

# 化工行业深度报告：六维力矩传感器对应的材料 ——AI 赋能化工之五

评级：推荐(维持)

李永磊(证券分析师)

S0350521080004

liy103@ghzq.com.cn

董伯骏(证券分析师)

S0350521080009

dongbj@ghzq.com.cn

曾子华(联系人)

S0350124080006

zengzh@ghzq.com.cn

# 并购家 免费行业报告网

IPOIPO.CN 每日更新 不用注册会员 无广告 永久免费

## 最近一年走势



## 相对沪深300表现

| 表现    | 1M    | 3M    | 12M  |
|-------|-------|-------|------|
| 基础化工  | 1.2%  | 3.9%  | 5.2% |
| 沪深300 | -0.1% | -1.2% | 9.9% |

## 相关报告

《有机硅行业动态研究之一：有机硅价格不断上涨，看好行业景气修复（推荐）\*基础化工\*李永磊，董伯骏》——2025-03-21

《新材料产业周报：2026年中国eVTOL市场有望突破百亿元，小鹏人形机器人有望2年内量产（推荐）\*基础化工\*李永磊，董伯骏》——2025-03-16

《新材料产业周报：韩国拟建设全球最大的AI数据中心，SpaceX完成首次跨国火箭回收（推荐）\*基础化工\*李永磊，董伯骏》——2025-02-23

## ➤ 六维力矩传感器是金字塔顶端的力传感器

六维力矩传感器是性能最优、力觉信息最全面的力矩传感器，其基于应变效应工作，通过对应变片的微小形变进行信号采集、解耦算法处理后得到精确的测量结果。六维力矩传感器具有高行业壁垒，包括技术壁垒、设备壁垒等，具有较高的技术门槛。

## ➤ 六维力矩传感器有望成为人形机器人的标配

六维力矩传感器广泛应用于航天航空、汽车测试、生物力学和机器人等众多科技领域，行业出货量持续走高，市场规模持续增长。未来，人形机器人将成为六维力矩传感器未来的重要应用领域。特斯拉Optimus Gen2一共搭载了4个六维力矩传感器，分别应用于手腕和脚踝处。

## ➤ 六维力矩传感器需要精密的结构设计

应变片式六维力矩传感器是市场主流，通常由以下几个核心部分组成：弹性体、应变片、PCB板、外壳与接口。弹性体的优化设计（材料、结构尺寸等）直接关系传感器的性能；同时，应变片的粘贴位置也会对传感器的精度产生影响。

## ➤ 六维力矩传感器制造流程复杂

六维力矩传感器制造流程包括组件的设计与制造、传感器元件安装、线路连接、性能测试、校准调试、封装包装等环节，需要经过弹性体加工、贴片、焊线、封胶、标定等多道工序才能包装出货，还需要应用阳极化/电解抛光/喷砂、刻蚀、光刻、化学气相沉积、化学机械抛光等制造工艺。

## ➤ 六维力矩传感器原材料种类繁多

对六维力矩传感器的加工制造过程进行拆分，我们对所需原材料进行了详细梳理：铝合金/合金钢、硫酸/磷酸/铬酐、半导体硅片、蚀刻液、光刻胶及配套试剂、电子特气（硅烷/超纯氨）、抛光垫/抛光液、环氧树脂、酚醛树脂、电子级玻纤、聚四氟乙烯、电解铜箔等是其中关键原材料。

## ➤ 行业评级及投资建议

人形机器人在特斯拉等行业龙头企业推动下，有望进入量产元年。作为人形机器人上的重要应用，六维力矩传感器及其原材料有望随着人形机器人大规模量产实现同步放量。考虑到六维力矩传感器及其原材料放量对化工行业的带动效应，维持基础化工行业“推荐”评级。

## ➤ 风险提示

六维力矩传感器在人形机器人的应用不及预期、成本控制不及预期、人形机器人产量和需求增长不及预期、原材料价格波动、重点关注公司业绩不及预期。

图表：六维力矩传感器材料相关标的

| 对应结构 | 相关流程     | 相关材料      | 相关标的                |
|------|----------|-----------|---------------------|
| 弹性体  | 本体制造     | 铝合金、合金钢   | 南山铝业、中信特钢           |
|      | 阳极化/电解抛光 | 磷酸、硫酸、铬酐  | 云天化、兴发集团、云图控股、振华股份  |
| 硅应变片 | 硅片制造     | 半导体硅片     | 沪硅产业、立昂微、中晶科技       |
|      | 刻蚀       | 蚀刻液       | 江化微、格林达             |
|      | 光刻       | 光刻胶及配套试剂  | 彤程新材、晶瑞电材、南大广电      |
|      | 化学气相沉积   | 硅烷、超纯氨    | 硅烷科技、金宏气体、华特气体      |
|      | 化学机械抛光   | 抛光垫、抛光液   | 鼎龙股份、安集科技           |
| PCB板 | 基材制备     | 环氧树脂      | 中化国际、宏昌电子、东材科技      |
|      |          | 酚醛树脂      | 圣泉集团、兴业股份           |
|      |          | 电子级玻璃纤维   | 中国巨石、中材科技、宏和科技、长海股份 |
|      |          | 聚四氟乙烯PTFE | 巨化股份、东岳集团、永和股份、肯特股份 |
|      | 覆铜板制造    | 电解铜箔      | 诺德股份、嘉元科技、中一科技      |

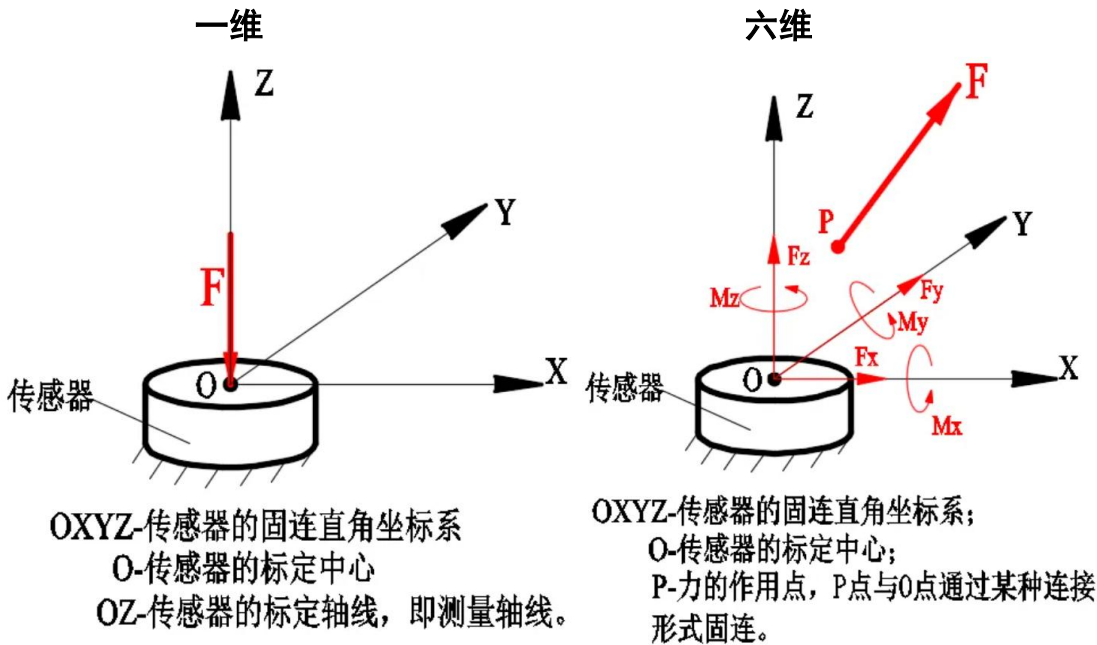
资料来源：各公司公告，互动易，国海证券研究所

- ◆ 六维力矩传感器有望成为人形机器人标配
- ◆ 六维力矩传感器制造流程拆解：结构及原材料
- ◆ 行业评级及投资建议
- ◆ 风险提示

# 六维力矩传感器：金字塔顶端的力传感器

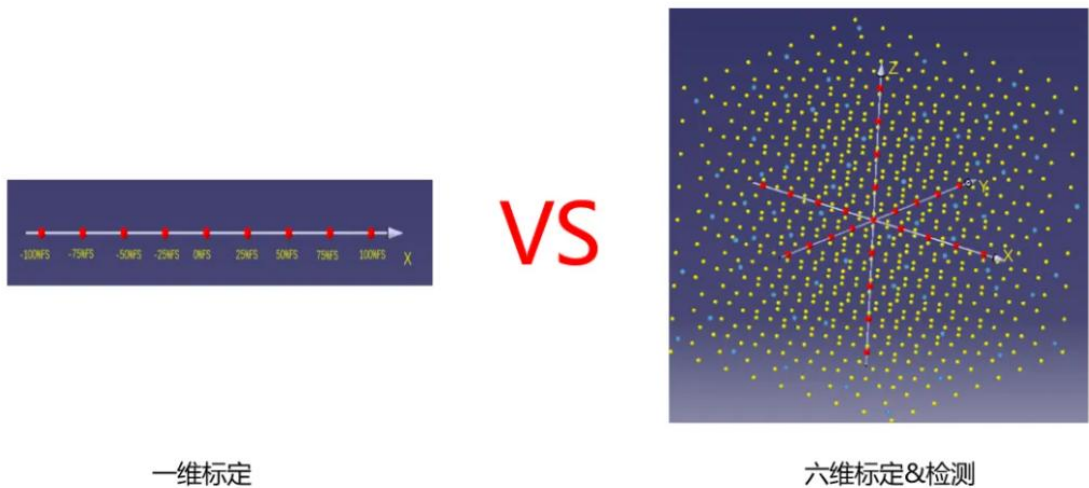
- 六维力矩传感器是性能最优、力觉信息最全面的力矩传感器，能够同时测量三个轴向力和三个轴向力矩，将力矩的物理变化转换成精确的电信号，满足任何方向上力的检测。
- 六维力矩传感器不仅可以更精确测力，且在获得力矩信息后，可以对末端执行器姿态进行反馈控制；同时监测力矩是否在安全范围内，以防传感器弯矩超载导致不可逆的损坏。

