

化工新材料

# 半导体电子化学品行业深度

## ——新起点，新技术，新企业，新机遇

**评级：增持（首次）**

分析师：王席鑫

执业证书编号：S0740517010008

电话：021-20315135

Email: wangxx: @r.qlzq.com.cn

### 基本状况

|             |   |
|-------------|---|
| 上市公司数       | 0 |
| 行业总市值(百万元)  | 0 |
| 行业流通市值(百万元) | 0 |

### 行业-市场走势对比



### 相关报告

### 投资要点

- 本报告将站在全球电子化学品产业演变和竞争模式演变视角分析中国电子化学品行业，挖掘电子化学品行业投资价值。我们将重新审视中国电子化学品行业竞争优势和全球地位，并在比较分析中挖掘具备投资价值的子行业和上市公司。
- **新起点**：随着国家支持半导体集成电路产业，加快建设国内半导体晶圆厂，国内半导体电子化学品企业将成为支撑半导体集成电路国产化的重要力量。半导体芯片制造产业上游原材料供应电子化学品行业更是直接受益的对象；
- **新技术**：技术升级是电子化学品的主题，而芯片制造工艺升级、环保压力、芯片制造企业产能提升则是技术升级的主题。国内 8 英寸和 12 英寸芯片生产企业，液晶面板企业，芯片封装企业将成为技术升级的主导者，将带动半导体设备厂商和上游电子化学品原材料厂商的业绩增长；
- **新企业**：从全球比较的角度，中国电子化学品上市公司的成长性上更胜一筹；而纵向比较，上市公司在产品高纯试剂技术、国内半导体芯片制造，液晶平板制造，芯片生产企业客户方面获得新的突破；随着大量优质新股、次新股的上市，行业整体质量有所提升，行业投资价值显现；
- **新机遇**：全球半导体集成电路产业转移和国家政策扶持将成为电子化学品行业发展的助推力，半导体芯片制造，液晶面板制造，芯片封装制造企业对于国产化材料进口替代的需求，对电子化学品行业将获得新的发展机遇。
- 针对电子化学品技术壁垒高和环保检查力度大带来的隐忧，我们以新起点、新技术、新企业为线索，将电子化学品行业投资标的分为三类：针对电子化学品技术壁垒和环保检查力度大带来的隐忧，我们以新市场、新技术、新企业为线索，将电子化学品行业投资标的分为三类：1、国内下游芯片制造市场提供产业链支持，技术升级实现进口替代；2、将电子化学品与供应设备端结合，将价值向供应链延伸，在行业应用中体现投资价值；3、我们仍然看好通过企业技术研发和产业并购实现技术突破，进入国际芯片制造厂商供应体系的企业企业的长期投资价值；长期的看，对中国电子化学品企业所面向国内的大市场来说，需求不是根本，企业整体技术竞争力的提高是挖掘电子化学品行业上市公司投资价值的主轴。
- **风险提示**：1.国内半导体晶圆建设推进力度不达预期，2.国内半导体材料企业研发和生产进度不达预期。

## 内容目录

|                                    |               |
|------------------------------------|---------------|
| <b>1、新起点：国内集成电路产业大发展</b> .....     | <b>- 6 -</b>  |
| 1.1 国内市场需求支撑半导体行业发展.....           | - 6 -         |
| 1.2 国内电子产业链需求 .....                | - 8 -         |
| 1.3 国内半导体材料的需求 .....               | - 10 -        |
| <b>2、新技术：电子化学品制程工艺推进是主旋律</b> ..... | <b>- 11 -</b> |
| 2.1 半导体硅片生产需求的电子化学品.....           | - 12 -        |
| 2.2 芯片光刻工艺（PHOTO）需求的电子化学品 .....    | - 15 -        |
| 2.3 芯片蚀刻工艺（ETCH）需求的电子化学品 .....     | - 20 -        |
| 2.4 芯片薄膜工艺（CVD&PVD）需求的电子化学品.....   | - 23 -        |
| 2.5 芯片扩散掺杂工艺（DIFF）需求电子化学品.....     | - 28 -        |
| 2.6 芯片研磨工艺（CMP）需求的电子化学品 .....      | - 31 -        |
| 2.7 芯片清洗工艺（Clean）需求的电子化学品.....     | - 34 -        |
| <b>3. 新企业：上市公司竞争力提升</b> .....      | <b>- 37 -</b> |
| 3.1 以高纯度高可靠产品进入全球芯片企业供应链.....      | - 37 -        |
| 3.2 新的竞争模式与新盈利模式 .....             | - 38 -        |

## 图表目录

|                                    |        |
|------------------------------------|--------|
| 图表 1: 全球与国内半导体市场增长数据 (亿元)          | - 6 -  |
| 图表 2: 我国集成电路产业销售额增长情况 (亿元)         | - 6 -  |
| 图表 3: 中国半导体制造自给率低                  | - 6 -  |
| 图表 4: 集成电路产业链预测                    | - 7 -  |
| 图表 5: 中国 300mm 圆晶月需求估算 (k Wafers)  | - 7 -  |
| 图表 6: 制造业年产值 (亿元)                  | - 7 -  |
| 图表 7: 中国在建&拟建 12 寸晶圆制造产线情况         | - 8 -  |
| 图表 8: 中国整机制造商消费的芯片 (十亿美金)          | - 9 -  |
| 图表 9: 制造终端电子产品占全球比重                | - 9 -  |
| 图表 10: 主要下游行业中国占全球比重               | - 9 -  |
| 图表 11: 全球一体机电脑(AIO PC)出货量 (万台)     | - 9 -  |
| 图表 12: 全球(IDC)智能手机出货量 (百万台)        | - 9 -  |
| 图表 13: 2011-2015 我国集成电路产业固定资产投资    | - 10 - |
| 图表 14: 我国半导体市场需求占全球比重              | - 10 - |
| 图表 15: 2015-2016 半导体材料制造商 (十亿美金)   | - 10 - |
| 图表 16: 中国半导体材料需求 (亿美元)             | - 10 - |
| 图表 17: 2015 年各地区半导体材料市场规模 (亿美元)    | - 11 - |
| 图表 18: 2014 年全球集成电路代工业各种制程市场占比情况   | - 11 - |
| 图表 19: 半导体芯片制造工艺                   | - 12 - |
| 图表 20: 半导体制造电子化学品国外供应商             | - 12 - |
| 图表 21: 单晶硅晶柱生产工艺和晶圆加工制造工艺          | - 13 - |
| 图表 22: 300 毫米硅片生产工艺流程              | - 13 - |
| 图表 23: 2008-2020 全球半导体硅片市场规模 (亿美元) | - 14 - |
| 图表 24: 2008-2020 全球 IC 市场规模 (十亿美元) | - 14 - |
| 图表 25: 2015 年全球前 10 大半导体硅片企业 (亿美元) | - 15 - |
| 图表 26: 2015 年前六大半导体硅片厂份额达 92%      | - 15 - |
| 图表 27: 光刻机镜头组建示意图                  | - 15 - |
| 图表 28: 光刻机原理图                      | - 15 - |
| 图表 29: 涂胶并烘干                       | - 16 - |
| 图表 30: 曝光                          | - 16 - |
| 图表 31: 显影                          | - 16 - |
| 图表 32: 下一道工序涂胶                     | - 16 - |

|  |        |
|--|--------|
| 图表 33: 曝光.....                         | - 16 - |
| 图表 34: 检测.....                         | - 16 - |
| 图表 35: 匀胶显影设备和光刻设备.....                | - 17 - |
| 图表 36: 光刻设备价格等价物.....                  | - 17 - |
| 图表 37: 光刻胶发展的趋势.....                   | - 17 - |
| 图表 38: 光刻工艺中常用的化学溶剂.....               | - 18 - |
| 图表 39: 光刻工艺过程会用到电子化学品: .....           | - 19 - |
| 图表 40: 掩模板的技术线路图.....                  | - 19 - |
| 图表 41: Photo Resist 光刻胶市场规模.....       | - 19 - |
| 图表 42: Photo Mask 光罩/掩模市场 (\$mn) ..... | - 19 - |
| 图表 43: 三层材料返工的工艺流程.....                | - 20 - |
| 图表 44: 蚀刻装备发展趋势.....                   | - 20 - |
| 图表 45: 等离子蚀刻设备.....                    | - 20 - |
| 图表 46: 蚀刻技术.....                       | - 21 - |
| 图表 47: 蚀刻速率.....                       | - 21 - |
| 图表 48: 固体—蚀刻气体列表.....                  | - 21 - |
| 图表 49: 等离子蚀刻使用的化学品列表.....              | - 22 - |
| 图表 50: 等离子增强蚀刻中添加的气体.....              | - 22 - |
| 图表 51: Gas 对 E/R 的影响.....              | - 23 - |
| 图表 52: 薄膜工艺气相沉积.....                   | - 23 - |
| 图表 53: CVD 工艺分类.....                   | - 24 - |
| 图表 54: 金属薄膜沉积的方法的比较.....               | - 24 - |
| 图表 55: 半导体中常用金属和硅化物的物理性质.....          | - 25 - |
| 图表 56: 半导体芯片溅射靶材.....                  | - 26 - |
| 图表 57: 溅射靶材工作原理示意图.....                | - 26 - |
| 图表 58: 高纯溅射靶材产业链 (上) .....             | - 26 - |
| 图表 59: 高纯溅射靶材产业链 (下) .....             | - 26 - |
| 图表 60: 行业内主要企业营业收入对比 (亿美元) .....       | - 27 - |
| 图表 61: 两种掺杂方法的比较-扩散.....               | - 28 - |
| 图表 62: 两种掺杂方法的比较-; 离子注入.....           | - 28 - |
| 图表 63: 扩散炉示意图.....                     | - 28 - |
| 图表 64: 扩散与离子注入的比较图.....                | - 29 - |
| 图表 65: 离子注入与扩散的比较表.....                | - 29 - |
| 图表 66: 真空控制系统.....                     | - 29 - |
| 图表 67: PMOS&NMOS .....                 | - 29 - |

|                               |        |
|-------------------------------|--------|
| 图表 68: 设备归类.....              | - 30 - |
| 图表 69: 扩散源 .....              | - 30 - |
| 图表 70: CMP 机台基本构造.....        | - 31 - |
| 图表 71: 影响 CMP 过程的力学参数.....    | - 31 - |
| 图表 72: CMP 氧化硅机理示意图.....      | - 31 - |
| 图表 73: 钨的嵌入式工艺过程及其反应式.....    | - 31 - |
| 图表 74: 芯片研磨工艺技术要点 .....       | - 32 - |
| 图表 75: 不同类型研磨垫的比较 .....       | - 32 - |
| 图表 76: 不同类型的研磨槽 .....         | - 32 - |
| 图表 77: 部分研磨设备厂商及型号.....       | - 33 - |
| 图表 78: 研磨液成分.....             | - 33 - |
| 图表 79: 研磨液结构.....             | - 33 - |
| 图表 80: 研磨晶圆清洗过程 .....         | - 33 - |
| 图表 81: 除清洗晶圆表面杂质工具.....       | - 33 - |
| 图表 82: Clean 工艺污染物及其不良内容..... | - 34 - |
| 图表 83: 各种污染物的来源和相对的影响.....    | - 34 - |
| 图表 84: RCA 标准清洗法 .....        | - 35 - |
| 图表 85: 电子化学品上市公司毛利率比较.....    | - 37 - |
| 图表 86: 电子化学品上市公司成长性比较.....    | - 37 - |
| 图表 87: 国内半导体制造材料企业群体状况 .....  | - 37 - |
| 图表 88: 国内半导体制造材料企业技术进步 .....  | - 37 - |
| 图表 89: 电子化学品公司行业分类.....       | - 38 - |

## 1、新起点：国内集成电路产业大发展

### 1.1 国内市场需求支撑半导体行业发展

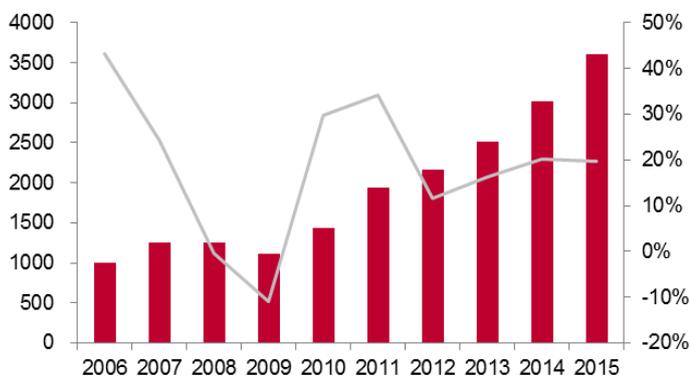
- 2016 年电子器件行业生产集成电路 1318 亿块，同比大幅增长 21.2%。中国集成电路进口额高达 2271 亿美元，集成电路出口额为 613.8 亿美元，贸易逆差 1657 亿美元。

图表 1：全球与国内半导体市场增长数据（亿元）



来源：中国半导体行业协会，中泰证券研究所

图表 2：我国集成电路产业销售额增长情况（亿元）



来源：中国半导体行业协会、中泰证券研究所

图表 3：中国半导体制造自给率低



来源：中国半导体行业协会，中泰证券研究所

- 国内半导体市场正在成为全球半导体产业扩张宝地。中国跃升全球半导体第一大市场，2015 年中国集成电路进口金额 2307 亿美元，其进口额超过原油，成为我国第一大进口商品，出口集成电路金额 693 亿美元，进出口逆差 1613 亿美元。较大的逆差凸显半导体市场供需不匹配，严重依赖进口的局面亟待改善。国内是全球半导体第一大市场，但自给率仅 27%，中国提出十三五计划，在《中国制造 2025》中明确制定目标为至 2020 年，晶圆自给率将达到 40%，2025 年达 50%，在政府战略的推动导向下，超大规模资金投入，高端技术人才聚集，长产业链相互协同，未来几年半导体建设将进入蓬勃发展期，半导体产业发展进入超高景气周期。

**图表 4：集成电路产业链预测**

| 集成电路产业链 | 2015 年                    | 2020 年     | 2030 年                    |
|---------|---------------------------|------------|---------------------------|
| 材料与设备   | 65-45nm 关键设备和 12 英寸硅片投入应用 | 进入国际采购提    | 主要环节达到国际先进水平，一批企业进入国际第一梯队 |
| IC 设计   | 接近国际一流水平                  |            |                           |
| IC 制造   | 32/28nm 量产                | 16/14nm 量产 |                           |
| IC 封测   | 中高端封装测试收入占比 30% 以上        | 技术达到国际领先水平 |                           |
| 市场规模    | 销售超过 3500 亿元              |            |                           |

来源：中商情报网，中泰证券研究所

**图表 5：中国 300mm 圆晶月需求估算 (k Wafers)**


来源：中泰证券研究所

- 下游需求趋于稳定：**随着国家集成电路产业投资基金的建立和社会资本加大对半导体产业的投资，我国半导体产业迎来了新一轮的调整发展，芯片设计和半导体制造业所占比重逐年上升，半导体制造业产值首次超过 1000 亿元大关。根据中国半导体行业协会统计，2016 年中国大陆半导体制造业营收 1126.9 亿元，同比增长 25.1%，原因是国内芯片生产线满产以及扩产的带动。2012-2016 年中国半导体制造业中，每年的增长幅度都在 23% 以上，芯片下游持续稳定增长主要应用在通讯，汽车电子，手机等消费电子领域，全球电子系统对于半导体芯片的需求进入稳定增长，半导体芯片制造产能的扩充也就意味着生产原料需求的稳定增长，我们预期制造半导体芯片原材料也将稳定增长。

**图表 6：制造业年产值 (亿元)**


来源：中国半导体行业协会、中泰证券研究所

- 新的产能扩充行情：**国家不断持续投入资金加紧建设，未来新的 12 英寸半导体芯片生产线不断建设完成，芯片产能得到释放，芯片工艺良率不断完善的情况下，加快了对国产化半导体材料迫切需求。下游需求强劲增长，上游的电子化学品企业加紧产能扩充，工艺研发技术稳步向高纯度，高稳定性，高可靠性的电子化学产品迈进，电子化学品行业的企业都将进入稳定发展阶段。

