

# 半导体设备行业系列研究十

## 存储器扩产浪潮已至，国产设备千帆竞发

分析师：周静



SAC 执证号：S0260519090001



021-60750636



zhoujing@gf.com.cn

分析师：代川



SAC 执证号：S0260517080007



SFC CE.no: BOS186



021-60750615



daichuan@gf.com.cn

分析师：罗立波



SAC 执证号：S0260513050002



021-60750636



luolibob@gf.com.cn

分析师：许兴军



SAC 执证号：S0260514050002



021-60750532



xuxingjun@gf.com.cn

请注意，周静、罗立波、许兴军并非香港证券及期货事务监察委员会的注册持牌人，不可在香港从事受监管活动。

### 核心观点：

- **国内存储器投资：2020 年有增速向上拐点，中长期具备巨大潜力。**当前中国存储器产业面临历史性机遇，促使国内存储器厂商积极进行工艺研发与产能建设，长期性与规模性的下游投资将对国产装备创造极佳的成长环境。其中长江存储与合肥长鑫都将在 2020 年进入积极的产能爬坡期，预期将促使设备需求大幅增长。根据集邦咨询数据，19 年 Q4 长江存储产能 2 万片/月（12 英寸），2020 年底有望扩产至 7 万片/月；合肥长鑫目前产能已达到 2 万片/月，预计 2020 年第一季度末达到 4 万片/月。我们测算 2020-2022 年本土存储器厂设备投资分别为 291.9 亿元/519.7 亿元/860.4 亿元，分别同比增长 231%/78%/66%。
- **本土存储器厂国产化逻辑清晰，助力国产装备加速发展。**由于对成本更加敏感，以及采用 IDM 模式、设备自主权更高，预期本土存储器厂更加积极的引入国产装备。根据中国招标网，截止 2020 年 2 月长江存储主要设备国产化率总体为 7.1%，其中 2020 年前两个月国产装备中标比例达到 14.3%，提升显著。后续随着后期国产装备逐步验证通过，以及晶圆厂工艺顺利进展、逐步提升产能，国产化率有较大提升空间。根据测算，如果 2021 年国产化率达到 15%~20%，本土存储器厂的国产装备市场将达到 78.0 亿元~103.9 亿元，有望突破百亿空间。
- **关注存储器发展对半导体设备需求趋势影响。**（1）刻蚀设备。趋势一，先进制程与存储技术推动刻蚀设备投资占比提升；趋势二，3D NAND 要求刻蚀技术实现更高的深宽比；趋势三，刻蚀精度要求提升，推动 ICP 刻蚀设备占比提升。（2）测试设备。国内存储器厂建设，将直接推动存储器测试设备快速增长。根据爱德万公司预测，预计 2020 年全球存储器测试设备市场空间 8 亿美元，同比增长 23.1%。（3）过程工艺控制。高深宽比存储结构带来的良率控制难题。根据 Gartner，2018 年全球半导体过程工艺控制设备市场空间 58 亿美元，其中缺陷检测、测量设备市场分别为 34 亿美元、22 亿美元。（4）清洗设备。清洗步骤不断增加，清洗更具挑战性与关键性。在 20nm 及以上领域，清洗步骤数量占到所有工艺步骤数量的 30%，最多可重复 200 次。
- **投资建议：**国内存储器厂的积极投资，将助力国产装备加速发展。建议关注国内从事半导体设备优质厂商：北方华创（电子小组覆盖）、中微公司\*、精测电子\*、至纯科技、芯源微\*、盛美半导体（ACMR.O）、长川科技\*、华兴源创\*、晶盛机电\*。（标\*表示与广发电子、电新等小组联合覆盖）
- **风险提示：**行业投资波动带来的收入不确定性；行业竞争加剧导致毛利率下滑；技术研发及国产化趋势推进不及预期；国家产业扶持政策变化或扶持力度不及预期。

## 每日免费获取报告

1. 每日微信群内分享**7+**最新重磅报告；
2. 定期分享**华尔街日报**、**金融时报**、**经济学人**；
3. 和群成员**切磋交流**，对接优质合作资源；
4. 累计解锁**8万+**行业报告/案例，**7000+**工具/模板

申明：行业报告均为公开版，权利归原作者所有，小编整理自互联网，仅分发做内部学习。

**截屏本页，微信扫一扫**  
**或搜索公众号“尖峰报告”**  
**回复<进群>，加入微信社群**

限时赠送“2019行业资料大礼包”，关注即可获取



## 重点公司估值和财务分析表

股票简称	股票代码	货币	最新	最近	评级	合理价值 (元/股)	EPS(元)		PE(x)		EV/EBITDA(x)		ROE(%)	
			收盘价	报告日期			2019E	2020E	2019E	2020E	2019E	2020E	2019E	2020E
中微公司	688012	CNY	205.48	2019/11/26	买入	74.70	0.37	0.51	555.7	403.1	191.57	100.40	5.1	6.7
精测电子	300567	CNY	68.05	2020/2/5	买入	70.22	1.11	1.76	58.6	37.0	40.19	27.75	19.1	23.2
华兴源创	688001	CNY	55.33	2019/6/21	-	-	0.75	1.00	73.4	55.0	-	-	13.5	15.4
北方华创	002371	CNY	146.4	2020/2/4	买入	136.2	0.68	1.26	215.3	116.2	94.91	64.66	5.5	9.5
芯源微	688037	CNY	144.7	2019/12/6	-	-	0.33	0.50	438.5	289.4	-	-	3.7	5.3
晶盛机电	300316	CNY	22.01	2020/2/12	买入	24.52	0.53	0.82	41.8	27.0	32.40	21.39	14.4	18.6

数据来源：Wind、广发证券发展研究中心

备注：表中估值指标按照最新收盘价计算。

## 目录索引

一、国内存储器投资空前，装备国产化发展空间广阔 .....	5
（一）国内存储器投资：具备长期性与规模性，2020 年迎增速向上拐点 .....	5
（二）本土存储器厂国产化逻辑清晰，助力国产装备加速发展 .....	8
二、存储器发展对半导体设备需求趋势影响 .....	11
（一）刻蚀设备：投资占比提升，高深宽比刻蚀及 ICP 刻蚀需求增加 .....	11
（二）测试设备：将直接推动存储器测试设备快速增长 .....	15
（三）过程工艺控制：高深宽比存储结构带来的良率控制难题 .....	18
（四）清洗设备：清洗步骤不断增加，清洗更具挑战性与关键性 .....	22
三、投资建议与风险提示 .....	25