图表：不同维度的力和力矩测量示意图



资料来源：坤维科技公众号，国海证券研究所

图表：六维力矩传感器的标定&检测样本空间更大

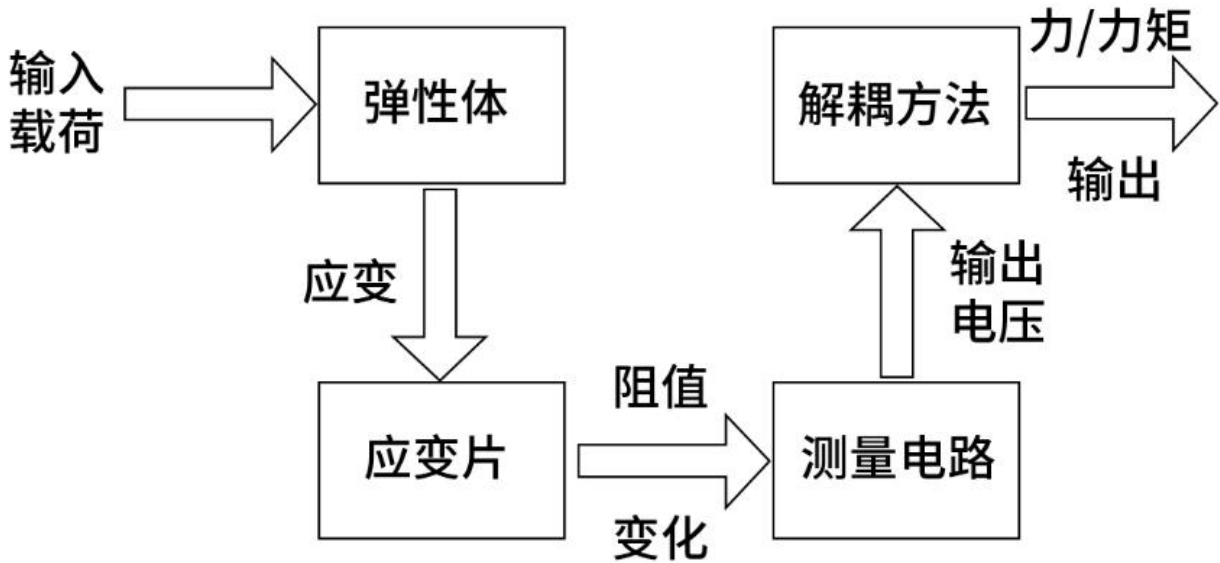


资料来源：坤维科技公众号

# 六维力矩传感器基于应变效应进行信息检测

- 六维力矩传感器基于应变效应工作。当弹性体受到力/力矩作用时，其形状会发生应变，从而会导致应变片电阻值发生变化。应变片的微小电阻变化被检测到后，将通过电荷放大器放大，并转化为电信号及数字信号。
- 数字信号通过数据采集系统进行采集，并进行模数转换（A/D转换）。随后，控制系统中的软件算法对数据进行处理，包括解耦算法，以分离各个方向上的力和力矩，得到测量结果并确保测量结果的准确性。

图表：应变片式六维力矩传感器信息检测原理



资料来源：纳博特科技官网

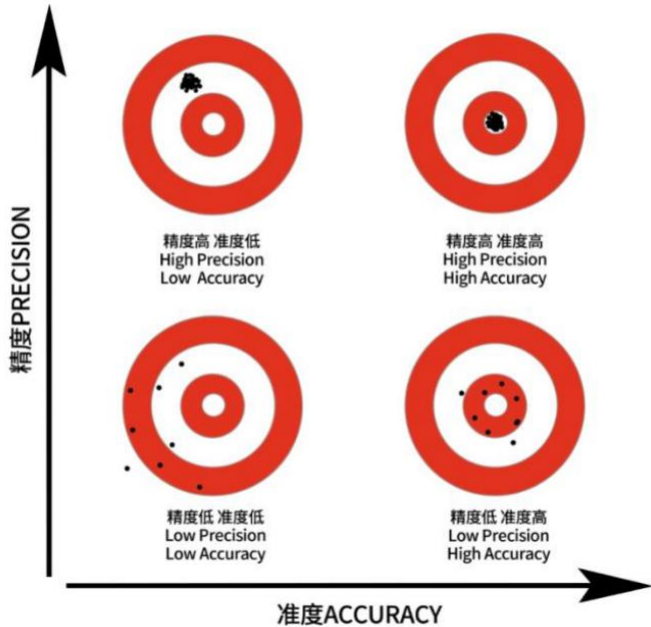
- 六维力矩传感器具有高技术壁垒，主要体现在维间耦合影响测量精度、全方位机械过载保护操作复杂以及动态性能难以测量等关键技术问题的解决上。这需要依赖严格的加工精度、强大的产品性能与前沿的智能算法等要素。
- 六维力矩传感器具有高设备壁垒，其标定与检测依赖需要由六维力矩传感器厂商自行研制的六维联合加载设备。这涉及空间光学定位、载荷位移补偿、机电一体化等多项综合技术，具有较高的技术门槛。

图表：串扰指标是体现六维力矩传感器产品性能的关键指标之一

| 载荷组 | 标定载荷 (理论真值) |        |        |        |        |        | 测试结果    |          |         |          |          |         |
|-----|-------------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|----------|---------|----------|----------|---------|
|     | Fx          | Fy     | Fz     | Mx     | My     | Mz     | Fx      | Fy       | Fz      | Mx       | My       | Mz      |
| 1   | 100%FS      | 0%FS   | 0%FS   | 0%FS   | 0%FS   | 0%FS   | 99.8%FS | 1.2%FS   | 2.3%FS  | 1.7%FS   | 2.6%FS   | 2.9%FS  |
| 2   | 0%FS        | 100%FS | 0%FS   | 0%FS   | 0%FS   | 0%FS   | 0.3%FS  | 100.1%FS | 2.7%FS  | 1.1%FS   | 2.7%FS   | 1.4%FS  |
| 3   | 0%FS        | 0%FS   | 100%FS | 0%FS   | 0%FS   | 0%FS   | 1.8%FS  | 1.2%FS   | 99.7%FS | 1.9%FS   | 2.6%FS   | 2.7%FS  |
| 4   | 0%FS        | 0%FS   | 0%FS   | 100%FS | 0%FS   | 0%FS   | 2.1%FS  | 1.6%FS   | 2.1%FS  | 100.5%FS | 2.6%FS   | 1.2%FS  |
| 5   | 0%FS        | 0%FS   | 0%FS   | 0%FS   | 100%FS | 0%FS   | 1.2%FS  | 2.1%FS   | 1.6%FS  | 1.7%FS   | 100.6%FS | 2.5%FS  |
| 6   | 0%FS        | 0%FS   | 0%FS   | 0%FS   | 0%FS   | 100%FS | 1.3%FS  | 1.3%FS   | 2.5%FS  | 2.3%FS   | 2.6%FS   | 99.9%FS |

备注： FS——Full scale；FS表示六维力传感器各方向的额定量程。

图表：六维力矩传感器精度和准度的统计意义

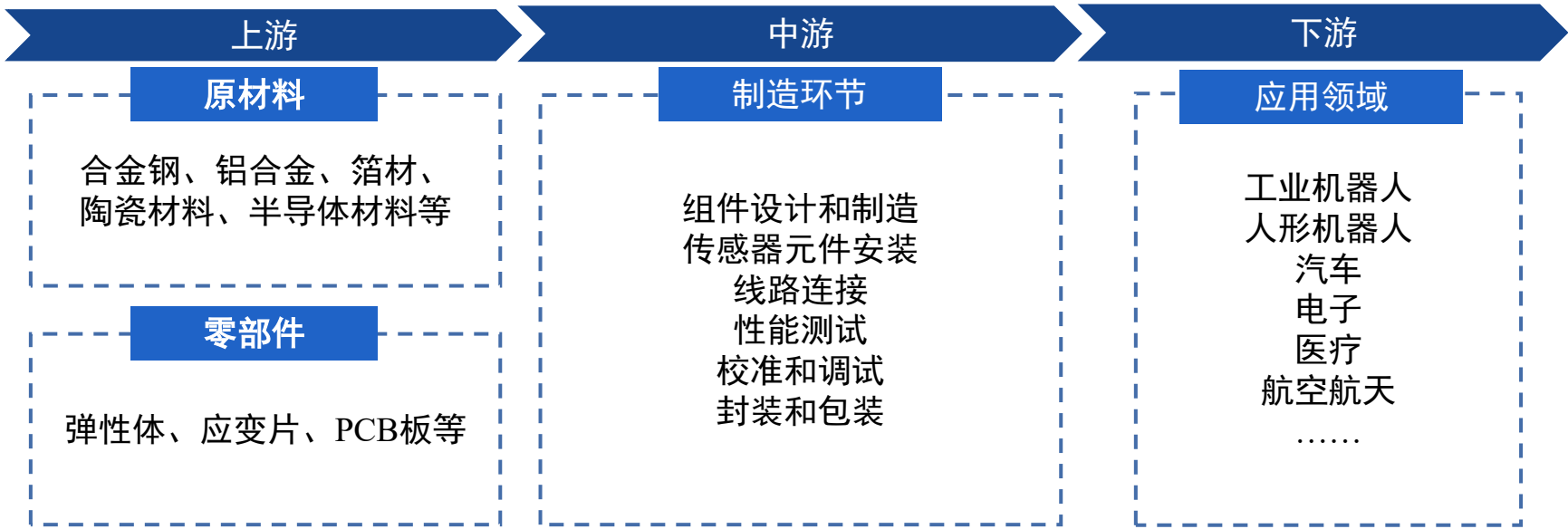


资料来源：坤维科技公众号

资料来源：坤维科技公众号

- 完整的六维力矩传感器产业链涉及上游组件、中游制造和下游多元应用场景。产业链上游主要包括原材料和零部件的供应，中游是六维力矩传感器的制造环节，下游是六维力矩传感器的应用领域，主要包括工业机器人、人形机器人、汽车、电子、医疗、航空航天等。