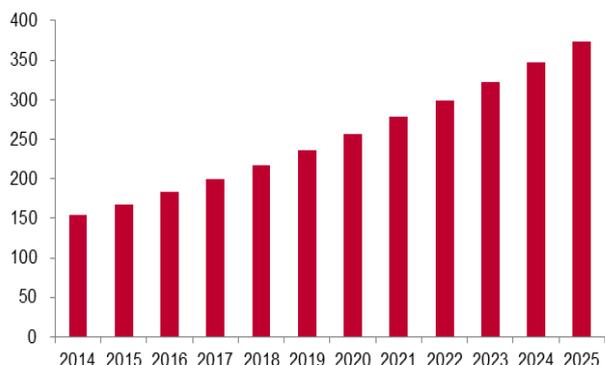
**图表 7：中国在建&拟建 12 寸晶圆制造产线情况**

| 公司     | 地点         | 工厂代码       | 产线情况   | 类型   | 产能 (KW/M) |
|--------|------------|------------|--------|------|-----------|
| 德淮     | 江苏淮安       | AB1        | 厂房建设中  | CIS  | 2 万       |
| 德科码    | 江苏南京       | FAB2       | 厂房建设中  | CIS  | 4 万       |
| 华力微    | 上海         | FAB2       | 厂房建设中  | 代工   | 4 万       |
| 晋华集成   | 福建靖江       | FAB1       | 厂房建设中  | 存储芯片 | 6 万       |
| 晶合集成   | 安徽合肥       | FAB1       | 投产     | 驱动芯片 | 4 万       |
| 武汉长江存储 | 湖北武汉       | FAB1       | 厂房建设中  | 存储芯片 | 30 万      |
| 合肥睿力   | 合肥睿力       | FAB1       | 厂房建设中  | 存储芯片 | 30 万      |
| 中芯国际   | 北京         | B2A        | 厂房建设中  | 代工   | 2 万       |
| 中芯国际   | 北京         | B2B        | 厂房建设中  | 代工   | 4 万       |
| 中芯国际   | 北京         | B3         | 厂房建设中  | 代工   | 4 万       |
| 中芯国际   | 上海         | SN         | 厂房建设中  | 代工   | 7 万       |
| 台积电南京  | 江苏南京       | NJ         | 厂房建设中  | 代工   | 2 万       |
| 格芯重庆   | 重庆         | FAB1       | 厂房建设中  | 代工   | 2 万       |
| 格芯重庆   | 重庆         | FAB 2      | 厂房建设中  | 代工   | 4 万       |
| 紫光     | 成都         | 成都         | 厂房建设中  | IDM  | 5 万       |
| 紫光     | 南京         | 南京         | 厂房建设中  | IDM  | 10 万      |
| INTEL  | 大连         | FAB8       | 厂房建设中  | 存储芯片 | 15 万      |
| 三星     | 西安         | FAB        | 厂房建设中  | 存储芯片 | 15 万      |
| SK 海力士 | 无锡 C2 PLUS | 无锡 C2 PLUS | 厂房建设中  | 存储芯片 | 15 万      |
| 海康威视   | 杭州         | 杭州         | 准备搬入设备 | IDM  | 规划中       |
| 华虹宏力   | 无锡         | FAB1       | 准备建设   | 代工   | 3 万       |
| 华虹宏力   | 无锡         | FAB2       | 准备建设   | 代工   | 3 万       |

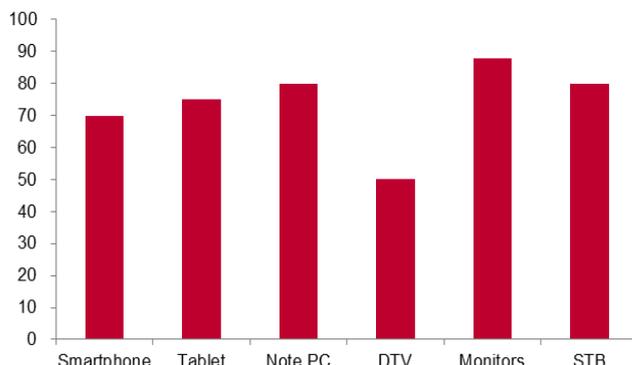
来源：中国半导体行业协会，中泰证券研究所

## 1.2 国内电子产业链需求

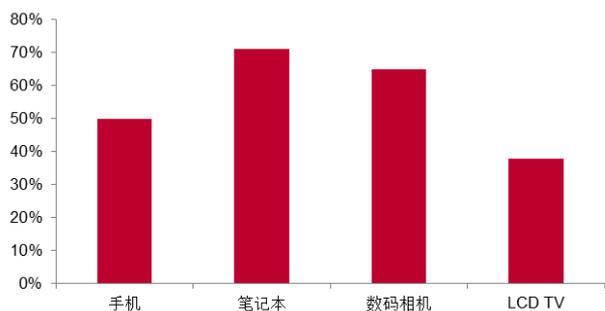
- 中国已经成为世界组装制造中心，**其中手机、笔记本和数码相机已经占据全球 50% 以上份额，我们从国内电子信息产品的生产规模看，主要消费电子下游需求的发展也给上游半导体芯片行业带来需求刺激，由于国内电子制造行业就地供应的特点，给中国半导体芯片制造行业带来发展机遇，上游需要大量的半导体芯片支撑，在国内不能供应的情况下，目前通过进口来满足对半导体芯片的需求。从对半导体芯片需求量上来看，中国是集成电路芯片消费第一大国。国内集成电路消费是和电子整机在中国大陆的组装密切关联的，大量的电子整机制造厂需要大量芯片做支持，国家战略性提出芯片国产化替代，预计国内半导体芯片晶圆制造厂的资本投入将稳步增加。

**图表 8：中国整机制造商消费的芯片（十亿美金）**


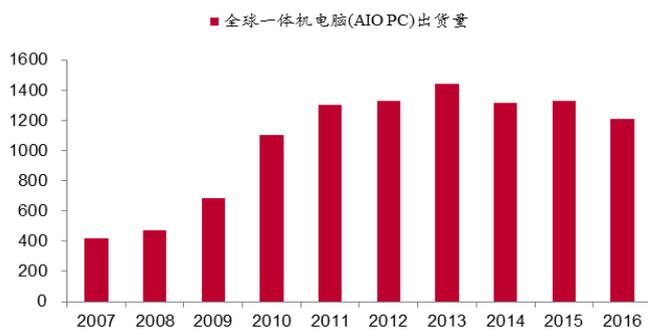
来源：IHS, 中泰证券研究所

**图表 9：制造终端电子产品占全球比重**


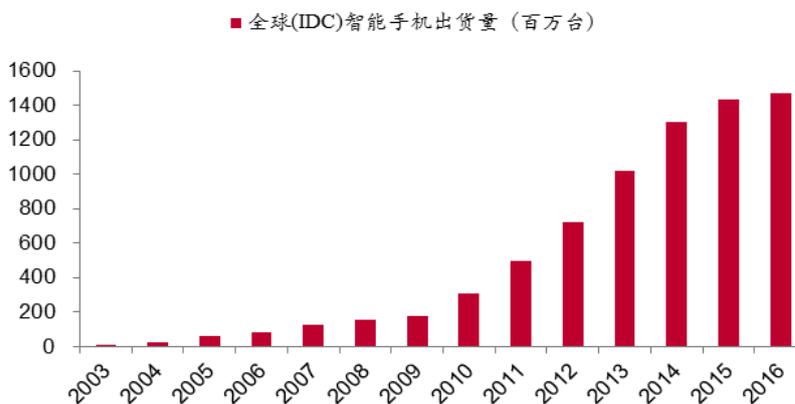
来源：IHS, 中泰证券研究所

**图表 10：主要下游行业中国占全球比重**


来源：IHS, 中泰证券研究所

**图表 11：全球一体机电脑(AIO PC)出货量（万台）**


来源：IHS, 中泰证券研究所

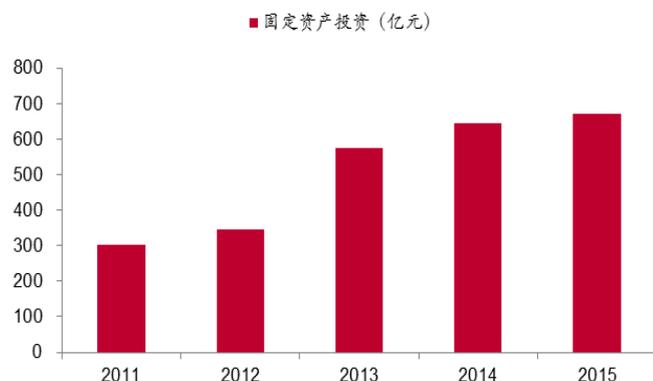
**图表 12：全球(IDC)智能手机出货量（百万台）**


来源：IHS, 中泰证券研究所

### 1.3 国内半导体材料的需求

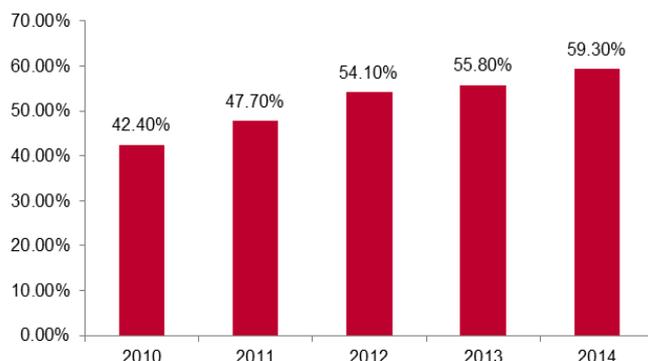
- 据工业和信息化部统计,2015年我国集成电路行业新增固定资产671.43亿元,比2011年增长了2.2倍多。

图表 13: 2011-2015 我国集成电路产业固定资产投资



来源: 中国报告网, 中泰证券研究所

图表 14: 我国半导体市场需求占全球比重



来源: 中国报告网, 中泰证券研究所

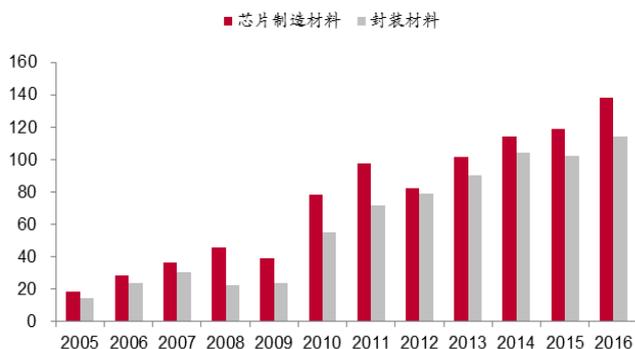
- 图 14 表明 2015 年我国集成电路行业新增固定资产达到 671.43 亿元, 新增晶圆厂房和设备投入不断增加, 最近 5 年呈上升趋势, 产业投资增速加快。
- 主要半导体芯片制造晶圆厂下游需求的发展也给上游半导体材料带来需求刺激, 由于半导体芯片晶圆厂就地供应的特点, 给半导体电子化学品材料行业带来发展机遇。我们可以看到半导体市场为例, 图 15 中表明, 中国半导体需求已占据全球 59% 的份额, 且占比呈上升趋势。中国半导体材料产业销售规模逐年提高数据同样表明下游产业发展对半导体材料产生强劲需求。因此从需求角度, 半导体电子化学品材料的市场是巨大的。

图表 15: 2015-2016 半导体材料制造商 (十亿美金)

| 地区 | 2015  | 2016  | 增长 (%) |
|----|-------|-------|--------|
| 台湾 | 9.42  | 9.79  | 3.9%   |
| 韩国 | 7.09  | 7.11  | 0.2%   |
| 日本 | 6.56  | 6.74  | 2.8%   |
| 中国 | 6.08  | 6.53  | 7.3%   |
| 其余 | 6.09  | 6.12  | 0.6%   |
| 北美 | 4.97  | 4.9   | -1.4%  |
| 欧洲 | 3.07  | 3.12  | 1.5%   |
| 合计 | 43.29 | 44.32 | 2.4%   |

来源: SEMI, 中泰证券研究所

图表 16: 中国半导体材料需求 (亿美元)



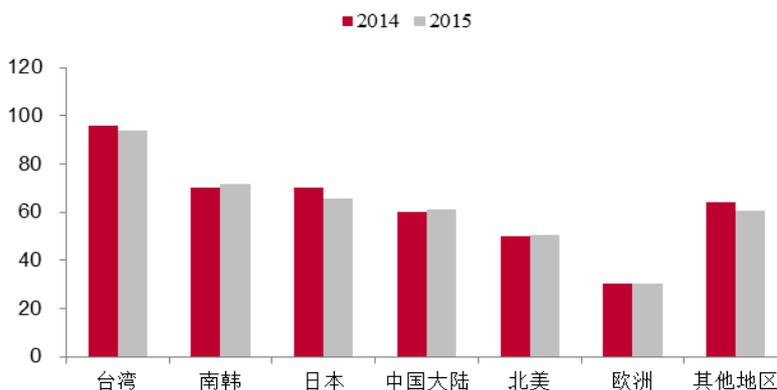
来源: SEMI, 中泰证券研究所

- 更为重要的是, 在部分行业, 本土企业已经获得充分的竞争力, 比如低制程的半导体晶圆制造、低世代液晶面板、半导体封装企业、分立器件、

LED、新能源电池领域，而这些领域对电子化学品产生大量的需求，且是本土电子化学材料企业最容易获得突破的领域。事实证明，诸如鼎龙股份，江丰电子，江化微，晶瑞股份，飞凯材料，上海新阳，南大光电等优秀的企业，产品主要应用在半导体、液晶面板、半导体封装企业、分立器件、LED、新能源电池等领域，其技术的竞争力与本土企业在下游的突破和行业地位关系密切。

- 随着中国半导体芯片制造行业在全球确立越来越重要的地位，与全球相关性显著增强。上游的半导体电子化学品材料行业已经成为全球半导体电子化学品行业分工的重要一环

**图表 17： 2015 年各地区半导体材料市场规模（亿美元）**

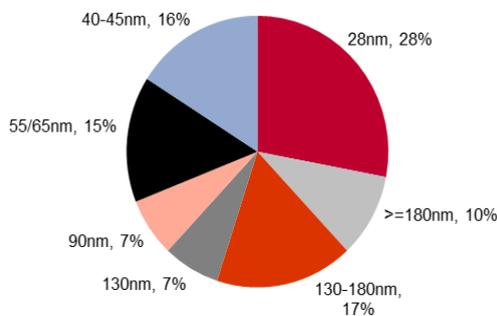


来源：SEMI, 中泰证券研究所

## 2、新技术：电子化学品制程工艺推进是主旋律

- 半导体芯片制造工艺都将原始半导体材料转变成半导体芯片，每个工艺制程都需要电子化学品，半导体芯片制造过程就是物理和化学反应过程，半导体材料的应用决定了摩尔定律的持续推进，决定芯片是否将持续缩小线宽。

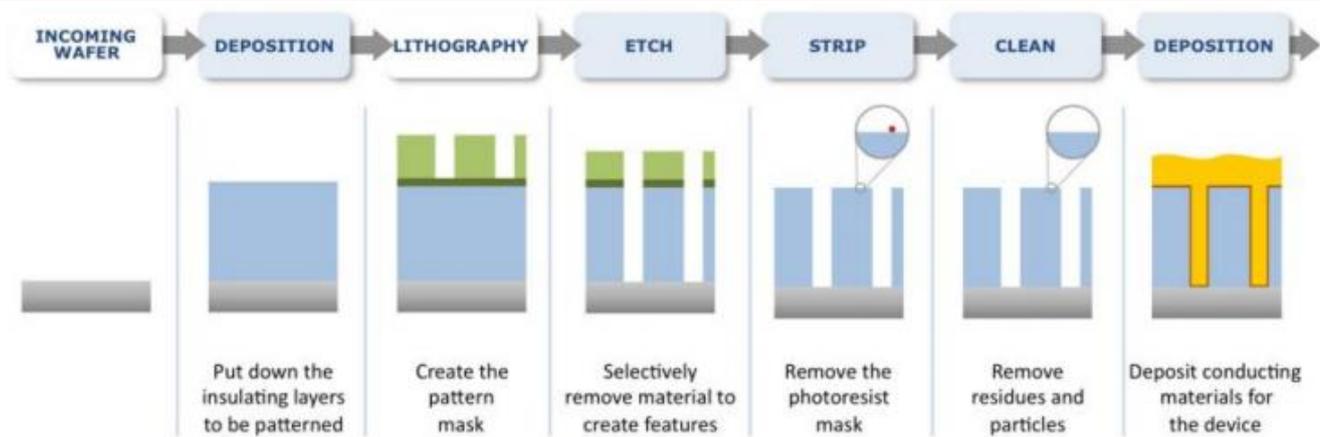
**图表 18： 2014 年全球集成电路代工业各种制程市场占比情况**



来源：《集成电路产业发展白皮书》，中泰证券研究所

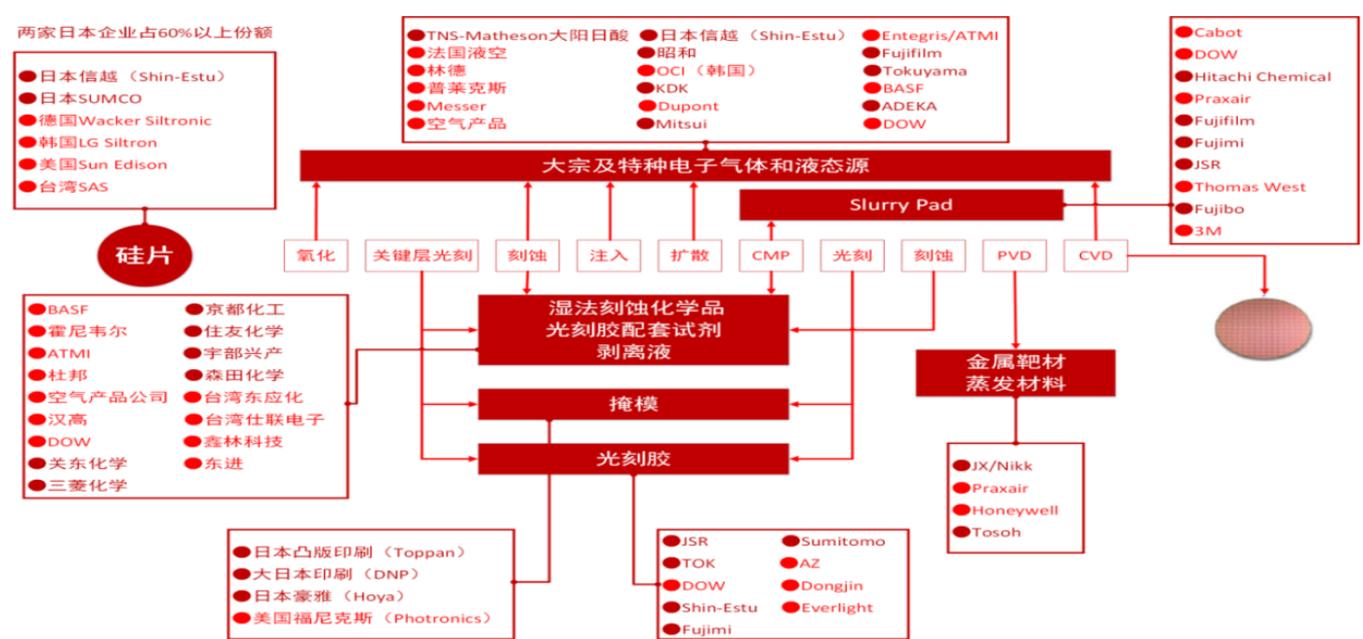
- 摩尔定律是半导体行业发展规律，在每两年左右的时间里，微处理器芯片上的晶体管数量就会增加一倍——也可以说成，芯片的性能也会增加一倍。单位面积上的晶体管增加，带来的是半导体工艺的飞速发展，目前国际主流的工艺线宽达到 10Xnm，图示显示国内企业还处于线宽在 28nm 以上工艺水平。国内企业在制程工艺加速研发投入，缩小与国际先进水平的差距，芯片工艺的推进与材料密切相关。

