

表面活性技术在金-金热压键合中应用研究

王丽萍

(河北工业大学工程训练中心 天津 300401)

摘要: MEMS 技术的不断发展对表面具有图形化的键合工艺提出了很大挑战, 金-金热压键合由于具有更强的键合力和更优良的密封性而被广泛应用。本文对金-金热压键合前表面进行处理, 通过实验结果进行分析, 表面活性处理可以提高金金键合的效果, 又可以降低成本提升产能, 从而为表面活性技术应用金-金热压键合产业化提供一种途径。

关键词: 金-金热压键合; 表面活性; 热处理; 等离子体

0 引言

晶圆表面的洁净度、压强、温度和时间是影响键合的主要因素, 温度的升高、压强的增大和时间的延长都能提高键合质量, 但是同样会对器件和键合机台提出更高的要求, 甚至有些过高的工艺参数可能会对器件造成损伤, 所以键合前对晶片进行有效的处理使之提升金表面活性, 进而提升键合质量成为提高图形化金金键合技术的关键。

键合工艺是 MEMS (微机电系统) 器件的制作、组装和封装的关键性技术之一, 随着 MEMS 技术的发展, 越来越多的图形化键合向着键合面积小、密封性高的要求发展, 同时对产品的可靠性也提出了更高的要求, 这对微电子制造工艺提出了新的挑战。金-金热压键合对键合表面的要求相对较低, 可以达到气密性封装的要求, 在键合过程中, 机械连接和电连接能够同时完成, 通过金-金热压键合可以制作高宽深比的器件。随着 MEMS 技术的不断发展, 对表面具有图形化的金金键合技术提出了更高的要求, 本文对金-金热压键合前表面进行处理, 通过实验结果进行分析, 介绍了一种可以提高图形化金金键合表面活性的方法。

1 键合实验

1.1 键合理论

键合是指通过物理和化学作用, 使两种相同或不同材料紧密结合的一种工艺。热压键合、直接键合和共晶键合是常用的键合方法, 而热压键合作为扩散键合, 相对于其他两种键合方法, 具备更强的键合力和更优良的密封性。金属铝、铜和金元素由于具有较大的扩散速率, 常被用于热压键合工艺中。其中, 金-金键合相对而言, 在稳定性、抗氧化性和韧性方面表现更为优异, 因而金-金键合也是热压键合中使用较多的金属。

金-金热压键合的基本原理是通过温度和压强使得金-金界面发生形变的同时, 金-金原子间距逐渐接近原子级别并相互作用形成新的化学键, 从而逐渐发生表面扩散、晶界扩散和体扩散, 最终起到密封和键合的作用。

时间、温度、压强和晶圆表面洁净度是影响键合的主要因素。金原子的扩散能力会随温度升高和金的硬度变小而增强, 进而键合强度增加, 因此, 金-金键合的温度要大于 300℃; 由于增加键合压强, 可以使两片晶元的金层距离更近, 增大延展性和塑性变形, 增大接触面积, 从而使得金原子扩散的面积更大; 时间越长, 金属原子扩散相对越充分, 键合能力越强; 虽然压强的增大、温度的升高和时间的延长都能提高键合质量, 但是同样会对器件和键合机台提出更高的要求, 甚至有些过高的工艺参数可能会对器件造成损伤, 因此键合前对晶片进行有效的处理使之提升金表面活性, 进而提升键合质量成为提高表面图形化金金键合技术的关键。

1.2 实验方案

为了有效比对最佳的金-金键合表面活化处理方式, 本文共设计如表 1 所示的三个方案进行验证。

表 1 金-金键合表面活化实验方案设计

实验方案	处理方式
方案一	丙酮超声处理
方案二	丙酮超声 + 氧气等离子处理
方案三	丙酮超声 + 氧气等离子处理 + 氩气等离子处理

各方案具体工艺如下:

