

# T/ZJBDT

## 团 体 标 准

T/ZJBDT 0XX—2025

### 蓝宝石基钽酸锂键合晶圆技术要求

Technical requirements for sapphire-based lithium tantalate bonded wafers

## 目 次

前言 .....	II
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
4 产品分类与形状 .....	错误! 未定义书签。
5 基本要求 .....	2
6 技术要求 .....	2
7 试验方法 .....	3
8 检验规则 .....	4
9 标志、包装、运输及贮存 .....	5
10 附录 .....	6

## 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。

### 专利声明：

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这些专利的责任。使用者应自行确认并遵守相关专利法律法规。

本文件由浙江省半导体行业协会提出并归口。

本文件起草单位：天通瑞宏科技有限公司、天通凯巨科技有限公司、合肥芯谷微电子股份有限公司、青禾晶圆（天津）半导体材料有限公司、成都芯仕成微电子有限公司。

本文件主要起草人：朱德进、归欢焕、沈君尧、许佳辉、陆斌杰、徐秋峰、黄军恒、谭向虎、帅垚。

本文件评审专家组长：

# 蓝宝石基钽酸锂键合晶圆技术要求

## 1 范围

本文件规定了蓝宝石基钽酸锂键合晶圆（以下简称键合晶圆）的产品分类和形状，基本要求，技术要求，试验方法，检验规则，标志、包装、运输及贮存以及附录等。

本文件适用于4英寸、6英寸的蓝宝石基钽酸锂键合晶圆。

## 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，标注日期的引用文件，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。

GB 50073—2013 洁净厂房设计规范

GB/T 191—2008 包装储运图示标志

GB/T 29505-2013 《硅片平坦表面的表面粗糙度测量方法》

GB/T 30857-2014 《蓝宝石衬底片厚度及厚度变化测试方法》

GB/T 31352-2014 《蓝宝石衬底片翘曲度测试方法》

GB/T 41853-2022 《半导体器件 微机电器件 晶圆间键合强度测量》

SEMI MF1390 - Test Method for Measuring Warp on Silicon Wafers

SEMI MF1530-2021 Test Method for Measuring Flatness, Thickness, and Thickness Variation on Silicon Wafers by Automated Non-Contact Scanning

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1 蓝宝石基钽酸锂键合晶圆

蓝宝石基钽酸锂键合晶圆是一种通过特定工艺将钽酸锂（ $\text{LiTaO}_3$ ）晶圆与蓝宝石（ $\text{Al}_2\text{O}_3$ ）衬底结合形成的复合晶圆材料。

### 3.2 键合强度

表征键合界面结合力的物理量，单位为焦耳每平方米（ $\text{J}/\text{m}^2$ ）。

### 3.3 总厚度偏差（TTV）

晶圆总厚度变化，单位为微米（ $\mu\text{m}$ ）。

### 3.4 表面粗糙度（Ra）

晶圆表面轮廓的算术平均偏差，单位为纳米（ $\text{nm}$ ）。

### 3.5 翘曲度（WARP）

晶圆表面与理想平面的最大垂直偏差，单位为微米（ $\mu\text{m}$ ）。

## 4 产品分类和形状

#### 4.1 产品分类

按产品尺寸分类：

A类：4英寸蓝宝石基钽酸锂键合晶圆（公差 $\pm 0.5\text{mm}$ ），圆形，对称结构

B类：6英寸蓝宝石基钽酸锂键合晶圆（公差 $\pm 0.5\text{mm}$ ），圆形，对称结构

按应用场景分类：

A类：声表面波滤波器

B类：高温传感器

C类：加速度传感器

D类：光电与激光器件

#### 4.2 产品形状

产品形状如图1所示，其中A面为上层压电层，B面为下层支撑层，d为产品直径，h为产品厚度。

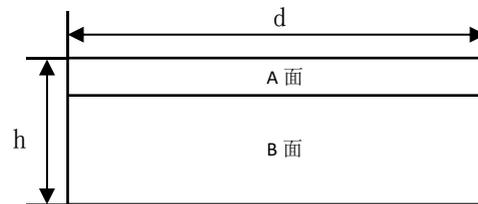


图1 产品示意图

### 5 基本要求

#### 5.1 原材料

5.1.1 A面为压电层，应选用钽酸锂晶圆，厚度为 $200\mu\text{m} \sim 500\mu\text{m}$ ，直径为4寸或6寸。

5.1.2 B面为支撑层，应选用蓝宝石晶圆，厚度为 $300\mu\text{m} \sim 1000\mu\text{m}$ ，直径为4寸或6寸。

#### 5.2 工艺装备

5.2.1 应具备全流程无尘净化车间，符合GB 50073-2013 洁净厂房设计规范，其中键合车间洁净度等级要求达到100级（ISO 5级），减薄工艺车间环境要求恒温恒湿。

