

# 采用 Sn 中介层的覆 Al 薄膜硅片键合技术研究

朱智源<sup>1</sup> 于民<sup>1,†</sup> 胡安琪<sup>1</sup> 王少南<sup>1</sup> 缪旻<sup>1,2</sup> 陈兢<sup>1</sup> 金玉丰<sup>1</sup>

1. 北京大学微米/纳米加工技术国家级重点实验室, 北京 100871; 2. 北京信息科技大学信息微系统研究所, 北京 100101; † 通信作者, E-mail: yum@pku.edu.cn

**摘要** 研究采用 Sn 作为中间层键合覆盖 Al 薄膜的硅片。相对于 Al-Al 直接热压键合, 该系统能提供低温、低压、快速的圆片级键合方案。采用直径为 100 mm 硅片, 溅射一层 500 nm 厚度的 Al 层后, 在 N<sub>2</sub> 气氛下进行 450°C, 30 分钟退火, 采用 Ar 等离子体清洗后, 溅射一层 500 nm 厚度的 Sn 层。将硅片金属面紧贴在一起放入键合机中键合, 在真空中进行。键合时间为 3 分钟条件下, 得到平均剪切强度为 9.9 MPa, 随着键合时间增加, 剪切强度显著降低。

**关键词** 圆片级键合; 低温; 低压; 剪切强度

**中图分类号** TN305

## Investigations of Aluminum-Coated Silicon Wafer Bonding Using Tin as Intermediate Layer

ZHU Zhiyuan<sup>1</sup>, YU Min<sup>1,†</sup>, HU Anqi<sup>1</sup>, WANG Shaonan<sup>1</sup>, MIAO Min<sup>1,2</sup>, Chen Jing<sup>1</sup>, JIN Yufeng<sup>1</sup>

1. National Key Laboratory of Nano/Micro Fabrication Technology, Peking University, Beijing, 100871;  
2. Institute of Information Microsystem, Beijing Information Science & Technology University, Beijing 100101;  
† Corresponding author, E-mail: yum@pku.edu.cn

**Abstract** A method using tin as intermediate layer to bond aluminum-coated silicon wafers is researched. Compared with Al-Al direct thermo-compression bonding method, it provides a low temperature, low pressure and rapid wafer-bonding solution. The authors use 4-inch (100 mm) silicon wafers for the bonding experiment. A 500 nm-thick Al layer is sputtered onto the wafers. The wafers are then annealed in N<sub>2</sub> ambient at 450°C for 30 minutes. Next, in situ Ar plasma sputter cleaning is performed followed by a 500 nm-thick tin layer deposition onto the aluminum layer. After that, the wafer pairs are loaded into a vacuum bonder. Average shear strength of 9.9 MPa is achieved after bonding for 3 minutes. With the increase of bonding time, the shear strength decreases significantly.

**Key words** wafer-level bonding; low temperature; low pressure; shear strength

硅片键合技术在微电子机械领域中有重要的应用, 可实现三维微结构的加工以及封装功能<sup>[1-5]</sup>。利用金属中介层键合硅片不仅可以实现通常意义上的器件集成和封装, 还可以实现不同级别的电互联和热传导, 因此逐渐成为重要研究方向。

金属 Al 由于具备较高的电导率和热导率, 与硅、二氧化硅的附着性较好, 易于淀积和刻蚀等优点, 被广泛应用于集成电路的各类互连制程中。

覆 Al 薄膜的硅片键合分为直接键合<sup>[6-7]</sup>和间接键合<sup>[8-10]</sup>。直接键合需要施加很大的压强、较高的温度和较长的键合时间, 使 Al 表面的自然氧化层破裂, 实现 Al 与 Al 的相互接触扩散, 从而实现键合。高温键合工艺容易引起较大的热应力, 诱发材料缺陷, 导致器件掺杂界面的扩散。与此同时, 较大的键合压强也容易导致硅片上集成器件的失效。

本文采用低熔点的金属 Sn 作为中介层键合覆

盖 Al 薄膜的硅片, 研究不同键合时间对键合结果的影响。在键合时间为 3 分钟条件下, 平均剪切强度达到 9.9 MPa。横截面分析结果表明实现了一种界面形态好、缺陷少的键合。该种键合方案有望在三维异质集成、功率器件和光导器件中获得应用。

