

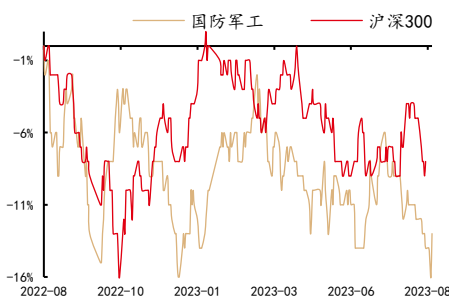
行业投资评级

强于大市|维持

行业基本情况

收盘点位	1469.27
52周最高	1691.95
52周最低	1413.25

行业相对指数表现（相对值）



资料来源：聚源，中邮证券研究所

研究所

分析师: 鲍学博
SAC 登记编号: S1340523020002
Email: baoxuebo@cnpsec.com
分析师: 王煜童
SAC 登记编号: S1340523070004
Email: wangyutong@cnpsec.com

近期研究报告

《中邮军工7月月报：35家军工企业披露半年报业绩预告，看好中期调整后军工行业发展机遇》 - 2023.08.01

高精度 MEMS 陀螺仪深度之一：原理、工艺与产业链

MEMS 陀螺仪利用科里奥利力去测量角速度，用 MEMS 工艺实现，一般采用梳齿电容静电驱动质量块振动，角速度带来质量块另外一个方向的位移，用电容检测该位移从而计算出角速度。MEMS 陀螺仪基本都是谐振式陀螺仪，主要部件有支撑框架、谐振质量块及激励和测量单元，工作模态分为驱动模态与检测模态，两种模态的工作状态、稳定控制及后续信号处理都需要通过外围电路来实现，静电驱动是目前大部分 MEMS 陀螺仪采用的驱动方法，检测方式包括电磁检测、电容检测、压电检测和压阻检测等。

零偏稳定性是衡量陀螺仪性能的主要核心指标，用来衡量陀螺仪在一个工作周期内，当输入角速率为零时，陀螺仪输出值围绕其均值的离散程度，数值越小表示性能越高。按照该指标不同，陀螺仪又分为消费级、战术级、导航级、战略级，当前 MEMS 陀螺仪可以达到导航级的精度水平。MEMS 陀螺仪因其体积小、重量轻、功耗低、成本低等诸多优点，在消费电子领域已经获得了广泛应用，随着技术进步，高精度 MEMS 陀螺仪在工业、商用航空航天、商用船舶导航以及武器装备领域的渗透率存在较大提升空间。

由于 MEMS 传感器中复杂的极微型机械系统的存在，MEMS 传感器的芯片设计和工艺研发必须紧密配合。一方面，制造端已有的工艺路线在很大程度上决定了芯片的设计路线；另一方面，芯片的设计路线又需要对制造端的工艺模块进行重组和调试。因此，MEMS 传感器的研发企业必须同时进行芯片和工艺端的研发。在 MEMS 陀螺仪工艺路线上，SOI 结构渐渐成为加工 MEMS 器件的主要技术，ASIC 一般采用 CMOS 工艺；MEMS 器件一般采用晶圆级封装，CMOS、MEMS 等器件集成封装正在向 3D 集成技术发展，用较短的垂直互连取代很长的二维互连，从而减低了系统寄生效应和功耗，并达到体积最小化和优良电性能的高密度互连目的。

国内 MEMS 陀螺仪相关厂商包括芯动联科、美泰科技、深迪半导体、矽睿科技等。其中，芯动联科主要做高性能产品，典型产品 33 系列陀螺仪的零偏稳定性为 0.1°/h，相较于其他厂商，该指标领先 1-2 个数量级。

风险提示：MEMS 陀螺仪性能提升速度趋缓、MEMS 陀螺仪行业竞争加剧、存在其他新技术替代 MEMS 陀螺仪等。

目录

1 MEMS 陀螺仪工作原理	4
1.1 用科里奥利力测量角速度	4
1.2 用 MEMS 实现：静电驱动、电容检测	5
2 高精度与消费级 MEMS 陀螺仪的主要区别	6
2.1 高精度 MEMS 陀螺仪的四大应用领域	7
2.2 不同精度 MEMS 陀螺仪的结构差异	8
3 MEMS 与 ASIC 制备、封装工艺与测试	9
3.1 MEMS 工艺	10
3.2 ASIC 工艺	15
3.3 封装工艺	15
3.4 测试	16
4 MEMS 陀螺仪产业链	16
4.1 MEMS 陀螺仪产业链及相关企业	16
4.2 国内 MEMS 陀螺仪性能指标对比	18
5 风险提示	19

图表目录

图表 1: 科里奥利力原理.....	4
图表 2: 典型 MEMS 陀螺仪结构.....	6
图表 3: 各类别陀螺仪的主要应用领域、主要技术、代表厂商.....	6
图表 4: 高性能 MEMS 惯性传感器的四大应用领域	7
图表 5: 陀螺技术应用现状.....	7
图表 6: 陀螺技术应用远景.....	7
图表 7: 单质量块陀螺仪示意图.....	8
图表 8: 双质量块陀螺仪示意图.....	8
图表 9: MEMS 惯性器件的发展	9
图表 10: 国内外相关企业先进 MEMS 陀螺仪结构及零偏稳定性	9
图表 7: 湿法 SOG 工艺.....	11
图表 8: 湿法 SOG 工艺制作的 MEMS 陀螺仪 SEM 照片	11
图表 11: 干法 SOG 工艺.....	11
图表 12: 正面体硅工艺.....	12
图表 13: 体硅 SOI 工艺.....	13
图表 14: 表面硅工艺.....	14
图表 15: 硅 MEMS 工艺对比.....	14
图表 16: 圆片级封装示意图.....	15
图表 17: 3D 集成示意图	16
图表 18: MEMS 陀螺仪产业链	18
图表 19: 国内 MEMS 陀螺仪相关企业及典型产品性能	19