图表：六维力矩传感器产业链



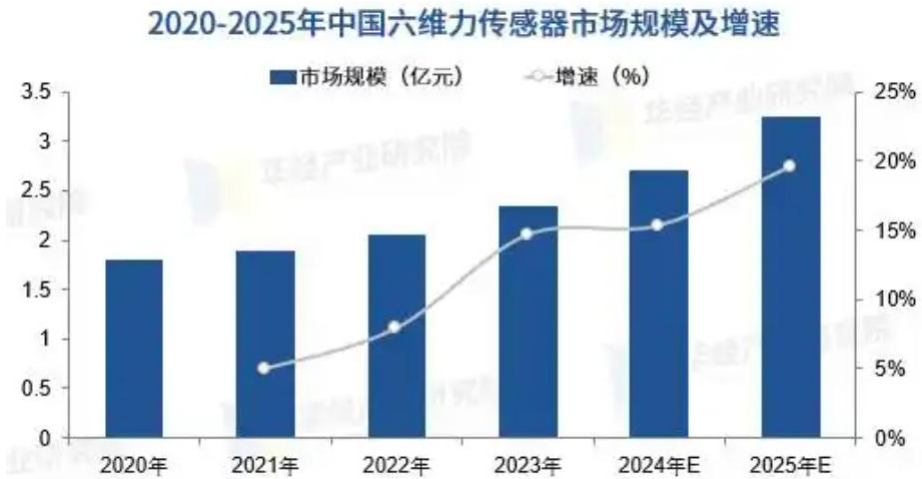
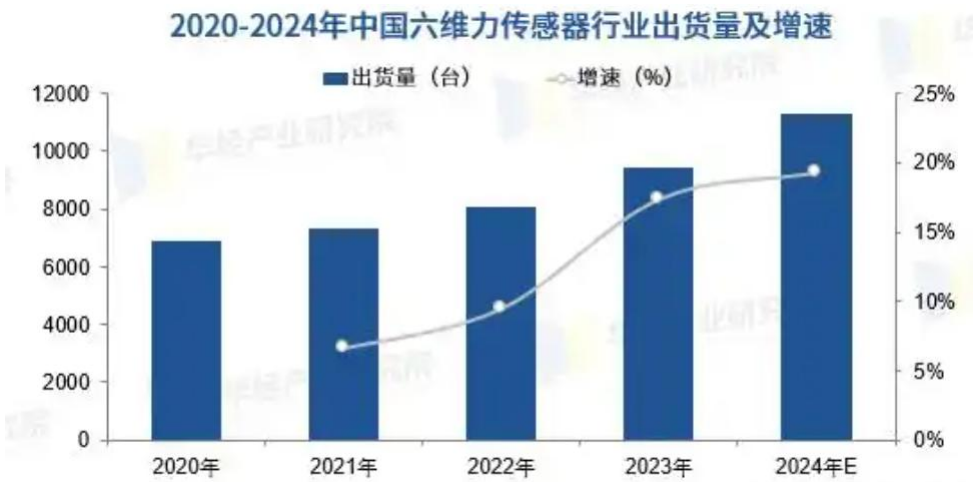
资料来源：智研咨询，百度爱采购，国海证券研究所

# 六维力矩传感器市场规模持续增长

- 六维力矩传感器广泛应用于航天航空、汽车测试、生物力学和机器人等众多科技领域，行业出货量持续走高。据华经产业研究院，2023年中国六维力矩传感器行业出货量约为9450台，预计2024年将达到1.13万台。
- 未来六维力矩传感器市场规模将保持增长。据华经产业研究院，中国六维力矩传感器市场规模从2020年的1.81亿元增长至2023年的2.35亿元，预计2025年将超过3亿元。

图表：2024年中国六维力矩传感器出货量预计达1.13万台

图表：2025年中国六维力矩传感器市场规模预计超3亿元



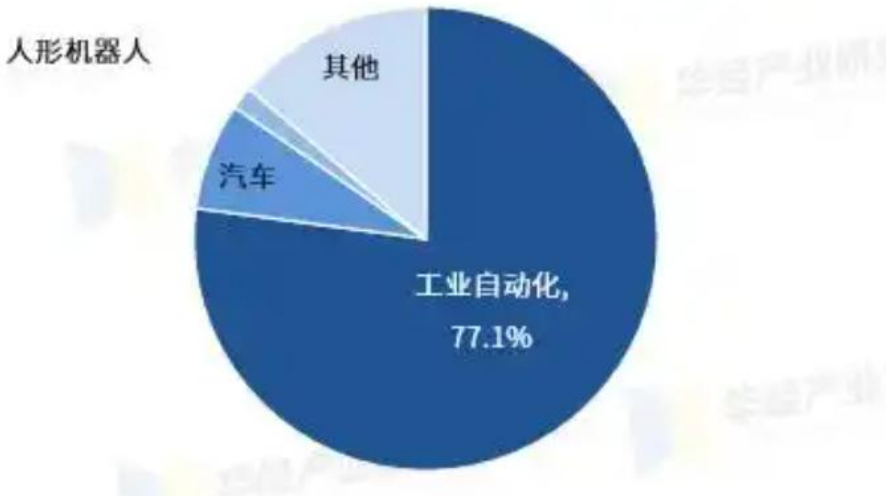
资料来源：华经产业研究院

资料来源：华经产业研究院

# 六维力矩传感器有望成为人形机器人的标配

- 机器人是六维力矩传感器的重要应用领域。2023年12月，特斯拉发布Optimus Gen2的更新视频。视频显示，六维力矩传感器应用于Optimus的手腕及脚踝处，使Optimus结构更简洁，对力的感知和控制效果更好。
- 特斯拉Optimus全身一共搭载了4个六维力矩传感器。我们认为，若以Optimus作为未来人形机器人的建造范式，六维力矩传感器有望成为人形机器人的标配；当人形机器人出货量达到100万台时，可拉动400万个六维力矩传感器的销量。

图表：人形机器人是六维力矩传感器未来的重要应用领域



资料来源：华经产业研究院

图表：六维力矩传感器在Optimus脚踝处的应用



资料来源：机器人大讲堂，国海证券研究所

# 当前六维力矩传感器价格昂贵

- 当前六维力矩传感器价格昂贵。据E-Motion Supply，Mini58 Series型号的ATI六维力矩传感器价格需要7047.9美元，约合人民币51206.5元（按2025年3月27日美元兑人民币汇率7.2655：1计算）。
- 根据MIR睿工业公众号，六维力矩传感器中国市场第一梯队企业包括美国ATI及中国的宇立仪器、蓝点触控、坤维科技，第二梯队包括海伯森、HBM、鑫精诚等。

图表：不同六维力矩传感器价格比较

| 公司   | 型号                     | 应变片种类 | 价格                      |
|------|------------------------|-------|-------------------------|
| ATI  | Mini45 Titanium Series | 硅应变片  | USD 8983.0              |
| ATI  | Mini58 Series          | 硅应变片  | USD 7047.9              |
| 坤维科技 | KWR116                 | 金属应变片 | USD 2687.0 <sup>注</sup> |
| 坤维科技 | KWR96A                 | 金属应变片 | USD 3857.0              |
| 海伯森  | 060S                   | 金属应变片 | CNY 40000.0             |
| 瑞尔特  | T521                   | 金属应变片 | CNY 38000.0             |