5.2.2 应具备键合机、减薄机、露台倒角机、片刷机、化学机械抛光机等自动化设备。

#### 5.3 检验检测

5.3.1 应具备外观检验、总厚度偏差测试、翘曲度测试、键合强度测试、表面粗糙度测试等项目的检验能力。

5.3.2 应配备测量激光显微镜、红外显微镜、轮廓分析仪、光学膜厚测试仪、原子力显微镜、平坦度测试仪等检测设备。

原子力显微镜（AFM）：分辨率 $\leq 0.1\text{nm}$

红外显微镜：波长范围 $780\text{nm} \sim 1100\text{nm}$

### 6 技术要求

#### 6.1 外观

键合晶圆外表面应当无污垢、无缺陷、无损坏。

表面无裂纹、划痕、气泡，缺陷尺寸 $\leq 50\mu\text{m}$ 。

键合界面无空洞（直径 $>10\mu\text{m}$ 的空洞密度 $\leq 1$ 个/ $\text{cm}^2$ ）。

## 6.2 总厚度偏差

复合晶圆总厚度变化（TTV）按 SEMI MF1530-2021 方法测量，其中

A 面钽酸锂层总厚度偏差（TTV） $\leq 1\mu\text{m}$ （4 英寸） /  $\leq 1.5\mu\text{m}$ （6 英寸）。

B 面蓝宝石层总厚度偏差（TTV） $\leq 1\mu\text{m}$ （4 英寸） /  $\leq 1.5\mu\text{m}$ （6 英寸）。

## 6.3 翘曲度

晶圆翘曲度（Warp）按 SEMI MF1390 方法测量，整体翘曲度(WARP) $\leq 100\mu\text{m}$ （4 英寸） /  $\leq 150\mu\text{m}$ （6 英寸）。

## 6.4 键合强度

4 英寸键合强度 $\geq 1.5 \text{ J/m}^2$ 。

6 英寸键合强度 $\geq 1.5 \text{ J/m}^2$ 。

按 GB/T 41853-2022 中双悬臂梁测试法进行，使用楔形刀刃、试样固定装置及光学/红外检测设备。加载速率 1mm/min，测试点 $\geq 5$  个，要求所有测试点键合强度均达标。

## 6.5 表面粗糙度

键合晶圆 A 面经化学机械抛光后表面粗糙度(Ra)  $< 0.2\text{nm}$ 。

## 6.6 热循环可靠性

测试条件： $-40^\circ\text{C} \sim 125^\circ\text{C}$ ，停留时间 30 分钟，循环 1000 次。

合格判定：热循环后键合强度衰减 $\leq 15\%$

## 7 试验方法

### 7.1 外观检验

应在自然光照（或工厂照明）、10 倍至 20 倍的放大条件下进行目检。

### 7.2 总厚度偏差测试

按 GB/T 30857-2014 的 4.2 扫描式测量的规定进行。

### 7.3 翘曲度测试

按 GB/T 31352-2014 的 4.3 白光干涉式的规定进行，测试区域为全表面扫描。

### 7.4 键合强度测试

按 GB/T 41853-2022 中 4.4 双悬臂梁测试法的规定进行。

### 7.5 表面粗糙度测试

按 GB/T 29505-2013 的第 7 节粗糙度测量步骤规定对 A 面（钽酸锂表面化学机械抛光后）进行测试，

## 8 检验规则

### 8.1 检验分类

分为出厂检验和型式检验。检验项目见表 1。

表1 检验项目

序号	检验项目	技术要求	试验方法	出厂检验	型式检验
1	外观检验	6.1	7.1	√	√
2	总厚度偏差	6.2	7.2	√	√
3	翘曲度	6.3	7.3	√	√
4	键合强度	6.4	7.4	-	√
5	表面粗糙度	6.5	7.5	-	√

注：“√”为应检验的项目，“-”为不必检验的项目。

### 8.2 出厂检验

每批出厂产品应根据出厂检验的项目进行全部检验，经检验合格后方可出厂，不合格品返工或报废。

### 8.3 型式检验

8.3.1 有下列情况（包含但不限于）之一时，应进行型式试验。

- 新产品或老产品转厂生产的试制定型鉴定；
- 原材料、工艺有较大改变可能影响产品的质量；
- 产品停产半年以上，恢复生产时；
- 出厂检验结果与上次型式检验有较大差异时；
- 正式生产时，定期或积累一定产量后，应按自然年进行一次检验。