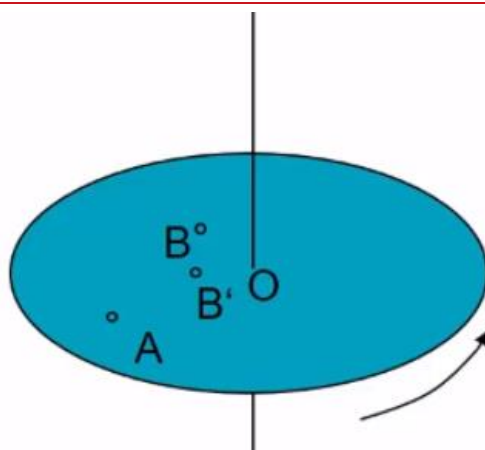
1 MEMS 陀螺仪工作原理

1.1 用科里奥利力测量角速度

科里奥利力（Coriolis force）是对旋转体系中进行直线运动的质点由于惯性相对于旋转体系产生的直线运动的偏移的一种描述，科里奥利力来自于物体运动所具有的惯性，是在转动的坐标系里为了解释运动物体由于坐标转动发生偏转的现象而引入的一种虚构的力。

MEMS 陀螺仪通过科里奥利力来测量角速度，ADI 官网介绍了 MEMS 陀螺仪的工作原理：设在以角速度 ω 沿逆时针方向转动的水平圆盘上，有 AB 两点，O 为圆盘中心，且有 $OA > OB$ ，在 A 点以相对于圆盘的速度 V 沿半径方向向 B 点抛出一球。如果圆盘是静止的，则经过一段时间 $\Delta t = (OA - OB) / V$ 后，球会到达 B，但结果是球到达了 B 转动的前方一点 B' ，对这个现象可如下分析，由于圆盘在转动，故球离开 A 时，除了具有径向速度 V' 外，还具有切向速度 V_A ，而 B 的切向速度为 V_B ，由于 B 的位置靠近圆心，所以 $V_A > V_B$ ，在垂直于 AB 的方向上，球运动得比 B 远些。这是在盘外不转动的惯性系观察到的情形。

图表1：科里奥利力原理



资料来源：ADI 官网，中邮证券研究所

科里奥利力公式推导如下：

以转动系为参考系，球从 A 到 B'的时间是

$$\Delta t' = (OA - OB) / V'$$

在 Δt 时间内，球偏离 AB 的距离

$$\begin{aligned} BB' &= (V_A - V_B) * \Delta t' \\ &= \omega * (OA - OB) * \Delta t' \\ &= \omega * V' * \Delta t'^2 \end{aligned}$$

在 $\Delta t'$ 很小的情况下，可以认为沿 BB' 的运动是匀加速运动而初速为 0，则

$$BB' = 1/2 * a' * \Delta t'^2$$

与上一结果比较可得：

$$a' = 2 * \omega * V'$$

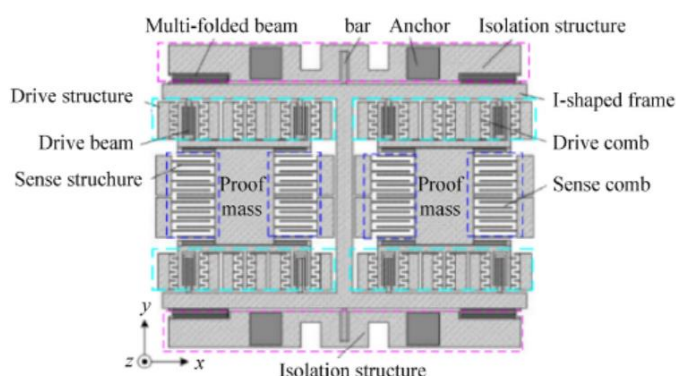
其中 $\Delta t'$ 、 V' 是已知的，通过测量 BB' 就可以计算出角速度 ω 。

1.2 用 MEMS 实现：静电驱动、电容检测

MEMS 陀螺仪基本都是谐振式陀螺仪，主要部件有**支撑框架、谐振质量块及激励和测量单元**。MEMS 陀螺主要有线振动型陀螺和谐振环型陀螺，前者工艺简单，利于大批量、低成本生产；后者具有更高的理论精度但结构及原理更为复杂。

MEMS 陀螺仪的工作模态分为驱动模态与检测模态，两种模态的工作状态、稳定控制及后续信号处理都需要通过外围电路来实现，**静电驱动是目前大部分 MEMS 陀螺仪采用的驱动方法**，静电驱动的基本原理是平板电容器，主要有两种驱动方式：一是通过平行电容极板间距变化来产生驱动静电力；二是通过平行电容极板正对面积变化来产生驱动静电力。根据陀螺仪的不同结构类型，目前 MEMS 陀螺仪有多种检测方式，例如电磁检测、电容检测、压电检测和压阻检测等。

图表2：典型 MEMS 陀螺仪结构



资料来源：《MEMS 惯性传感器研究现状与发展》李晓阳，中邮证券研究所

2 高精度与消费级 MEMS 陀螺仪的主要区别

零偏稳定性是衡量陀螺仪性能的主要核心指标，用来衡量陀螺仪在一个工作周期内，当输入角速率为零时，陀螺仪输出值围绕其均值的离散程度，数值越小表示性能越高。按照该指标不同，陀螺仪又分为消费级、战术级、导航级、战略级，当前 MEMS 陀螺仪可以达到导航级的精度水平。

图表3：各类别陀螺仪的主要应用领域、主要技术、代表厂商

类别	战略级	导航级	战术级	消费级
应用领域	航天，航海	航空，长航时无人系统	高端工业（如测绘，资源勘探）、车辆和飞行器	消费电子
零偏稳定性 (°/h)	<0.01	0.01-0.15	0.15-15	>15
标度因数精度 (ppm)	<1	1-100	100-1000	>1000
角度随机游走 (°/√h)	<0.01	0.01-0.05	0.05-0.5	>0.5
陀螺仪技术	机电陀螺仪、激光陀螺仪、光纤陀螺仪	激光陀螺仪、光纤陀螺仪、动力调谐陀螺仪、MEMS 陀螺仪	激光陀螺仪、光纤陀螺仪、动力调谐陀螺仪、MEMS 陀螺仪	MEMS 陀螺仪
代表厂商	Honeywell	Honeywell、Northrop Grumman、Emcore、芯动联科	Honeywell、Sensoror、ADI、Silicon Sensing、Emcore、芯动联科	Honeywell、Sensoror、ADI、Silicon Sensing