资料来源：E-Motion Supply，Alibaba，百度爱采购，阿里巴巴1688，国海证券研究所（注：10件起；统计截至2025/3/27）

- 面对六维力矩传感器广阔的市场蓝海，众多上市公司敏锐捕捉到机遇，积极投身布局，在技术研发和市场拓展方面各显神通，其中多家公司已实现相关产品的批量销售。

图表：国内上市公司布局六维力矩传感器情况

| 上市公司 | 布局情况                                                                    |
|------|-------------------------------------------------------------------------|
| 柯力传感 | 公司六维力传感器产品已实现向部分客户的 <b>批量供货</b> ；其中给华为送样已测试合格，订单已完成交付                   |
| 东华测试 | 公司六维力传感器目前处于 <b>小批量试制阶段</b> ；公司全资子公司东华校准提供机器人多维力/力矩传感器检测服务。相关应用已形成销售收入。 |
| 昊志机电 | 公司产品已包括六维度力矩传感器，力控精度世界领先；已应用于按摩机器人，并 <b>实现批量销售</b>                      |
| 安培龙  | 公司六维力传感器正处于 <b>样品研发阶段</b>                                               |
| 凯尔达  | 公司控股子公司凯维力传感目前正在积极推进基于MEMS加工技术和感知结构的六维力/力矩传感器 <b>相关产品的研发</b> ，争取尽快送样    |
| 中航成飞 | <b>公司已推出六维力传感器</b> 产品，目前正在和国内多家头部机器人公司积极接洽，项目推进顺利                       |
| 汇川技术 | 公司产投已投资机器人上使用的六维力传感器公司                                                  |

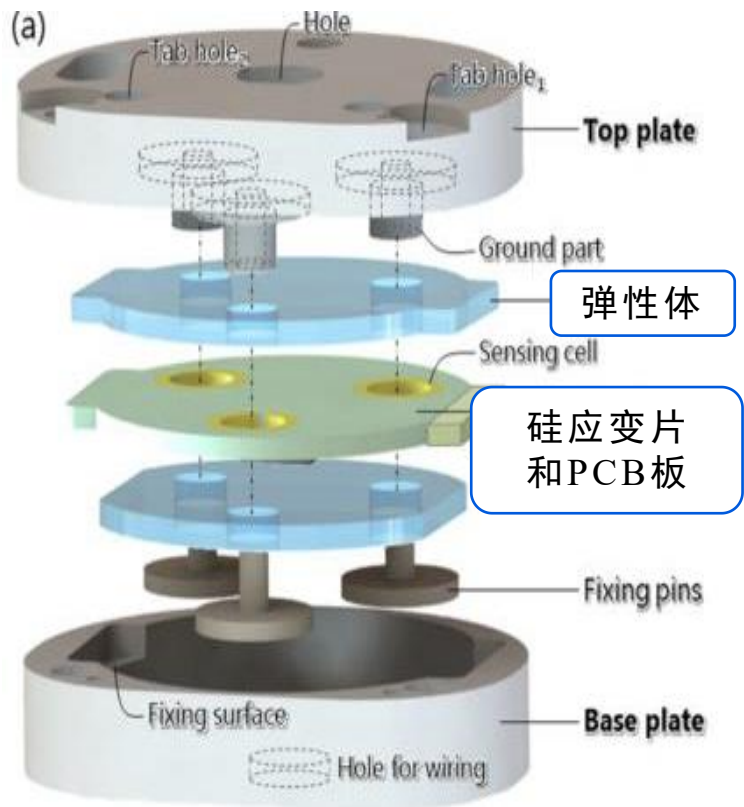
资料来源：互动易，上证e互动，国海证券研究所（为不完全统计；统计截至2025/3/27）

- ◆ 六维力矩传感器有望成为人形机器人标配
- ◆ 六维力矩传感器制造流程拆解：结构及原材料
- ◆ 行业评级及投资建议
- ◆ 风险提示

# 六维力矩传感器需要精密的结构设计

- 应变片式六维力矩传感器是市场主流，通常由以下几个核心部分组成：弹性体、应变片、PCB板、外壳与接口。
- 六维力矩传感器需要精密的结构设计，具体包括弹性体结构设计和应变片粘贴位置。
- 六维力矩传感器利用弹性体来感知作用在装置上的力/力矩，所以对于弹性体的优化设计（材料、结构尺寸等）直接关系传感器的性能。同时，由于六维力传感器弹性体尺寸较小，贴片位置有限，应变片的粘贴位置也会对传感器的精度产生影响。

图表：一种六维力矩传感器的结构组成

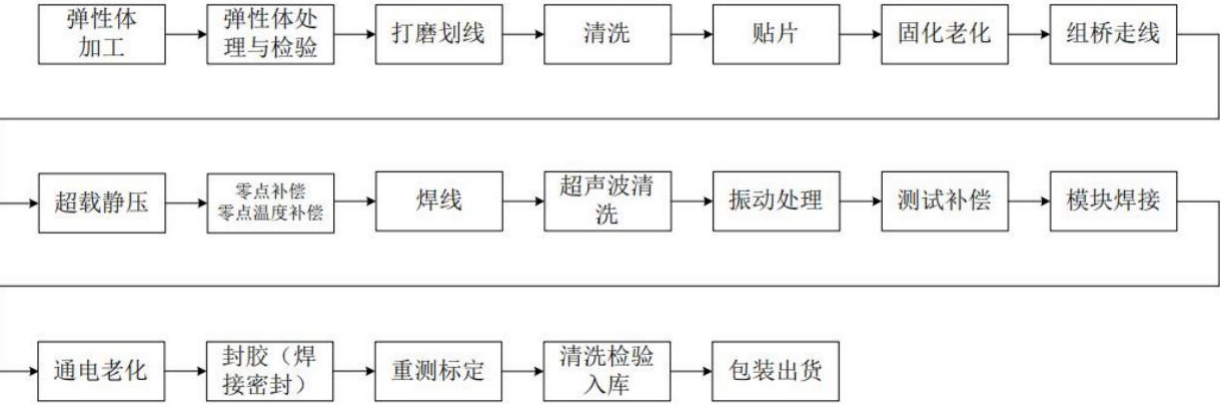


资料来源：《Six-Axis Force/Torque Fingertip Sensor for an Anthropomorphic Robot Hand》，国海证券研究所

# 原材料在六维力矩传感器成本端占比最高

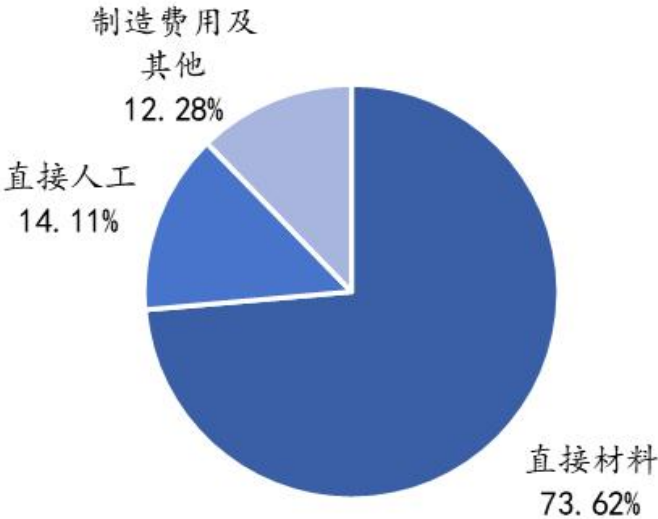
- 六维力矩传感器制造流程复杂，可分为选料、贴片、温漂和零漂的控制、标定等四大环节，需要经过弹性体加工、贴片、焊线、封装、标定等多道工序才能包装出货。
- 六维力矩传感器的原材料费用在其成本端占比最高。据柯力传感2023年年度报告，六维力矩传感器的成本结构拆分中，原材料端占比最高，达73.62%；其次是在贴片等环节需要的人工费用，占比达14.11%。