图表 19：半导体芯片制造工艺



来源：中泰证券研究所

图表 20：半导体制造电子化学品国外供应商



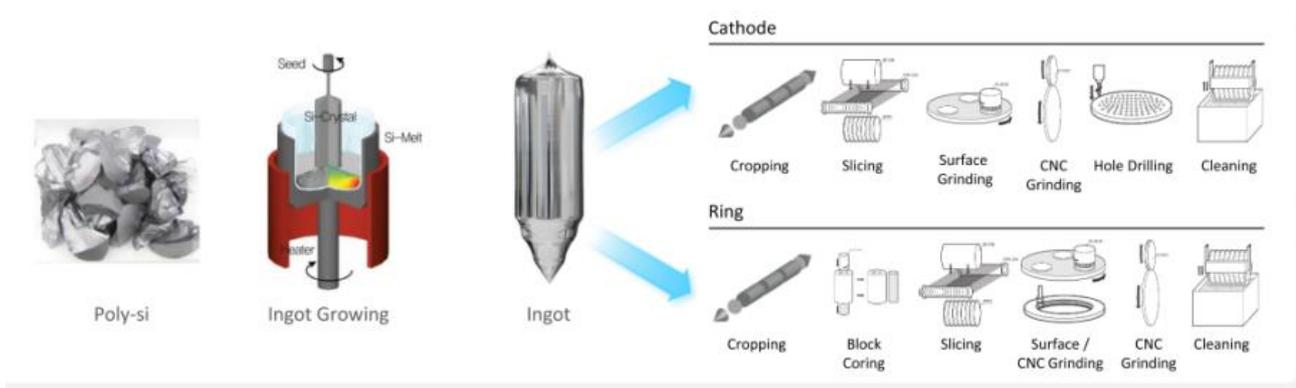
来源：ICMtia, 中泰证券研究所

### 2.1 半导体硅片生产需求的电子化学品

- 硅片是半导体生产的基础原材料，半导体芯片都是在硅片上通过工艺步骤做出来的，世界半导体公司都是用直径 200 毫米和 300 毫米硅片做为生产芯片的原料，200 毫米就是 8 英寸硅片，300 毫米就是 12 英寸硅

片，半导体生产线也是按照生产 8 英寸芯片和 12 英寸芯片来区分的，大直径的硅片是由不断降低芯片成本的要求驱动的，硅片制造工艺难度也是随之上升。硅片生产过程是从矿石到高纯气体的转变，气体到多晶的转变，多晶到单晶的转变，参杂晶棒的转变，晶棒到硅片的转变。化学反应是从矿石到硅化物气体，例如四氯化硅或三氯硅烷。 $2SiHCl_3+3H_2 \rightarrow 2Si$ （固体）+  $6HCl$ （气体）。硅化物再和氢反应生成半导体级的硅，12 英寸半导体硅片的纯度达 99.999999999%（11 个 9）。

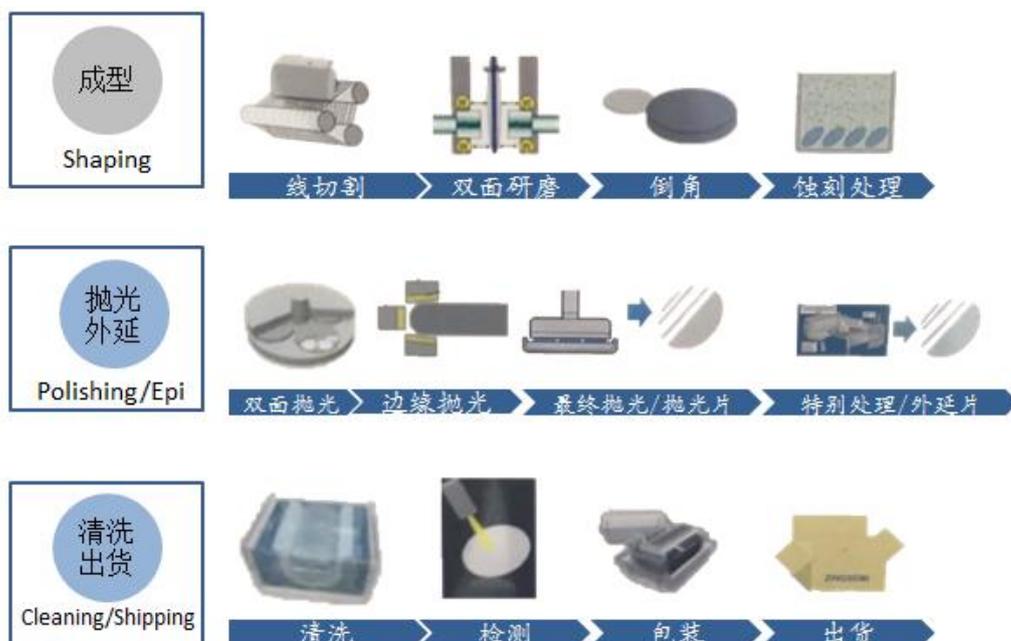
**图表 21：单晶硅晶柱生产工艺和晶圆加工制造工艺**



来源：中泰证券研究所

- 下图示为 300 毫米硅片生产工艺流程，高质量硅片以晶体纯度衡量标准，国际上轻参杂硅片使用占到 95%左右，重参杂的硅片使用占 5%，选晶，拉晶，制作单晶棒的过程是减少硅片原生缺陷的重要环节。硅片成形，抛光外延，清洗出货的过程也是需要用到多种电子化学品，具体步骤以及所涉及的化学品如下介绍。

**图表 22：300 毫米硅片生产工艺流程**



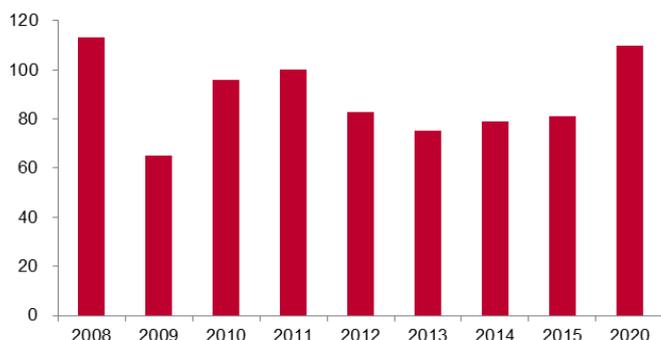
来源：SEMI, 中泰证券研究所

- 第一步骤：成形过程中线切割晶锭需要消耗钢线或者碳化硅或钻石线进行切割，双面的研磨需要用研磨液在转动上下转盘过程中双面研磨，超

纯水会辅助使用，倒角工艺用金刚石砂轮把边缘不平整地方弄的光滑，蚀刻处理就是把留在硅片上损伤部位用混合酸（氢氧化钠（NaOH），氢氟酸（HF），氯化氢（HCl），二氧化氮（N<sub>2</sub>O<sub>2</sub>））在清洗槽中清洗。

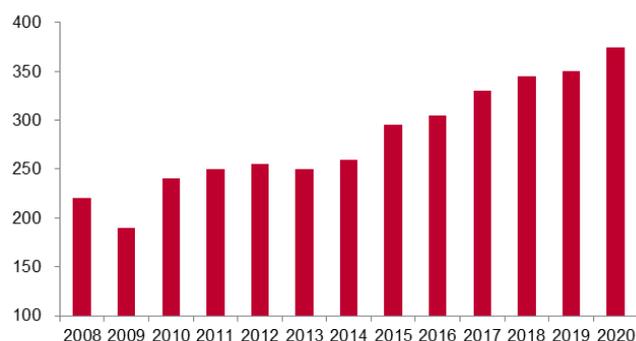
- 第二步：抛光外延的过程在抛光机上，用抛光液和抛光垫提高硅片的平整度，多次来回对硅片进行粗精度和细精度的研磨过程，处理好硅片整体和硅片边缘的平整度，外延工艺在硅片上做化学反映，用到三氯氢硅（TCS），乙硼烷（B<sub>2</sub>H<sub>6</sub>），磷化氢（PH<sub>3</sub>），氢气（H<sub>2</sub>）和氯化氢（HCl），在工艺程序过程中都有检测工艺良率的步骤，会用激光发生器量测厚度和硅片缺陷。
- 第三步：清洗出货程序会做个最终的硅片清洗用氢氧化铵（NH<sub>4</sub>OH），过氧化氢（H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>），氢氟酸（HF），氯化氢（HCL），清洗完毕就会到分装按照 25 张硅片装入盒子中。

图表 23：2008-2020 全球半导体硅片市场规模（亿美元）



来源：SEMI，Gartner，中泰证券研究所

图表 24：2008-2020 全球 IC 市场规模（十亿美元）



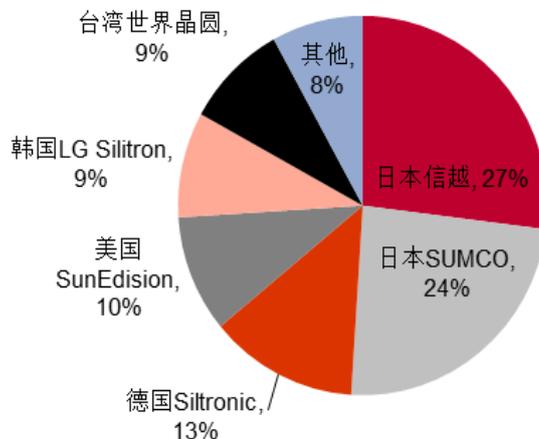
来源：IBS，中泰证券研究所

- 分析半导体材料的产品结构，前端晶圆制造材料中，2014 年硅片市场规模为 79.9 亿美元，占比为 33%，是份额最大的材料。根据 SEMI 的统计数据，全球半导体硅片市场规模在 2009 年受经济危机影响而急剧下滑，2010 年大幅反弹。2011 年到 2013 年，由于 300 毫米大硅片的普及，造成硅片单位面积的制造成本下降，同时加上企业扩能竞争激烈，2013 年全球硅片的市场规模只有 75 亿美金，连续两年下降。2014 年受汽车电子及智能终端的需求带动，12 寸大硅片价格止跌反弹，全球硅片出货量与市场规模开始复苏。根据 Gartner 的预测，到 2020 年全球硅片市场规模将达到 110 亿美元左右。2020 年全球硅片市场将达到 110 亿美元左右
- 硅片材料具有高垄断性，全球一半以上的半导体硅材料产能集中在日本，尤其是随着尺寸越大、纯度越高，垄断情况就越严重。2015 年全球半导体硅片销售额前两名的 Shin-Etsu（信越）和 Sumco 都是日本公司，第三名到第十名分别是：德国的 Siltronic、美国的 SunEdison、韩国的 LG Siltron、台湾的 Global Wafer、法国 Soitec、台湾的 Wafer Works、芬兰的 Okmetic、台湾的 Epasil。

**图表 25: 2015 年全球前 10 大半导体硅片企业 (亿美元)**

| 排名 | 厂商                      | 地区   | 2015 财年销售额 | 市值   | 备注                |
|----|-------------------------|------|------------|------|-------------------|
| 1  | Shin-Etsu Handotai      | 日本   | 21.65      | --   | 仅硅片业务             |
| 2  | Sumco                   | 日本   | 19.65      | 22.1 | --                |
| 3  | Siltronic               | 德国   | 10.43      | 4.68 | --                |
| 4  | SunEdison Semiconductor | 美国   | 7.78       | 3.29 | --                |
| 5  | LG Siltron              | 韩国   | 7.07       | --   | --                |
| 6  | Global Wafer            | 中国台湾 | 7.31       | 8.95 | --                |
| 7  | Soitec                  | 法国   | 2.65       | 1.62 | --                |
| 8  | Wafer Works             | 中国台湾 | 1.68       | 1.65 | --                |
| 9  | Okmetic                 | 芬兰   | 0.91       | 1.46 | --                |
| 10 | Episil                  | 中国台湾 | 0.97       | 0.47 | --                |
| 附  | Topsil                  | 丹麦   | 0.42       | 0.22 | 被 Global Wafer 收购 |

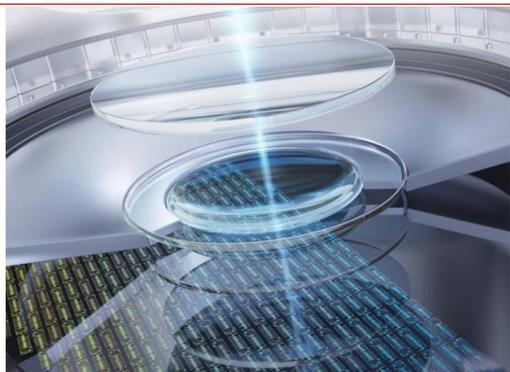
来源: 上海硅产业投资有限公司, 中泰证券研究所

**图表 26: 2015 年前六大半导体硅片厂份额达 92%**


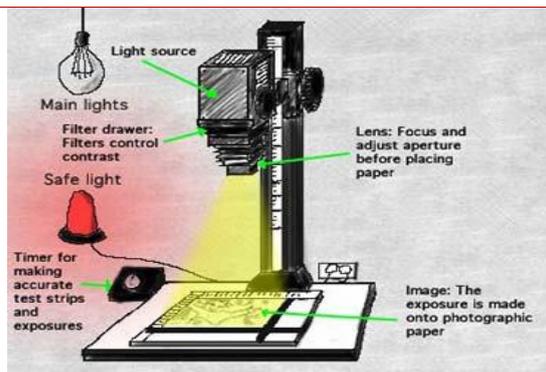
来源: 上海硅产业投资有限公司, 中泰证券研究所

## 2.2 芯片光刻工艺 (PHOTO) 需求的电子化学品

- 光刻工艺是半导体工艺过程中非常重要工艺步骤, 它是利用光化学反应原理把事先制备在掩模上的图形转印到晶圆上, 完成工艺的设备光刻机和光刻胶都是占半导体芯片工厂资产的大头, 光刻工艺是用来在不同的器件和电路表面上建立图形的工艺, 在晶圆硅片表面曝光完成设计的电路图, 能做到分辨率清晰和定位无偏差电路, 就如同建筑物一楼的砖块砌起来和二楼的砖块要对准, 叠加的层数越高, 技术难度越大。如图看到从光刻工艺到蚀刻工艺, 缺陷检查时候用套刻误差和光刻胶图形尺寸 CD 来控制工艺良率。

**图表 27: 光刻机镜头组建示意图**


来源: 互联网, 中泰证券研究所

**图表 28: 光刻机原理图**


来源: 互联网, 中泰证券研究所

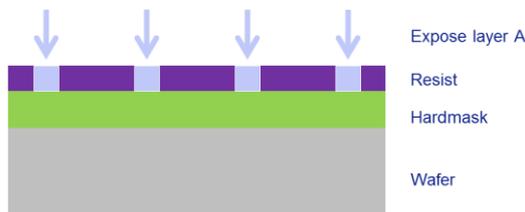
- 光刻工艺的基本流程，首先是在晶圆表面涂上一层光刻胶并烘干，烘干后的晶圆被传送到光刻机里面。光线透过一个掩模把掩模上的图形投影在晶圆表面的光刻胶上，实现曝光，激发光化学反应。

**图表 29：涂胶并烘干**



来源：中泰证券研究所

**图表 30：曝光**



来源：中泰证券研究所

- 对曝光后的晶圆进行第二次烘烤，即所谓的曝光后烘烤，后烘烤使得光化学反应更充分。最后把显影液喷洒到晶圆表面的光刻胶上，使得曝光图形显影。显影后掩模上的图形就被存留在了光刻胶上。涂胶，烘烤和显影都是在匀胶显影机中完成的，曝光是在光刻机中完成的。匀胶显影机和光刻机一般是联机作业的，晶圆通过机械手在各单元和机器之间传送。