资料来源：芯动联科招股说明书，中邮证券研究所

2.1 高精度 MEMS 陀螺仪的四大应用领域

MEMS 陀螺仪因其体积小、重量轻、功耗低、成本低等诸多优点，在消费电子领域已经获得了广泛应用，随着技术进步，高精度 MEMS 陀螺仪在工业、商用航空航天、商用船舶导航以及武器装备领域的渗透率存在较大提升空间。

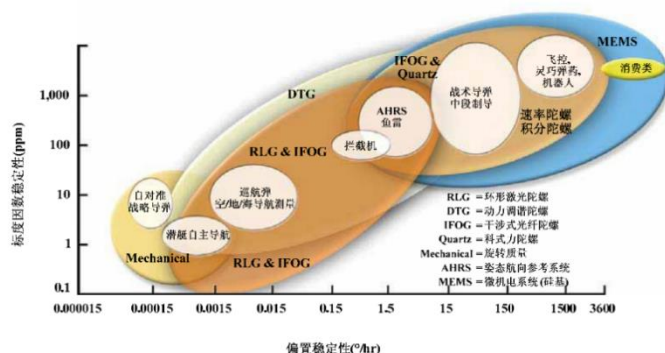
图表4：高性能 MEMS 惯性传感器的四大应用领域



资料来源：《先进微陀螺器件及微惯性测量单元最新研究进展》何杰，中邮证券研究所

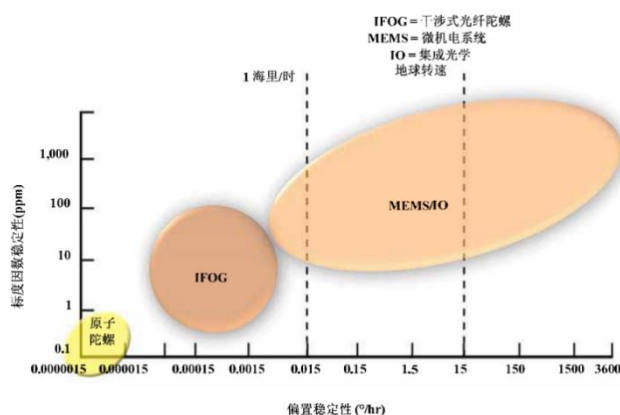
当前，MEMS 陀螺仪产品已进入零偏稳定性 $0.1^{\circ}/h$ 量级，随着微加工技术的进一步成熟，MEMS 陀螺仪和加速度计将占据中低精度惯性仪表的主要市场。

图表5：陀螺技术应用现状



资料来源：《高性能 MEMS 惯性器件工程化关键技术研究》邢朝洋，中邮证券研究所

图表6：陀螺技术应用远景

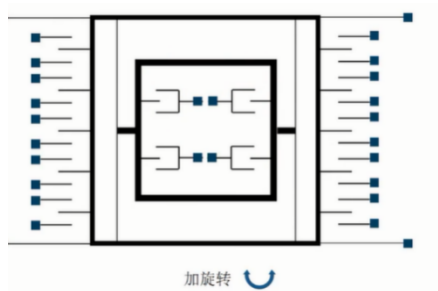


资料来源：《高性能 MEMS 惯性器件工程化关键技术研究》邢朝洋，中邮证券研究所

2.2 不同精度 MEMS 陀螺仪的结构差异

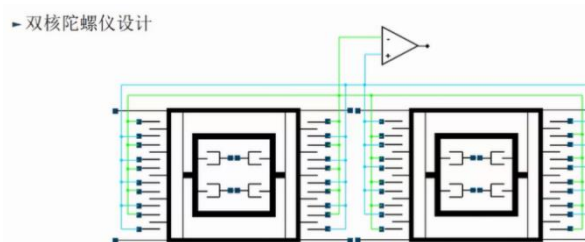
对于单质量块陀螺，外界振动产生的输出不能与科里奥利力引起的响应区分开来；对于双质量块音叉式微陀螺，通过左右质量块作反相运动能够消除共模振动。为了进一步提高其精度，可以提高质量块质量、降低共振频率或者增加品质因数。

图表7：单质量块陀螺仪示意图



资料来源：ADI 官网，中邮证券研究所

图表8：双质量块陀螺仪示意图

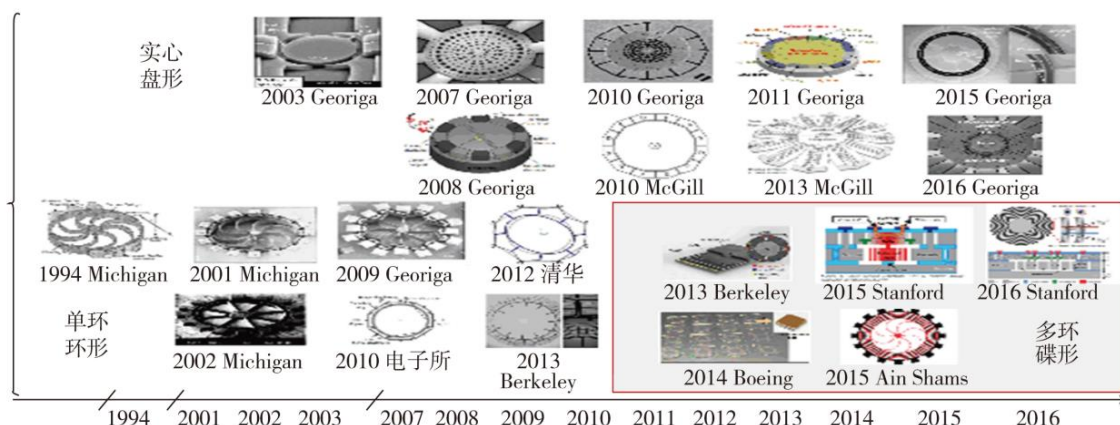


资料来源：ADI 官网，中邮证券研究所

消费级 MEMS 陀螺大多采用传统的音叉结构，无法满足高精度、特殊环境下的应用需求。军用高端 MEMS 陀螺技术路线和商用 MEMS 陀螺技术路线完全不同，军用高端 MEMS 陀螺技术路线基本都是采用环境适应性好的全对称结构。