## 图表索引

图 1: 几家国际巨头资本开支 (亿美元) .....	5
图 2: 10nm 多重模板工艺涉及多次刻蚀 .....	12
图 3: 刻蚀设备在 3D NAND 资本开支的份额 .....	12
图 4: 低线宽时代刻蚀设备和 CVD 设备需求量增加 (金额占比%) .....	12
图 5: 典型的 3D NAND 结构示意图 .....	13
图 6: 刻蚀设备的工作原理 .....	14
图 7: 刻蚀产品的分类及其特点 .....	14
图 8: 测试在集成电路全过程中的应用 .....	15
图 9: 2017 年集成电路市场空间及结构、ATE 市场空间及结构 .....	16
图 10: 爱德万测试设备订单情况 (十亿日元) .....	17
图 11: 爱德万公司分区域订单 (十亿日元) .....	17
图 12: 2018 年过程工艺控制检测各种检测设备占比 .....	19
图 13: 不同设计规则对应的工艺步骤数量 .....	19
图 14: 3D NAND 器件 HAR 结构面临的主要挑战 .....	20
图 15: KLA 营业收入 (百万美元) .....	21
图 16: KLA 毛利率与净利率 .....	21
图 17: 清洗步骤随工艺节点缩小不断增加 .....	22
图 18: 晶圆产出率随工艺节点缩小而下滑 .....	22
图 19: 清洗设备市场规模 (百万美元) .....	24
表 1: 国内主要在建晶圆厂 (存储器) .....	6
表 2: 国内主要在建晶圆厂 (存储器) .....	7
表 3: 长江存储、华力集成、华虹无锡、晶合集成国产化率 .....	9
表 4: 长江存储各类设备国产化情况 (截止 2020 年 2 月) .....	9
表 5: 国产装备在长江存储的中标情况 (截止 2020 年 2 月) .....	10
表 6: 本土存储器厂投资对应的国产装备市场空间测算 (亿元) .....	10
表 7: 干法刻蚀的主要内容与刻蚀要求 .....	11
表 8: IC 产品的不同电学测试 (从设计阶段到封装的 IC) .....	15
表 9: 常见清洗工艺 .....	22
表 10: 主要清洗设备 .....	23
表 11: 行业内主要海外上市公司估值 (市值统计截止 2020.2.17 收盘) .....	25

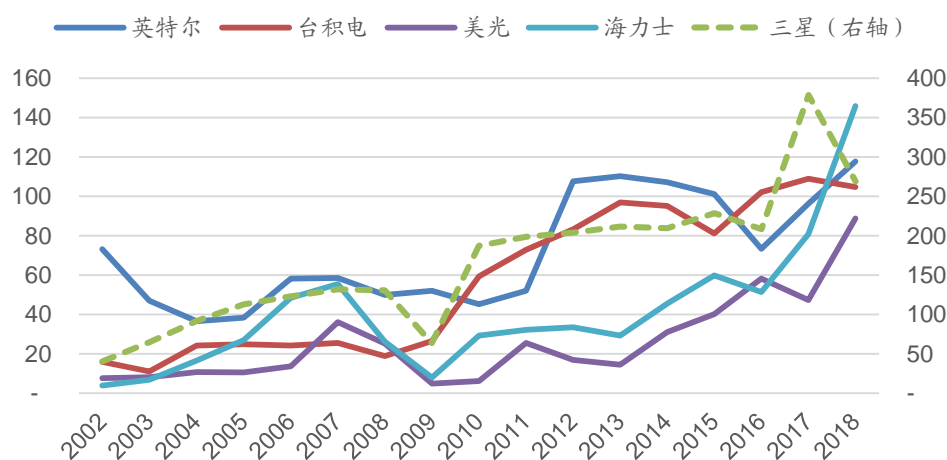
## 一、国内存储器投资空前，装备国产化发展空间广阔

### （一）国内存储器投资：具备长期性与规模性，2020年迎增速向上拐点

生产制造能力是存储器厂商的核心竞争力，促使投资规模化、长期化。存储器产业的两大特点即拼制造工艺、拼产能。这是因为存储芯片技术标准化程度高，各家厂商的产品容量、封装形式都遵循标准的接口，性能也无太大差别，在同质化竞争情况下，存储厂商通过提升制造工艺，提供制造产能，利用规模优势降低成本，从而赢得市场。

存储芯片厂商都是在掌握核心技术基础上凭借规模取胜的。过去30余年中，全球存储器产业经历了两次区域性的产业转移：20世纪80年代存储产业重心从欧美国家转移到日本，90年代从日本转移到韩国。全球两次存储转移都有着重要的产业背景。存储器从美国向日本的转移，根本原因是日本经济二战后迅速崛起的历史浪潮，直接原因则受益于电子制造业从欧美向日本的转移。上世纪90年代，韩国抓住了6英寸晶圆厂过渡到8英寸的世代交替，以9座8英寸晶圆厂的产能优势，一举取代日本厂商，跃居全球DRAM产业的首位。当前存储器技术正在发生革命性的变革、同时全球半导体产能正向中国转移，中国存储器产业正面临历史性机遇，这促使国内存储器厂商积极进行工艺研发与产能建设，并且这种投入具备长期性与规模性。

图1：几家国际巨头资本开支（亿美元）



数据来源：Bloomberg，广发证券发展研究中心

**国内存储器投资：2020年有增速向上拐点，中长期具备巨大潜力。**中国大陆在过去五年掀起了存储芯片制造厂建设热潮。目前我国三大存储阵营，主要包括专注于3D NAND闪存的长江存储（紫光集团与武汉合作），专注于移动式内存（DRAM）的合肥长鑫（兆易创新与合肥合作）以及利基型内存（NOR Flash, SRAM等）的福建晋华（联电与福建合作）。三个项目在2016-2017年开工，其中福建晋华目前仍处于停滞状态，而长江存储与合肥长鑫都将在2020年进入积极的产能爬坡期，预期将促使设备需求大幅增长。

**长江存储：**总投资240亿美元，2018Q4成功实现32层NAND量产，2019年9月2日宣布已开始量产基于Xtacking架构的64层256 Gb TLC 3D NAND闪存。产能规划



方面，根据集邦咨询数据，19年Q4长江存储产能在2万片/月（12英寸），到2020年底有望扩产至7万片/月，2023年扩产至30万片/月产能。投资水平方面，根据湖北省发改委发布信息，长江存储一期投资569.5万元（对应10万片/月产能），其中2018、2019年计划投资分别为200万元、50万元。