**图表 31：显影**



来源：中泰证券研究所

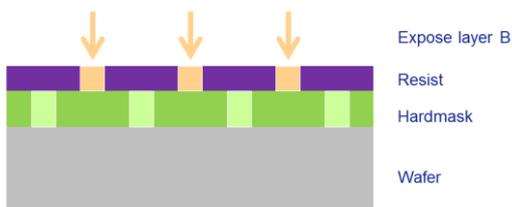
**图表 32：下一道工艺涂胶**



来源：中泰证券研究所

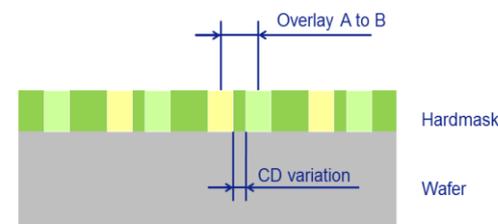
- 整个曝光显影系统是封闭的，晶圆不直接暴露正在周围环境中，以减少环境中有害成分对光刻胶和光化学反应的影响。光刻之后是对光刻胶上的图形做检测(metrology)查看良率，先测量图形的套刻误差(overlay)，即光刻胶上的图形和上一层曝光的电路图形是否对准，然后再测量图形尺寸(CD)，测量结果合格的话就去下一道工艺，而不合格的晶圆将被送去返工(rework)。返工就是用化学的办法把晶圆表面的光刻胶清除掉，然后重新开始光刻工艺。

**图表 33：曝光**



来源：中泰证券研究所

**图表 34：检测**



来源：中泰证券研究所

图表 35: 匀胶显影设备和光刻设备



来源: 互联网, 中泰证券研究所

- 整个光刻工艺的设备有匀胶显影设备和光刻设备, 设备厂商 ASML, NIKON, CANNON, TEL, DNS。光设备的价格是最昂贵, 我们用图片更加形象的展示。

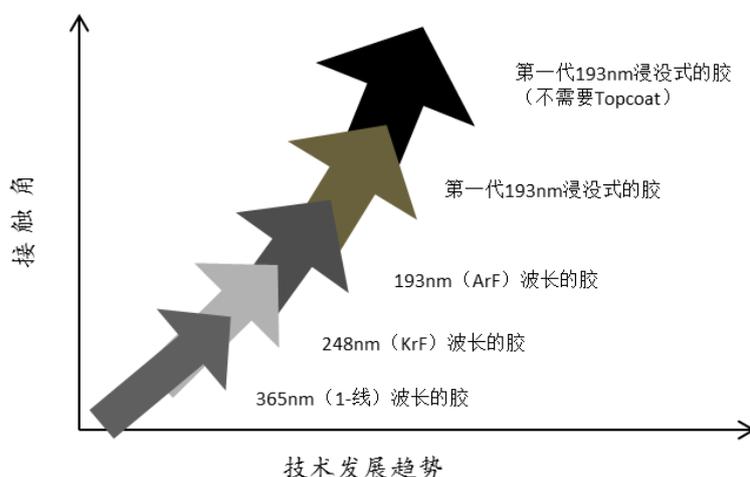
图表 36: 光刻设备价格等价物



来源: 中泰证券研究所

- 光刻胶是光刻工艺中最关键的材料, 掩模版上的图形被投影在光刻胶上, 激发光化学反应, 经烘烤和显影后形成光刻胶图形。光刻胶图形作为阻挡层, 用于实现选择性的蚀刻或离子注入。光刻胶是针对曝光波长来设计的。

图表 37: 光刻胶发展的趋势



来源: 《超大规模集成电路先进光刻理论与应用》, 中泰证券研究所

- I-线（365nm 波长）和 G-线（436nm 波长）光刻胶主要成分有聚合物树脂，光敏化合物（photoactive compound, PAC）和溶剂。溶剂的增减可以改变光刻胶的粘度，从而在合理的转速范围得到所要的厚度，光敏化合物决定了光刻胶的光敏感度：在光子的作用下，光敏化合物分解，激发光化学反应，使得受光区域的光刻胶溶于显影液。目前绝大多数的 I-线和 G-线胶都是 novolac/DNQ 胶，其中 DNQ 可以占总质量的 20%-50%，在两种胶中常用的酚醛树脂(novolac resin)的单体分子结构，常用的一种光敏化合物二氮醌分子结构。
- Krf（248nm 波长）光刻胶主要成份是聚合物树脂，光致酸产生剂以及添加剂和溶剂，聚合物树脂的分子链上悬挂有酸不稳定基团，它的存在使得聚合物不溶于显影液，光致酸产生剂是一种光敏感的化合物，在光照下分解产生酸，在曝光后烘烤过程中，这些酸会作为催化剂使得聚合物上悬挂的酸不稳定基团脱落，并产生新的酸。悬挂基团的脱落改变了聚合物的极性，有足够多的悬挂基团脱落后，光刻胶就能溶于显影液。
- Arf（193nm 波长）主要成分有聚合物树脂，光致酸产生剂，中和光致酸的碱性中和剂，功能添加剂，添加剂会对光刻胶的性能做微调，使之能够符合特定工艺的要求。
- Arf Immersion（193nm 波长）浸没式光刻中，光刻胶是浸没在水中曝光的，光刻胶的有效成分中必须不溶于水，在与水接触后，光刻胶的光化学性质不变，还有就是光刻胶必须对水有一定的抗拒性，水扩散进入光刻胶不会导致胶体的膨胀和光敏感性的损失。

图表 38：光刻工艺中常用的化学溶剂

| 名称            | 英文名  | 缩写     | 分子式   | 主要用途                  |
|---------------|--|--------|---|-----------------------|
| 丙二醇甲醚醋酸酯      | Propylene glycol monomethyl ether acetate        | PGMEA  | CH <sub>3</sub> (OCOCH <sub>3</sub> )CH <sub>2</sub> OCH <sub>3</sub> | 溶剂                    |
| 异丙醇           | Isopropanol                                      | IPA    | (CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> CHOH                                  | 溶剂；                   |
| QZ3501 溶剂     | 60%-80% dihydrofuranone<br>20%-40% butyl acetate | QZ3501 |   | 光刻胶管路清洗；<br>做聚酰亚胺的显影液 |
| 二氢喹啉酮/醋酸丁酯混合液 | 10%-30% cyclohexanone<br>>60% butyl acetate      |        |   | 用于聚酰亚胺冲洗              |
| 丙二醇甲醚醋酸酯      | 1-Methoxy-2-Propanol                             | PGMA   | CH <sub>3</sub> CHOHCH <sub>2</sub> OCH <sub>3</sub>                  | 溶剂                    |
| 四甲基氢氧化铵       | Tetramethylammonium Hydroxide                    | TMAH   | (CH <sub>3</sub> ) <sub>4</sub> NOH                                   | 显影液                   |
| 乙酸正丁酯         | n-butyl acetate                                  | nBA    | C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>2</sub>                         | NTD 显影液               |
| 甲基异丁基甲醇       | 4-methyl-2-Pentanol                              | MIBC   | C <sub>6</sub> H <sub>14</sub> O                                      | NTD 后的冲淋液             |

来源：《超大规模集成电路先进光刻理论与应用》，中泰证券研究所

**图表 39: 光刻工艺过程会用到电子化学品:**

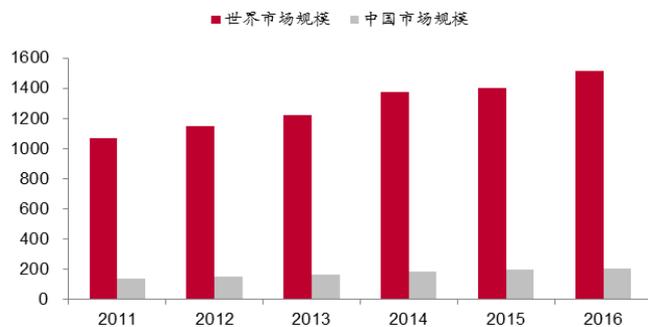
| 电子化学品   | 材料表达  | 用途              |
|---------|---|-----------------|
| 掩模版     | 薄膜、塑料或玻璃基体材料上制作电路图形   | 电路图形            |
| 光刻胶     | 3-甲氧基丙酸酯, 酚醛树脂, 添加剂等  | 晶圆上有电路图准备       |
| 光刻胶配套   | BARC, HMDS, THINNER, DEVELOPER, 感光性聚酰胺组合物   | 反射防止膜, 清洗晶圆, 显影 |
| 化学品     | 硫酸 (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ), 氟化氢 (HF), 过氧化氢 (H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ), 氢氧化铵 (NH <sub>4</sub> OH), 稀释酸 (BOE) | 返工用化学试剂         |
| 前驱体 SOD | 封闭空隙  | 封闭空隙            |
| 混合类气体   | 氩气 (Ar) / 氟气 (F <sub>2</sub> ) / 氦气 (Ne), 氪气 (Kr) / 氟气 (F <sub>2</sub> ) / 氖气 (Ne), 氙气 (Xe), 氦气 (He)                        | 激光发生器使用         |
| 大宗类气体   | 氮气 (N <sub>2</sub> ), 二氧化碳 (CO <sub>2</sub> ), 氦气 (He), 压缩空气 (CDA), 氧气 (O <sub>2</sub> )                                    | 光刻机需求           |

来源:《超大规模集成电路先进光刻理论与应用》, 中泰证券研究所

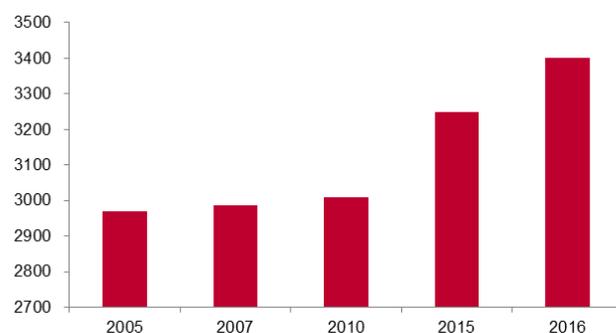
**图表 40: 掩模版的技术线路图**

| 技术节点 (逻辑)       | 90nm    | 65nm    | 45nm    | 32nm<br>28nm | 22nm<br>20nm | 14nm     |
|-----------------|---------|---------|---------|--------------|--------------|----------|
| 波长              | 248/193 | 193     | 193     | 193          | 193          | 193      |
| 掩模基板的类型         | COG     | Att.PSM | Att.PSM | OMOG         | OMOG         | OMOG     |
| CD Uniformity   | 10      | 7       | 6       | 4            | 2            | 1.5      |
| CD Targeting    | 10      | 7       | 5       | 4            | 3            | 2        |
| Registration    | 20      | 15      | 12      | 7            | 5.5          | 4        |
| Mask to Mask OL | 20      | 15      | 12      | 7            | 5.5          | 4        |
| 栅极掩模的估价         | 55K\$   | 95K\$   | 124K\$  | 205K\$       | 250K\$*2     | 500K\$*2 |
| 关键掩模数           | 5       | 9       | 13      | 17           | 21           | 30       |
| 整套掩模的估计         | 700K\$  | 1.5M\$  | 2.1M\$  | ~2.9M\$      | ~3.8M\$      | ~7.5M\$  |

来源:《超大规模集成电路先进光刻理论与应用》, 中泰证券研究所

**图表 41: Photo Resist 光刻胶市场规模**


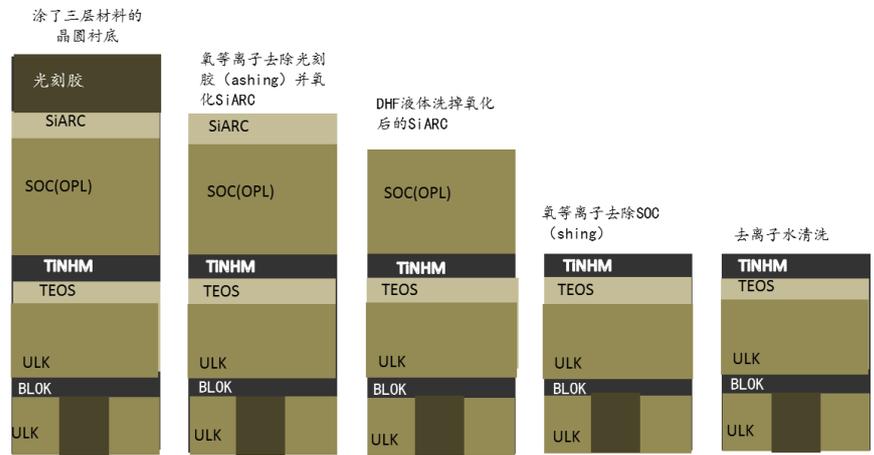
来源: 弘则弥道 (上海) 投资咨询有限公司, 中泰证券研究所

**图表 42: Photo Mask 光罩/掩模市场 (\$mn)**


来源: SEMI, 中泰证券研究所

- 光刻工艺的返工 (rework) 指光刻工艺完成后, 当晶圆上的光刻胶图形不符合要求时, 使用化学方法可以把晶圆表面的光刻胶清除掉, 然后重新涂胶, 曝光。

**图表 43: 三层材料返工的工艺流程**

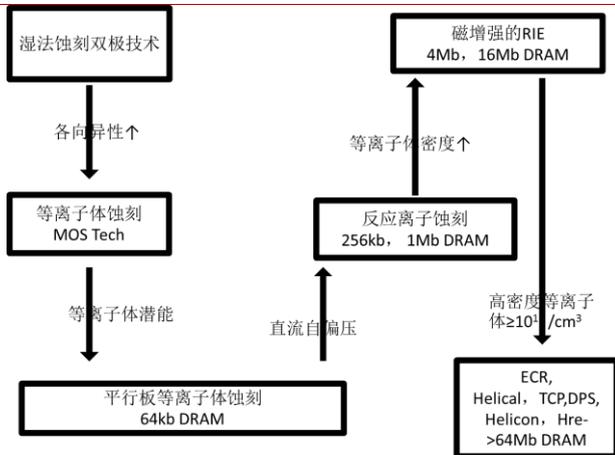


来源:《超大规模集成电路先进光刻理论与应用》, 中泰证券研究所

### 2.3 芯片蚀刻工艺 (ETCH) 需求的电子化学品

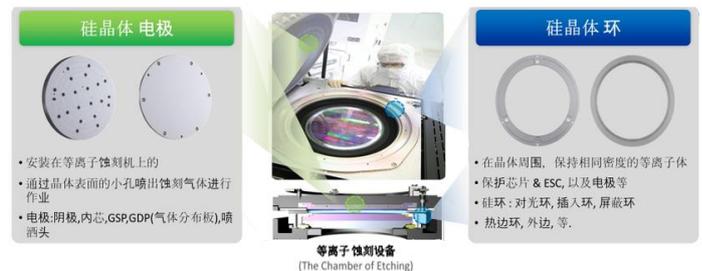
- 蚀刻工艺是用化学和物理的方法在显影后电路图永久和精确的留在晶圆表面, 选择性的去除硅片表面不需要的材料过程, 蚀刻工艺的使用方法分为两大类: 湿法和干法蚀刻。湿法蚀刻是用液体刻蚀剂浸没的技术, 过程为氧化前清洁-冲洗-干燥工艺, 晶圆沉浸于装有刻蚀剂的槽中过一定的时间, 传送到冲洗设备中去除残余的酸, 再送到最终的冲洗和甩干。用的化学品为 49%浓度的氢氟酸和水或者氟化铵和水的混合物, 湿法刻蚀用于线宽在 3 微米的芯片产品。线宽更加细小的, 需要控制和精度的需要就需要使用干法蚀刻。干法蚀刻是以气体为主要媒体的刻蚀技术, 有三种干法刻蚀技术: 等离子体, 离子束打磨刻蚀和反应离子刻蚀(RIE)。

**图表 44: 蚀刻装备发展趋势**



来源: 中泰证券研究所

**图表 45: 等离子蚀刻设备**



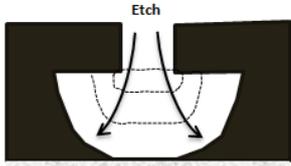
来源: 互联网, 中泰证券研究所

**图表 46: 蚀刻技术**

(2) 蚀刻技术

湿法蚀刻

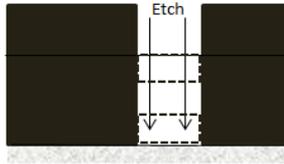
- 使用湿化学溶液
- 各向同性的蚀刻



垂直E/R (蚀刻速度) = 水平E/R (蚀刻速度)  
纯化学反应  
高选择性

干法蚀刻

- 使用等离子体
- 各向异性的蚀刻



垂直E/R >> 水平E/R  
离子辅助  
相对低的过选择性  
无CD偏差

来源: 中泰证券研究所

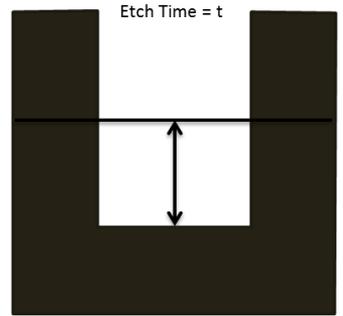
**图表 47: 蚀刻速率**

(1) Etch Rate: 蚀刻速率

- 单位时间内蚀刻掉的厚度
- nm/min, Å/min, Å/sec

- 蚀刻速率↑
- RF电压↑, 源电压↑, 偏压↑
  - 气流速率↑
  - 压力
  - 磁场 (高斯)
  - 电极温度
  - 图形密度

$$\text{Etch Rate } (E/R) = x/t$$



来源: 中泰证券研究所

- 干法蚀刻的核心就是等离子体，其内的高能电磁场区域能够将气体快速裂解成高能粒子，光子，电子和高化学活性的反应粒子，蚀刻过程将等离子体内的高能粒子和反应粒子分离出来，打在晶圆上。通常用氟化物来蚀刻多晶硅，硅化物和金属，用氟化物用于氧化物和氮化物的刻蚀，加入氩气，氢气，氮气和氧气能提高选择性和蚀刻速率。
- 蚀刻速率与 RF 电压，源电压，偏压，气流速率，压力，磁场，电极温度，图形密度有关联性。蚀刻工艺的基本参数：蚀刻速率，就是单位时间内蚀刻掉的材料厚度，单位：nm/min, Å/min, Å/sec, A=埃, 1A=0.1nm,

