

TSV 精密金属填充关键技术研究

韩国威

(中国科学院 半导体研究所, 北京 100084)

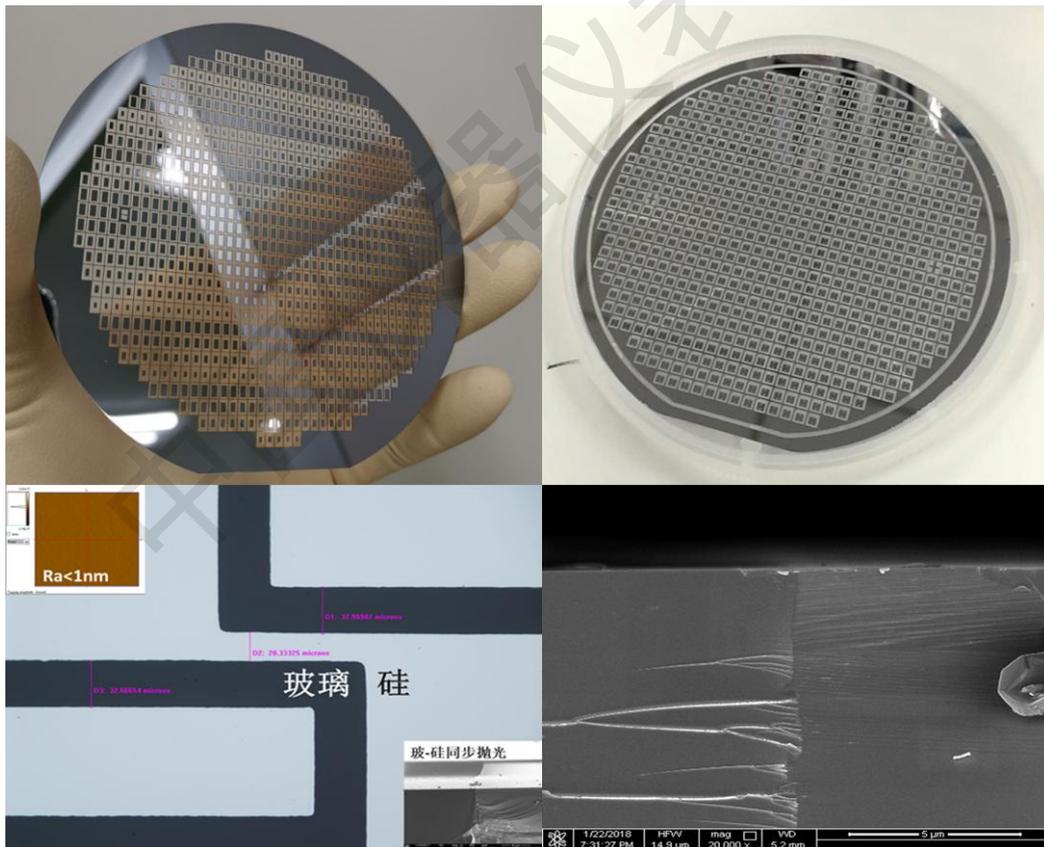
摘要: 简要介绍了 TSV 精密金属填充关键技术

关键词: TSV 精密金属填充技术

1 专业技术成果介绍

1.1 玻-硅复合(GIS,Glass in Silicon)垂直贯通衬底

垂直贯通衬底是实现我国 MEMS 惯性器件产业化的关键技术, 传统的 TSV 和 TGV 技术在应用于 MEMS 制备时具有一些特殊的问题, 如电极气密性和材料热失配等。利用玻璃-硅融合的方法制备出了一种气密的具有垂直贯通电极的衬底:



GIS 用于制备高性能 MEMS 器件具有突出优势

(1) 优秀的气密性, 该衬底中玻璃充当键合区, 硅充当贯通电极, 玻璃与硅的界面完全浸润, 因而具有非常良好的气密性。

(2) 优秀的热应力水平，高硼硅玻璃与硅材料的热膨胀系数非常相近，因而热应力较小。对于传统的 TSV 工艺，金属的热膨胀系数与硅材料差异较大，因而温度变化时其内的热应力水平较大，可靠性降低。