## 1 键合实验

### 1.1 实验设计

硅片的金属化与键合结构设计如图 1 所示。实验采用 4 寸、N 型、单抛、(100)单晶硅晶圆, 厚度为 525  $\mu\text{m}$ 。首先, 在硅片上溅射 500 nm 的 Al 层, 在 450 $^{\circ}\text{C}$ , 30 分钟的条件下进行退火, 采用 Ar 等离子体清洗后, 溅射一层 500 nm 厚度的 Sn 层, 完成键合硅片的制备。

采用 EVG 公司的 EVG 501 键合机进行圆片键合。经过表面清洗后, 将硅片金属面紧密叠放在一起送入键合机进行键合。键合在真空环境中进行, 以防止金属层在键合过程中被氧化。表 1 为实验设计 1~3 的键合参数。

### 1.2 样品制备

如图 2 所示, 我们采用一种双面划片方法来切

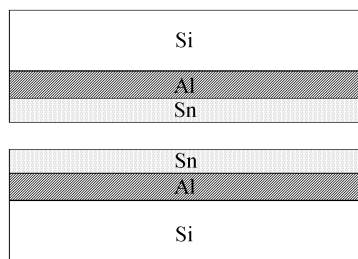


图 1 硅片的金属化与键合结构

Fig. 1 Schematic of the metallization and bonding structure

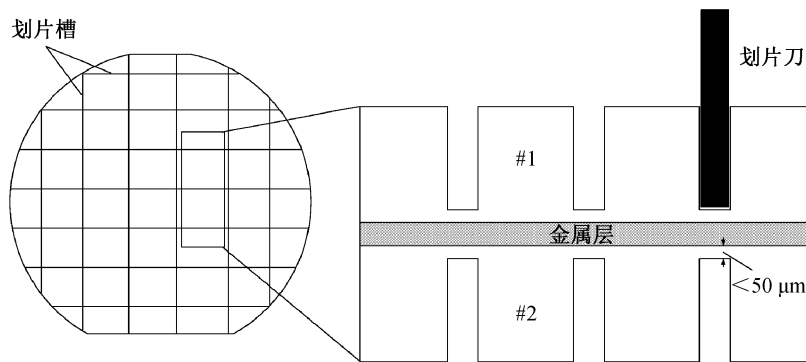


图 2 双面划片方法

Fig. 2 Schematic of double-sided dicing technique

表 1 键合参数

Table 1 Bonding conditions

实验设计编号	键合温度/ $^{\circ}\text{C}$	键合时间/min	键合压强/MPa
1	280	3	0.25
2	280	20	0.25
3	280	50	0.25

割键合晶圆, 其工艺步骤如下: 1) 固定键合晶圆于划片台上, 用划片刀切割 #1 硅片; 2) 将键合晶圆翻转, 重新固定, 用划片刀切割 #2 硅片, 两次划片的划片槽务必对准, 并且控制划片深度以确保划片刀不会切割到金属键合层; 3) 手工裂片。相比于传统划片方法, 该种双面划片方法具有键合金属层损伤小、划片刀磨损低等优点。

采用研磨和抛光来制备 SEM 观测截面。图 3 为研磨抛光前后键合小片截面 SEM 图片对比。如图 3 所示, 划片刀的最深切割线与金属层的距离分别为 48 和 14  $\mu\text{m}$ 。

## 2 测试结果与分析

### 2.1 键合金属层横截面形态分析

图 4 为实验设计 1 的键合横截面的微观结构。可以看出, 键合层由硅基底、Al 层和 Sn 层组成。在 Sn 层中未观测到过渡区域和空隙等缺陷。由此可知, 键合过程中, Sn 受热融化后, 在键合压力的作用下, 上下两个硅片上的 Sn 层较好地融合在一起, 形成一种界面形态好、缺陷少的键合界面。