图表：六维力矩传感器制造流程



资料来源：柯力传感公司公告，国海证券研究所

图表：六维力矩传感器成本结构分析

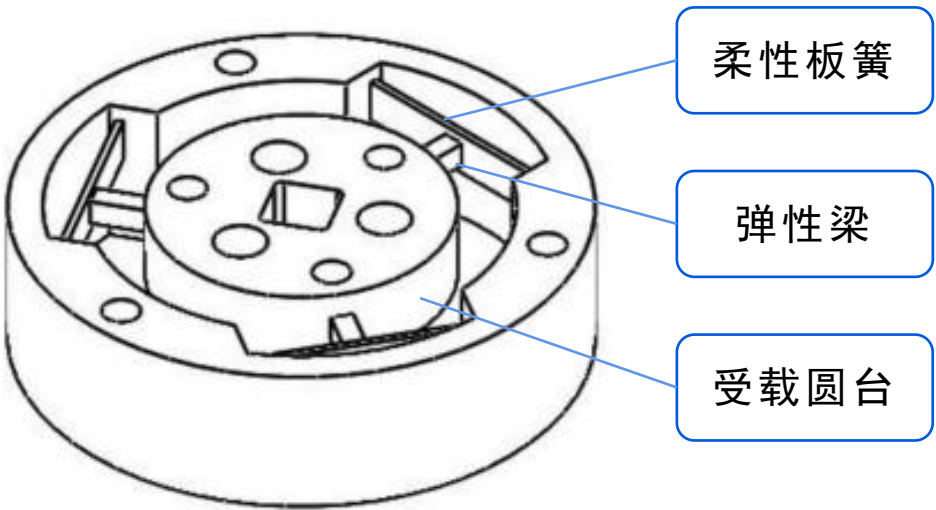


资料来源：柯力传感公司公告，国海证券研究所（注：数据为2023年年度报告发布）

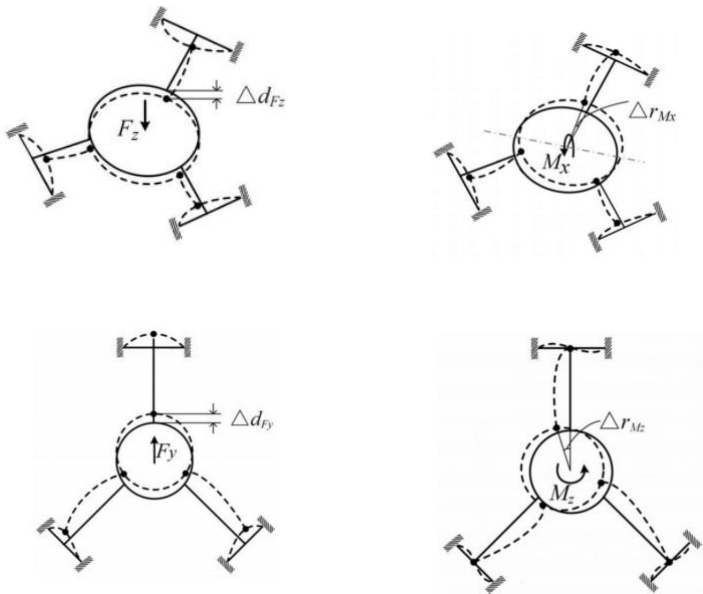
# 弹性体

- 弹性体的结构包括弹性梁、柔性板簧和受载圆台；其中弹性梁和柔性板构成T型结构，用于承受力的作用，位于中心的受载圆台通过柔性板簧连接弹性梁，用于传递力矩。
- 当传感器受到外力时，弹性体的形变带动上电极板产生位移，从而引起六组平行平板电容的极板间距发生变化，进而将六维力的信息转化为六个电容信号输出。

图表：一种弹性体结构示意图



图表：x/y/z轴向形变信号传导示意图



资料来源：《电容式小型六维力传感器、优化设计及六维力解耦方法》  
张旻等，国海证券研究所

资料来源：《电容式小型六维力传感器、优化设计及六维力解耦方法》  
张旻等

- 弹性体的材料一般为铝合金、合金钢等，需经过阳极化、电解抛光、喷砂等其中一种表面处理。

图表：弹性体表面处理工艺及部分所需材料

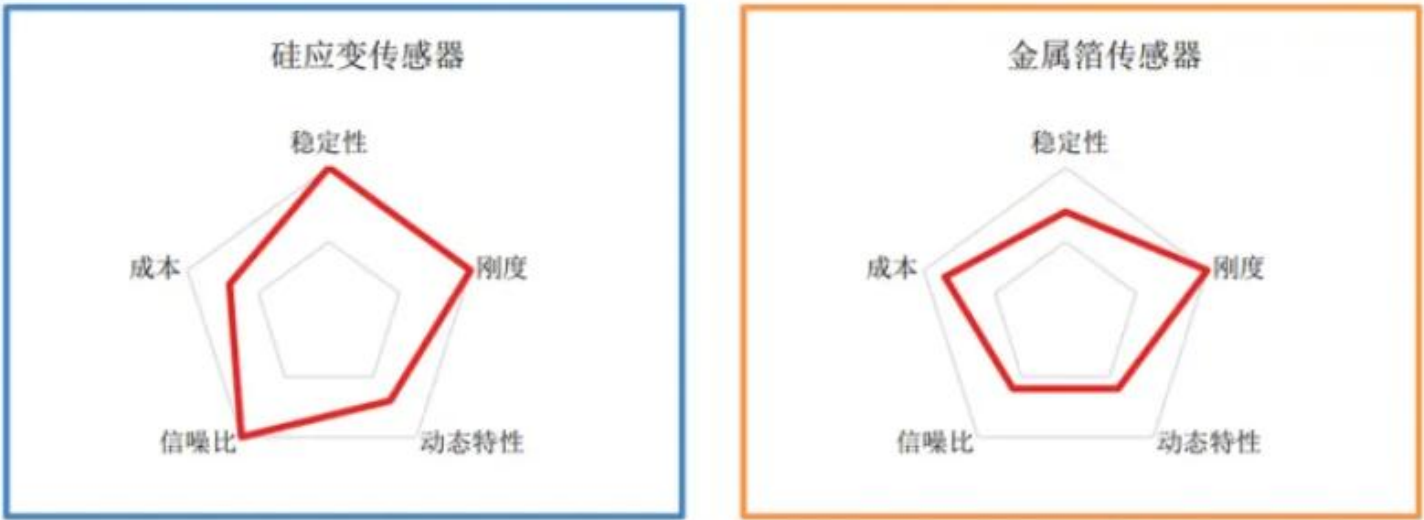
| 表面处理工艺 | 工艺流程                                                                   | 所需材料                                          |
|--------|------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| 阳极化    | 在电解质溶液中，通过电化学处理的方法，在金属阳极表面生成具有耐蚀、耐磨以及其他功能的转化膜层的工艺过程。                   | 电解质溶液： <b>铬酸、磷酸、草酸、硫酸</b> 等                   |
| 电解抛光   | 将待抛光的不锈钢工件作为阳极置于电解槽中，并将不溶性金属作为阴极，两者相距一定距离浸入电解液中，通电进行电解抛光。              | 电解液： <b>硫酸、磷酸、铬酐</b> 等                        |
| 喷砂     | 利用压缩空气或高压水流将磨料加速，并通过喷嘴喷射到工件表面；磨料在高速冲击下，与工件表面产生摩擦和撞击，从而达到清洁、抛光和粗化表面的目的。 | 喷料： <b>石英砂SiO<sub>2</sub>、金刚砂SiC、玻璃珠、钢丸</b> 等 |

资料来源：坤维科技官网，百度爱采购，速加网，金属材料科学与技术，国海证券研究所

# 应变片

- 应变片是一种对外应变敏感的材料。将应变片固定在受力部位，当外界力作用在物体上时，物体在该方向上会发生应变。应变片内的电阻片用以测量应变片上的应变变化，从而实现对压力的准确测量。
- 金属应变片通常由高纯度的金属如铜、镍或康铜合金制成，利用金属的泊松效应进行测量。硅应变片是利用硅片的应变效应实现测量的一种应变片，相比于金属应变片，硅应变片在稳定性、信噪比以及动态特性方面优于金属应变片，但硅应变片成本较高。

图表：不同应变片六维力矩传感器性能比较



资料来源：Leaderobot公众号

- 硅应变片具有高信噪比、高稳定性、优秀的动态特性等优点，在使用玻璃微熔等先进贴片工艺的条件下，硅应变片能适用于大规模的工业化生产。
- 硅应变片涉及精密的加工过程，其中包含抛光、光刻及刻蚀、化学气相沉积、化学机械抛光CMP等步骤。

图表：一种MEMS硅应变片的加工过程

将N型硅片切磨并实现双面抛光，在硅片的上表面光刻及刻蚀构成四个阻值系统的P型电阻，并使四个P型电阻连接组成惠斯通电桥。



将处理后的硅片放置在制程反应室中并加热至500~600℃，将含硅气体和氨气流入该制程反应室，采用化学气相沉积法在硅片的表面生成一层20~50nm氮化硅保护层。

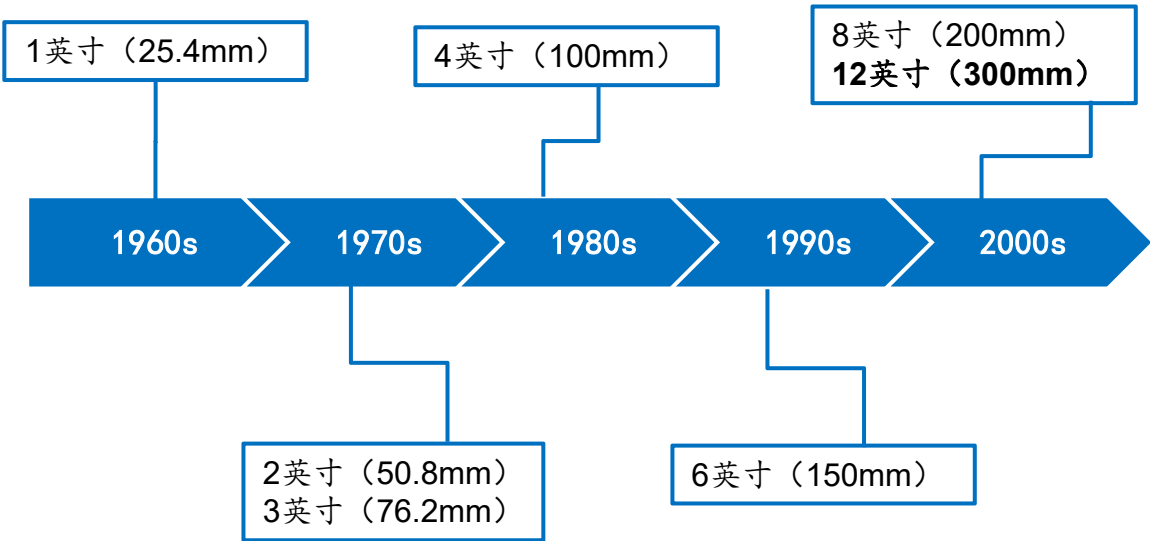


采用化学机械抛光工艺将硅片进行打磨，并将硅片厚度腐蚀、打磨到10~50μm。

资料来源：《一种MEMS硅应变片及其加工方法》陈君杰等，国海证券研究所

- 硅应变片所使用的硅片是**电子级单晶N型硅片**（也可用SOI硅片）。
- 相比于太阳能级的单晶硅片，**电子级单晶硅片纯度要求更高**，一般要求纯度在99.999%以上。
- 自2002年左右以来，大多数新工厂都使用 12 英寸晶圆（300 毫米）。硅片尺寸越大，将来在制成的每块晶圆上就能切割出更多的芯片，单位芯片的成本也就更低。