**图表 48: 固体—蚀刻气体列表**

| 固体  | 蚀刻气体  | 蚀刻产品   |
|---|---|--|
| 硅 (Si), 二氧化硅 (SiO <sub>2</sub> ), 氮化硅 (Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> ) | 四氟甲烷 (CF <sub>4</sub> ), 六氟化硫 (SF <sub>6</sub> ), 三氟化氮 (NF <sub>3</sub> ) | 四氟化硅 (SiF <sub>4</sub> ), 六氟乙硅烷 (Si <sub>2</sub> F <sub>6</sub> ), ..                |
| 硅 (Si)  | 氯气 (Cl <sub>2</sub> ), 二氟二氯甲烷 (CCl <sub>2</sub> F <sub>2</sub> )          | 四氯化硅 (SiCl <sub>4</sub> ), 二氯化硅 (SiCl <sub>2</sub> ) .                               |
| 铝 (Al)  | 三氯化硼 (BCl <sub>3</sub> ), 四氯甲烷 (CCl <sub>4</sub> ), ..                    | 氯化铝多聚体形式 (Al <sub>2</sub> Cl <sub>6</sub> ), 氯化铝 (AlCl <sub>3</sub> )                |
| Refractory Metal<br>(W, Ta, Nb, Mo)                                     | 四氟甲烷 (CF <sub>4</sub> ), 氯气 (Cl <sub>2</sub> )                            | 六氟化钨 (WF <sub>6</sub> ), 六氟化钨 (WCl <sub>6</sub> )                                    |
| Organic Solids  | 氧气 (O <sub>2</sub> ), O <sub>2</sub> +CF <sub>4</sub>                     | 一氧化碳 (CO), 二氧化碳 (CO <sub>2</sub> ), 氟化氢 (HF), H <sub>2</sub> O, ..                   |
| III-V<br>(GaAs, InP)  | 氯气 (Cl <sub>2</sub> ), 二氟二氯甲烷 (CCl <sub>2</sub> F <sub>2</sub> )          | Ga <sub>2</sub> Cl <sub>6</sub> , 氯化镓 (GaCl <sub>3</sub> ), 氯化砷 (AsCl <sub>3</sub> ) |
| II-VI<br>(HgCdTe, ZnS, ..)  | CH <sub>4</sub> +H <sub>2</sub>   | Zn(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> , 硫化氢 (H <sub>2</sub> S)                           |

来源: 中泰证券研究所

**图表 49: 等离子蚀刻使用的化学品列表**

| 氟   | 氯   | 溴            | 碘           | 其他的反应气体或缓冲气体/惰性气体/添加剂  |
|---|---|--------------|-------------|--|
| 四氟甲烷 (CF <sub>4</sub> ),<br>二氟乙炔 (C <sub>2</sub> F <sub>2</sub> ),<br>全氟丙烷 (C <sub>3</sub> F <sub>8</sub> ),<br>八氟环丁烷(C <sub>4</sub> F <sub>8</sub> ),<br>六氟丁二烯(C <sub>4</sub> F <sub>6</sub> ),<br>八氟环戊烯(C <sub>5</sub> F <sub>8</sub> ),等<br><br>三氟甲烷 (CF <sub>3</sub> H),<br>二氟甲烷 (CF <sub>2</sub> H <sub>2</sub> ),<br>氟甲烷(CFH <sub>3</sub> ),<br>五氟乙烷(C <sub>2</sub> HF <sub>5</sub> ), 等<br><br>三氟化氮 (NF <sub>3</sub> ),<br>六氟化硫 (SF <sub>6</sub> ) | 氯气 (Cl <sub>2</sub> ),<br><br>三氯甲烷(CHCl <sub>3</sub> ),<br><br>四氯甲烷 (CCl <sub>4</sub> ) 等 | 溴化氢<br>(HBr) | 碘化氢<br>(HI) | 氧气 (O <sub>2</sub> ), 氮气 (N <sub>2</sub> ), 氩气 (Ar), 一氧化碳 (CO), H <sub>2</sub> O, 二氧化硫 (SO <sub>2</sub> ), 氢气 (H <sub>2</sub> ), 氨气 (NH <sub>3</sub> ), 乙烯 (C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> ), 等 |

来源: 中泰证券研究所

**图表 50: 等离子增强蚀刻中添加的气体**

| Materials  | Etching Species | Mechanism     | Source Gas                            | Additives Gas                         |
|--|-----------------|---------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| Si   | F               | Chemical      | 四氟甲烷 (CF <sub>4</sub> )               | 氧气 (O <sub>2</sub> )                  |
|  |                 |               | 六氟乙烷 (C <sub>2</sub> F <sub>6</sub> ) | 氧气 (O <sub>2</sub> )                  |
|  |                 |               | 六氟化硫 (SF <sub>6</sub> )               | 氧气 (O <sub>2</sub> )                  |
|  |                 |               | 三氟化氮 (NF <sub>3</sub> )               | None                                  |
|  |                 |               | 三氯化氟 (ClF <sub>3</sub> )              | None                                  |
|  |                 |               | 氟气 (F <sub>2</sub> )                  | None                                  |
| SiO <sub>2</sub> /Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> | CF <sub>x</sub> | Ion-energetic | 四氟甲烷 (CF <sub>4</sub> )               | 氢气 (H <sub>2</sub> )                  |
|  |                 |               | 六氟乙烷 (C <sub>2</sub> F <sub>6</sub> ) | 氢气 (H <sub>2</sub> )                  |
|  |                 |               | 三氟甲烷 (CF <sub>3</sub> H)              | None or O <sub>2</sub>                |
| Undoped Si<br>n-type Si                          | Cl              | Ion-energetic | 氯气 (Cl <sub>2</sub> )                 | None                                  |
|  |                 | Ion-inhibitor | 氯气 (Cl <sub>2</sub> )                 | 六氟乙烷 (C <sub>2</sub> F <sub>6</sub> ) |
|  |                 | Ion-inhibitor | 三氟氯甲烷 (CF <sub>3</sub> Cl)            | None                                  |
| Al   | Cl              | Ion-inhibitor | 氯气 (Cl <sub>2</sub> )                 | 三氯化硼 (BCl <sub>3</sub> )              |
|  |                 |               |                                       | 四氯化碳 (CCl <sub>4</sub> )              |
|  |                 |               |                                       | 三氯甲烷 (CHCl <sub>3</sub> )             |

来源: 中泰证券研究所

图表 51: Gas 对 E/R 的影响

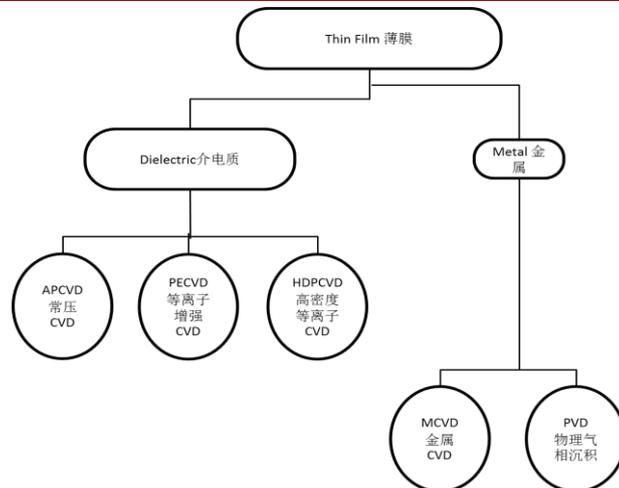
| 参数名                 | 内容解释  |
|---------------------|---|
| 1<br>含卤素的有机物        | 对于 OXIDE ETCH 来说,使用的刻蚀剂基本都是 CF 系列气体,如四氟甲烷(CF <sub>4</sub> )、三氟甲烷(CF <sub>3</sub> H)、二氟甲烷(CF <sub>2</sub> H <sub>2</sub> )、六氟丁二烯(C <sub>4</sub> F <sub>6</sub> )、全氟丙烷(C <sub>3</sub> F <sub>8</sub> )等等, F 是作为刻蚀剂存在,所以 F 越多, E/R 越大,另外, C 越多则产生聚合物越多。其中四氟甲烷(CF <sub>4</sub> ),三氟甲烷(CF <sub>3</sub> H)是轻度含卤素的有机物,多 F 特征所以在设备腔体内附着力较差,所以一般设备腔体壁比较干净。对于二氟甲烷(CF <sub>2</sub> H <sub>2</sub> )、六氟丁二烯(C <sub>4</sub> F <sub>6</sub> )、八氟环丁烷(C <sub>4</sub> F <sub>8</sub> )这类重度含卤素的有机物,蚀刻工艺以后产生的较多所以 chamber Deposition 明显,一般有黄色或者黑色物质附着在 chamber 内壁。重度含卤素的有机物=high E/R+selectivity,但是用的不好容易产生 Not Open 或者 Polymer peeling |
| 2<br>添加剂            | O <sub>2</sub> 、N <sub>2</sub> 、CO、He、H <sub>2</sub> 、Ar 可以降低含卤素的有机物的浓度,属于中性气体,但是,它们所起的作用不尽相同,比如 O <sub>2</sub> ,可以增强 E/R, N <sub>2</sub> 可以帮助使得 polymer 附着在 wafer 表面, CO、COS 也起类似作用。H <sub>2</sub> 可以跟 F 结合,使得释放更多 C,所以增强 Polymer 产生, He&Ar 属于惰性气体,不参加化学反应,他们可以解离产生的正离子,然后轰击 wafer,使得沉积在 wafer 表面的 Polymer 被去除,因此可以加强 E/R,但是随着 He&Ar 气体含量的增加主刻蚀剂 F 的比例下降,座椅这个意义上说, E/R 就会下降,所以控制好 He&Ar 和主刻蚀剂之间的比例很重要。   |
| 3<br>O <sub>2</sub> | 在我们现在的生产在线,多用 O <sub>2</sub> 来控制 CD,其原理是:<br>$O_2 + C_xF_y \rightarrow CO/CO_2 + F$<br>在 plasma 中 C <sub>x</sub> F <sub>y</sub> 会解离出-CF-中间体这种物质,是不稳定的状态,也是产生 Polymer 的必须物质,这个物质愿意跟解离出的 F 结合形成稳定的状态,由于 O <sub>2</sub> 跟 C 反应,所以 C 量减少后就可以释放出 F,而作为刻蚀剂的 F 的增加,意味着 E/R 就会增加,另外, C 量的减少意味着产生 Polymer 的概率减少,所以增加 O <sub>2</sub> 就可以达到增加 E/R,减少 Polymer 这个目的  |

来源:中泰证券研究所

## 2.4 芯片薄膜工艺 (CVD&PVD) 需求的电子化学品

- 薄膜工艺使得半导体芯片绝缘介质和导电层性能提高,通过化学气相沉积 CVD 或物理气相沉积 PVD 的方式淀积在晶圆的表面。在芯片制造内部的淀积层在电路中起了不一样的作用,主要是淀积掺杂的硅层,金属间的绝缘介质层,金属间的导线连线,金属导体层和最后的钝化层。

图表 52: 薄膜工艺气相沉积



来源:中泰证券研究所

**图表 53: CVD 工艺分类**

| process 工艺           | Advantage 优点  | Disadvantage 缺点                                      | Application 应用   |
|----------------------|---|--|--|
| APCVD<br>常压 CVD      | Simple reactor<br>简单反应器<br><br>Fast deposition<br>快速沉积<br><br>Good step coverage<br>好的台阶覆盖            | Particle<br>颗粒                                       | low temp oxide<br>(BPSG)<br><br>低温氧化物(BPSG)                          |
| PECVD 等离子增强 CVD      | Low temperature<br>低温<br><br>Fast deposition<br>快速沉积<br><br>Good step coverage<br>好的台阶覆盖              | Chemical contamination<br>化学污染<br><br>Particle<br>颗粒 | low temp<br>oxide(metal)400 °C<br><br>低温氧化物<br><br>Passivation<br>钝化 |
| HDPCVD<br>高密度等离子 CVD | Low temperature<br>低温<br><br>Good step coverage<br>好的台阶覆盖<br><br>Good gap-fill capability<br>好的空穴填充能力 | Cast highly<br>成本高                                   | STI<br>浅槽隔离<br><br>ILD<br>中间介质层<br><br>PASSN1<br>钝化 1                |

来源: 中泰证券研究所

**图表 54: 金属薄膜沉积的方法的比较**

|                   | Physical Vapor Deposition<br>物理气相沉积  | Chemical Vapor Deposition<br>化学气相沉积   |
|-------------------|--|---|
| Process 工艺        | puttering 溅射<br>Evaporation MBE 蒸镀, 分子束外延<br>Ion Plating 电供                    | Low Pressure CVD 低压 CVD<br>Plasma Enhanced CVD 等离子增强 CVD<br>High Density Plasma CVD 高密度等离子 CVD        |
| Characteristic 特性 | Vaporization of source materials by physical means<br>通过物理方法蒸发原材料              | Various solid films formation by chemical reaction between gases<br>通过气体间化学反应形成不同的固体薄膜                |
| Advantage 优点      | Clean process 干净的工艺<br>Good adhesion 好的附着力<br>Low deposition temperature 低沉积温度 | Good step coverage<br>好的台阶覆盖力   |
| Disadvantage 缺点   | Poor step coverage 弱的台阶覆盖力   | High deposition temperature 高的沉积温度<br>Toxic and dangerous gases 毒性和危险气体<br>High impurity level 高的杂质水平 |
| Materials 材料      | Al, W, Ti, TiN, etc  | W, Ti, TiN, WSix, etc   |

来源: 中泰证券研究所

- **六氟化钨(WF<sub>6</sub>)**是 CVD 工艺的原材料，在钨的氟化物中，六氟化钨是唯一稳定并被工业化生产的品种。它的主要用途是在电子工业中作为金属钨化学气相沉积(CVD)工艺的原材料，特别是用它制成的 WSi<sub>2</sub> 可用作大规模集成电路(LSI)中的配线材料。通过混合金属的 CVD 工艺制得钨和铱的复合涂层，可用于 X-射线的发射电极。**硅烷 (SiH<sub>4</sub>)** 用于半导体 CVD, TFT-LCD 及光伏电池的制作工艺中，作为以硅(Si)为中心沉积的薄膜层而使用。**二氯硅烷 (SiH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>)** 是在化学气相沉积 CVD 工程中和氨(NH<sub>3</sub>)一起作为硅前驱体(Silicon Precursor)的原料，也被用于硅单晶体(Silicon Epitaxial)的沉积工艺中。
- 他们的反应 CVD 工艺 W 薄膜淀积工艺: SiH<sub>4</sub>→Si+2H<sub>2</sub>,提供一层非晶的 Si 原子层成为下一步化学反应得种子, 2WF<sub>6</sub>+3SiH<sub>4</sub> → 2W + 3SiF<sub>4</sub> + 6H<sub>2</sub> 核成反应提供了 W 的沉淀, WF<sub>6</sub>+3H<sub>2</sub> 也能相互反应产生 W 的沉积, 反应速度相对较慢。
- 高纯铝及铝合金是目前使用最为广泛的导电层薄膜材料之一。在其应用领域中, 超大规模集成电路芯片的制造对溅射靶材金属纯度的要求最高, 通常要求达到 99.9995% (5N5) 以上, 平板显示器、太阳能电池用铝靶的金属纯度略低, 分别要求达到 99.999% (5N)、99.995% (4N5) 以上。仅有美国和日本的少数几家跨国公司(即霍尼韦尔、日矿金属、东曹、普莱克斯等)能够生产。