### 2.2 剪切强度测试

剪切强度是键合强度的重要指标, 表征抵抗平行于键合界面应力作用的能力。如图 5 所示, 采用 Dage 4000 推拉力测试机对键合小片进行键合强度

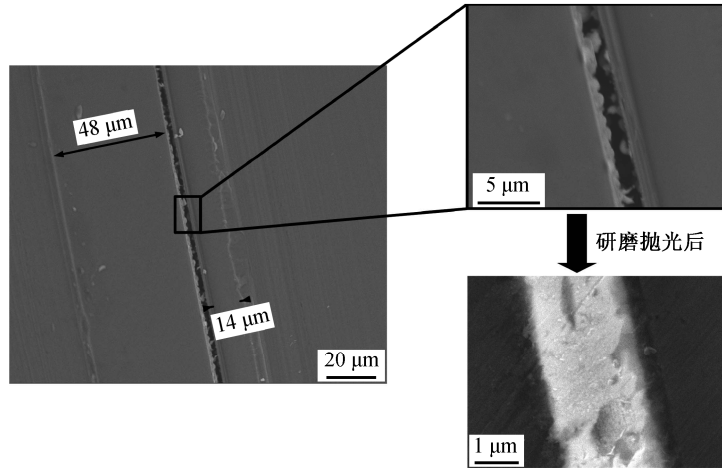


图 3 研磨抛光前后键合小片截面 SEM 图对比

Fig. 3 Cross-sectional SEM images of the diced sample before and after grinding and polishing

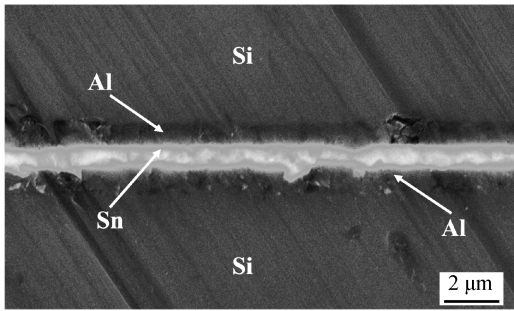


图 4 设计 1 的截面 SEM 照片

Fig. 4 Cross-sectional SEM image of bonding design 1

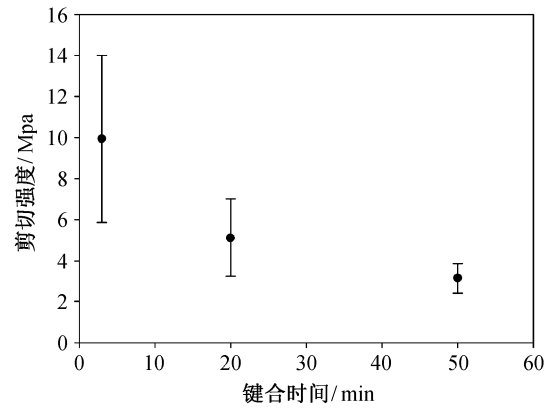


图 6 剪切强度随键合时间关系

Fig. 6 Shear strength dependence of bonding time

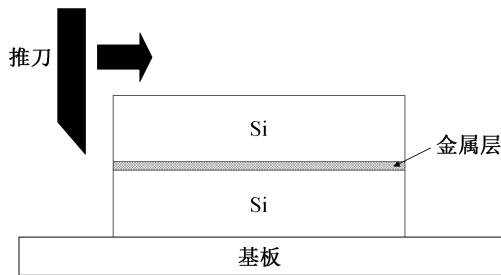


图 5 剪切强度测试示意图

Fig. 5 Schematic of shear test configuration

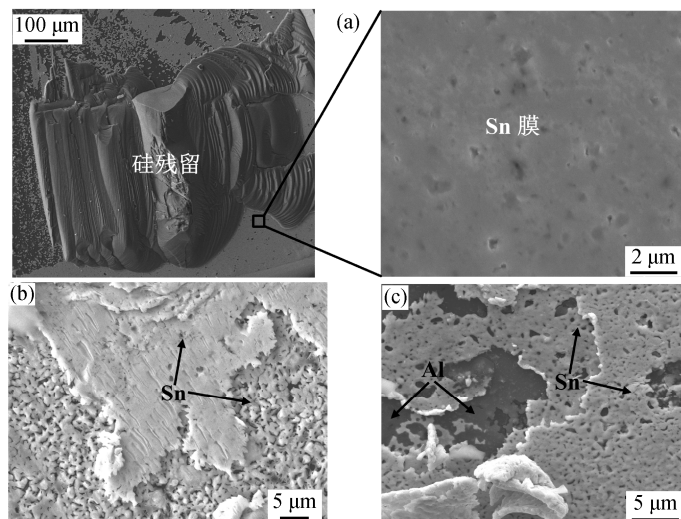
测试。将键合小片固定在夹具上, 采用推刀横向推上层键合芯片直到其失效, 根据失效力大小和样品面积计算剪切强度。