**合肥长鑫：**总投资1500亿元，总规划三期，全部完成后产能36万片/月（12英寸），其中一期设计产能12万片/月，目前产能已达到2万片/月，预计2020年第一季度末达到4万片/月，后续扩产节奏将视研发进程、产品良率 and 市场需求来决定。投资水平方面，根据安徽省政府发布信息，合肥长鑫一期投资534亿元，截止2018年底合计投资191.3亿元，2019年计划投资50亿元。

此外，紫光集团曾宣布在南京、成都、重庆陆续展开集成电路基地建设，三地项目紫光投资总规模在千亿级别，有望中期对半导体设备需求形成有力支撑。但需要注意，目前均处于工程建设阶段，建设进程以及最终投资规模存在不确定性。其中计划在紫光南京存储器制造基地计划投资300亿美元，根据南京市人民政府发布信息，紫光南京存储器制造基地（一期）投资计划800亿元，总建筑面积约155万平方米，包括国际城研发园；IC国际城；半导体产业基地；建设存储器制造基地及研发封装测试中心，年产3D-NAND存储芯片120万片。2019年处于主体建造期，2018-2019年合计计划投入50亿元左右。

表1：国内主要在建晶圆厂（存储器）

晶圆厂	城市	模式	主要生产项目	投资金额(亿元)	产能(千片/月)	其中一期投资(亿元)	动工时间/计划动工
长江存储	武汉	IDM	3D NAND	1600	300	570	2016年12月
合肥长鑫	合肥	IDM	DRAM	1500	125	534	2017年6月
福建晋华	泉州	IDM	NOR Flash、SRAM	370	60		2016年7月
紫光南京	南京	IDM	NAND Flash、DRAM	2000	300	800	2018年
紫光成都	成都	IDM	3D NAND	1600	300	700	2018年
紫光重庆	重庆	IDM	DRAM	1000		500	2018年
武汉新芯(扩产)	武汉	晶圆代工	NOR Flash、微控制器等	120	13	120	2018年8月
三星西安	西安	IDM	NAND Flash	1000	80	450	2018年3月
海力士无锡	无锡	IDM	DRAM	560	40	560	2017年7月
合计				9750		4234	

数据来源：芯思想研究院，广发证券发展研究中心

备注：其中紫光在南京、成都、重庆的总投资包含建设IC国际城、研发中心、存储器制造基地等多个项目。

根据与非网，紫光成都存储器制造基地项目总投资240美元，将建设12寸3D NAND 存储器晶圆生产线，并开展存储器芯片及模块、解决方案等关联产品的研发、制造和销售，旨在打造世界一流的半导体产业基地。据悉，项目全部建成将可形成月产芯片30万片。根据成都市发改委发布信息，紫光成都存储器制造基地项目一期总投资702亿元，2019年进入主体施工阶段，按计划2020年第三季度投产，到2020年四季度月产能可爬升到1到2万片。

2019年6月紫光集团发布公告，宣布组建DRAM事业群。此举标志着DRAM业务

版块在紫光集团内部获得战略提升。紫光集团将成为继美光（Micron）之后，全球第二家拥有DRAM、NAND Flash、NOR Flash全线存储芯片晶圆制造能力的公司。2019年8月紫光集团与重庆市人民政府签署合作协议，紫光集团将在重庆两江新区发起设立紫光国芯集成电路股份有限公司和重庆紫光集成电路产业基金，建设包括DRAM总部研发中心在内的紫光DRAM事业群总部、DRAM存储芯片制造工厂、紫光科技园等。其中DRAM存储芯片制造工厂预计总投资超过500亿元，计划于2019年底开工建设，预计2021年建成投产。

另外，根据与非网，2018年8月武汉新芯召开二期扩产项目现场推进会在武汉召开。据悉武汉新芯二期扩产项目规划总投资 17.8 亿美元；2018年12月开始进入设备安装调试。2019年武汉新芯二期扩产项目顺利投产，将于2020正式量产。

按照目前可知的项目计划与建设进程，我们测算了目前国内主要存储器厂未来几年的投资规模。根据测算，2019-2022年国内存储器厂投资规模分别为321.7亿元/495.0亿元/806.0亿元/1116.3亿元，分别同比变动-9%/+54%/+63%/38%；其中本土2019-2022年本土存储器厂投资规模分别为88.3亿元/291.9亿元/519.7亿元/860.4亿元，分别同比变动-54%/+231%/+78%/+66%。

表2：国内主要在建晶圆厂（存储器）

	2016	2017	2018	2019E	2020E	2021E	2022E
设备总投资（亿元）	400.0	518.7	824.3	818.0	1258.9	1851.1	2473.1
同比增速	37%	30%	59%	-1%	54%	47%	34%
其中：逻辑芯片投资	251.9	387.4	471.3	496.3	763.9	1045.2	1356.9
同比增速	74%	54%	22%	5%	54%	37%	30%
存储器投资	148.1	131.3	353.1	321.7	495.0	806.0	1116.3
同比增速	0%	-11%	169%	-9%	54%	63%	38%
本土存储器厂投资	0.0	82.0	191.6	88.3	291.9	519.7	860.4
同比增速			134%	-54%	231%	78%	66%
本土存储器厂投资带来的设备总需求需求							
光刻设备		13.8	32.2	14.8	49.0	87.3	144.6
光刻机		11.0	25.8	11.9	39.2	69.9	115.6
光刻胶处理设备		2.8	6.4	3.0	9.8	17.5	28.9
刻蚀设备		15.2	35.6	16.4	54.3	96.7	160.0
介质刻蚀		7.3	17.1	7.9	26.1	46.4	76.8
硅刻蚀		7.2	16.8	7.7	25.5	45.4	75.2
其他刻蚀设备		0.8	1.8	0.8	2.7	4.8	8.0
沉积设备		17.0	39.7	18.3	60.4	107.6	178.1
CVD		11.2	26.3	12.1	40.0	71.2	117.9
其他沉积设备		5.7	13.4	6.2	20.4	36.4	60.2
过程工艺控制		7.3	17.1	7.9	26.0	46.3	76.6
量测设备		0.8	1.9	0.9	2.9	5.2	8.7
关键尺寸检测		0.8	1.8	0.8	2.7	4.8	8.0
光罩检测		1.2	2.7	1.3	4.2	7.4	12.3
宏观缺陷检测		0.2	0.5	0.2	0.8	1.3	2.2
无图案晶圆检测		0.4	1.0	0.4	1.5	2.6	4.3