**图表 55: 半导体中常用金属和硅化物的物理性质**

| Metal or Alloy    | Resistivity<br>ρ (μ Ω cm)<br>电阻率 | Melting Point(°C)<br>熔点 | Thermal Expansion<br>coefficient<br>热膨胀系数 |
|-------------------|----------------------------------|-------------------------|---|
| Al                | 2.7 - 3.0                        | 660                     | 24  |
| MO                | 6-15                             | 2620                    | 5   |
| W                 | 42901                            | 3410                    | 4.4                                       |
| Cu                | <2.0                             | 1083                    | 16.5                                      |
| Ti                | 42.0                             | 1667                    | 8.9                                       |
| MoSi <sub>2</sub> | 40~100                           | 1980                    | 8.25                                      |
| TaSi <sub>2</sub> | 38~50                            | ~2200                   | 8.8~10.7                                  |
| TiSi <sub>2</sub> | 13~16                            | 1540                    | 12.5                                      |
| WSi <sub>2</sub>  | 30~70                            | 2165                    | 6.25~7.9                                  |
| CoSi <sub>2</sub> | 10~18                            | 1326                    | 10.14                                     |
| PtSi              | 28~35                            | 1229                    |   |
| Ti:W(10wt% Ti)    | 75~200                           | —                       | —   |
| TiN               | 25~200                           | ~2880                   | 9.35                                      |

来源: 中泰证券研究所

■ 溅射靶材简介。

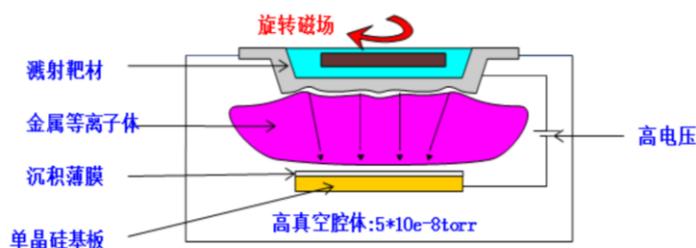
超大规模集成电路制造过程中要反复用到的溅射 (Sputtering) 工艺属于物理气相沉积 (PVD) 技术的一种, 是制备电子薄膜材料的主要技术之一, 它利用离子源产生的离子, 在高真空中经过加速聚集, 而形成高速度能的离子束流, 轰击固体表面, 离子和固体表面原子发生动能交换, 使固体表面的原子离开固体并沉积在基底表面, 被轰击的固体是用溅射法沉积薄膜的原材料, 称为溅射靶材。

图表 56: 半导体芯片溅射靶材



来源:《江丰电子招股说明书》, 中泰证券研究所

图表 57: 溅射靶材工作原理示意图



来源:《江丰电子招股说明书》, 中泰证券研究所

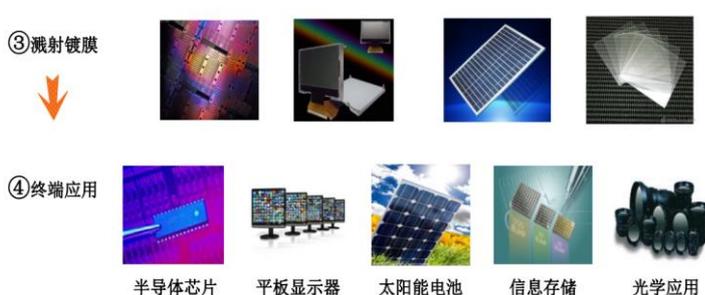
- 一般来说, 溅射靶材主要由靶坯、背板等部分构成, 其中, 靶坯是高速离子束流轰击的目标材料, 属于溅射靶材的核心部分, 在溅射镀膜过程中, 靶坯被离子撞击后, 其表面原子被溅射飞散出来并沉积于基板上制成电子薄膜。
- 高纯溅射靶材产业链从上至下分别是金属提纯产业, 靶材制造产业, 溅射镀膜产业, 终端应用

图表 58: 高纯溅射靶材产业链 (上)



来源:《江丰电子招股说明书》, 中泰证券研究所

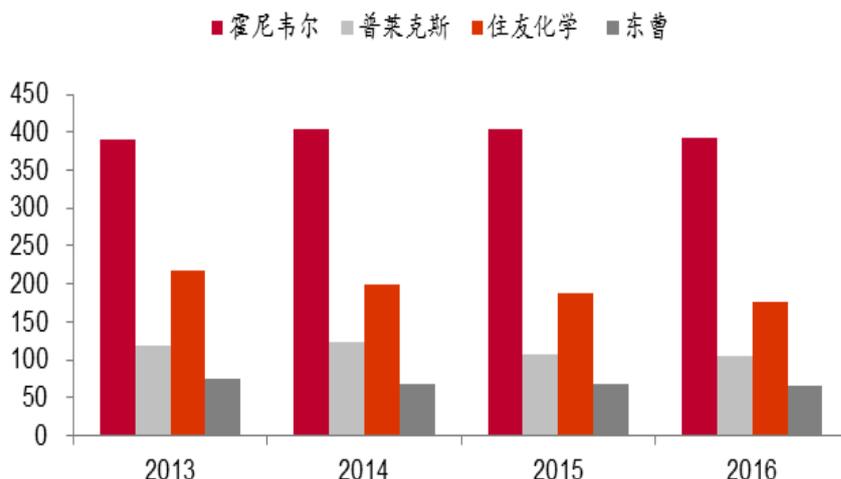
图表 59: 高纯溅射靶材产业链 (下)



来源:《江丰电子招股说明书》, 中泰证券研究所

- 在溅射镀膜过程中, 溅射靶材需要安装在机台中完成溅射反应, 溅射机台专用性强、精密度高, 市场长期被美国、日本跨国集团垄断, 主要设备提供商包括 AMAT (美国)、ULVAC (日本)、ANELVA (日本)、Varian (美国)、ULVAC (日本) 等行业内知名企业。

## ■ 行业内主要企业

**图表 60：行业内主要企业营业收入对比（亿美元）**


来源：《江丰电子招股说明书》，中泰证券研究所

**霍尼韦尔国际公司**（Honeywell International Inc.），成立于 1885 年，总部位于美国，纽约证券交易所上市公司，2014 年财富世界五百强排名第 283 位，拥有航空航天集团、自动化控制系统集团以及特殊材料和技术集团三大业务部门。其中特殊材料和技术集团下属特性材料业务部门。霍尼韦尔的主要靶材包括钛铝靶、钛靶、铝靶、钽靶、铜靶等。

**普莱克斯公司**（Praxair, Inc.）成立于 1907 年，总部位于美国，为纽约证券交易所上市公司，2014 年福布斯世界两千强排名第 437 位，是世界最大的气体供应商之一，其电子行业的主要产品包括电子设备、次大气气体输送系统、溅射靶材等，其溅射靶材主要应用于电子及半导体行业。

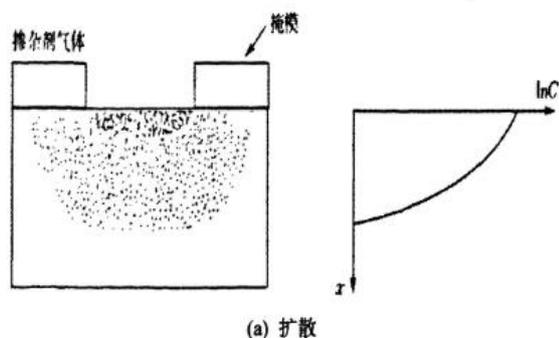
**住友化学株式会社**（Sumitomo Chemical Company, Limited），成立于 1913 年，总部位于日本，东京证券交易所上市公司，2013 年财富世界五百强排名第 494 位，主要服务于石油化学、能源-功能材料、情报电子化学、健康-农业相关事业和医药五大领域。住友化学在中国大陆设有 19 家子公司，其中溅射靶材行业相关业务由住化电子材料科技（上海）有限公司经营。住化电子材料科技（上海）有限公司成立于 2001 年 9 月 14 日，注册资本 777.78 万美元。

**东曹株式会社**（Tosoh Corporation）成立于 1935 年，总部位于日本，为东京证券交易所上市公司，2014 年福布斯世界两千强排名第 1904 位，其溅射靶材通过在美国、日本、韩国和中国的生产基地生产，主要用于半导体、太阳能发电、平板显示器、磁记录媒体等领域。东曹在中国大陆设有 4 家子公司，其中溅射靶材相关业务主要由东曹达（上海）贸易有限公司、东曹达（上海）电子材料有限公司两家子公司经营。东曹达（上海）贸易有限公司成立于 2004 年 4 月 15 日，注册资本 20 万美元。

## 2.5 芯片扩散掺杂工艺 (DIFF) 需求电子化学品

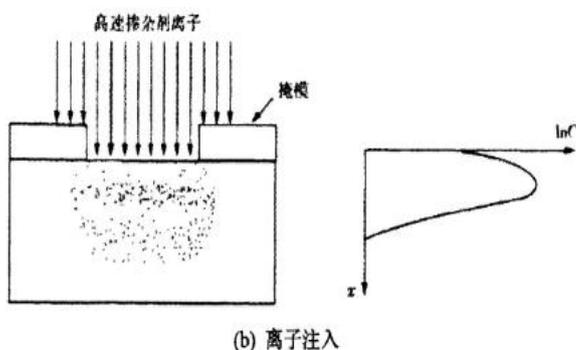
- 扩散掺杂是一种材料通过另一种材料的运动的自然化学过程，使用的材料浓度和能量要高于另外一种材料，工艺原理将 N 型或 P 型杂质引进到半导体表层深度，Furnace 主要是形成硬掩模，栅极绝缘层，外延生长。在炉管设备中高温低压淀积在 wafer 表面，根据工艺需要有掺杂和非掺杂，工艺目的分别长一层 Nitride 氮化物，oxide 氧化物 (TEOS 四乙氧基硅烷，HTO 高温氧化物，LPRO 低压等离子体氧化物，LTO 低温氧化物)，poly 多晶硅 (crystal 晶体，amorphous 无定形)。IMP 离子注入形成晶体管的源极和漏极之间的通路，增加 poly 的导电性，RTA 离子注入后修复晶格损伤快速热退火。扩散掺杂是将 N 型和 P 型杂质引入到半导体内，使得晶体管和二极管能够工作。

图表 61: 两种掺杂方法的比较-扩散



来源: 中泰证券研究所

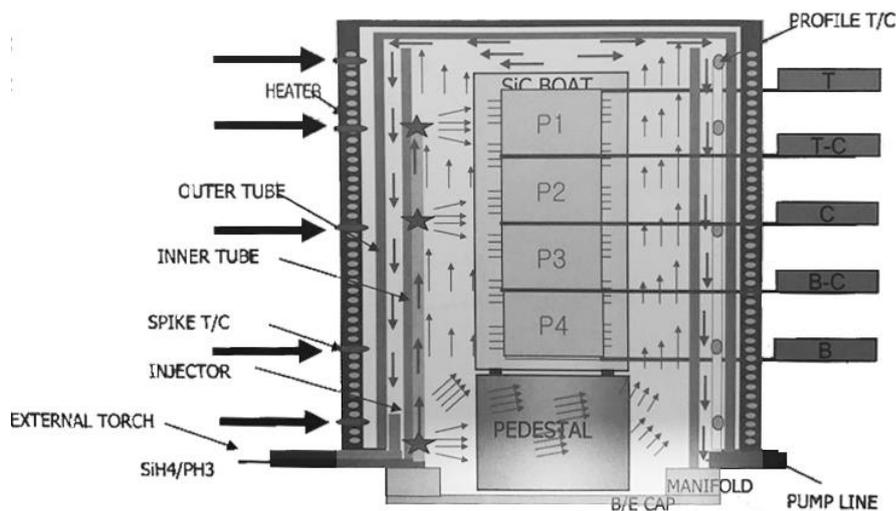
图表 62: 两种掺杂方法的比较-; 离子注入



来源: 中泰证券研究所

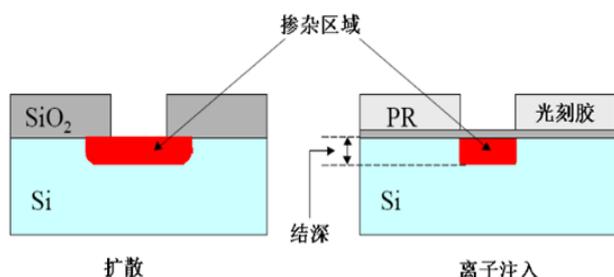
- 炉管掺杂的源物质包含有液态，固态和气态。液态源含有所需掺杂元素氯化物和溴化物，硼的液态物为溴化硼 ( $BBr_3$ )，磷的液态源为三氯化磷 ( $POCl_3$ )。气态源为氢化物，三氯化砷 ( $ASH_3$ )，乙硼烷 ( $B_2H_6$ )，气态源物质通过管道喷在晶圆上。固态源物质是氧化物粉末，掺杂工艺被用在精确度不高的分立器件掺杂。

图表 63: 扩散炉示意图



来源: 中泰证券研究所

图表 64: 扩散与离子注入的比较图



来源: 中泰证券研究所

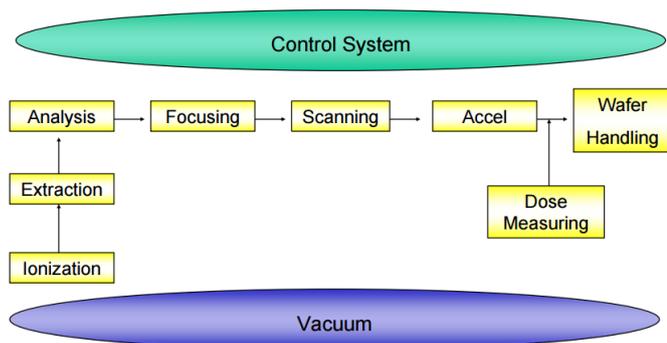
图表 65: 离子注入与扩散的比较表

| 离子注入                     | 扩散                    |
|--------------------------|-----------------------|
| 低温, 光刻胶掩膜<br>室温或低于 400°C | 高温, 硬掩膜<br>900-1200°C |
| 各向异性的杂质分布                | 各向同性的杂质分布             |
| 能够独立控制掺杂浓度和结深            | 不能够独立控制掺杂浓度和结深        |
| 可批量, 也可单片工艺              | 批量化的工艺                |

来源: 中泰证券研究所

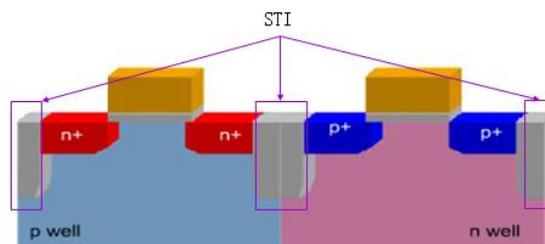
- 离子注入常用的工艺气体有氟化硼 (BF<sub>3</sub>), 砷化氢 (AsH<sub>3</sub>) 和磷化氢 (PH<sub>3</sub>) 等; 离子注入系统主要包括: 离子源, 通过灯丝加热产生电子, 通过电场使电子运动而撞击工艺气体产生离子, 通过极电压将离子吸出, 进入质量分析磁场筛选出工艺需要的离子, 通过加速电场提高离子的能量, 然后通过偏转磁场 (或 correct magnet) 将最终的需要的离子植入到晶圆 wafer。离子注入是在真空中、低温下, 把硼 (B), 磷 (P), 砷 (As) 等杂质离子以很高的电压加速注入到芯片, 在半导体中产生一些晶格缺陷, 随后再利用退火工艺将晶格缺陷修复等工艺。离子注入工艺的目的是调节芯片内晶体管的阈值电压或者多晶硅的导电性。

图表 66: 真空控制系统



来源: 互联网, 中泰证券研究所

图表 67: PMOS&NMOS



来源: 互联网, 中泰证券研究所

- 离子注入的一个优点是多种类型的掩膜都可以有效阻止离子束流。对于扩散工艺, 唯一有效的掩膜是二氧化硅。半导体工艺所使用的大多数薄膜都可以被用来组织束流, 包括光刻胶, 二氧化硅, 氮化硅, 铝以及其他金属薄膜。

**图表 68: 设备归类**

| 加工          | 机器类型           | 离子注入机型号     | 厂商       |
|-------------|----------------|-------------|----------|
| 8 英寸        | Medium Current | E220        | Varian   |
|             |                | VIISta 810  |          |
|             | High Current   | VIISta HC   | Varian   |
|             |                | VIISta 80   | Varian   |
|             |                | ULTRA       | Axcelis  |
| HIGH ENERGY | NV-GSD         | Axcelis     |          |
| 12 英寸       | Medium Current | VIISTA 810  | Varian   |
|             |                | VIISTA 900  |          |
|             |                | VIISTA HC   |          |
|             | High Current   | VIISTA HCP  | Varian   |
|             |                | PLAD        | Varian   |
|             |                | OPTIMA      | Axcelis  |
|             |                | HIGH ENERGY | PARADIGM |