MEMS 芯片设计结构从传统双质量块方案向四质量块结构、多环结构等新型对称结构发展。MEMS 陀螺仪相关研究单位有美国 DARPA、Draper 实验室、霍尼韦尔公司、大西洋惯性系统公司、InvenSense 公司、波音公司、斯坦福大学、密歇根大学、加州大学、HRL 实验室等，英国 BAE 系统公司，挪威 Sensoror 公司，日本东北大学、东芝公司等。在美国 DARPA NGIMG 项目支持下，多环碟形陀螺最高精度达 $0.003^{\circ}/h$ 。当前，MEMS 陀螺仪正逐渐取代低端应用领域光纤陀螺，但取代那些精度要求高的应用仍需要时间。

图表9：MEMS 惯性器件的发展



资料来源：《2017 年国外惯性技术发展回顾》薛连莉，中邮证券研究所

MEMS 陀螺仪的性能及技术水平是高性能 MEMS 惯性传感器行业技术水平的集中体现,技术水平先进的国内外企业在 MEMS 结构设计、MEMS 工艺、ASIC 设计方面均具备较强实力。

图表10：国内外相关企业先进 MEMS 陀螺仪结构及零偏稳定性

企业	MEMS 结构与零偏稳定性
波音	环结构, 0.012°/h (研发暂停)
霍尼韦尔	双质量块音叉结构, 0.01°/h (在研), 0.25°/h
诺格	四质量块音叉结构, 0.021°/h (在研)
ADI	四质量块音叉结构, 1.1°/h
Sensoror	蝶形结构, 0.3°/h
Silicon Sensing	环形结构, 0.03°/h
芯动联科	四质量全解耦音叉结构, 0.05°/h

资料来源：芯动联科招股说明书，中邮证券研究所

3 MEMS 与 ASIC 制备、封装工艺与测试

由于 MEMS 传感器中复杂的极微小型机械系统的存在，MEMS 传感器的芯片设计和工艺研发必须紧密配合。一方面，制造端已有的工艺路线在很大程度上决定了芯片的设计路线；另一方面，芯片的设计路线又需要对制造端的工艺模块进行重组和调试。因此，MEMS 传感器的研发企业必须同时进行芯片和工艺端的研发。

MEMS Fabless 经营模式与大规模集成电路的 Fabless 经营模式存在一定的不同，主要体现为大规模集成电路的制造采用 CMOS 标准工艺，第三方制造企业工艺积累相对成熟；MEMS Fabless 企业工艺一般要经过 MEMS 工艺导入、工艺优化与调整、设计路线调整以及批量生产阶段。

3.1 MEMS 工艺

硅基 MEMS 加工技术主要包括体硅 MEMS 加工技术和表面 MEMS 加工技术。体硅 MEMS 加工技术的主要特点是通过硅衬底材料的深刻蚀可得到较大纵向尺寸可动微结构，体硅工艺包括湿法 SOG（玻璃上硅）工艺、干法 SOG 工艺、正面体硅工艺、SOI（绝缘体上硅）工艺。表面 MEMS 加工技术主要通过硅片上生长氧化硅、氮化硅、多晶硅等多层薄膜来完成 MEMS 器件的制作，利用表面工艺得到的可动微结构的纵向尺寸较小，但与 IC 工艺的兼容性更好，易与电路实现单片集成。

湿法 SOG:

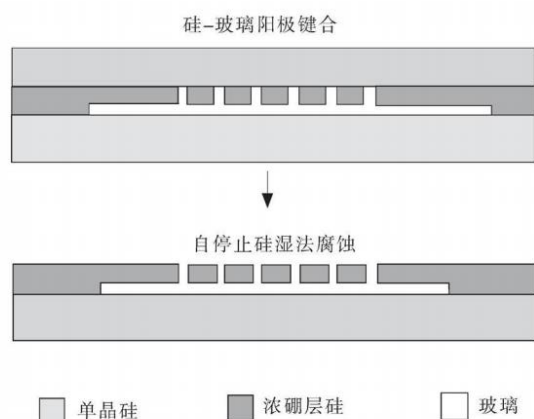
SOG 工艺是通过阳极键合技术形成牢固的硅-氧键将硅圆片与玻璃圆片粘在一起，硅作为 MEMS 器件的结构层，玻璃作为 MEMS 器件的衬底层。

结构层由浓硼层形成，对于各向异性的腐蚀液，当硼掺杂原子浓度不小于 $10^{19}/\text{cm}^3$ 时，相对同样的单晶硅，其腐蚀速率下降 5~100 倍，利用各向异性腐蚀液对高掺杂层的低腐蚀速率特性达到腐蚀停止的目的。

采用深反应离子刻蚀(DRIE)工艺在浓硼层上形成各种设计的 MEMS 结构，再与玻璃键合，采用自停止腐蚀去除上层多余的单晶硅，完成加工。

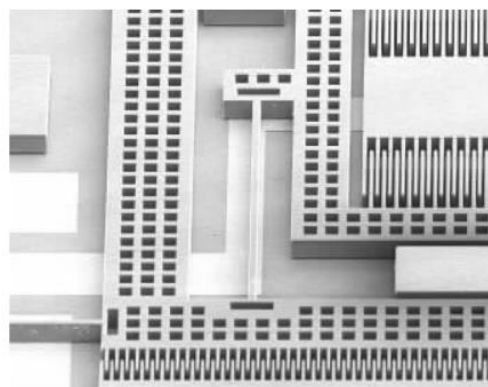
受扩散深度与浓度的限制，MEMS 器件结构层的厚度一般小于 $30\mu\text{m}$ ，而且由于高浓度掺杂会造成硅结构损伤带来结构应力，硅与玻璃的材料不匹配性也会带来较大结构应力，自停止硅湿法腐蚀具有较低的加工精度，另外，由于存在高温工艺也不适用于与 IC 的单片集成，这些是湿法 SOG 加工技术的缺点。但此工艺比较成熟，工艺简单，也适合一些性能要求不高的 MEMS 器件的加工以及批量加工，如 MEMS 陀螺仪、加速度计、MEMS 执行器等。