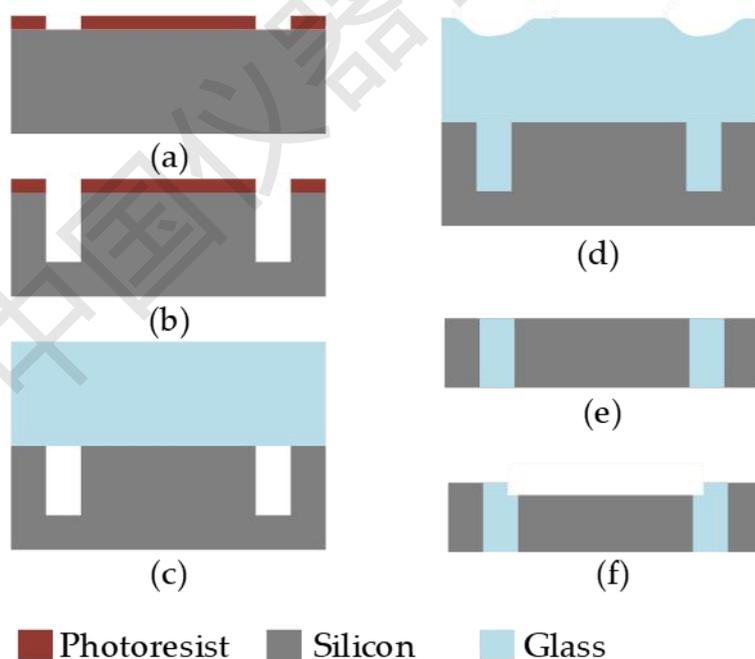
(3) 良好的键合方式兼容性，衬底上同时具有玻璃区域和硅区域，玻璃区域除了支持常规的共晶键合、热压键合、浆料键合等键合工艺，更可以支持阳极键合，阳极键合对键合表面的要求不严格，且键合强度高气密性好，键合成功率非常高。

(4) 非常高的成品率，该衬底的制作基于高温下玻璃的回流填充完成，因而对填充区的图形特征要求不高，一次工艺即可有效完成所有区域的高质量填充。使用该衬底制作器件，结合简单有效的阳极键合技术，更可以以非常高的成品率完成器件的制备过程。

(5) 高密度，衬底上的硅区域提供电学穿通电极的功能，采用光刻技术制作，因而可以直接图形化为结构的电极，另外其为垂直贯通方式，可以有效的节省器件面积，从而大大提高器件密度。

(6) 优秀的绝缘和隔离性能，玻璃具有很高的绝缘性，还可以通过图形化接地硅区域从而提高不同电极之间的隔离度，因而可以方便有效的提供有效的隔离性能。

其制备步骤如下图：



关键的技术要求包括，玻璃的高质量填充和双面 CMP。

1.2 高真空晶圆级封装技术

MEMS 封装技术发展的早期阶段，采用的是比较简单的管壳封装方式，将器件划片后

贴入管壳，在真空下进行盖帽制作出密闭的真空腔室，为器件提供封装。显而易见的，这种方式虽然相对灵活，但是封装效率低体积大，而且需要专用的真空封装设备。在封装的过程中也容易使微小的 MEMS 结构受到污染，引起器件的失效。为了克服上述问题，晶圆级封装技术出现。在这种技术中，器件和封装技术是一体设计一体制作的，相当于器件流片后，一个晶圆上，每个器件都自带了封装。

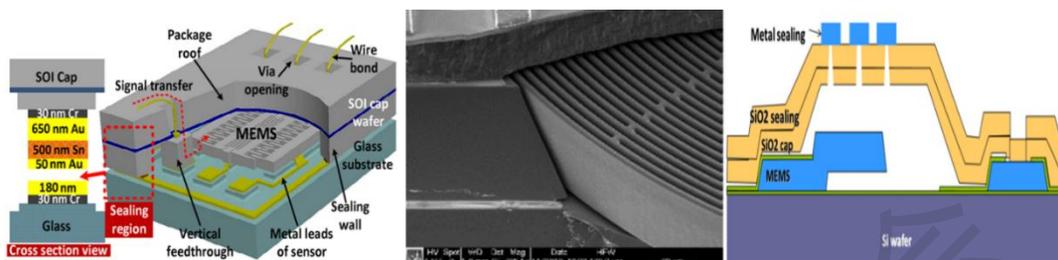
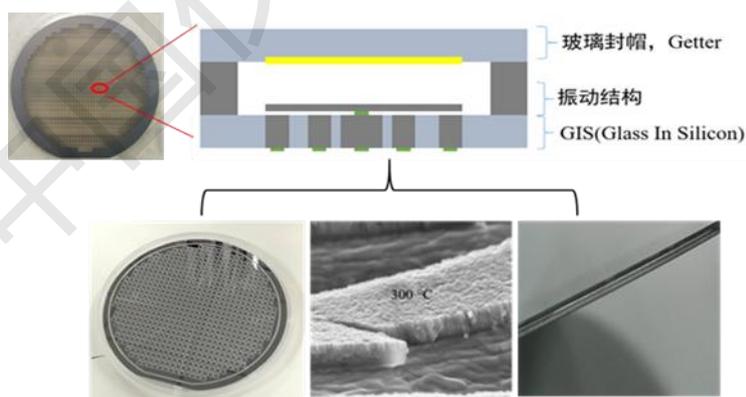