来源: 中泰证券研究所

**图表 69: 扩散源**

| 类型 | 元素 | 化合物名称 | 分子式                            | 状态      | 反应   |
|----|----|-------|--------------------------------|---------|--|
| N  | 锑  | 氧化锑   | Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 固态      |  |
|    | 砷  | 三氧化二砷 | As <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 固态      | 2AsH <sub>3</sub> +3O <sub>2</sub> →As <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +3H <sub>2</sub> O            |
|    |    | 三氯化砷  | AsH <sub>3</sub>               | 气态      |  |
|    | 磷  | 氯氧化磷  | POCl <sub>3</sub>              | 液态      | 4POCl <sub>3</sub> +3O <sub>2</sub> →2P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> +6Cl <sub>2</sub>            |
|    |    | 五氧化二磷 | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 固态      | 2PH <sub>3</sub> +4O <sub>2</sub> →P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> +3H <sub>2</sub> O              |
|    |    | 三氯化磷  | PH <sub>3</sub>                | 气态      |  |
| P  | 硼  | 溴化硼   | BBr <sub>3</sub>               | 液态      | 4BBr <sub>3</sub> +3O <sub>2</sub> →2B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +6Br <sub>2</sub>             |
|    |    | 三氧化二硼 | B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>  | 固态      | B <sub>2</sub> H <sub>6</sub> +3O <sub>2</sub> →B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +3H <sub>2</sub> O |
|    |    | 六氯化二硼 | B <sub>2</sub> H <sub>6</sub>  | 气态      |  |
|    |    | 三氯化硼  | BCl <sub>3</sub>               | 气态      | BCl <sub>3</sub> +3H <sub>2</sub> →2B+6HCl   |
|    |    | 氮化硼   | BN                             | 固态      |  |
|    | 金  | 金     | Au                             | 固态 (蒸发) |  |
|    | 铁  |       | Fe                             |         |  |
|    | 铜  |       | Cu                             |         |  |
|    | 锂  |       | Li                             | 沾污带来的   |  |
|    | 锌  |       | Zn                             | 不期望的杂质  |  |
|    | 锰  |       | Mn                             |         |  |
|    | 镍  |       | Ni                             |         |  |
|    | 钠  |       | Na                             |         |  |

来源: 中泰证券研究所

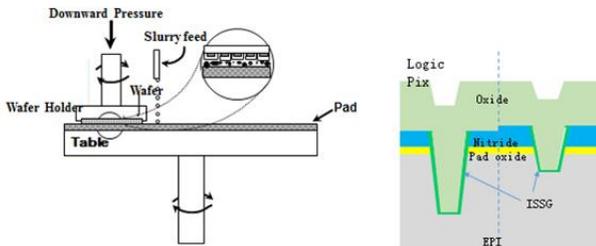
**2.6 芯片研磨工艺 (CMP) 需求的电子化学品**

CMP 工艺是化学机械研磨使得晶圆表面局部和整体的平整度提高,随着芯片在 300mm 晶圆的单位面积的容量在增加,使得电路的金属层也逐步增加,各个金属层之间使用导电介质连接,导电的介质被称为连接柱。钨,铜,铝的嵌入式工艺过程中,先有光刻工艺做出沟道把金属物质沉积进行填充,用 CMP 将多溢出的金属磨掉平整化后进入后道工艺。CMP 工艺跟日常生活中刷牙,牙膏和牙刷比喻研磨垫和研磨液一样,为了到达设备端的研磨液在使用之前,通常都有匀拌机进行多次翻滚和通过过滤器的过程,进入研磨设备流入晶圆和研磨垫之间,研磨垫和研磨液的转动去研磨制造芯片过程中多余的化学物质,研磨完成会用氟化氢(HF),三甲基铝(TMA)去除清洗晶圆表面杂质。

$$RR = k \times \frac{F}{A} \times \frac{ds}{dt}$$

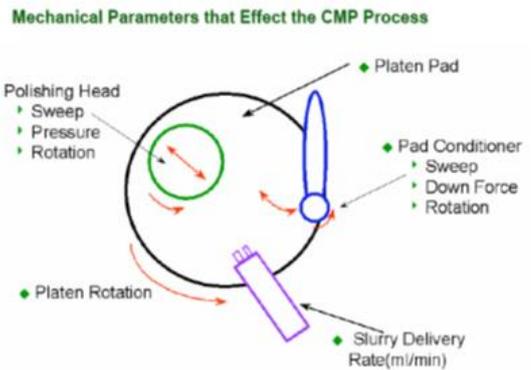
RR 是指研磨的速率, K 是指 Preston 系数, K 的取决于研磨垫(杨氏模量), F 指的是压力, v=s/t 相对旋转速率。研磨速率和压力与相对旋转速度成正比。

**图表 70: CMP 机台基本构造**



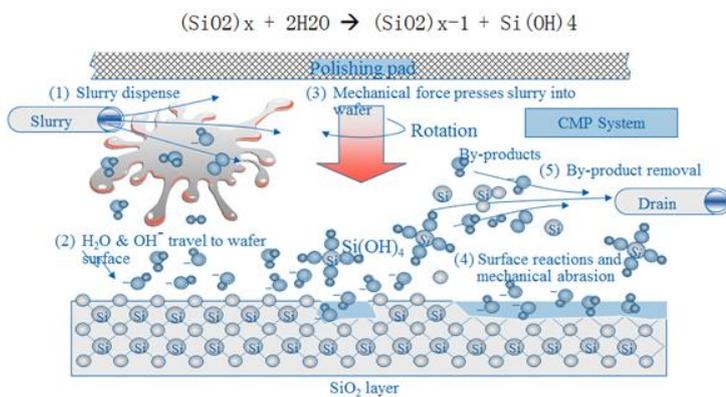
来源: 互联网, 中泰证券研究所

**图表 71: 影响 CMP 过程的力学参数**



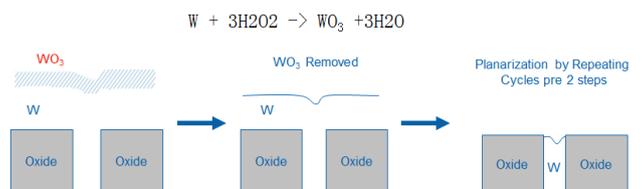
来源: 互联网, 中泰证券研究所

**图表 72: CMP 氧化硅机理示意图**



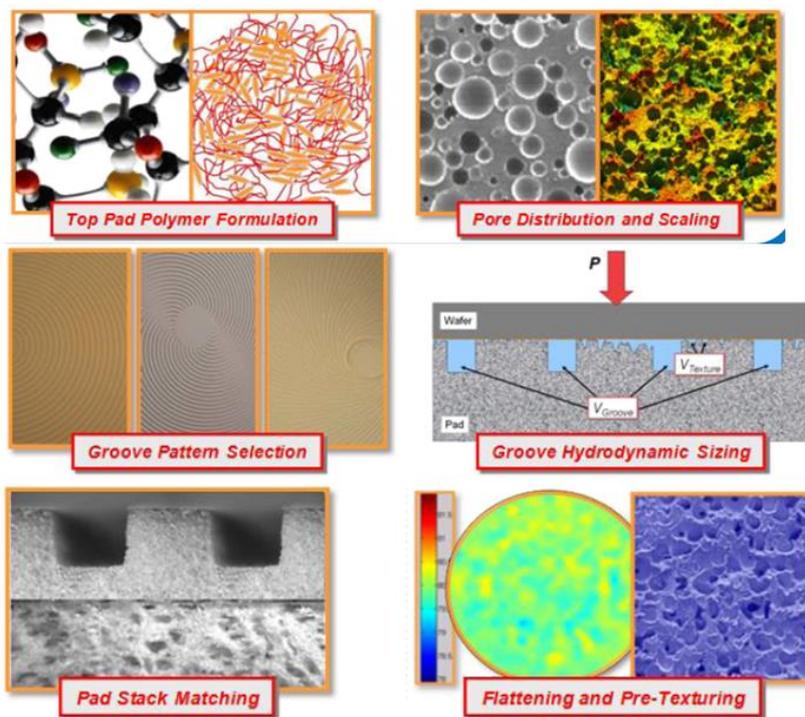
来源: 互联网, 中泰证券研究所

**图表 73: 钨的嵌入式工艺过程及其反应式**



来源: 互联网, 中泰证券研究所

图表 74: 芯片研磨工艺技术要点



来源: 互联网, 中泰证券研究所

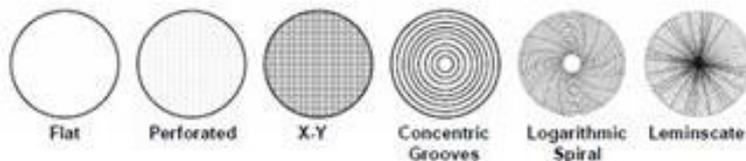
- 研磨垫图形大体上来说有两种功能, 一种是研磨垫的孔隙度可协助研磨液于研磨过程输送到不同区域, 另一种功能是协助芯片表面研磨产物移去。研磨垫的机械性质会影响到薄膜表面的平坦度和均匀度, 因此控制器结构和机械性质十分重要

图表 75: 不同类型研磨垫的比较

| Hard Pad (硬垫) | Soft Pad (软垫) |
|---------------|---------------|
| 较高的研磨效率       | 较低的研磨效率       |
| 速度稳定性好        | 速度稳定性差        |
| 使用寿命长         | 使用寿命短         |
| 研磨液的输送性好      | 研磨液的输送性差      |
| 成本高           | 成本低           |
| 缺陷水平高         | 缺陷水平低         |

来源: 中泰证券研究所

图表 76: 不同类型的研磨槽



来源: 互联网, 中泰证券研究所

图表 77: 部分研磨设备厂商及型号



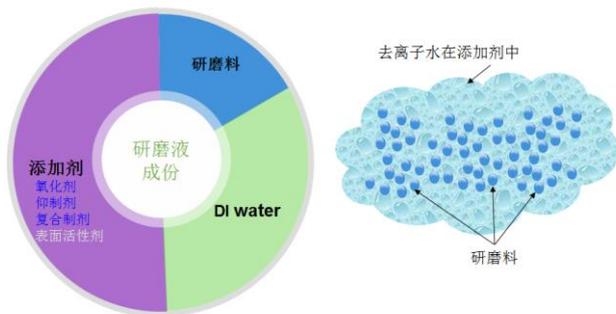
Reflexion  
Reflexion LK  
Reflexion GT  
Reflexion LK Prime

F-REX300  
F-REX300S  
F-REX300S2  
F-REX300X

来源: 中泰证券研究所

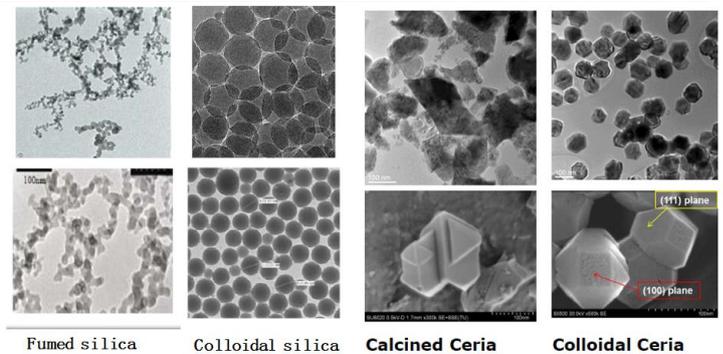
- CMP 的设备厂家主要有 Applied Materials (美国), Ebara (日本), IPEC Planar (美国), Speed Fam (美国), LOGITECH (英国)。这五家公司控制了全球 CMP 设备市场 80% 以上的份额。

图表 78: 研磨液成分



来源: 互联网, 中泰证券研究所

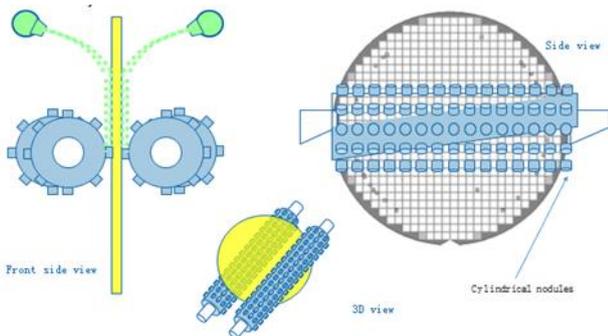
图表 79: 研磨液结构



来源: 互联网, 中泰证券研究所

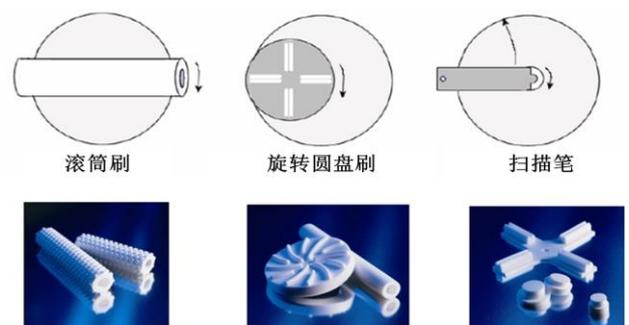
- 研磨液由磨粒分散于介质制备而成，是一种具有优良化学机械性能的研磨产品，可用于硅片、化合物晶体、精密光学器件、液晶面板、宝石、金属工件等的研磨抛光。磨粒是研磨液机械作用的关键因素，不同种类、不同粒度的磨粒磨削效果不同，适合于不同的加工要求。一般来讲磨料硬度越高、颗粒越大，其磨削效率越高、加工表面光洁度越低；相反磨料硬度越低、颗粒越小，其磨削效率越低、加工表面光洁度越高。介质是磨粒的载体，影响着磨粒的分散，在加工过程中起到冷却、排屑等作用，有时还会起到化学腐蚀的作用。

图表 80: 研磨晶圆清洗过程



来源: 互联网, 中泰证券研究所

图表 81: 除清洗晶圆表面杂质工具



来源: 互联网, 中泰证券研究所

## 2.7 芯片清洗工艺 (Clean) 需求的电子化学品

- 芯片制造过程中高达 25% 以上芯片制造工艺步骤是清洗和晶圆表面的处理，半导体芯片工厂需要消耗大量的酸，碱，溶剂和水，为了达到精确和洁净的工艺效果，需要高纯度和高可靠的电子化学品，半导体芯片制造过程中达到 28nm 以下线宽时，每一道工序都涉及到清洗，而且清洗的好坏直接影响下一道工序，甚至影响器件的成品率和可靠性，相应就需要更多的清洗 Clean 工艺步骤，清洗所用的电子化学品用量大幅增加。

**图表 82: Clean 工艺污染物及其不良内容**

| 污染物            | 不良内容   |
|----------------|--|
| 重金属            | Pattern 缺点，绝缘膜特点下降，成膜时异常                       |
| 微粒子            | 接合 Leak Lifetime 下降，Vth 变动，结晶缺陷，绝缘膜特点下降，氧化速度变动 |
| 碱金属            | 绝缘膜特点下降，Vth 变动                                 |
| III 族元素        | p 反转   |
| V 族元素          | n 反转   |
| 放射性元素          | Soft Error                                     |
| 有机物            | 结晶缺陷，形成膜不良，增加 Contact 阻力                       |
| oxidation film | Contact 阻力增加，绝缘膜质热化，控制 EPI 膜形成                 |

来源：中泰证券研究所

- 为了控制污染物，需要了解污染物的附着和去除机理。污染物的附着机理有以下几种可能的情况：静电力或范德堡力；污染物粒子与表面间的化学键，污染物粒子被去除的机理有四种：1) 溶解；2) 氧化分解；3) 对硅片表面轻微的腐蚀去除；4) 粒子和硅片表面的电排斥。

**图表 83: 各种污染物的来源和相对的影响**

| 污染物   | 可能来源                | 影响                          |
|-------|---------------------|-----------------------------|
| 颗粒    | 设备，环境，气体，去离子水，化学试剂  | 氧化层低击穿，成品率降低                |
| 金属离子  | 设备，化学试剂，反应离子刻蚀，离子注入 | 低击穿场强，PN 结漏电，少子寿命降低，Vt 偏移   |
| 有机物   | 室内气氛，光刻胶，存储容器化学试剂   | 氧化速率改变                      |
| 微粗糙度  | 初始硅片材料，化学试剂         | 氧化层低击穿场强，载流子迁移率下降           |
| 自然氧化层 | 环境湿气，去离子水冲洗         | 栅氧化层退化，外延层质量变差接触电阻增大，硅化物质量差 |

来源：中泰证券研究所

- RCA 标准清洗法是 1965 年由 Kern 和 Puotinen 等人在 N.J.Princeton 的 RCA 实验室首创的，并由此而得名。RCA 是一种典型的、至今仍为最普遍使用的湿式化学清洗法，几十年来被世界各国广泛采用。它的基本步骤最初只包括碱性氧化和酸性氧化两步，但目前使用的 RCA 清洗大多包括四步，即先用含硫酸的酸性过氧化氢进行酸性氧化清洗，再用含胺的弱碱性过氧化氢进行碱性氧化清洗，接着用稀的氢氟酸溶液进行清洗，最后用含盐酸的酸性过氧化氢进行酸性氧化清洗，在每次清洗中间都要用去离子水 (DI) 进行漂洗，最后再用低沸点有机溶剂进行干燥。