图表 7：湿法 SOG 工艺



资料来源：《硅 MEMS 器件加工及展望》徐永青，中邮证券研究所

图表 8：湿法 SOG 工艺制作的 MEMS 陀螺仪 SEM 照片

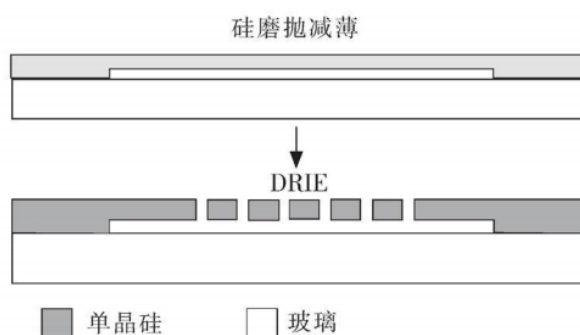


资料来源：《硅 MEMS 器件加工及展望》徐永青，中邮证券研究所

干法 SOG：

基本工艺结构类似湿法 SOG 工艺，同湿法 SOG 工艺相比，采用磨抛减薄的工艺取代了浓硼掺杂与湿法腐蚀形成 MEMS 芯片的结构层，省去高温长时间硼掺杂会降低对结构层的损伤，也避免了有毒或者容易带来工艺沾污的湿法腐蚀步骤，适用于陀螺仪、加速度计、光开关、衰减器。

图表11：干法 SOG 工艺



资料来源：《硅 MEMS 器件加工及展望》徐永青，中邮证券研究所

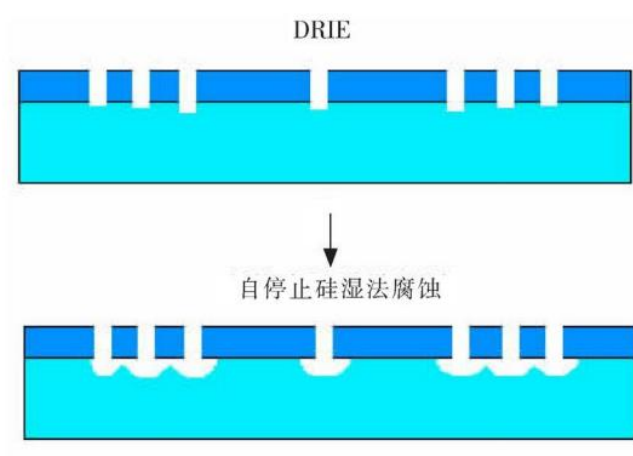
正面体硅：

正面体硅工艺结合了深刻蚀、浓硼掺杂与湿法腐蚀工艺。首先对 N 型硅片进行浓硼掺杂，浓度满足硅湿法自停止腐蚀要求，然后 DRIE 硅结构，刻蚀深度大于浓硼层的厚度，最后在自停止腐蚀液里进行腐蚀释放结构。

优点：在单层硅片上完成 MEMS 芯片的加工，省去了与玻璃片的键合，因此不存在由于材料不匹配带来的应力影响，适用于光开关、光衰减器、反射镜阵列。

缺点：存在高温掺杂工艺，不易与 IC 芯片集成；正面体硅采用 PN 结达到电极隔离目的，存在击穿电压与漏电的限制。

图表12：正面体硅工艺



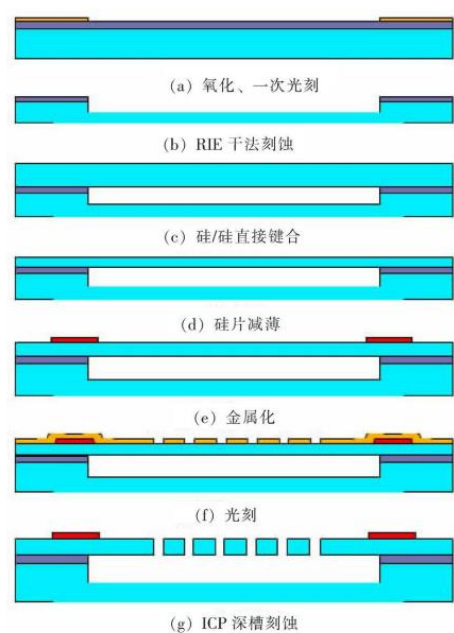
资料来源：《硅 MEMS 器件加工及展望》徐永青，中邮证券研究所

体硅 SOI

体硅 SOI 采用全硅结构，通过硅-硅键合技术将硅与硅片粘接在一起，由于是全硅结构，因此不存在由于热膨胀系数带来的应力影响，结构层厚度可达 80 μ m，并具有较高的加工精度，易于电路单片集成。

优点：适用于更多的 MEMS 器件的制造，可用于制作 MEMS 惯性器件（包括陀螺、加速度计、振动传感器等）、MEMS 光学器件（包括光开关、衰减器等）、生物 MEMS、流体 MEMS 等多种 MEMS 器件，具有更广的适用性，可实现批量加工需求，是目前的主流加工工艺。

图表13：体硅 SOI 工艺



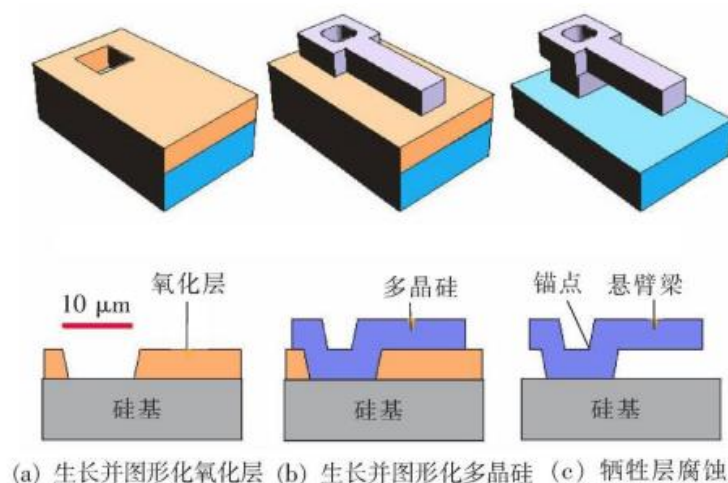
资料来源：《硅 MEMS 器件加工及展望》徐永青，中邮证券研究所

表面硅：

表面硅 MEMS 加工技术是在集成电路平面工艺基础上发展起来的一种 MEMS 工艺技术，它利用硅平面上不同材料的顺序淀积和选择腐蚀来形成各种微结构。

相对于体硅工艺，表面工艺由于保持了衬底的完整性，更容易与 CMOS 工艺兼容，但是表面工艺的缺点是不易加工高深宽比的器件结构，一般厚度小于 $2\mu\text{m}$ ，MEMS 芯片的灵敏度将受限制。因此，目前也出现了表面与体硅组合的加工技术，适应一些器件的特殊需求，例如采用表面与体硅组合技术制作的 MEMS 热对流传感器、压阻传感器等。