有图形晶圆检测	2.6	6.0	2.8	9.1	16.3	27.0
缺陷评估和分类	0.5	1.2	0.6	1.9	3.4	5.6
其他	0.8	1.9	0.9	2.9	5.2	8.7
清洗设备	7.7	18.0	8.3	27.4	48.9	80.9
槽式清洗设备	1.5	3.6	1.7	5.5	9.8	16.2
单片式清洗设备	6.2	14.4	6.6	22.0	39.1	64.7
测试设备	6.6	15.3	7.1	23.4	41.6	68.8
SOC 测试	3.1	7.2	3.3	10.9	19.4	32.1
存储器测试	1.0	2.3	1.1	3.5	6.2	10.3
其他测试设备	0.3	0.6	0.3	0.9	1.7	2.8
分选机	1.2	2.7	1.3	4.2	7.4	12.3
探针台	1.1	2.5	1.2	3.9	6.9	11.4
封装设备	4.9	11.5	5.3	17.5	31.2	51.6
其他设备	9.5	22.2	10.2	33.9	60.3	99.8

数据来源：芯思想研究院，广发证券发展研究中心

## （二）本土存储器厂国产化逻辑清晰，助力国产装备加速发展

基于以下原因，本土存储器厂更加积极的引入国产装备：

**1.对成本更加敏感。**因为存储芯片技术标准化程度高，产品性能无太大差别，因而成本优势成为最重要的竞争力；逻辑芯片厂/代工厂对工艺更加看重，对设备价格相对不那么敏感。本土存储器厂与国产装备共同努力、实现装备国产化，打破国外龙头垄断，有望互利共赢。

**2.采用IDM模式，设备自主权更高。**IDM模式是存储器产业普遍选择。IDM模式有两个特点，一是要尽可能把工艺技术做到极致；二是产能扩大，尽可能降低成本，通过成本优势扩大市场份额。IDM模式的特点与存储器产业的发展重点相吻合，全球存储器产业构成中，三星、SK海力士、美光等无一例外都是IDM厂商。其重点在于在通用性下实现多样化，根据客户的需求而推向先进工艺制程。对代工厂而言，其设备采购往往受到下游制约，设备可能会由终端客户和设计厂所指定；而在IDM模式下，晶圆厂对设备的自主权更高，这给国产装备创造了更多机遇。

**3.长期规模投资为国产装备营造极佳的发展环境。**由于存储器的工艺种类比较单一，同时存储器厂为了性价比，会做单一工艺配置的设备、或者较逻辑芯片设备在配置上有所降低。比如用于测试芯片性能的ATE方面，存储器测试设备重点在测良率，测存储芯片数据的传输速度，相对于SOC测试设备更容易国产装备切入。由于当前国内存储器厂多数计划了长期规模投资，国产设备经过验证通过后，也容易实现拷贝上量。

根据中国招标网披露的国内几条晶圆厂的主要国产装备中标看，截止2020年2月：长江存储国产化率7.1%，其中2020年前两个月长江存储国产装备的中标比例达到14.3%，提升显著；上海华力集成国产化率7.0%；华虹宏力（无锡厂）国产化率23.7%，主要由于华虹无锡厂一期技术节点90-65nm，国产装备更早实现突破；晶合集成国产化率1.8%。对比看，长江存储目前整体国产化率仍然处在较低位置，随着后期国产装备逐步验证通过，以及晶圆厂工艺顺利进展、逐步提升产能，国产化率有较大提升空间。

表3: 长江存储、华力集成、华虹无锡、晶合集成国产化率

		2017	2018	2019	2020-02	合计
长江存储	中标总数量(台)	455	219	1087	230	1991
	国产装备(台)	10	21	78	78	142
	国产化率	2.2%	9.6%	7.2%	14.3%	7.1%
华力集成	中标总数量(台)	83	312	170	10	575
	国产装备(台)	11	12	16	1	40
	国产化率	13.3%	3.8%	9.4%	10.0%	7.0%
华虹宏力	中标总数量(台)		37	305		342
	国产装备(台)			81		81
	国产化率			26.6%		23.7%
晶合集成	中标总数量(台)		37	305		342
	国产装备(台)			81		81
	国产化率			26.6%		23.7%
华虹宏力	中标总数量	116	117	42		275
	中标总数量(台)	4	1			5
	国产化率	3.4%	0.9%			1.8%

数据来源: 中国招标网, 广发证券发展研究中心

具体来看, 截止2020年2月长江存储有四类设备的国产化率已经超过10%, 各类设备国产装备中标情况: 刻蚀设备合计中标47台, 国产化率19.5%; 清洗设备合计中标18台, 国产化率20.7%; 研磨抛光设备合计中标10台, 国产化率14.9%; 氧化/扩散/热处理设备合计中标41台, 国产化率33.9%。此外, 薄膜沉积设备国产化率3.2%、过程工艺控制设备国产化率2.5%, 测试设备国产化率1.0%。而离子注入设备、涂布/显影/去胶设备目前国产装备还未中标。

表4: 长江存储各类设备国产化情况(截止2020年2月)

	中标总数量(台)				国产装备(台)				国产化率				总国产
	2017	2018	2019	2020	2017	2018	2019	2020	2017	2018	2019	2020	化率
薄膜沉积设备	98	37	218	50		2	7	4		5.4%	3.2%	8.0%	3.2%
测试设备	52	81	447	51			5	1			1.1%	2.0%	1.0%
光刻设备	12	1	10	5									
过程工艺控制	126	44	122	30	2		4	2	1.6%		3.3%	6.7%	2.5%
刻蚀设备	69	36	101	35	5	11	19	12	7.2%	30.6%	18.8%	34.3%	19.5%
离子注入设备	9	1	11	3									
清洗设备	31	10	43	3	3	7	6	2	9.7%	70.0%	14.0%	66.7%	20.7%
涂布/显影/去胶设备	22	2	34	9									
研磨抛光设备	14	2	28	23			5	5			17.9%	21.7%	14.9%
氧化/扩散/热处理设备	22	5	73	21		1	33	7		20.0%	45.2%	33.3%	33.9%
合计	455	219	1087	230	10	21	74	33	2.2%	9.6%	6.8%	14.3%	6.9%

数据来源: 中国招标网, 广发证券发展研究中心

识别风险, 发现价值

请务必阅读末页的免责声明

从各本土企业中标长江存储核心半导体设备情况看，2019年-2020年呈现以下特点：**1.成熟产品中标数量不断增加。**包括中微公司的刻蚀设备、盛美半导体的清洗设备、北方华创的氧化/扩散/热处理设备。截止2020年2月，在长江存储，中微公司刻蚀设备的占有率达到15.8%；盛美半导体的清洗设备占有率达到18.4%；北方华创的氧化/扩散/热处理设备的占有率达到32.2%。**2.多个公司、多种设备获得首次中标，且数量多数超过5台，显示国产化率加速明显。**包括精测电子的ATE（合计中标6台）、中科飞测的光学检测设备（合计中标5台）、华海清科的研磨抛光设备（合计中标10台）、沈阳拓荆的薄膜沉积设备（合计中标8台）。

