附录A（资料性） 键合强度示例.....	15
附录 B(资料性) 三点弯曲测试法试样的制作工艺示例.....	16
参考文献	17

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。

本文件等同采用IEC 62047-9:2011《半导体器件微机电器件 第9部分：MEMS的晶圆间键合强度测量》。

本文件增加了“术语和定义”一章。

本文件做了下列最小限度的编辑性改动：

- a) 为与现有标准协调，将标准名称改为《半导体器件微机电器件 晶圆间键合强度测量》；
- b) 纳入 IEC 62047-9:2011/COR1:2012的修改内容，所涉及的条款的外侧页边空白位置用垂直双线(II)进行了标示；
- c) 纠正了 IEC 62047-9:2011原文的错误：第2章中ISO 6892-1:2009 和 ASTM E399-06e2:2008在文中是资料性提及，删除ISO 6892-1:2009 和ASTM E399-06e2:2008;在参考文献中增加ISO6892-1:2009 和 ASTM E399-06e2:2008;
- d) 纠正了IEC 62047-9:2011原文的错误：图5和图6中的二维图不能明确标识出试样的宽度，更正为三维图，图6增加单位标注“单位为毫米”。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由全国微机电技术标准化技术委员会(SAC/TC 336)提出并归口。

本文件起草单位：中国电子科技集团公司第十三研究所、河北美泰电子科技有限公司、中机生产力促进中心有限公司、华东光电集成器件研究所、杭州左蓝微电子有限公司、深圳市美思先端电子有限公司、明石创新(烟台)微纳传感技术研究院有限公司、绍兴中芯集成电路制造股份有限公司。

本文件主要起草人：李倩、王伟强、顾枫、李根梓、翟晓飞、何凯旋、田松杰、刘建生、崔波、武斌、汪蔚、高峰、王冲。

半导体器件 微机电器件

晶圆间键合强度测量

1 范围

本文件规定了晶圆键合后键合强度的测量方法，适用于硅-硅共熔键合、硅-玻璃阳极键合等多种晶圆键合方式，以及MEMS 工艺、组装流程中相关结构尺寸的键合强度的评估。

本文件适用于从十微米到几毫米厚的晶圆间的键合强度测量。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；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。

IEC 60749-19 半导体器件 机械和气候试验方法 第19部分：芯片剪切强度(Semiconductor devices —Mechanical and climatic test methods —Part 19:Die shear strength)

3 术语和定义

本文件没有需要界定的术语和定义。

4 测量方法

4.1 总则

键合强度测量方法有：目测法、拉力测试法、双悬臂梁测试法、静电测试法、气泡(气密性)测试法、三点弯曲(形变)测试法，以及芯片剪切测试法。

4.2 目测法

4.2.1 目测法类型

通过观察硅基片和玻璃表面颜色变化，只能判别两种材料是否键合在一起的基本信息。应采用目测法确认是否进行后续的键合强度测试，以及应选择哪个区域进行测试。

应采用光学显微镜观察硅-玻璃和玻璃-玻璃的键合接触面。

应采用红外摄像机观察硅-硅键合接触面是否存在空隙。

注：目测法是一种定性测试方法。

4.2.2 设备

适用的检测设备可能会用到一台或多台，包括：光学显微镜(OM)、扫描声学显微镜(SAM)、扫描电子显微镜(SEM)、透射电子显微镜(TEM)，以及红外摄像机(IR) 或光学摄像机(OR)。