图表14：表面硅工艺



资料来源：《硅 MEMS 器件加工及展望》徐永青，中邮证券研究所

SOI 硅片有很多的优点，主要包括单晶特性良好、很容易加工出厚度很大的器件、很容易加工出具有高深宽比的结构、器件的机械稳定性良好、制造的器件的残余应力比较小以及器件的后续工艺更简单等，SOI 结构渐渐成为了加工 MEMS 器件的主要技术。

图表15：硅 MEMS 工艺对比

MEMS 工艺	特点	适用范围
湿法 SOG	工艺成熟、简单，但刻蚀精度低，高浓度掺杂与硅-玻璃键合带来结构应力	陀螺仪、加速度计、执行器
干法 SOG	省去高温长时间硼掺杂会降低对结构层的损伤	陀螺仪、加速度计、光开关、衰减器
正面体硅	在单层硅片上完成 MEMS 芯片的加工，不存在由于材料不匹配带来的应力影响；采用 PN 结达到电极隔离目的，存在击穿电压与漏电流的限制	光开关、光衰减器、反射镜阵列
体硅 SOI	当前主流工艺，全硅结构，不存在由于热膨胀系数带来的应力影响，结构层厚度可达 80μm，并具有较高的加工精度，易于电路单片集成	惯性器件（包括陀螺、加速度计、振动传感器等）、光学器件（包括光开关、衰减器等）、生物 MEMS、流体 MEMS
表面硅	在集成电路平面工艺基础上发展起来的，更容易与 CMOS 工艺兼容，不易加工高深宽比的器件结构，一般厚度小于 2μm，灵敏度受限制	MEMS 热对流传感器、压阻传感器

资料来源：《硅 MEMS 器件加工及展望》徐永青，中邮证券研究所

3.2 ASIC 工艺

MEMS 芯片需要在 ASIC 芯片的驱动控制下感应外部待测信号并将其转化为电容、电阻、电荷等信号变化,ASIC 芯片再将上述信号变化转化成电信号。

ASIC 芯片一般集成了电源管理、温度传感、模态匹配、正交误差补偿、温度校准及自诊断等电路,一方面可以实现传感器内部自校准、自补偿,使系统应用更简单、精度更高、重复性更好,另一方面可以对陀螺仪的工作状态进行监测,提高输出数据的可靠性。ASIC 一般采用 CMOS 工艺。

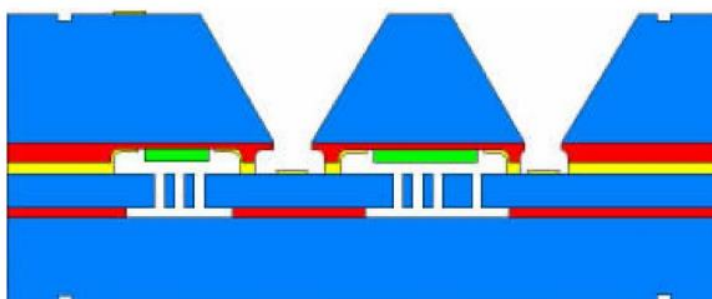
3.3 封装工艺

MEMS 器件封装:

由于 MEMS 器件普遍具有悬浮、可动结构,使得它具有容易损坏、粘附潮气和灰尘等缺点,MEMS 器件一般采用晶圆级封装,可以提高 MEMS 组件工作的可靠性和长期稳定性,同时有利于降低后道封装成本。

圆片级封装采取的手段就是在功能圆片加工完成后,再在上面对准后扣上一个圆片,相当于通过一次工艺就给功能圆片上的每个芯片戴上了一顶帽子,作为帽子的圆片要具备一定的腔体,不能够破坏 MEMS 可动结构。两个圆片主要通过静电键合、直接键合(硅片熔融键合)、共晶焊接和粘接等手段实现。

图表16: 圆片级封装示意图



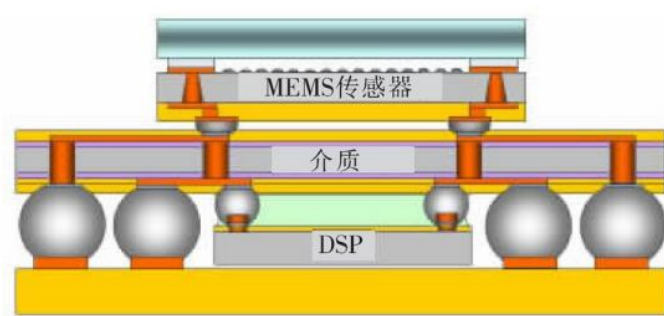
资料来源:《硅 MEMS 器件加工及展望》徐永青,中邮证券研究所

MEMS 器件与 CMOS 器件 3D 集成：

随着体积与成本的要求，目前封装正在向 3D 集成技术发展，将 CMOS、MEMS 等器件集成封装，用较短的垂直互连取代很长的二维互连，从而减低了系统寄生效应和功耗，并达到体积最小化和优良电性能的高密度互连目的。

3D 集成技术主要包括材料匹配技术、综合屏蔽技术、穿硅通孔（TSV）的形成与金属化、圆片减薄与对准键合技术。

图表17：3D 集成示意图



资料来源：《硅 MEMS 器件加工及展望》徐永青，中邮证券研究所

3.4 测试

与规模化批量测试的传统芯片不同，高性能 MEMS 惯性传感器芯片由体硅工艺加工形成，内部架构复杂，定制化产品较多，需要在长期的测试过程中不断探索和提升与高性能 MEMS 惯性传感器匹配的测试技术。

高性能 MEMS 惯性传感器测试标定需要利用专用测试软硬件系统采集多温度点的静态和动态传感器输出数据，并对采集数据进行信号分析与处理，计算出优化后的传感器配置参数，再将配置参数写入 ASIC 芯片中。

4 MEMS 陀螺仪产业链

4.1 MEMS 陀螺仪产业链及相关企业

MEMS 陀螺仪产业链可分为芯片设计、晶圆制造、封装测试三个环节，以及 IDM 厂。我国 MEMS 陀螺仪的研究起源于二十世纪八十年代，国家投入了大量

经费进行 MEMS 陀螺仪方面的研究，在硅基 MEMS 惯性技术产品研制方面，主要集中在传统的惯性技术研制单位和部分微电子技术研制单位，包括航天科技 13 所、航天科工 33 所、航空 618 所、中电 13 所和兵器 214 所等。