表5：国产装备在长江存储的中标情况（截止2020年2月）

公司	设备类型	2017	2018	2019	2020-02	合计	国产化率
中微公司	刻蚀设备	5	11	13	9	38	15.8%
北方华创	刻蚀设备			6	3	9	3.7%
	薄膜沉积设备		2	1	2	5	1.2%
	氧化/扩散/热处理设备		1	31	7	39	32.2%
	清洗设备		2			2	2.3%
精测电子	ATE			5	1	6	1.7%
中科飞测	光学检测			3	2	5	1.6%
盛美半导体	清洗设备	3	5	6	2	16	18.4%
华海清科	研磨抛光设备			5	5	10	14.9%
屹唐半导体	氧化/扩散/热处理设备			1		1	0.8%
沈阳拓荆	薄膜沉积设备			6	2	8	2.0%
上海睿励	膜厚检测	2				2	0.6%

数据来源：中国招标网，广发证券发展研究中心

按照国产化率2%~20%假设，进一步测算了2017-2022年本土存储器厂投资对应的国产装备市场空间。如果2020年国产化率达到10%~15%，则2020年本土存储器厂投资对应的国产装备市场空间将达到29.2亿元~43.8亿元；如果2021年国产化率达到15%~20%，2021年本土存储器厂投资对应的国产装备市场空间将达到78.0亿元~103.9亿元，有望突破百亿空间。

表6：本土存储器厂投资对应的国产装备市场空间测算（亿元）

	2017	2018	2019E	2020E	2021E	2022E
本土存储器厂投资	82.0	191.6	88.3	291.9	519.7	860.4
同比增速		134%	-54%	231%	78%	66%
国产设备空间						
假设：国产化率 2%	1.6	3.8	1.8	5.8	10.4	17.2
国产化率 5%	4.1	9.6	4.4	14.6	26.0	43.0
国产化率 10%	8.2	19.2	8.8	29.2	52.0	86.0
国产化率 15%	12.3	28.7	13.2	43.8	78.0	129.1
国产化率 20%	16.4	38.3	17.7	58.4	103.9	172.1

数据来源：中国招标网，广发证券发展研究中心

## 二、存储器发展对半导体设备需求趋势影响

### （一）刻蚀设备：投资占比提升，高深宽比刻蚀及 ICP 刻蚀需求增加

刻蚀是指用化学或物理的方法，有选择地去除硅表面层材料的过程，其工艺目的是把光刻胶图形精确的转移到硅片上，最后达到复制掩模版图形的目的。刻蚀的微观机理，可以从字面上拆分：1.刻，物理作用，宏观上指用刀刻，微观上是指有粒子动量（力）去撞；2.蚀，化学的作用，宏观上指腐蚀物理，微观上是指，被激活的分子或原子和目标物质的分子发生反应，异化掉该物质。

**按照刻蚀材料，干法刻蚀包括：**1.介质刻蚀，包括氧化硅刻蚀（制作制作接触孔、通孔），氮化硅刻蚀（形成MOS器件的有源区和钝化窗口）。介质刻蚀要求刻蚀高深宽比深孔、深槽，同时需要对下层材料有较高的选择比。2.硅刻蚀，包括多晶硅刻蚀（形成MOS栅电极，是特征尺寸刻蚀）、单晶硅刻蚀（形成IC的STI槽和垂直电容槽），是定义特征尺寸的关键工序。对多晶硅刻蚀要求高选择比，防止栅氧化层穿通，大于150:1；好的均匀性和重复性；高度的各向异性。对单晶硅要求对每个沟槽进行精确的控制，要求有一致的光洁度、接近的垂直侧壁、正确的深度和圆滑的沟槽顶角和底角。3.金属刻蚀。包括刻蚀铝，形成IC的金属互联等。

目前刻蚀技术以等离子体干法刻蚀为主导。刻蚀可以分为湿法刻蚀和干法刻蚀，干法刻蚀是目前主流的刻蚀技术，其中以等离子体干法刻蚀为主导。等离子体刻蚀设备原理是利用等离子体放电产生的带化学活性的粒子，在离子的轰击下，与表面的材料发生化学反应，产生可挥发的气体，从而在表面的材料上加工出微观结构。

根据产生等离子方法不同，等离子刻蚀主要分为电容性等离子体刻蚀（CCP）和电感性等离子体刻蚀（ICP），两者涵盖了主要的刻蚀应用。其中CCP刻蚀主要是以高能离子在较硬的介质材料上，刻蚀高深宽比的深孔、深沟等微观结构；而ICP刻蚀主要是以较低的离子能量和极均匀的离子浓度刻蚀较软和较薄的材料。

表7：干法刻蚀的主要内容与刻蚀要求

刻蚀材料	具体对象	工艺目的	刻蚀要求
介质刻蚀	氧化硅	制作接触孔、通孔	注意刻蚀接触孔对下层 Si、氮化硅、抗反射涂层的高选择比；注意刻蚀通孔对 TiN、W、Al 的高选择比
	氮化硅	形成 MOS 器件的有源区和钝化窗口	
硅刻蚀	多晶硅	形成 MOS 栅电极，是特征尺寸刻蚀	1、高选择比，防止栅氧化层穿通，大于 150:1；2、好的均匀性和重复性；3、高度的各向异性，因为多晶硅栅在源/漏的注入过程中起阻挡层的作用
	单晶硅	形成 IC 的 STI 槽和垂直电容槽	对每个沟槽进行精确的控制，要求有一致的光洁度、接近的垂直侧壁、正确的深度和圆滑的沟槽顶角和底角，因此需要采用多步工艺
金属刻蚀	铝	形成 IC 的金属互联	1、高刻蚀速率；2、对下面层的高选择比；3、高的均匀性，且 CD 控制很好；4、没有等离子诱导充电带来的器件损伤；5、残留物污染少；6、快速去胶；7、不会腐蚀金属
	钨	多层金属结构中常用的一种用于通孔填充的金属	
	接触金属	接触金属	尺寸控制会影响器件的沟道长度