图 几种典型的晶圆级封装技术

这种封装方式的实现有很多种方法，但是都由以下几个关键技术构成：

- (1) 气密穿通电极技术（TSV TGV SOI 注入沟道技术等）。
- (2) 真空的获取和维持技术（真空键合、氧化硅或者金属封填等）。
- (3) 气密腔室成型。

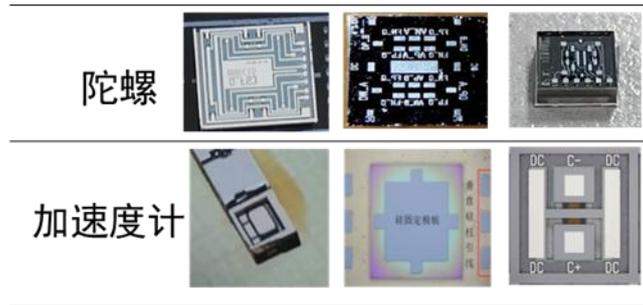
在上述技术要求中，通过成果 1 解决了气密电极问题。通过研究吸气剂解决了真空获取和维持问题，通过多层键合技术解决了气密腔室问题，制备的 MEMS 谐振器件，其 Q 值超过 300,000。



1 复合衬底制备 2 吸气剂研究 3 多层键合技术

图 研制的晶圆级封装技术

基于此技术制备了多款 MEMS 加速度计和 MEMS 陀螺：



基于研究晶圆级封装技术研制的多款 MEMS 加速度计和陀螺

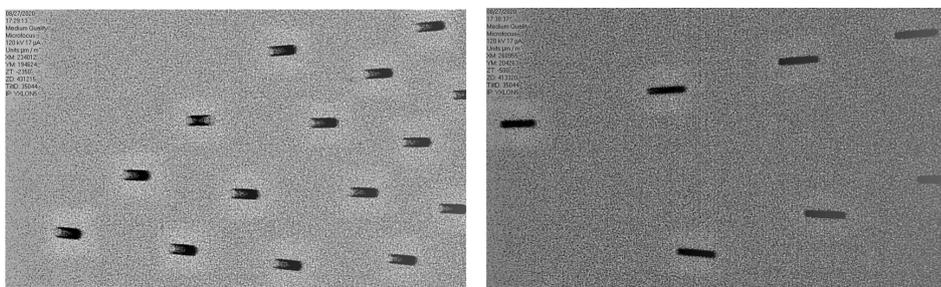
1.3 高深宽比 TSV 技术

高深宽比的 TSV 技术是微系统先进封装的关键技术。制备了深宽比超过 10: 1 的微孔 TSV:



其关键步骤包括:

(1) 深孔溅射阻挡层和种子层。不同于常规的磁控溅射设备和工作方式, 深孔内的磁控溅射需要设备进行磁场的特殊设计, 以增强金属离子的离子化率, 再以电场辅助, 增强其入射的方向性, 才能有效的沉积在高深宽比的孔洞内。未优化的溅射条件会导致 TSV 硅通孔侧壁上的粘附层或者种子层不连续, 进而导致在后续的电镀填充工艺中出现填充断层, 使器件失效。该问题可以通过 X 射线成像分析如下图所示:



X 光下填充不完全 (左) 和填充完全 (右) 的影像区别

(2) 微通孔的金属填充。粘附层和种子层制备完毕后, 通常通过电镀的方式将金属铜电镀

填充到深孔内。为了实现小尺寸和大深宽比通孔的有效填充，需要采用特殊的电镀液，这类电镀液中添加了微量的有机添加剂，来平衡和调节电镀过程中的几种关键作用。添加的添加剂通常包括三种:加速剂 (Accelerator)、抑制剂 (Suppressor) 和整平剂 (Leveler) ,通过实验和理论分析方法平衡三种添加剂的比例，设置合适的电镀电流，以完成微孔填充。

1.4 无引线电容式压力传感器技术

接触电容式 MEMS 压力传感器灵敏度高，体积小，性能适用于眼压监测。但是传统的工艺手段制备的器件其与 IC 的电学互联需要通过引线进行，不利于植入式应用。采用硼硅玻璃回流技术制作复合盖板，并基于此制作可植入式的 MEMS 眼压传感器。器件具有无引线特性，可以方便地与相应电路集成。