8.3.2 型式检验从出厂检验合格的产品中随机抽取，型式试验的样品数量，应符合表 2 的规定。

表 2 型式试验项目样品数要求

序号	试验项目	样品数 (片)	允许不合格数
1	外观检验	3	0
2	总厚度偏差	3	0
3	翘曲度	3	0
4	键合强度	3	0
5	表面粗糙度	3	0

8.3.3 若全部检验合格，则判定型式检验合格；若有一个样品不合格，则判定型式检验不合格。

## 9 标志、包装、运输及贮存

### 9.1 标志

产品标识应包括型号、规格、生产日期、批号等信息。

### 9.2 包装

采用防静电真空包装（GB/T 191-2008），内外包装应防潮、抗震，标识清晰。

### 9.3 运输

产品采用防震包装：内层泡沫+外层防静电膜，跌落高度 $\leq 0.5\text{m}$ ，应使用无强烈震动的交通工具运输，避免碰撞和挤压。

### 9.4 贮存

建议每日监控贮存温湿度，防止存储条件波动导致材料特性变化。推荐的贮存条件：

- a) 温度： $20 \pm 5$  °C；
- b) 相对湿度： $\leq 60\%$ ；
- c) 贮存期限：12 个月。

附录：

## 蓝宝石基钽酸锂键合晶圆典型不良分析

### 1. 空洞的定义

定义：键合界面中直径 $\geq 10\mu\text{m}$ 的气隙或孔洞，可能分布于键合层局部或大面积区域。

### 2. 空洞形成的主要原因

#### 2.1 材料因素

##### 2.1.1 表面污染：

有机残留：键合前未彻底去除钽酸锂或蓝宝石表面的油脂、指纹或光刻胶残留导致界面结合力下降。

颗粒污染：环境中的粉尘或工艺设备引入的微粒（如抛光液残留）阻碍键合界面接触。

表面粗糙度超标：

若A面（钽酸锂层） $R_a > 0.2\text{nm}$ ，凹凸不平的表面难以实现紧密贴合，易残留空洞。

#### 2.2 工艺因素

键合工艺参数异常：

温度/压力不当：键合温度过低或压力不足时，界面原子扩散不充分；过高则可能引发材料氧化或晶格变形，界面产生微裂纹。

等离子体活化不足：若键合前未有效进行等离子体处理（如Ar/O<sub>2</sub>混合气体刻蚀），界面润湿性差。

对位精度偏差：

键合时钽酸锂与蓝宝石晶圆位置偏移，导致局部应力集中或间隙产生。

减薄工艺缺陷：

钽酸锂层减薄不均匀（TTV $> 1\mu\text{m}$ ），厚薄交界处易形成应力集中区，诱发空洞。

#### 2.3 环境与设备因素

洁净度不足：

键合车间洁净度未达100级（ISO 5），悬浮颗粒附着于界面。

设备异常：

键合机腔体内的真空度不足或气体残留（如氧气、水蒸气）导致界面氧化或吸附气体。

#### 2.4 设计因素

晶圆尺寸效应：

6英寸晶圆因直径更大，热应力和机械应力分布不均，空洞发生率较4英寸更高（尤其在边缘区域）。

键合层结构设计缺陷：

若钽酸锂层过厚（ $> 500\mu\text{m}$ ）或蓝宝石层过薄（ $< 300\mu\text{m}$ ），键合界面承受的剪切力增大，空洞更易形成。

### 3. 典型（设备）异常分析

案例 1：等离子体活化不足导致的空洞

现象：键合界面出现随机分布的微米级空洞（直径  $10\sim 50\mu\text{m}$ ）。

原因：等离子体处理功率不足，未有效去除表面氧化层和污染物，导致键合时界面结合不充分。

改进措施：优化等离子体处理参数（如功率、气体比例、时间），增加表面能检测环节。

案例 2：减薄工艺引起的空洞聚集

现象：钽酸锂层边缘区域出现密集空洞（密度  $>1$  个/ $\text{cm}^2$ ）。

原因：减薄过程中边缘区域磨削速率不均，导致局部应力集中，键合时材料反弹形成空洞。

改进措施：采用 CMP（化学机械抛光）替代部分机械减薄，优化边缘保护工艺。

### 4. 检测与预防方法

#### 4.1 检测手段

非破坏性检测：

X 射线检测，用于快速筛查键合界面空洞（灵敏度  $\geq 10\mu\text{m}$ ）。

超声扫描显微镜（C-SAM），通过反射模式识别空洞位置和深度。

破坏性检测：

截面 SEM 观察，分析空洞形貌及与材料缺陷的关联性。

#### 4.2 预防措施

材料控制：

选用表面粗糙度  $R_a < 0.2\text{nm}$  的钽酸锂和蓝宝石晶圆。

增加原材料入库前的清洁度检测（如颗粒计数、有机物残留测试）。

工艺优化：

建立键合工艺窗口（如温度  $\pm 2^\circ\text{C}$ 、压力  $\pm 5\%$ ），定期校准设备参数。

引入在线监测系统（如红外热成像）实时监控键合界面状态。

环境管控：

键合车间维持恒温恒湿（温度  $22\pm 1^\circ\text{C}$ ，湿度  $55\pm 3\%$ ），安装高效空气过滤系统（HEPA）。

### 5. 结论

空洞是蓝宝石基钽酸锂键合晶圆的典型不良，需从材料、工艺、设备和环境多维度协同控制。通过优化等离子体活化工艺、引入 CMP 抛光技术、升级检测设备，可将空洞密度控制在  $\leq 1$  个/ $\text{cm}^2$ （直径  $> 10\mu\text{m}$ ），满足 GB/T 41853-2022 的可靠性要求，并符合 SEMI MF1530-2021 对键合界面质量的推荐标准。