数据来源：《半导体制造技术》，MichaelQuirk，电子工业出版社，广发证券发展研究中心

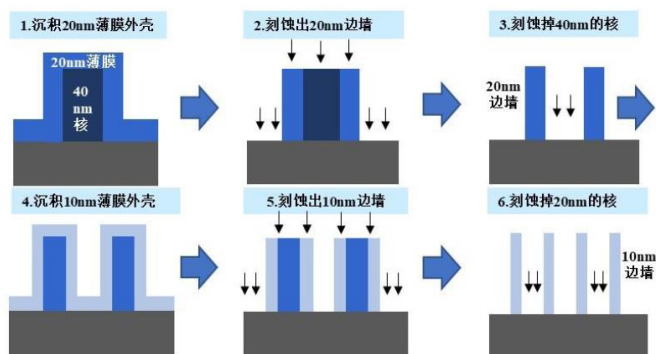
### 1.刻蚀设备的趋势一：先进制程与存储技术推动刻蚀设备投资占比提升。

一方面，在14纳米到10纳米、7纳米甚至5纳米的制程演进中，现在市场上普遍适用色沉浸式光刻机受光波厂的限制，关键尺寸无法满足要求，因此需要通过多次沉积+刻蚀的方式来实现更小的尺寸，多重模板工艺增加了刻蚀设备的需求。同时由于关键尺寸的减小，对刻蚀的各种指标的要求也更加苛刻，随着制程的不断演进，刻蚀设备的占比近年来也呈现快速提升趋势。

另一方面，2D存储器件线宽接近物理极限，NAND闪存进入3D时代，而3D NAND需要增加堆叠的层数，需要刻蚀加工更深的孔以及更深的挖槽，增加了对刻蚀设备的投资需求。根据东京电子的统计，3D NAND中刻蚀设备的支出占比达到50%，远高于此前工艺NAND的15%。SEMI的数据显示，2015年以后，全球半导体设备销售额的占比，刻蚀设备开始超过薄膜沉积类设备，2017年后进一步超过光刻机占比，更为价值量占比最大的关键工艺类设备。

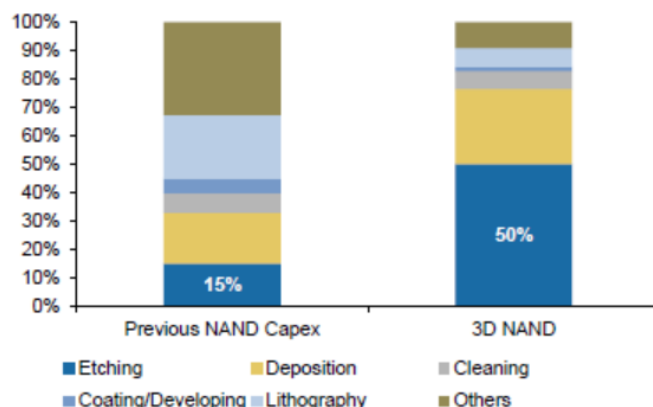
SEMI的数据显示，2015年以后，全球半导体设备销售额的占比，刻蚀设备开始超过薄膜沉积类设备，2017年后进一步超过光刻机占比，更为价值量占比最大的关键工艺类设备。

图2：10nm多重模板工艺涉及多次刻蚀



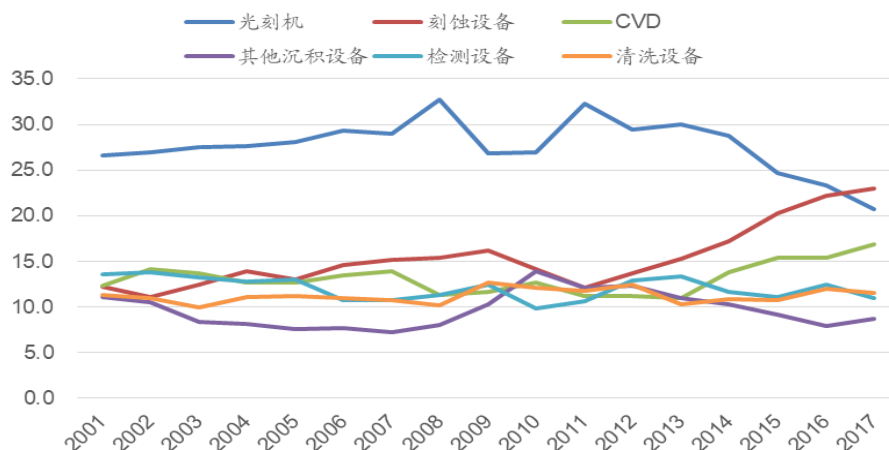
数据来源：SEMI，广发证券发展研究中心

图3：刻蚀设备在3D NAND资本开支的份额



数据来源：东京电子官网，广发证券发展研究中心

图4：低线宽时代刻蚀设备和CVD设备需求量增加（金额占比%）



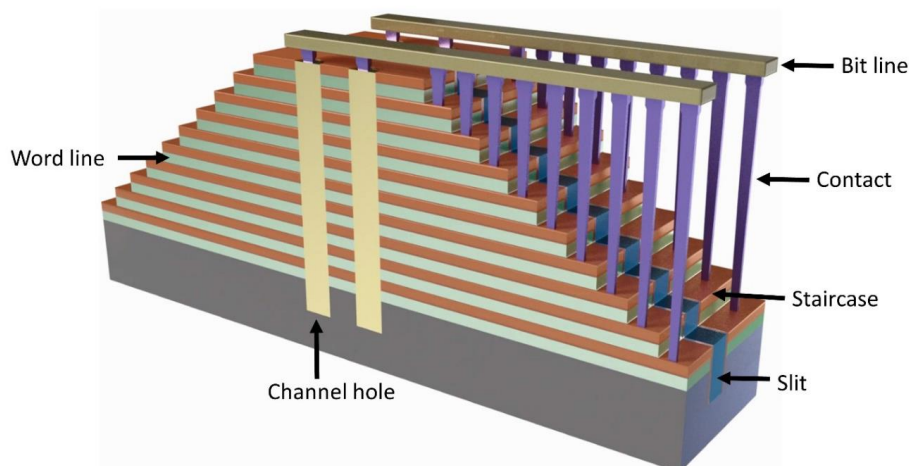
数据来源：SEMI，广发证券发展研究中心



## 2. 刻蚀设备的趋势二：3D NAND要求刻蚀技术实现更高的深宽比

在平面结构中，对刻蚀设备的要求是满足精细线宽要求。但在3D NAND中制造工艺中，增加集成度的主要方法不再是缩小单层上线宽而是增加堆叠的层数，对介质刻蚀而言，要在氧化硅和氮化硅一对的叠层结构上，加工40:1到60:1的极深孔或极深的沟槽。3D NAND下，对线宽的要求相对不那么苛刻，而是要求刻蚀设备能穿透多层结构，要求刻蚀技术实现更高的深宽比。