航天科技 13 所研发中心 MEMS 技术研究室是专门从事 MEMS 陀螺仪、MEMS 加速度计研制、生产的创新研发团队，研究室拥有一条完整的硅基 MEMS 工艺线，洁净厂房面积 1000 余平米，设备 100 余台套，开发出国际一流的全硅晶圆级真空封装工艺，具备完整的 MEMS 惯性器件加工、封装、测试能力，承担多项国家重大基础研究项目，在 MEMS 惯性器件结构、工艺、封装、测试、ASIC 电路等方面积累丰富，获国防技术发明奖 3 项，编制国军标 3 项，申请发明专利 70 多项，与国内多所高校及科研院所建立了合作关系，研制的 MEMS 陀螺仪、MEMS 加速度计在“十三五”测评中综合指标名列前茅，并已在多个重点型号中批量装备。

航天科工 33 所在上世纪 90 年代即启动石英惯性仪表的研制工作，随着研究的深入以及系统装备的需求，33 所已建成了总面积达 2000m² 的净化厂房，兼容目前已相对成熟的石英音叉陀螺、石英振梁加速度计以及正在研发阶段的硅基 MEMS 仪表的研制需求，整条研制线设备齐套，形成了从前端加工到后端封装的完整的制造能力。

航空 618 所拥有我国航空工业唯一、国内一流的全流程 MEMS 研发工艺平台，其智能传感产业基地项目开工仪式于 2022 年 9 月 13 日在沔东新城举行，该项目总投资 11.6 亿元，规划建设面积约 9 万平方米，建设内容包括 MEMS 生产线、微系统及微机电系统传感器生产调试线、光纤陀螺研发生产基地等，建成后预计 5 年累计产值超过 80 亿元。

中国电子科技集团 13 所是国内最早得到重点扶持的企业，下属子公司美泰科技美泰电子科技有限公司专门致力于 MEMS 器件与系统的研发、生产和销售，在 1995 年就率先开始了 MEMS 技术与产品的探索与研发，推出了我国首款实用化 MEMS 加速度传感器，占领了惯性技术的高地，公司连续多年荣获中国半导体 MEMS 十强企业，IC 独角兽企业。立足 20 年 MEMS 研发积累和市场开拓，背靠世界 500 强 CETC 央企，拥有国内一流的 MEMS 人才团队和软硬件条件，美泰公司成为了集研发、设计、制造、封装测试和系统集成为一体的 MEMS IDM

创新企业，形成了 MEMS 惯性器件与系统、MEMS 传感器、射频（RF）MEMS 器件三大类的优势产品谱系，满足了航空航天、新能源汽车、智能驾驶、智慧城市、物联网和 5G 通信等战略新兴产业对 MEMS 产品的迫切需求。

芯动联科成立于 2012 年，基于半导体的行业积累、独创的微纳结构设计，采纳先进的 MEMS 工艺、特有的封装方案及现代化的管理模式和完善的人才积累，融合集成电路与传统高端惯性行业，促进惯性传感器、压力传感器等传感器向智能化、微型化、易用化、本土化、IC 化发展。自公司成立以来，公司产品已广泛应用于工业生产、工业设备监测与维护、无人系统导航与控制、海洋监测、气象预报、水上水下无人设备导航与控制、石油勘探、测量与测绘、桥梁监测、地质勘探、灾情预警等领域并获得了各领域多国家客户的一致认可和批量订购。

图表18：MEMS 陀螺仪产业链

芯片设计	晶圆制造	封装测试
Invensense	Micralyne (tyledyne)	长电科技
芯动联科	Tronics (TDK)	日月光半导体
深迪半导体	台积电 (TSMC)	华天科技
矽睿科技	X-FAB Silicon Foundries	北方电子院安徽公司
敏芯股份	索尼 (SONY)	
	格罗方德	
	赛微电子/Silex	
	中芯集成	
	无锡华润微电子/华润上华	
	上海先进 ASMC	
	华虹宏力	
	苏州工业园区纳米产业技术研究院	
	北方电子院安徽公司	
	博世、意法半导体、ADI、霍尼韦尔	
	电科 13 所/美泰科技、航天科工 33 所、航天科技 13 所、航空 618 所、美新半导体、士兰微	

资料来源：芯动联科招股说明书，《高性能 MEMS 惯性器件工程化关键技术研究》邢朝洋，中邮证券研究所

4.2 国内 MEMS 陀螺仪性能指标对比

国内 MEMS 陀螺仪相关厂商包括芯动联科、美泰科技、深迪半导体、矽睿科技等。其中，芯动联科主要做高性能产品，典型产品 33 系列陀螺仪的零偏稳定性为 0.1°/h，相较于其他厂商，该指标领先 1-2 个数量级。

图表19：国内 MEMS 陀螺仪相关企业及典型产品性能

企业	简介及代表产品
芯动联科	成立于 2012 年，公司注册地位于安徽省蚌埠市。基于半导体的行业积累，独创的微纳结构设计，采纳先进的 MEMS 工艺，特有的封装方案及现代化的管理模式和完善的人才积累，融合集成电路与传统高端惯性行业，促进惯性传感器、压力传感器等传感器向智能化、微型化、易用化、本土化、IC 化发展。 典型产品：33 系列零偏稳定性 0.1°/h
深迪半导体	成立于 2008 年，是中国首家研发设计商用消费级和汽车级微机电系统（MEMS）陀螺仪系列惯性传感器的公司，产品主要应用于 IOT，手机智能终端，智能家居，人工智能，工业和智能驾舱等领域。 典型产品：SZ007A 零偏稳定性 17°/h
美泰科技	美泰电子专门致力于 MEMS 器件与系统的研发、生产，是国内最大的 MEMS 核心芯片、器件和系统产品供应商，优势产品包括 MEMS 惯性器件与系统、MEMS 传感器、汽车传感器、压力传感器、射频 MEMS 器件等，广泛应用于航空航天、高铁、汽车、自动驾驶、通信等领域。 典型产品：MNV420A 组合导航系统 零偏稳定性 10°/h
矽睿科技	成立于 2012 年，产品包括多款 MEMS 传感器，如六轴 IMU、加速度计、环境传感器、组合传感器等；；磁性传感器芯片，如磁力计、磁编码器、电流传感器、霍尔传感器等；及汽车与物联网智能模组和系统。应用市场聚焦智能手机、智能穿戴、物联网、智能制造，汽车电子，并向智慧医疗、元宇宙、与自动驾驶市场演进。 典型产品：QMI8658，消费级。
敏芯股份	创立于 2007 年，主导构建了中国 MEMS 产业链，被赞誉为产业拓荒者，2020 年 8 月登录科创板，被誉为 MEMS 芯片第一股，是目前中国屈指可数掌握多品类 MEMS 芯片设计和制造工艺能力的企业。公司目前主要产品线包括 MEMS 麦克风、MEMS 压力传感器和 MEMS 加速度计，MEMS 陀螺仪仍处于预研阶段。