方案一: 晶圆在丙酮中超声清洗 5min, 去除晶圆表面的颗粒杂质或有机物, 然后将晶圆在异丙醇超声 5min, 最后去离子水冲洗, 甩干机进行甩干;

方案二: 在方案一的基础上, 将初步清洗后的晶圆放置到 ICP 机台中进行氧等离子活化, 去除表面有机

沾污，实验所用氧等离子体是在 1Torr 压力条件下处理 240s，实验所用功率为 700W，气体流量 0.3SLPM；

方案三：在方案二的基础上，再次将晶圆放置到氩等离子体中活化，进行溅射除污，

实验所用氩等离子体是在 RF 500W 的功率下处理 300s，气体流量 8sccm。

2 键合结果及分析

2.1 键合结果

晶圆按如上三个实验方案进行表面活化处理后，应尽快预键合到一起，否则晶圆表面可能被再次污染影响键合效果。

晶片键合完成后，通过减薄→深孔电镀→电极制作等工序完成背面的图形化，之后将样片使用 Disco 划片机进行划片，划片后被分割成 5mm×5mm 的样件，然后对样件采取如下三种方式评定键合效果：

(1) 采用破坏性的方法将两个晶圆分离，观察晶圆表面情况；

(2) 采用破坏性的方法沿键合截面切片，SEM 状态下确认键合压缩量；

(3) 采用破坏性的方法进行拉力测试。

图 1 所示分别为方案一、方案二和方案三 DeCap 后

图形键合的表面状态，由图中分离表面的状态可见，方案二和方案三较方案一 键合压痕连贯，且压痕较深，从拉开的表面看，方案三表面能明显看到部分 CAP 上的硅被撕扯下来，由此可见氧等离子处理和氩等离子处理后金-金之间达到了较好的键合效果。

图 2 所示为方案一、方案二和方案三沿键合截面切片后观察到的金-金键合扫描电镜下的外观。从图中可以看到，方案一中可明显看到 Bonding 界面，无明显扩散迹象，方案二和方案三金被挤压至键合面的图形中。表 2 是键合后测得的 Au 压缩量，从表中可明显看到方案三压缩量最大，方案二次之，可见预键合 wafer 经湿法处理，并经氧等离子处理和氩等离子处理后可以达到很好的封装气密性，并可实现电气互联。