4.2.3 过程

测量空隙面积的步骤如下：

- a) 用红外显微镜或光学显微镜观察空隙；
- b) 用红外摄像机或光学摄像机，或扫描声学显微镜获取空隙的图像；
- c) 用获取的图像测量空隙面积。

4.2.4 测试报告

依据表1“注”用“√”在表1中将观察结果表示出来。

表 1 目测法示例

目测法	观察结果		
	良好	合格	不合格

注：良好——键合完好区域大于95%；合格——键合完好区域大于75%；不合格——键合完好区域小于75%。

4.3 拉力测试法

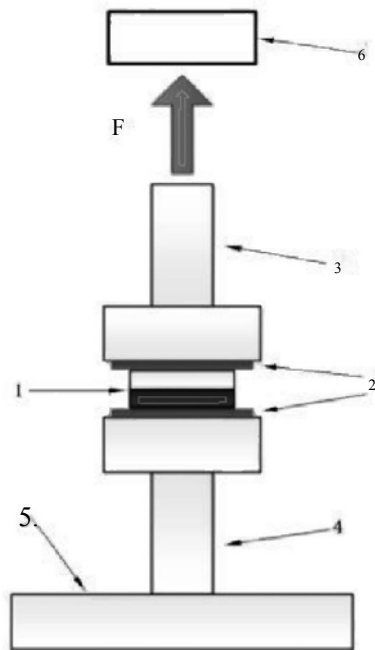
4.3.1 总则

如图1所示，采用常规拉力测试方法测量晶圆键合强度。使用不同方法制备出已键合晶圆后，将晶圆切割成方形试样。切片后测量试样面积(A) 的尺寸。采用合适的黏结剂将试样的正面与背面分别粘到与负载单元相连的上螺柱和下螺柱表面。施加向上的拉力直到发生断裂。如果晶圆间键合强度非常强，断裂通常发生在黏结剂界面。这种情况下不适合采用拉力测试法测试。因此，拉力测试法仅适用于键合强度不太大且可以从键合界面断裂的情况。在拉动过程中，可以测量到随时间变化的施加的力或断裂力(F_s)，如附录A 所示。因此，键合强度可用公式(1)计算。

$$\sigma_c = \frac{F_s}{A} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

- σ_c ——键合解除或断裂发生时的键合强度；
- F_s —— 键合解除或断裂发生时施加的力(断裂力)；
- A ——试样的面积。



标引序号说明:

结构

- 1——受试试样；切成小块的已键合晶圆；
 2——黏结剂；用于和上、下螺柱黏结；
 3——上螺柱；与负载单元连接；
 4——下螺柱；与基座连接；
 5——基座；刚性固定装置。

载荷

- 6——负载单元；可调的拉力输出源；
 F——施加在试样上的拉力。

图 1 键合强度测量——拉力测试法

4.3.2 设备

参照ISO6892-1:2009，宜选用带有测力计或测力单元的拉力检测设备。

4.3.3 过程

观察键合层断裂面的步骤如下。

- 经过硅-硅或硅-玻璃键合后的晶圆，采用切片工艺切割成合适边长的正方形，如5 mm×5 mm或10 mm×10 mm。施加在试样上的最大拉力受负载单元的性能限制。同时，试样的最大尺寸也受负载单元的性能限制。因此，负载单元的精度应等于或小于满量程或读数的1%。
- 用黏结剂将试样与上、下螺柱黏结到一起。在选择黏结剂时宜考虑断裂发生前持续时间久的规格型号。粘结晶圆的侧面不宜使用黏结剂。
- 室温下，将下螺柱固定在装置底座上，将上螺柱与负载单元或应力源相连接，测量试样断裂时的应力。负载单元加载速度介于0.5 mm/min~1.5 mm/min之间。通过断裂时的负载数据，能计算出最大键合强度。负载随时间变化的示例见附录A。
- 断裂后，采用显微镜或扫描电子显微镜观察试样的断裂界面。
- 为确保测试数据的可靠性，应测量至少10只试样。

4.3.4 测试报告

将对应的内容核对后填入表2。

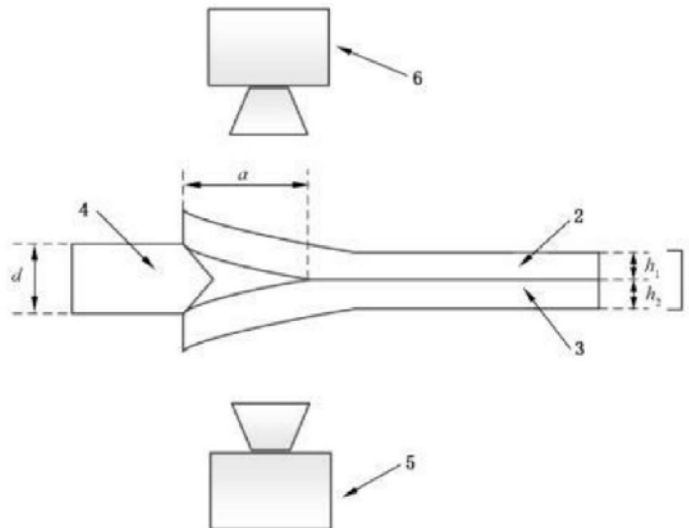
表 2 拉力测试法示例

项目	内容
参考标准	
材料类型(制造方法)	
键合方法	
试样形状和尺寸	
黏结剂(或胶水)类型	
试样数量	
负载单元施加速度	
测量到的断裂力(F ₁)	
受检试样的键合面积(A)	
键合强度(σ ₁)	

4.4 双悬臂梁测试法

4.4.1 总则

如图2所示，楔形开口测试又称作双悬臂梁测试。该方法适合测试硅-硅共熔键合和硅-玻璃阳极键合晶圆。如果被检验的两晶圆间的键合强度太强，测试过程中会经常出现某一层碎裂。这种情况下，双悬臂梁测试法只适合做定性测试，不能做定量测试。