图表：半导体硅片尺寸发展历程



资料来源：半导体行业观察，国海证券研究所

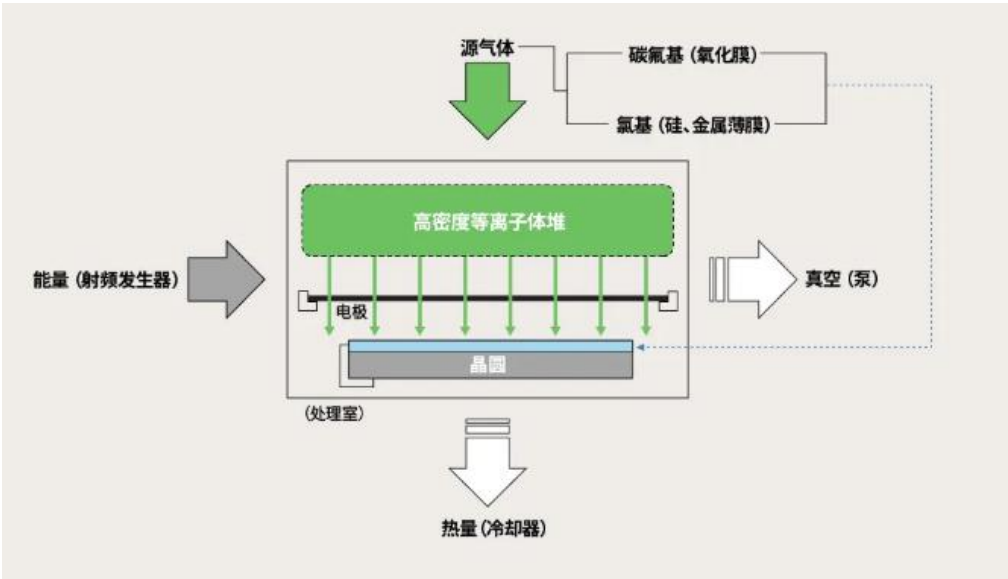
图表：不同尺寸半导体硅片价格及用途

| 企业   | 硅片尺寸   | 价格（元/片） | 用途           |
|------|--------|---------|--------------|
| 沪硅产业 | 12英寸   | 470     | 芯片、传感器、功率器件等 |
|      | 8英寸及以下 | 413     |              |
| 立昂微  | 折合6英寸  | 193     | 逻辑电路、功率器件等   |
| 中晶科技 | /      | 8.75    | 半导体功率芯片及器件   |

资料来源：各公司公告，国海证券研究所（注：数据来源均为2023年年度报告发布）

- **刻蚀**是指按照掩模图形或设计要求对半导体衬底表面或表面覆盖薄膜进行选择性的腐蚀或剥离的技术。
- 刻蚀的**机制**，包含反应物接近、生成物离开的扩散效应，以及化学反应两部分；按发生顺序可概分为「反应物接近表面」、「表面氧化」、「表面反应」、「生成物离开表面」等过程。
- 刻蚀工艺可分为**湿法刻蚀**和**干法刻蚀**，其中干法刻蚀市场占比更高。湿法刻蚀会均匀地刻蚀所有方向，而干法刻蚀可以在某一特定方向上进行切割，对于形貌的控制更精确，刻蚀的方法更灵活。

图表：干法刻蚀工艺流程示意图



图表：不同刻蚀技术对比

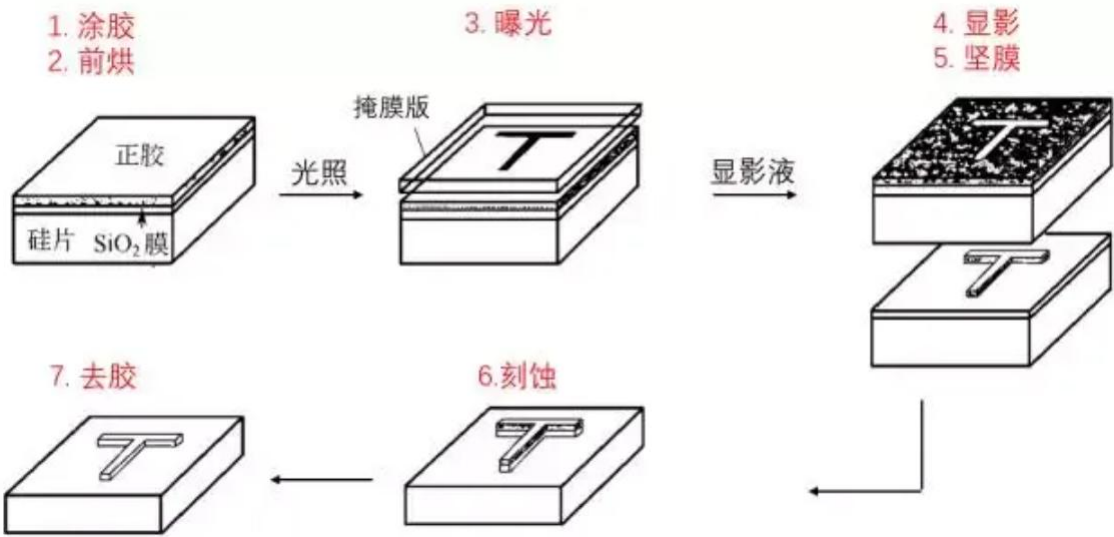
| 区别   | 湿法刻蚀               | 干法刻蚀             |
|------|--------------------|------------------|
| 刻蚀耗材 | 液态化学溶液             | 等离子体/反应气体        |
| 刻蚀速率 | 各向同性               | 各向可控             |
| 适用精度 | 1μm以上              | 微细加工             |
| 适用场景 | 较高刻蚀选择性<br>大面积材料去除 | 高精度刻蚀<br>先进半导体制造 |

资料来源：水晶光电公众号

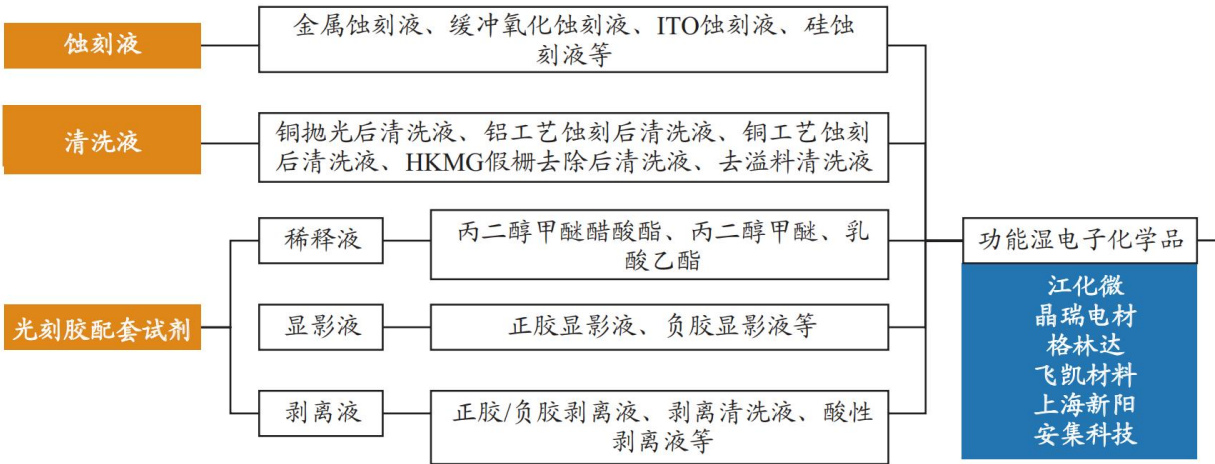
资料来源：铁氟龙管小姐姐，国海证券研究所

- 光刻就是将掩膜版上的几何图形转移到涂有一层光刻胶的硅片表面的工艺过程。
- 半导体光刻技术包括曝光、显影、刻蚀等流程。光刻及后续的刻蚀过程所需材料包括光刻胶，稀释液、显影液、剥离液等光刻胶配套试剂，蚀刻液等功能湿电子化学品。

图表：光刻工艺流程图



图表：湿电子化学品分类



资料来源：半导体材料与工艺设备公众号

资料来源：《2024年国海化工产业链信息手册》，国海证券研究所

# 化学气相沉积法（CVD）

- 化学气相沉积（CVD）是一种通过气相反应生成固体薄膜的工艺，广泛应用于氮化硅镀膜。CVD工艺的核心在于控制反应气体的流量、温度和压力，从而实现高质量薄膜的制备。
- 低压化学气相沉积（LPCVD）是一种在低压条件下进行的CVD工艺，通常在500-900℃的温度范围内进行。技术特点包括：**高沉积速率**，适合大规模工业生产；**均匀性好**（低压环境下，气相反应物分布均匀，保证了膜层的均匀性和一致性）；**高纯度**（反应气体的纯度高，生成的氮化硅薄膜纯度较高，适合高要求的电子和光学应用）。