图5：典型的3D NAND结构示意图



数据来源：LAM，广发证券发展研究中心

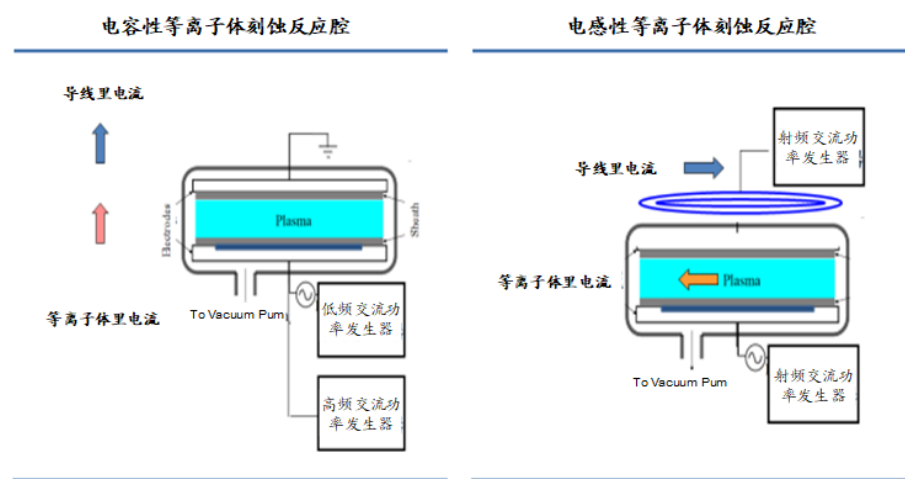
## 3. 刻蚀设备的趋势三：刻蚀精度要求提升，推动ICP刻蚀设备占比提升

刻蚀效果主要包括刻蚀速率和刻蚀精度：（1）刻蚀速率（Etch Rate）。用来衡量硅片的产出速度，刻蚀速率越快，产出率越高。提高刻蚀速率要求提高等离子密度。（2）刻蚀精度，主要包括保真度（Profile）、选择比（Selective）、均匀性（Uniformity）等参数。保真度要求把光刻胶的图形转移到其下的薄膜上，即希望只刻蚀所要刻蚀的薄膜，而对其上的掩模和其下的衬底没有刻蚀。选择比 $S=V/U$ （V为对薄膜的刻蚀速率，U为对掩模或衬底的刻蚀速率），刻蚀薄膜的过程中，掩模或者衬底也会不可避免给刻蚀，只是刻蚀速率不同，S越大选择比越高。高选择比在最先进的工艺中为了确保关键尺寸和剖面控制是必需的。特别是关键尺寸越小，选择比要求越高。此外，由于跨越整个硅片的薄膜厚度和刻蚀速率不同，从而导致图形转移的不均匀，尤其是中心和边缘相差较大，均匀性成为衡量这一指标的重要参数，刻蚀均匀性与选择比有密切的关系。

随着工艺要求提高，ICP刻蚀由于能实现离子轰击速度和浓度的分开控制，更好的实现刻蚀速率和刻蚀精度，成为越来越多的选择。初期刻蚀设备的射频系统普遍为电容式耦合点射频系统，为了提高刻蚀速率，通常通过增加RF功率提高电场强度，从而增加离子浓度、加快刻蚀。但离子的能量也会相应增加，损伤硅片表面。为了解决这一问题，半导体设备厂商普遍采用了双射频系统设计，就是在原有基础上，增加一个置于腔体顶部的射频感应电场来增加离子浓度。该电场加速产生更多离子，但又不直接轰击硅片。Icp既可以产生很高的等离子体密度，又可以维持较低的离子轰击能量，解决了高刻蚀速率和高选择比两个原来互相矛盾的问题。



图6：刻蚀设备的工作原理



数据来源：中微公司招股说明书，广发证券发展研究中心

**小结：**存储器发展对刻蚀设备发展趋势的影响：（1）总体上投资占比提高。3D NAND需要增加堆叠的层数。根据东京电子的统计，3D NAND中刻蚀设备的支出占比达到50%，远高于此前工艺NAND的15%。（2）对介质刻蚀影响。一方面，3D NAND要求刻蚀技术实现更高的深宽比，要在氧化硅和氮化硅一对的叠层结构上，加工40:1到60:1的极深孔或极深的沟槽。另一方面，需要介质刻蚀刻蚀高精度薄膜，需要能量较低、均匀度更高的等离子体，并且在低电压下进行，采用ICP刻蚀的比例在增加。

CCP刻蚀主要是以高能离子在较硬的介质材料上，刻蚀高深宽比的深孔、深沟等微观结构；而ICP刻蚀主要是以较低的离子能量和极均匀的离子浓度刻蚀较软和较薄的材料。具体对应刻蚀工艺环节：

**硅刻蚀：**以ICP刻蚀设备为主。定义特征尺寸的关键工序，包括栅极硅刻蚀、浅沟槽硅刻蚀，对选择比、均匀性有很高的要求，特别随着特征尺寸的缩小。

**介质刻蚀：**以前以介质刻蚀为主，趋势是ICP刻蚀设备比例增加。对比较硬的介质材料，需要刻蚀高深宽比的深孔、深沟等微观结构时，通常使用CCP设备，对于3D NAND而言，高深宽比要求更高；另一方面，存储器件的结构变化，使得需要刻蚀高精度薄膜，ICP刻蚀的比例在增加。

图7：刻蚀产品的分类及其特点



数据来源：中微公司招股说明书，广发证券发展研究中心

## （二）测试设备：将直接推动存储器测试设备快速增长

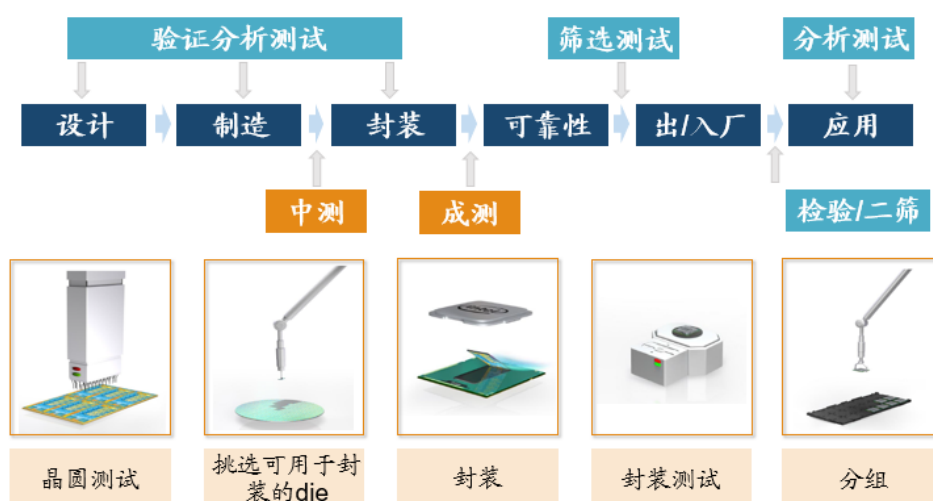
按照流程，半导体测试包括设计验证、CP测试、FT测试等，主要进行电学参数测量。包括参数测试（如短路测试、开路测试、最大电流测试等DC参数测试，传输延迟测试、功能速度测试等AC参数测试）与功能测试。