图 6 为不同键合条件下剪切强度的测试结果。可以看出, 随着键合时间增加, 剪切强度显著减小。在键合时间为 3 分钟条件下, 得到平均剪切强度为 9.9 MPa。

### 2.3 剪切失效表面分析

图 7 为剪切力测试后失效表面的 SEM 照片。在设计 1 键合小片失效表面上观测到大块的硅残留, 这是在剪切力测试过程中从另一硅片上撕扯得来, 说明在某些地方的键合强度已经超出体硅强度。在设计 2 和设计 3 的键合小片失效表面上未观测到硅残留。

本实验中, 键合温度为 280°C, 当 Sn 在 231°C 融化后, 液态的 Sn 在覆盖有 Al 层的硅片之间流动。由图 7 可知。当随着键合时间增加, Sn 膜呈现孔状化的形态。键合时间为 3 分钟时, 键合层中 Sn 膜的孔洞化不明显, 有效键合面积较大, 键合强度较高。当键合时间增加时, 键合界面 Sn 膜的孔洞较多, Sn 膜逐渐丧失连接上下两个覆盖金属 Al 硅片的能力, 键合强度显著变小。



(a)~(c)对应键合结构设计 1~3

图 7 剪切力测试后失效表面 SEM 照片

Fig. 7 SEM images of the fracture surface after the shear test

导致孔洞出现的原因是，键合时硅片金属面紧密地结合在一起，当温度超过 231℃时，Sn 层开始融化，在键合压力下，Sn 表面氧化层破裂，上下两个硅片上的 Sn 层较好地融合在一起，液体 Sn 层在覆盖有 Al 膜的硅片之间流动。当键合时间变长时，Sn 膜出现孔状化趋势，导致键合强度下降。不同键合时间会导致不同形态的 Sn 膜形态，形成不同的键合层结构。

### 3 结论

本文对采用 Sn 中介层键合覆 Al 硅片键合系统进行研究，分析键合时间对于键合质量的影响。实验结果表明，键合时间为 3 分钟条件下，平均剪切强度达到 9.9 Mpa，随着键合时间增加，键合强度显著减小。键合完成后，采用一种双面划片的方法将键合晶圆切割为小片。表面分析表明，随着键合时间增加，Sn 膜呈现孔状化的形态。

#### 参考文献

[1] 张小英, 陈松岩, 赖虹凯, 等. 利用金属过渡层低温键合硅晶片. 半导体学报, 2007, 28(2): 213-216  
 [2] Pana C T, Cheng P J, Chen M F, et al. Intermediate wafer level bonding and interface behavior. Microelectronics Reliability, 2005, 45: 657-663  
 [3] Chen K N, Fan A, Tan C S, et al. Bonding parameters of blanket copper wafer bonding. Journal of Electronic Materials, 2006, 35(2): 230-234

[4] Jing E R, Xiong B, Wang Y L. Low-temperature Au-Si wafer bonding. Journal of Micromechanics and Microengineering, 2010, 20(9): 095014  
 [5] Chen M X, Liu W M, Xi Y Y. Wafer level bonding using localized radio-frequency induction heating. Science China, F: Technological Sciences, 2010, 53(5): 1252-1257  
 [6] Yun C H, Martin J R, Tarvin E B, et al. AL to AL wafer bonding for MEMS encapsulation and 3-D interconnect // Proceeding of IEEE 21st International Conference on Micro Electro Mechanical Systems. Tucson, 2008: 810-813  
 [7] Froemel J, Baum M, Wiemer M, et al. Investigations of thermocompression bonding with thin metal layers // Proceeding of 16th International Solid-State Sensors, Actuators and Microsystems Conference. Beijing, 2011: 990-993  
 [8] Chang J Y, Lin L W. MEMS packaging technologies & applications // Proceeding of International Symposium on VLSI Design Automation and Test. Hsin Chu, 2010: 126-129  
 [9] Zhu Z Y, Yu M, Zhu Y W, et al. Low temperature Al based wafer bonding using Sn as intermediate layer // Proceeding of 13th International Conference on Electronic Packaging Technology & High Density Packaging. Guilin, 2012: 127-131  
 [10] Zhu Z Y, Yu M, Tian D Y, et al. Aluminum-coated silicon wafer bonding with tin intermediate layer. Journal of Micro/Nanolithography, MEMS, and MOEMS, 2013, 12(1): 013012