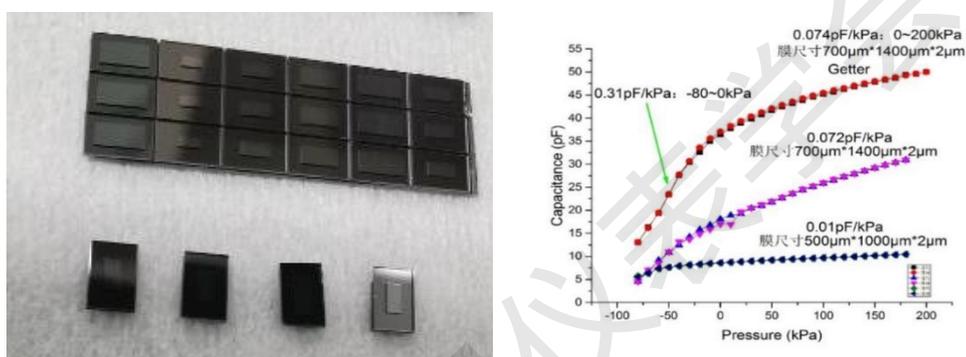


图 无引线接触式 MEMS 电容

1.5 MEMS 陀螺调理电路

根据设计的陀螺仪表头结构和接口特性，开发了基于 商用 MCU 的闭环数字测控电路系统。由环型二极管调制解的模拟前端、信号采集电路、系统配置电路及数字部分的信号处理和环控制组成。通过设计 AGC+PLL 闭环驱动环路、正交误差校正和角速度检测双闭环力反馈环路，实现了陀螺信号的精确提取、转换、信号处理和环路控制，确保了角速度的有效检测。

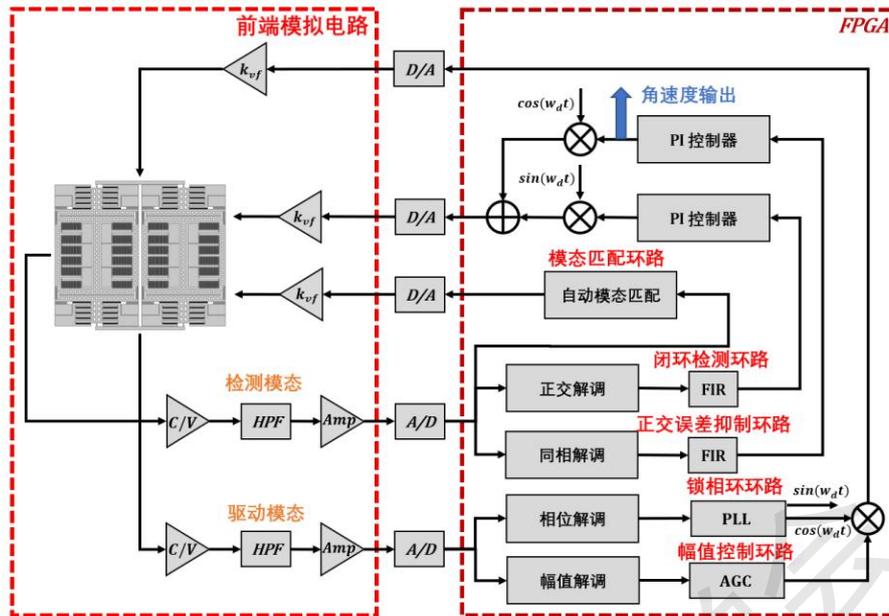


图 MEMS 陀螺调理电路

2 专业技术人员介绍

2.1 个人简介

韩国威，男，1984年8月，本科毕业于山东大学，2008年进入中科院大学硕博连读，2013年获微电子学与固体电子学博士学位，就职于中国科学院半导体研究所。

2.2 专业技术研究方向

微电子学与固体电子学；MEMS 传感器；电路与系统。

2.3 承担科技项目及代表论著

序号	课题名称	类别	起止时间
1	一种植入式眼压传感器的关键技术研究	国家	2015. 10. 21-2018. 12. 31
2	智能电网电压监测的宽频微型压电-压阻耦合效应传感器	自然科学基金	2018. 1-2022. 12

3	声压传感器阵列与 电路芯片的互联技 术	国家 重点研发计划	2018. 10. 01-2022. 09. 3 0
4	化学机械抛光系统 工艺状态监测控制 功能开发	中国科学院仪器设 备功能开发技术创 新项目	2018. 09-2019. 09
5	封装用加厚铜膜制 备功能开发		2020-2022
6	TSV 精密金属填充关 键技术研究	青年科技人才推进 计划	2019. 11-2023. 11

2.4 获奖及荣誉

2018 年北京信息电子技术大型仪器区域中心“优秀个人”，“优秀集体”。

2019 年院所两级公共技术服务中心“优秀个人”。

2019 年半导体研究所青年科技人才计划。