图表：LPCVD工艺步骤

- 1、反应气体引入：选择合适的反应气体，如硅烷（ $\text{SiH}_4$ ）和氨气（ $\text{NH}_3$ ），并通过流量控制系统将其引入反应室。
- 2、反应室加热：将反应室加热至预定温度，通常在500-900℃之间，以促进反应气体的分解和薄膜的沉积。
- 3、气相反应：在低压条件下，反应气体在基底表面发生化学反应 $3\text{SiH}_4 + 4\text{NH}_3 \rightarrow \text{Si}_3\text{N}_4 + 12\text{H}_2$ ，生成氮化硅薄膜。
- 4、薄膜沉积：氮化硅薄膜在基底表面逐渐沉积，形成均匀的膜层。
- 5、排气和冷却：反应完成后，排出反应室内的残留气体，并将基底冷却至室温。

资料来源：江西国材科技，国海证券研究所

- **电子气体**（含电子大宗载气和电子特种气体）作为集成电路、液晶面板、LED、光纤通信、光伏等电子工业生产中不可缺少的基础性原材料之一，被广泛应用于薄膜、刻蚀、掺杂、气相沉积、扩散等工艺。
- 硅应变片的制造过程需要使用到**含硅气体、超纯氨等电子特气**；其中含硅气体可包括硅烷、1,3,4,5,7,8-六甲基四硅氮烷、正硅酸乙酯等。

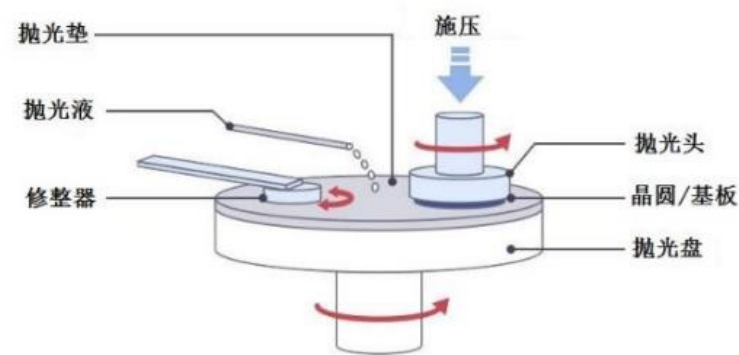
图表：硅应变片制造过程中所需的电子特气及其作用

| 电子特气  | 所起作用              | 应用领域                                     |
|-------|-------------------|------------------------------------------|
| 硅烷    | 作为提供硅组分的气体源       | 广泛应用于微电子、光电子工业，用于制造太阳电池、平板显示器、玻璃和钢铁镀层    |
| 正硅酸乙酯 | 构建半导体衬底表面的二氧化硅绝缘层 | 用于LPCVD，是第三代半导体材料 and 新兴半导体产业中重要的前驱体材料之一 |
| 超纯氨   | 作为一种提供氮组分的保护气体    | 广泛地应用于光伏电池、半导体、显示面板等，以及需要保护气氛的其他工业和科学研究  |

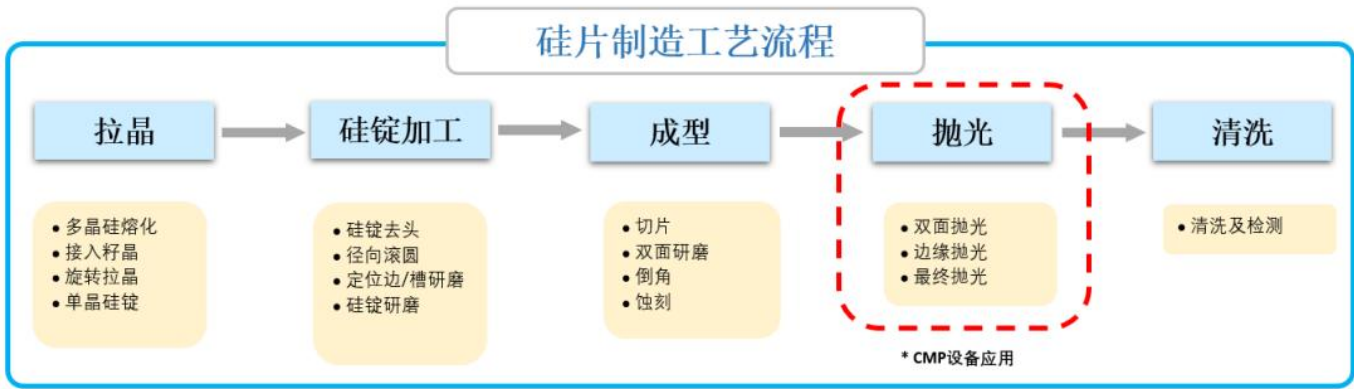
资料来源：金宏气体公司公告，华经产业研究院，江西国材科技，国海证券研究所

- 化学机械抛光（CMP）是集成电路（芯片）制造过程中实现晶圆表面平坦化的关键工艺。在硅片制造领域，半导体抛光片生产工艺流程中，在完成拉晶、硅锭加工、切片成型环节后，在抛光环节，为最终得到平整洁净的抛光片需要通过CMP设备及工艺来实现。
- CMP耗材主要包括抛光液、抛光垫、调节器等，其中，抛光液和抛光垫是CMP工艺的核心材料。
- 随着半导体制程工艺的进步、芯片堆叠层数的增加，抛光步骤和CMP耗材用量也将同步增加。据每日财报网，14nm以下的逻辑芯片工艺要求抛光步骤达20步以上、抛光液种类达二十种以上，7nm及以下逻辑芯片工艺要求抛光步骤达30步、抛光液种类接近30种。

图表：CMP抛光模块示意图



图表：CMP 抛光在硅片制造中的应用

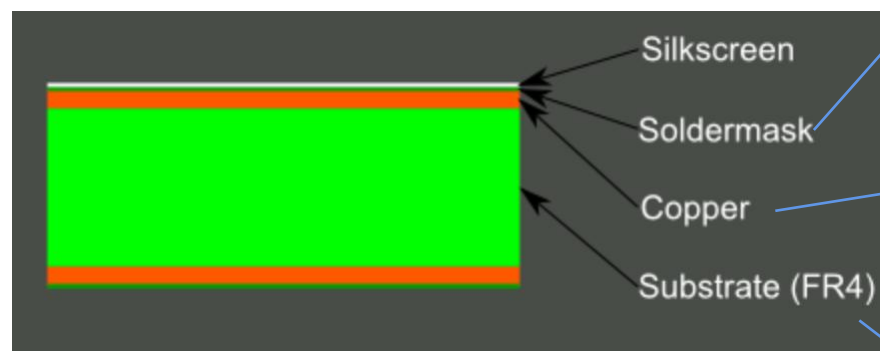


资料来源：华海清科招股说明书

资料来源：华海清科招股说明书

- 电路板，简称**PCB**(Printed Circuit Board)，是电子设备的核心部分。它由绝缘材料(通常是玻纤板)作为基板，并在其上通过化学加工或机械加工布设金属线路，用于连接和支撑各种电子元器件。
- 电路板的核心功能在于实现电信号的传递和分配，将电源和控制信号送至各个电子元器件。其工作原理可以理解为：通过导电铜箔和不同的电路路径，将各种电子元件连接起来，从而实现电流的流动和信号的传递。
- 一般来说，PCB板的基本组成部分包括基材、导电层、阻焊层、字符标识等几个部分。

图表：PCB板结构示意图



**阻焊层：**为了避免铜箔导电层发生短路，电路板表面会覆盖一层绿色的阻焊层，起到保护和绝缘的作用

**导电层：**使用铜箔作为导电材料，在电路板/覆铜板上形成各种电路路径，用于电信号的传输

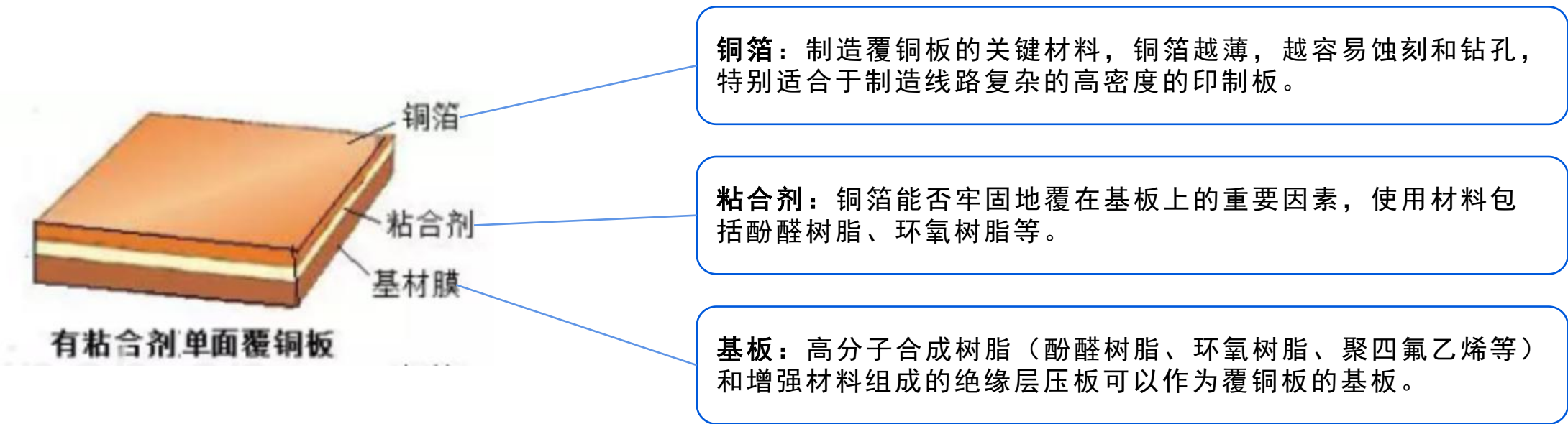
**基材：**通常使用玻璃纤维增强的环氧树脂或酚醛树脂纸板(如FR-4)，基材为电路板提供了机械支撑