**图表 84: RCA 标准清洗法**

| RCA Cleaning 种类   | Cleaning 目的   |
|---|---|
| SC-1(APM)<br>(NH <sub>4</sub> OH:H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> :H <sub>2</sub> O) | <ul style="list-style-type: none"> <li>☞ Organic, I/II 族 Metal, Particle 去除</li> <li>☞ <math>2H_2O_2 + C \rightarrow CO_2 + H_2O</math></li> <li>☞ <math>M + H_2O_2 \rightarrow MO + H_2O</math>, <math>MO + 4NH_4OH \rightarrow M(NH_4)_4^+</math></li> </ul>  |
| SC-2(HPM)<br>(HCl: H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> :H <sub>2</sub> O)               | <ul style="list-style-type: none"> <li>☞ Metal 去除</li> <li>☞ Ion Exchange: <math>Na + HCl \rightarrow NaCl + H^+</math></li> <li>☞ Complex: <math>M + H_2O_2 \rightarrow MO + H_2O</math>, <math>MO + 2HCl \rightarrow MCl_2 + H_2O</math></li> </ul>           |
| SPM<br>(H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> :H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> )           | <ul style="list-style-type: none"> <li>☞ Heavy Organic, Metal 去除</li> <li>☞ <math>H_2SO_4 + H_2O_2 \rightarrow H_2SO_5</math> (CARO'S ACID) + H<sub>2</sub>O</li> <li>☞ <math>H_2SO_5 + \text{Hydro Carbon} \rightarrow CO_2 + H_2O + H_2SO_4</math></li> </ul> |
| DHF<br>(HF: H <sub>2</sub> O)   | <ul style="list-style-type: none"> <li>☞ Oxide Film, Metal 去除</li> <li>☞ <math>6HF + SiO_2 \rightarrow H_2SiF_6 + 2H_2O</math></li> <li>☞ <math>3HF + M \rightarrow MF_3 + 3H^+</math></li> </ul>   |
| US<br>(Ultra Sonic)   | <ul style="list-style-type: none"> <li>☞ Particle 去除</li> <li>☞ Cavitation 引起的 Shock Wave, 频率 10~45KHz</li> </ul>   |
| MS<br>(Mega Sonic)  | <ul style="list-style-type: none"> <li>☞ Particle 去除</li> <li>☞ Sinusoidal Wave 的 Acceleration Force, 频率 900~1.1MHz</li> </ul>  |

来源: 中泰证券研究所

## ■ 主要清洗液

### ■ APM (Ammonium Hydroxide-Peroxide Mixture)

APM(SC-1) (一号液) (NH<sub>4</sub>OH : H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> : H<sub>2</sub>O), 它在 65~80°C 清洗约 10min 主要去除粒子、部分有机物及部分金属。由于过氧化氢 (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) 的作用, 硅片表面有一层自然氧化膜 (SiO<sub>2</sub>), 呈亲水性, 硅片表面和粒子之间可被清洗液浸透。由于硅片表面的自然氧化层与硅片表面的 Si 被氢氧化铵 (NH<sub>4</sub>OH) 腐蚀, 因此附着在硅片表面的颗粒便落入清洗液中, 从而达到去除粒子的目的。此溶液会增加硅片表面的粗糙度。Fe, Zn, Ni 等金属会以离子性和非离子性的金属氢氧化物的形式附着在硅片表面, 能降低硅片表面的 Cu 的附着。体积比为 (1: 1: 5)~(1: 2: 7) 的 NH<sub>4</sub>OH (27%)、H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>(30%) 和 H<sub>2</sub>O 组成的热溶液。稀释化学试剂中把水所占的比例由 1: 5 增至 1: 50, 配合超声清洗, 可在更短时间内达到相当或更好的清洗效果。SC-1 清洗后再用很稀的酸 (HCl : H<sub>2</sub>O 为 1: 104) 处理, 在去除金属杂质和颗粒上可收到良好的效果, 也可以用稀释的 HF 溶液短时间浸渍, 以去除在 SC-1 形成的水合氧化物膜。最后, 常常用 SC-1 原始溶液浓度 1/10 的稀释溶液清洗, 以避免表面粗糙, 降低产品成本, 以及减少对环境的影响。

#### ■ HPM (Hydrochloric/Peroxide Mix)

HPM(SC-2)(二号液)(HCl : H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> : H<sub>2</sub>O),它在 65~85°C清洗约 10min 用于去除硅片表面的钠、铁、镁等金属污染物。对含有可见残渣的严重污染物的晶片,可用热 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O(2 : 1)混合物进行预清洗。HPM(HCL-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O),其比例为 1:1:5 到 1:2:8, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>的作用同上,另外盐酸使 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>的氧化性能大大加强,并和硅片表面杂质中的活泼金属 (Al、Zn)、金属氧化物 (ClO、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>等)、氢氧化物、硫化物、碳酸盐等相互作用,使这些杂质变成可溶解的,另外盐酸还兼有络合剂的作用,盐酸中的氯离子与 Au<sup>3+</sup>、Pt<sup>2+</sup>、Cu<sup>+</sup>、Ag<sup>+</sup>、Hg<sup>2+</sup>、Fe<sup>3+</sup>等金属离子形成溶于水的络合物。

#### ■ SPM (Sulfuric/Peroxide Mix)

SPM (三号液) (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> : H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> : H<sub>2</sub>O),它在 120~150°C清洗 10min 左右,SPM 具有很高的氧化能力,可将金属氧化后溶于清洗液中,并能把有机物氧化生成 CO<sub>2</sub>和 H<sub>2</sub>O。用 SPM 清洗硅片可去除硅片表面的重有机污染物和部分金属,但是当有机物污染物特别严重时会使有机物碳化而难以去除。经 SPM 清洗后,硅片表面会残留有硫化物,这些硫化物很难用去粒子水冲洗掉。

由 Ohnishi 提出的 SPFM(H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/HF)溶液,可使表面的硫化物转化为氟化物而有效地冲洗掉。由于臭氧的氧化性比 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>的氧化性强,可用臭氧来取代 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>(H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>/O<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O 称为 SOM 溶液),以降低 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>的用量和反应温度。

#### ■ DHF

DHF(HF(H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>):H<sub>2</sub>O),它在 20~25°C清洗 30s 腐蚀表面氧化层,去除金属污染物,DHF 清洗可去除表面氧化层,使其上附着的金属连同氧化层一起落入清洗液中,可以很容易地去除硅片表面的 Al, Fe, Zn, Ni 等金属,但不能充分地去除 Cu。HF: H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>=1: 50。在 DHF 清洗时将用 SC-1 清洗时表面生成的自然氧化膜腐蚀掉, Si 几乎不被腐蚀;硅片最外层的 Si 几乎是以 H 键为终端结构.表面呈疏水性;在酸性溶液中硅表面呈负电位,颗粒表面为正电位,由于两者之间的吸引力粒子容易附着在晶片表面。

#### ■ 主要的清洗设备

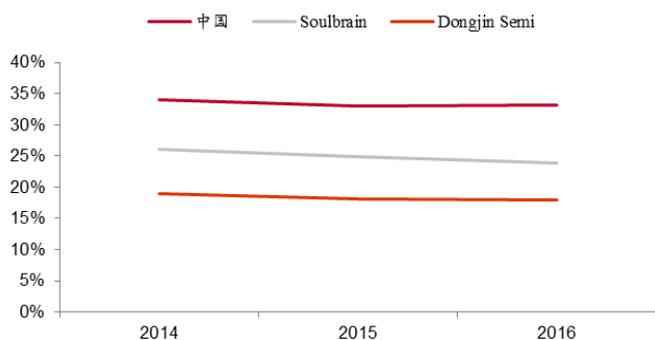
- 1) 槽清洗:也叫浸没式清洗.如:三协清洗机, SCP-3 等,此设备的特点:化学液可多次使用,但也带来不足之处,化学液的比例会发生改变。
- 2) FSI 清洗
- 3) 兆声清洗.
- 4) 最新的清洗设备:单片清洗工艺和气相清洗。

### 3. 新企业：上市公司竞争力提升

#### 3.1 企业比较：盈利能力和成长性俱佳

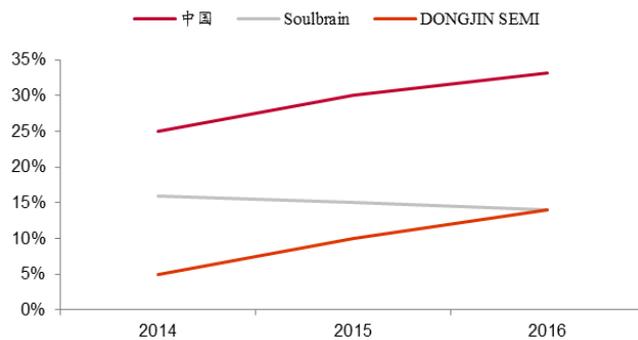
- 我们选取 CMP 抛光垫，晶圆硅片，光刻胶，前驱体功能材料，特殊气体，湿化学品，石英材料，PVD 靶材等有代表性的材料企业与韩国材料企业比较，以证明中国电子化学品上市公司日益提高的竞争力。

图表 85：电子化学品上市公司毛利率比较



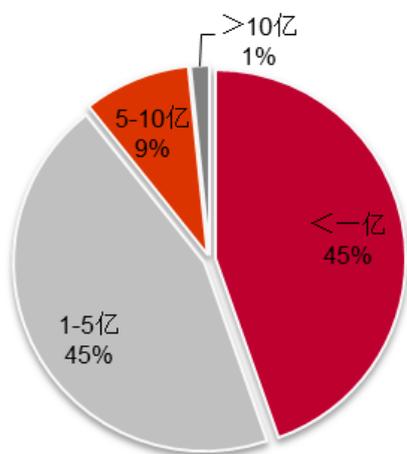
来源：中泰证券研究所

图表 86：电子化学品上市公司成长性比较



来源：中泰证券研究所

图表 87：国内半导体制造材料企业群体状况



来源：ICMtia 中泰证券研究所

图表 88：国内半导体制造材料企业技术进步

| 产业技术  | 2008 年 | 2014 年  |
|-------|--------|---|
| 12 英寸 | 无      | 部分品种 CMP 抛光液，部分品种溅射靶材<br>部分品种化学试剂，部分品种特种气体                  |
| 8 英寸  | 无      | 重掺外延片、SOI 晶片、溅射靶材<br>248 纳米光刻胶、I 线光刻胶、CMP 抛光液<br>特种气体、功能化学品 |
| 6 英寸  | 靶材     | 除个别特殊品种材料之外<br>大部分材料都实现国产化                                  |
| 硅片    |        | 除个别特殊品种材料之外   |
| 化学品   |        | 国产材料市场占有率超过 50%   |

来源：ICMtia 中泰证券研究所

- 我国的电子化学品企业的发展是从无到有，经过十多年的发展从普通的化学试剂到现在的高纯度化学品，用于教学化学试剂和电子材料擦拭用试剂到现在高端半导体制造领域，逐步的从低纯度走入高纯度电子化学品领域，也随着国内电子行业的蓬勃发展，国内电子产品制造产量占据世界第一，电子行业对于电子化学品的需求逐步提高，国内电子行业从组装制造发展到核心元器件芯片的国产化，有利的推动了电子化学品技术的提升，技术的提升带动了产品售价，毛利率的提升。虽然国内的电子化学品企业在赢利能力上弱于日韩台湾企业，但在成长性方面，国内的企业则具备明显优势。

## 四. 新机遇：投资机会显现

### 4.1 不断上市的新企业

- 随着一批优秀半导体电子化学品材料企业的上市和传统材料价值股在技术和市场的开拓，电子化学品行业上市公司在以下几点正在取得突破。
- 电子化学品企业本身具备规模小，研发风险大，融资渠道困难的特点，多年耕耘在电子化学品行业优秀企业的上市后，开拓了融资渠道，让真正掌握技术优势和优秀赢利模式的企业脱颖而出，依照海外的经验，电子化学品企业发展与资本市场的支持关系密切。

**图表 89：电子化学品公司行业分类**

| 产品类别    | 厂商                  | 技术节点            | 对应客户群  |
|---------|---------------------|-----------------|--|
| CMP 抛光垫 | 鼎龙股份                | 14 纳米-0.25 微米   | 国内 8/12 英寸晶圆厂  |
|         | 江丰电子<br>时代立夫        |                 |  |
| 大硅片     | 上海新阳                | 14 纳米-0.25 微米   | 国内 8/12 英寸晶圆厂  |
|         | 重庆超硅                |                 |  |
| 光刻胶     | 晶瑞股份                | 0.25 微米以上       | PCB, 分立器件, 液晶显示 LCD/OLED, 半导体封装, 6 英寸, 8 英寸晶圆制造      |
|         | 南大光电                |                 |  |
|         | 强力新材                |                 |  |
|         | 飞凯材料                |                 |  |
| 功能性材料   | 雅克科技                | 14nm-0.25 微米以上  | 液晶显示<br>LCD/OLED, 半导体封装, 6 英寸, 8 英寸, 12 英寸晶圆制造       |
|         | 晶瑞股份                |                 |  |
|         | 飞凯材料                |                 |  |
|         | 江化微                 |                 |  |
| 特殊气体    | 上海新阳                | 0.25 微米以上       | LED, 8 和 12 英寸晶圆制造                                   |
|         | 雅克科技                |                 |  |
|         | 南大光电                |                 |  |
|         | 中环装备<br>金宏特气        |                 |  |
| 湿化学品    | 江化微                 | 28 纳米-0.25 微米以上 | 液晶显示<br>LCD/OLED, 硅片制造, 半导体封装, 6 英寸, 8 英寸, 12 英寸晶圆制造 |
|         | 巨化股份                |                 |  |
|         | 飞凯材料                |                 |  |
|         | 晶瑞股份                |                 |  |
|         | 多氟多<br>嘉化能源<br>兴发集团 |                 |  |
| 石英材料    | 菲利华                 | 14nm-0.25 微米以上  | 6 英寸, 8 英寸, 12 英寸晶圆制造                                |
|         | 石英股份                |                 |  |
| 靶材      | 江丰电子                | 14nm-0.25 微米以上  | 太阳能, 8 英寸, 液晶显示 LCD/OLED, 12 英寸晶圆制造                  |
|         | 隆化节能                |                 |  |
|         | 有研新材                |                 |  |
|         | 阿石创                 |                 |  |

来源：中泰证券研究所

#### 4.2 投资策略：国家战略，推动行业发展

我们按照新市场，新技术，新企业的标准，看好电子化学品企业：

- 国家战略布局的大背景下，国内大市场的电子产业链支持，技术升级实现进口替代的电子化学品企业投资价值显现，如：鼎龙股份，江化微，江丰电子，飞凯材料，晶瑞股份，上海新阳，南大光电，多氟多，巨化股份，菲利华。
- 技术突破实现海外并购战略，从海外收购技术先进，市场前景好的标的，如：雅克科技，飞凯材料。公司通过资本渠道进行并购，技术消化，加速先进材料的国产化替代。
- 多家公司成立产业投资基金推动行业发展，为抓住中国半导体行业发展的巨大机遇，金力泰，上海新阳，南大光电，巨化股份等上市公司共同成立产业投资基金投资于半导体材料和设备相关产业，借助基金管理人的行业经验，管理和资源优势，加速布局行业的优质项目。
- 综合以上的叙述，电子化学品行业将步入高速发展期，国家战略和下游行业需求增速加快的双重因素推动行业发展。

**投资评级说明：**

|      | 评级 | 说明                                 |
|------|----|------------------------------------|
| 股票评级 | 买入 | 预期未来 6~12 个月内相对同期基准指数涨幅在 15%以上     |
|      | 增持 | 预期未来 6~12 个月内相对同期基准指数涨幅在 5%~15%之间  |
|      | 持有 | 预期未来 6~12 个月内相对同期基准指数涨幅在-10%~+5%之间 |
|      | 减持 | 预期未来 6~12 个月内相对同期基准指数跌幅在 10%以上     |
| 行业评级 | 增持 | 预期未来 6~12 个月内对同期基准指数涨幅在 10%以上      |
|      | 中性 | 预期未来 6~12 个月内对同期基准指数涨幅在-10%~+10%之间 |
|      | 减持 | 预期未来 6~12 个月内对同期基准指数跌幅在 10%以上      |

备注：评级标准为报告发布日后的 6~12 个月内公司股价（或行业指数）相对同期基准指数的相对市场表现。其中 A 股市场以沪深 300 指数为基准；新三板市场以三板成指（针对协议转让标的）或三板做市指数（针对做市转让标的）为基准；香港市场以摩根士丹利中国指数为基准，美股市场以标普 500 指数或纳斯达克综合指数为基准（另有说明的除外）。

**重要声明：**

中泰证券股份有限公司（以下简称“本公司”）具有中国证券监督管理委员会许可的证券投资咨询业务资格。本报告仅供本公司的客户使用。本公司不会因接收人收到本报告而视其为客户。

本报告基于本公司及其研究人员认为可信的公开资料或实地调研资料，反映了作者的研究观点，力求独立、客观和公正，结论不受任何第三方的授意或影响。但本公司及其研究人员对这些信息的准确性和完整性不作任何保证，且本报告中的资料、意见、预测均反映报告初次公开发布时的判断，可能会随时调整。本公司对本报告所含信息可在不发出通知的情形下做出修改，投资者应当自行关注相应的更新或修改。本报告所载的资料、工具、意见、信息及推测只提供给客户作参考之用，不构成任何投资、法律、会计或税务的最终操作建议，本公司不就报告中的内容对最终操作建议做出任何担保。本报告中所指的投资及服务可能不适合个别客户，不构成客户私人咨询建议。

市场有风险，投资需谨慎。在任何情况下，本公司不对任何人因使用本报告中的任何内容所引致的任何损失负任何责任。

投资者应注意，在法律允许的情况下，本公司及其本公司的关联机构可能会持有报告中涉及的公司所发行的证券并进行交易，并可能为这些公司正在提供或争取提供投资银行、财务顾问和金融产品等各种金融服务。本公司及其本公司的关联机构或个人可能在本报告公开发布之前已经使用或了解其中的信息。

本报告版权归“中泰证券股份有限公司”所有。未经事先本公司书面授权，任何人不得对本报告进行任何形式的发布、复制。如引用、刊发，需注明出处为“中泰证券研究所”，且不得对本报告进行有悖原意的删节或修改。