表 2 金-金键合表面活化实验方案设计

实验方案	Au 相对压缩量 /Å
方案一	0
方案二	3510
方案三	8940

拉力测试是评价键合质量的一个比较重要的指标，拉力是键合片在与键合面垂直方向上受到的力的大小。图 3 所示为上述三种方案的拉力实验结果，每组实验条

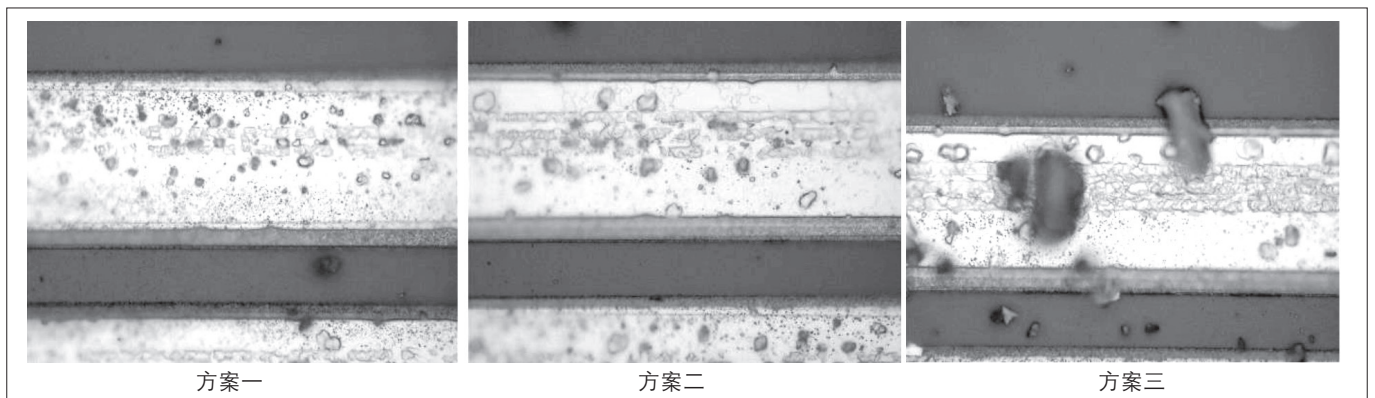


图 1 各实验方案 Decap 后图形键合面状态

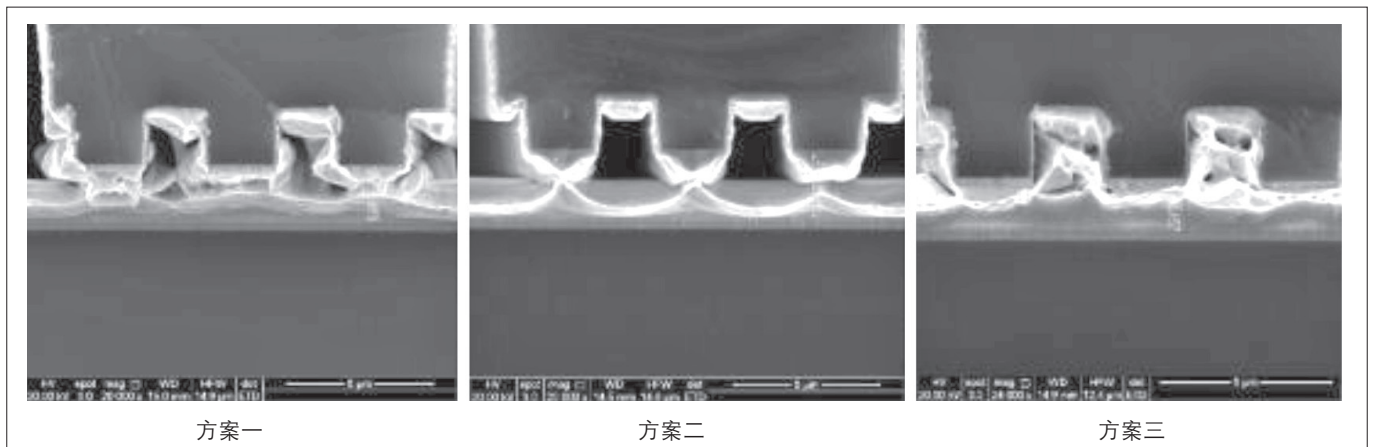


图 2 键合界面 SEM 外观

件晶片经划片后选取5颗芯粒进行拉力测试，经统计分析方案三拉力的均值均高于方案一和方案二。

审稿注：图片中文字需要重新敲，纵坐标改为“拉力/N”，注意区分好三条折线分别代表不同方案，需去掉最上面的“试验拉力结果”。方案一、二、三可以考虑直接标注到折线上。

2.2 实验结果分析

键合实验中使用的芯片，由于经过刻蚀、存放和运输过程，使得大量的粉尘、有机物和颗粒以分子间作用力形式吸附在芯片表面，虽然这些颗粒吸附在芯片表面状况可能不完全相同，但是主要以湿法清洗为主去除这些颗粒。

湿法清洗先用丙酮超声清洗5min，使得晶圆表面润湿并与丙酮接触，丙酮溶解芯片表面有机物并带走部分颗粒杂质，溶解的有机物通过扩散作用被带走，然后通过异丙醇超声清洗5min，去除芯片表面残留的有机物和丙酮，接着通过去离子水多次冲洗，清洁芯片上残留的异丙醇，最后使用甩干机将芯片甩干。

芯片与芯片在键合的过程中，通过增大压强使得金-金界面发生塑性变形，接触区域界面原子通过热激发而相互扩散，在相应时间内完成键合，但有些吸附在表层的杂质或脏污无法用湿法去除，必须使用等离子体进行清洗。