标引序号说明：

结构或观察工具

- 1——受检试样：由晶圆1和2键合形成的小块晶圆；
- 2——晶圆1：与晶圆2相键合；
- 3——晶圆2：与晶圆1相键合；
- 4——楔形刀刃：插入试样分离区的刀刃头；
- 5——红外光源：红外光光源；
- 6——红外摄像机：用来测量试样分离区的裂缝长度。

零件尺寸

- h₁ —— 晶圆1的厚度；
- h₂ —— 晶圆2的厚度；
- a —— 晶圆1和2之间分离区的裂缝长度；
- d —— 楔形刀刃的厚度。

图2键合强度测量——双悬臂梁测试法

裂缝长度是自由负载悬臂梁的应变能和键合面间的键合能能量平衡的结果。因此，该方法中评估键合强度采用临界应变能释放率，而不采用断裂应力。临界应变能释放率按公式(2)计算：

$$G_c = \frac{3}{8} \times \frac{E_1 E_2 h_1^3 h_2^3}{(E_1 h_1^3 + E_2 h_2^3)} \frac{d^2}{a^4} \dots\dots\dots(2)$$

式中：

G_c ——临界应变能释放率(界面断裂韧度)；

E₁, E₂ ——晶圆1和晶圆2的弹性系数；

h₁、h₂ ——晶圆1和晶圆2的厚度；

d ——楔形刀刃的厚度；

a ——裂缝长度。

当E₁ =E₂ 且 h₁ =h₂ 时，公式(2)为：

$$G_c = \frac{3}{16} \times \frac{E_1 h^3 d^2}{a^4} \dots\dots\dots(3)$$

当h₁ <h₂ 时，公式(2)为：

$$G_c = \frac{3}{8} \times \frac{E_1 h_1^3 d^2}{a^4} \dots\dots\dots(4)$$

4.4.2 设备

试验宜使用楔形刀刃和试样固定装置。

推荐使用厚度为30 μm~200 μm的刀刃。

4.4.3 过程

双悬臂梁测试的步骤如下。

- a) 经过硅-硅或硅-玻璃键合后的晶圆，利用切片工艺切割成狭长的条状试样，保证试样至少有一端是晶圆的边缘。同时，条状试样的宽度宜小于刀刃的宽度。
- b) 将试样放入固定装置中。
- c) 利用键合晶圆边缘的层间隙，将刀刃插入条形试样的一端。
- d) 使用光学或红外摄像机，或扫描声学显微镜测量裂缝长度。
- e) 用公式(2)计算晶圆键合界面间的临界应变能释放率。
- f) 为确保测试数据的可靠性，应测量至少10只试样。

4.4.4 测试报告

将对应的内容填入表3, 然后通过公式(2)、公式(3)或公式(4)计算出G_c，并填入表3中。

表3双悬臂梁测试法示例

项目	内容
试样形状	
试样固定的方法	
刀刃的插入速度(选填)	
试样数量	
裂缝长度(a)	
刀刃厚度(d)	

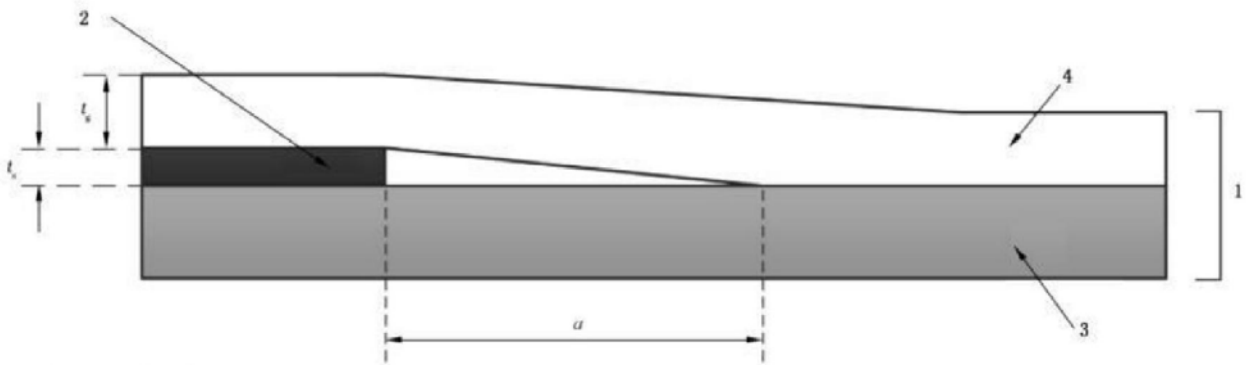
表 3 双悬臂梁测试法示例(续)