资料来源：Sparkfun，东北网，国海证券研究所

# 覆铜板

- 覆铜板是PCB产业链的核心。据华经产业研究院，覆铜板全称为覆铜箔层压板(CCL)，是将电子玻纤布或其它增强材料浸以树脂，一面或双面覆以铜箔并经热压而制成的一种板状材料，占PCB成本的30%-70%。
- 覆铜板可划分为刚性覆铜板和挠性覆铜板。细分全球覆铜板品类结构而言，全球覆铜板需求和规模以刚性覆铜板为主，细分品类来看FR-4(玻璃纤维环氧树脂覆铜板耐燃等级代号)占比最高。
- 纸基覆铜板以纸质材料为增强材料，酚醛树脂为粘合剂，生产成本较低，通常应用于性能要求较低的电子产品中；FR-4以玻璃纤维布为增强材料，环氧树脂为粘合剂，具有优异的耐热性、机械强度和电气性能。

图表：有粘合剂单面覆铜板结构示意图



资料来源：爱彼电路官网，杭州先略，国海证券研究所

- ◆ 六维力矩传感器有望成为人形机器人标配
- ◆ 六维力矩传感器制造流程拆解：结构及原材料
- ◆ 行业评级及投资建议
- ◆ 风险提示

- 作为人形机器人上的重要应用，六维力矩传感器及其原材料有望随着人形机器人大规模量产实现同步放量。考虑到六维力矩传感器及其原材料放量对化工行业的带动效应，维持基础化工行业“推荐”评级。

图表：六维力矩传感器材料相关标的

| 对应结构 | 相关流程     | 相关材料      | 相关标的                |
|------|----------|-----------|---------------------|
| 弹性体  | 本体制造     | 铝合金、合金钢   | 南山铝业、中信特钢           |
|      | 阳极化/电解抛光 | 磷酸、硫酸、铬酐  | 云天化、兴发集团、云图控股、振华股份  |
| 硅应变片 | 硅片制造     | 半导体硅片     | 沪硅产业、立昂微、中晶科技       |
|      | 刻蚀       | 蚀刻液       | 江化微、格林达             |
|      | 光刻       | 光刻胶及配套试剂  | 彤程新材、晶瑞电材、南大广电      |
|      | 化学气相沉积   | 硅烷、超纯氨    | 硅烷科技、金宏气体、华特气体      |
|      | 化学机械抛光   | 抛光垫、抛光液   | 鼎龙股份、安集科技           |
| PCB板 | 基材制备     | 环氧树脂      | 中化国际、宏昌电子、东材科技      |
|      |          | 酚醛树脂      | 圣泉集团、兴业股份           |
|      |          | 电子级玻璃纤维   | 中国巨石、中材科技、宏和科技、长海股份 |
|      |          | 聚四氟乙烯PTFE | 巨化股份、东岳集团、永和股份、肯特股份 |
|      | 覆铜板制造    | 电解铜箔      | 诺德股份、嘉元科技、中一科技      |

资料来源：各公司公告，互动易，国海证券研究所

- ◆ 六维力矩传感器有望成为人形机器人标配
- ◆ 六维力矩传感器制造流程拆解：结构及原材料
- ◆ 行业评级及投资建议
- ◆ 风险提示

- ◆ **六维力矩传感器在人形机器人的应用不及预期：**目前六维力矩传感器的价格昂贵，人形机器人采用后将导致高昂的成本，人形机器人厂商或选择另外的传感器技术路线，存在应用不及预期的风险。
- ◆ **人形机器人产量和需求增长不及预期：**人形机器人制作工艺复杂，制造成本高，拥有众多技术难点，量产仍需时间验证，存在产量和需求增长不及预期的风险。
- ◆ **六维力矩传感器成本控制不及预期：**六维力矩传感器高价格可能影响其在下游应用的推广。
- ◆ **原材料价格波动风险：**原材料价格增长会造成生产成本增加，从而影响六维力矩传感器的价格。
- ◆ **重点关注公司业绩不及预期：**若重点关注公司业绩下滑、不及预期，相关业务规划推进可能受到影响。

## 化工小组介绍

李永磊，研究所副所长，化工行业首席分析师，天津大学应用化学硕士。7年化工实业工作经验，9年化工行业研究经验。

董伯骏，研究所所长助理，化工联席首席分析师，清华大学化工系硕士、学士。2年上市公司资本运作经验，6年半化工行业研究经验。

曾子华，化工行业研究助理，新加坡国立大学金融工程硕士，北京大学化学本科。

陈云，化工行业分析师，香港科技大学工程企业管理硕士，2年化工行业研究经验，3年数据分析经验。

杨丽蓉，化工行业分析师，浙江大学金融硕士、化学工程与工艺本科，2年化工行业研究经验。

李娟廷，化工行业分析师，对外经济贸易大学金融学硕士，北京理工大学应用化学本科。

李振方，化工行业分析师，天津大学化学工程硕士，2年行业研究经验。

仲逸涵，化工行业研究助理，南开大学金融学硕士，天津大学应用化学本科。

于畅，化工行业研究助理，华威大学&香港理工大学工程商业管理硕士，哈尔滨工业大学本科。

## 分析师承诺

李永磊，董伯骏，本报告中的分析师均具有中国证券业协会授予的证券投资咨询执业资格并注册为证券分析师，以勤勉的职业态度，独立，客观的出具本报告。本报告清晰准确的反映了分析师本人的研究观点。分析师本人不曾因，不因，也将不会因本报告中的具体推荐意见或观点而直接或间接收取到任何形式的补偿。

## 国海证券投资评级标准

### 行业投资评级

推荐：行业基本面向好，行业指数领先沪深300指数；

中性：行业基本面稳定，行业指数跟随沪深300指数；

回避：行业基本面向淡，行业指数落后沪深300指数。

### 股票投资评级

买入：相对沪深300 指数涨幅20%以上；

增持：相对沪深300 指数涨幅介于10%~20%之间；

中性：相对沪深300 指数涨幅介于-10%~10%之间；

卖出：相对沪深300 指数跌幅10%以上。

## 免责声明

本报告的风险等级定级为R3，仅供符合国海证券股份有限公司（简称“本公司”）投资者适当性管理要求的客户（简称“客户”）使用。本公司不会因接收人收到本报告而视其为客户。客户及/或投资者应当认识到有关本报告的短信提示、电话推荐等只是研究观点的简要沟通，需以本公司的完整报告为准，本公司接受客户的后续问询。

本公司具有中国证监会许可的证券投资咨询业务资格。本报告中的信息均来源于公开资料及合法获得的相关内部外部报告资料，本公司对这些信息的准确性及完整性不作任何保证，也不保证其中的信息已做最新变更，也不保证相关的建议不会发生任何变更。本报告所载的资料、意见及推测仅反映本公司于发布本报告当日的判断，本报告所指的证券或投资标的的价格、价值及投资收入可能会波动。在不同时期，本公司可发出与本报告所载资料、意见及推测不一致的报告。报告中的内容和意见仅供参考，在任何情况下，本报告中所表达的意见并不构成对所述证券买卖的出价和征价。本公司及其本公司员工对使用本报告及其内容所引发的任何直接或间接损失概不负责。本公司或关联机构可能会持有报告中所提到的公司所发行的证券头寸并进行交易，还可能为这些公司提供或争取提供投资银行、财务顾问或者金融产品等服务。本公司在知晓范围内依法合规地履行披露义务。

## 风险提示

市场有风险，投资需谨慎。投资者不应将本报告为作出投资决策的唯一参考因素，亦不应认为本报告可以取代自己的判断。在决定投资前，如有需要，投资者务必向本公司或其他专业人士咨询并谨慎决策。在任何情况下，本报告中的信息或所表述的意见均不构成对任何人的投资建议。投资者务必注意，其据此做出的任何投资决策与本公司、本公司员工或者关联机构无关。

若本公司以外的其他机构（以下简称“该机构”）发送本报告，则由该机构独自为此发送行为负责。通过此途径获得本报告的投资者应自行联系该机构以要求获悉更详细信息。本报告不构成本公司向该机构之客户提供的投资建议。

任何形式的分享证券投资收益或者分担证券投资损失的书面或口头承诺均为无效。本公司、本公司员工或者关联机构亦不为该机构之客户因使用本报告或报告所载内容引起的任何损失承担任何责任。

## 郑重声明

本报告版权归国海证券所有。未经本公司的明确书面特别授权或协议约定，除法律规定的情况外，任何人不得对本报告的任何内容进行发布、复制、编辑、改编、转载、播放、展示或以其他方式非法使用本报告的部分或者全部内容，否则均构成对本公司版权的侵害，本公司有权依法追究其法律责任。

国海证券 · 研究所 · 化工研究团队

# 心怀家国，洞悉四海



## 国海研究上海

上海市黄浦区绿地外滩中心C1栋  
国海证券大厦

邮编：200023

电话：021-61981300

## 国海研究深圳

深圳市福田区竹子林四路光大银  
行大厦28F

邮编：518041

电话：0755-83706353

## 国海研究北京

北京市海淀区西直门外大街168号  
腾达大厦25F

邮编：100044

电话：010-88576597