常用的等离子体有氧等离子体和氩等离子体等，氧等离子体由于具有很高的活性，因此可以与材料表面脏污或杂质发生物理化学反应，生产易挥发的CO₂、H₂O，由真空系统排出腔体从而达到清洗的目的。氩气是惰性气体，氩离子体很难与材料表面脏污发生物理化学反应，然而氩等离子体通过溅射作用清洗芯片表面脏污，因此常用它来清理易氧化的表面，但是氩等离子体对材料的选择性差，很可能对处理的表面产生很大的损伤。

总结以上实验结果及结论，先用丙酮等有机溶液进行处理，可以去除表面一些有机物，但是对表面并不能进行彻底地清洁，然后用O₂等离子体对材料表面进行处理后可以深层去除有机脏污，但是引入O₂等离子后，由于O₂等离子体容易氧化金层表面，形成金的氧化物，阻止金的扩散，从而增加了键合难度。为了对比氧等离子体对键合影响，引入了氩等离子，通过Ar离子束轰击待键合表面，

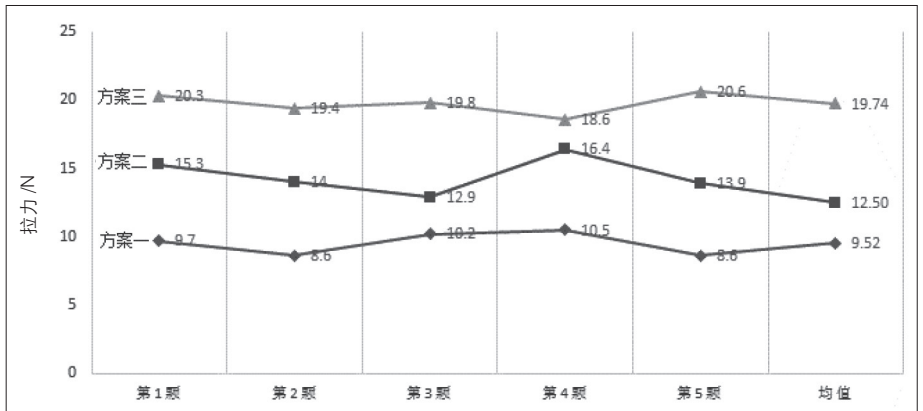


图3 拉力测试结果

可以去除氧化层，使晶圆表面活性增强，在一定温度下自发形成化学键，因此表现出更高的键合效果。

3 结语

本文针对提升金-金键合表面活性提出了一种湿法加干法的等离子处理技术。实验证明，预键合前的晶圆首先进行丙酮异丙醇等有机溶液处理去除表面一些有机物，然后用氧等离子体中活性粒子深层去除金层表面的有机脏污，最后用氩等离子体进行处理以消除表面氧化层，该处理方式可以提升金-金键合的表面活性，从而进一步提高金-金键合的效果。下一步研究等离子各项工艺参数对表面活性的影响，以实现既具有高强度金-金键合工艺，又可以降低成本、提升产能，以实现产业化。

参考文献：

[1]Chuan Seng Tan, Ronald J Gutmann, Rafael Reif L. Wafer Level 3-D ICs Process technology[M].US: Springer,2008.
 [2]李和太,李晔辰.硅片键合技术的研究进展[J].传感器世界,2002(9):6-10.
 [3]Thomas F.Marinis, Joseph W.Souy. Gold Bump Attachment of MEMS Sensor Die Using Thermocompression Bonding[C]. In: Proc. of Electronic Components and Technology Conference,2003.
 [4]聂磊,阮传值,廖广兰,等.硅圆片表面活化工艺参数优化研究[J].功能材料,2011,42(2):467-470.
 [5]师筱娜,柳国光,廖鑫.微波等离子清洗技术及应用[J].国防制造技术,2012,6(3):40-42.