项目	内容
晶圆1的材料	
晶圆2的材料	
晶圆1的厚度 (h_1)	
晶圆2的厚度 (h_2)	
晶圆1的弹性系数 (E)	
晶圆2的弹性系数 (E_2)	
临界应变能释放率 (G_c)	

4.5 静电测试法

4.5.1 总则

如图3所示，玻璃晶圆和表面制作了SiO₂ 图形层的硅晶圆完成了阳极键合。晶圆的厚度通常为 50 μm~1 mm。硅晶圆上SiO₂ 图形层周围的键合强度决定了该晶圆上未键合区域的长度，通过测量 该长度，可以比较阳极键合晶圆间的键合强度。这种方法不仅方便使用，并且可以对比出键合强度的质量高低。静电测试在室温下进行。适合测量尺寸介于25.4 mm~203.2 mm(1 in~8 in)的晶圆级试样 或面积介于1 cm²~4 cm²的芯片级试样。该方法能用于测量其他键合方式的晶圆间键合强度，但考虑到试样未键合区域长度的观测困难性，该方法最好只用于测量硅-玻璃阳极键合晶圆。



标引序号说明:

结构或试样

- 1——受试试样由玻璃晶圆和表面有SiO₂ 图形层的硅晶圆;
- 2——SiO₂ : 硅晶圆与玻璃晶圆间的SiO₂ 图形层;
- 3——Si: 硅衬底层横截面上观察到的未键合区长度;
- 4——玻璃: 与硅和SiO₂ 进行阳极键合的玻璃晶圆层。

样本尺寸

- tg——玻璃晶圆的厚度;
- ts——硅晶圆的厚度;
- a——未键合区的长度。

图 3 晶圆键合强度测量——静电测试法

4.5.2 设备

应使用阳极键合机进行测试。阳极键合机一般由真空腔室，夹持上、下晶圆的托盘，实现上、下晶圆键合预紧的加压单元，提供负电场的电气系统，提供含有正离子的晶圆(如含 Na⁺的玻璃片)，以及工艺过程中保持温度恒定的加热器组成。

4.5.3 过程

测量未键合区域长度的步骤如下。

- a) 为了制作试样，需要将制作了SiO₂ 图形的硅晶圆和玻璃晶圆进行阳极键合。SiO₂ 层的厚度大于1 μm。阳极键合是一种把硅晶圆和含有碱性离子的玻璃晶圆结合在一起的工艺。该工艺在200℃~500℃在真空、空气或惰性气体环境中进行。上、下两晶圆间施加500 V~1500 V电压，玻璃晶圆处于负电势，引起了玻璃晶圆中的可动阳离子(主要是Na⁺)通过硅-玻璃界面向阳极迁移，在玻璃晶圆中留下了固定的负电荷。当离子电流消失后，标志着所有的可移动阳离子到达了阴极，意味着键合工艺已完成。玻璃晶圆中固定不动的负电荷与硅晶圆中等量的正电荷所产生的静电吸引作用，使得两个晶圆键合在一起，并促进硅-玻璃界面形成化学键连接。通过阳极键合工艺制作出的试样，如图3所示。
- b) 使用光学显微镜或SEM(扫描电子显微镜)观察试样的横截面，测量其未键合区域的长度。
- c) 为确保测试数据的可靠性，应测量至少10只试样。

4.5.4 测试报告

将对应的内容填入表4。静电测试法只是一种定性分析方法，而不是准确的定量分析方法，通常仅用于快速而简单的对比晶圆键合强度。

表 4 静电测试法示例

项目	内容
晶圆键合温度	
外加电压	
外加电压的持续时间	
加热与冷却速率	
SiO ₂ 层的厚度	
SiO ₂ 层的图形(点或线)	
键合试样的形状	
测试环境的温度与湿度	
玻璃晶圆的材料	
玻璃晶圆的弹性系数(E)	
玻璃晶圆的厚度(t _g)	
硅晶圆的厚度(t _s)	
未键合区域的长度(a)	

4.6 气泡测试法

4.6.1 总则

当晶圆键合强度很高时，用拉力测试法或双悬臂梁测试法难以测量，适用气泡测试法。拉力测试中，存在着过高的键合强度会导致试样与黏结剂剥离。双悬臂梁测试中，存在着过高的键合强度可能导致键合界面尚未解除就出现某一晶圆层被破坏的情况，从而无法进一步测试。气泡测试法能降低上述

问题的发生几率。只要能制备试样，气泡测试法可用于任意键合方式的晶圆间键合强度测量。

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/395201232221011242>