资料来源：各公司官网，中邮证券研究所

5 风险提示

MEMS 陀螺仪性能提升速度趋缓、MEMS 陀螺仪行业竞争加剧、存在其他新技术替代 MEMS 陀螺仪等。

中邮证券投资评级说明

投资评级标准	类型	评级	说明
报告中投资建议的评级标准： 报告发布日后的 6 个月内的相对市场表现，即报告发布日后的 6 个月内的公司股价（或行业指数、可转债价格）的涨跌幅相对同期相关证券市场基准指数的涨跌幅。 市场基准指数的选取：A 股市场以沪深 300 指数为基准；新三板市场以三板成指为基准；可转债市场以中信标普可转债指数为基准；香港市场以恒生指数为基准；美国市场以标普 500 或纳斯达克综合指数为基准。	股票评级	买入	预期个股相对同期基准指数涨幅在 20%以上
		增持	预期个股相对同期基准指数涨幅在 10%与 20%之间
		中性	预期个股相对同期基准指数涨幅在-10%与 10%之间
		回避	预期个股相对同期基准指数涨幅在-10%以下
	行业评级	强于大市	预期行业相对同期基准指数涨幅在 10%以上
		中性	预期行业相对同期基准指数涨幅在-10%与 10%之间
		弱于大市	预期行业相对同期基准指数涨幅在-10%以下
	可转债评级	推荐	预期可转债相对同期基准指数涨幅在 10%以上
		谨慎推荐	预期可转债相对同期基准指数涨幅在 5%与 10%之间
		中性	预期可转债相对同期基准指数涨幅在-5%与 5%之间
		回避	预期可转债相对同期基准指数涨幅在-5%以下

分析师声明

撰写此报告的分析师（一人或多人）承诺本机构、本人以及财产利害关系人与所评价或推荐的证券无利害关系。

本报告所采用的数据均来自我们认为可靠的目前已公开的信息，并通过独立判断并得出结论，力求独立、客观、公平，报告结论不受本公司其他部门和人员以及证券发行人、上市公司、基金公司、证券资产管理公司、特定客户等利益相关方的干涉和影响，特此声明。

免责声明

中邮证券有限责任公司（以下简称“中邮证券”）具备经中国证监会批准的开展证券投资咨询业务的资格。

本报告信息均来源于公开资料或者我们认为可靠的资料，我们力求但不保证这些信息的准确性和完整性。报告内容仅供参考，报告中的信息或所表达观点不构成所涉证券买卖的出价或询价，中邮证券不对因使用本报告的内容而导致的损失承担任何责任。客户不应以本报告取代其独立判断或仅根据本报告做出决策。

中邮证券可发出其它与本报告所载信息不一致或有不同结论的报告。报告所载资料、意见及推测仅反映研究人员于发出本报告当日的判断，可随时更改且不予通告。

中邮证券及其所属关联机构可能会持有报告中提到的公司所发行的证券头寸并进行交易，也可能为这些公司提供或者计划提供投资银行、财务顾问或者其他金融产品等相关服务。

《证券期货投资者适当性管理办法》于 2017 年 7 月 1 日起正式实施，本报告仅供中邮证券客户中的专业投资者使用，若您非中邮证券客户中的专业投资者，为控制投资风险，请取消接收、订阅或使用本报告中的任何信息。本公司不会因接收人收到、阅读或关注本报告中的内容而视其为专业投资者。

本报告版权归中邮证券所有，未经书面许可，任何机构或个人不得存在对本报告以任何形式进行翻版、修改、节选、复制、发布，或对本报告进行改编、汇编等侵犯知识产权的行为，亦不得存在其他有损中邮证券商业性权益的任何情形。如经中邮证券授权后引用发布，需注明出处为中邮证券研究所，且不得对本报告进行有悖原意的引用、删节或修改。

中邮证券对于本声明具有最终解释权。

公司简介

中邮证券有限责任公司，2002 年 9 月经中国证券监督管理委员会批准设立，注册资本 50.6 亿元人民币。中邮证券是中国邮政集团有限公司绝对控股的证券类金融子公司。

中邮证券的经营经营范围包括证券经纪、证券投资咨询、证券投资基金销售、融资融券、代销金融产品、证券资产管理、证券承销与保荐、证券自营和与证券交易、证券投资活动有关的财务顾问等。中邮证券目前已经在北京、陕西、深圳、山东、江苏、四川、江西、湖北、湖南、福建、辽宁、吉林、黑龙江、广东、浙江、贵州、新疆、河南、山西等地设有分支机构。

中邮证券紧紧依托中国邮政集团有限公司雄厚的实力，坚持诚信经营，践行普惠服务，为社会大众提供全方位专业化的证券投、融资服务，帮助客户实现价值增长。中邮证券努力成为客户认同、社会尊重，股东满意，员工自豪的优秀企业。

中邮证券研究所

北京

电话：010-67017788

邮箱：yanjiusuo@cnpsec.com

地址：北京市东城区前门街道珠市口东大街 17 号

邮编：100050

上海

电话：18717767929

邮箱：yanjiusuo@cnpsec.com

地址：上海市虹口区东大名路 1080 号邮储银行大厦 3 楼

邮编：200000

深圳

电话：15800181922

邮箱：yanjiusuo@cnpsec.com

地址：深圳市福田区滨河大道 9023 号国通大厦二楼

邮编：518048