1.验证测试：又称实验室测试或特性测试，是在器件进入量产之前验证设计是否正确，需要进行功能测试和全面的AC/DC。特性测试确定器件工作参数的范围。通常测试最坏情况，因为它比平均情况更容易评估，并且通过此类测试的器件将会在其他任何条件下工作。

2.晶圆测试（又称CP测试）：每一块加工完成后的芯片都需要进行晶圆测试，他没有特性测试全面，但必须判定芯片是否符合设计的质量和​​需求。测试矢量需要高的故障覆盖率，但不需要覆盖所有的功能和数据类型。晶圆测试主要考虑的是测试成本，需要测试时间最小，只做通过/不通过的判决。

3.封装测试（又称FT测试，后道测试）：是在封装完成后的测试。根据具体情况，这个测试内容可以与生产测试相似，或者比生产测试更全面一些，甚至可以在特定的应用系统中测试。封装测试最重要的目标就是避免将有缺陷的器件放入系统之中。

图8：测试在集成电路全过程中的应用



数据来源：Intel，广发证券发展研究中心

表8：IC产品的不同电学测试（从设计阶段到封装的IC）

测试	IC生产阶段	硅片/芯片级	测试描述
IC设计验证	生产前	硅片级	描述、调试和检验新的芯片设计，保证符合规格要求
在线参数测试	硅片制造过程中	硅片级	为了监控工艺，在制作过程的早期（前端）进行的茶品工艺检验测试
CP测试	硅片制造后	硅片级	产品功能测试，验证每个芯片是否符合产品规格
可靠性测试	封装的IC	封装的芯片级	集成电路加电并在高温下测试，以发现早期失效（有时也在在

线参数测试中进行硅片级的可靠性测试)

FT测试

封装的IC

封装的芯片级

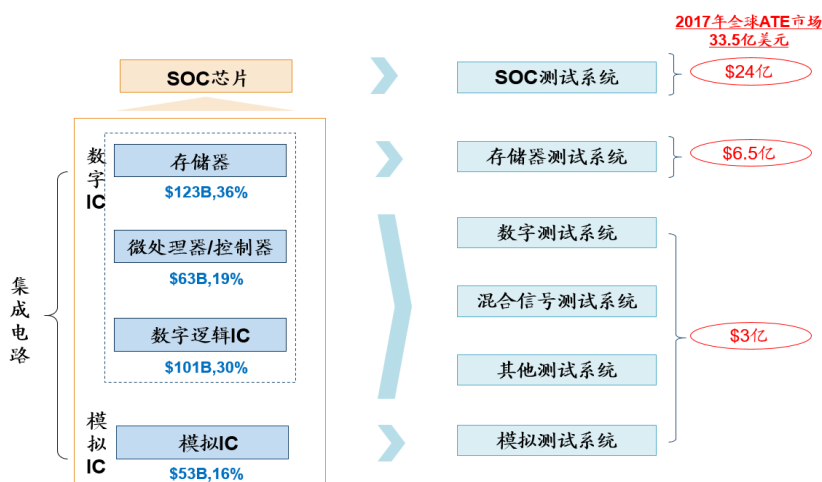
使用产品规格进行的产品功能测试

数据来源:《半导体制造技术》, MichaelQuirk, 电子工业出版社, 广发证券发展研究中心

**SOC测试系统与存储器测试系统是ATE最主要的两大领域, 占据90%份额。**针对不同半导体产品, 因其测试重点和需求不同, 同时考虑成本因素, 对应有不同类型的测试系统, 比如存储器需要专门的存储器测试系统, 模拟芯片需要模拟测试系统, 而SOC芯片的发展则带来了SOC测试系统的快速发展。

集成电路产品又分为模拟器件(Analog)、微处理器(Micro)、逻辑器件(Logic)和存储器(Memory)四类, 后三者均为数字芯片。根据WSTS, 2018年的这四类集成电路产品销售占比分别为12.5%、14.3%、23.3%和33.7%。逻辑器件和存储器占比超过了70%。

图9: 2017年集成电路市场空间及结构、ATE市场空间及结构



数据来源: WSTL, 泰瑞达, 广发证券发展研究中心

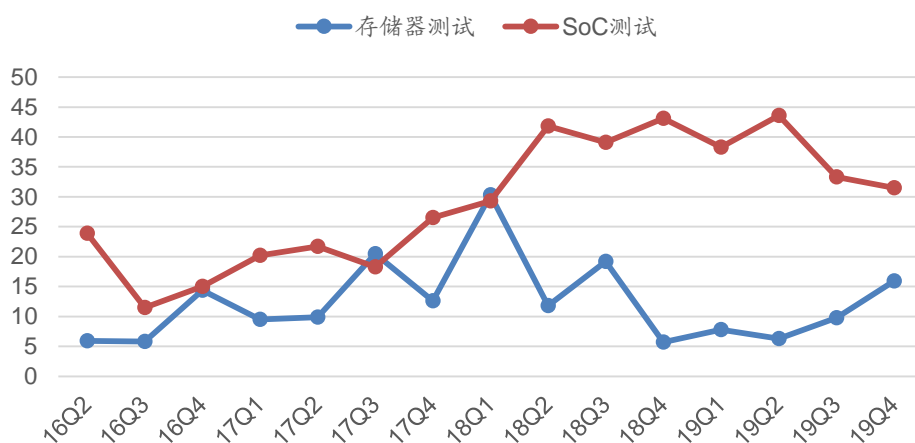
**存储芯片与逻辑芯片的测试区别。**存储器芯片必须经过许多必要的测试以保证其功能正确, 这些测试主要用来确保芯片不包括以下错误: 存储单元短路、存储单元开路、存储单元干扰等。由于存储单元类型多样化, 存储器内部还有大量的模拟部件, 其中一些部件不能直接进行存取操作, 而且存储器的每一个单元可能处于不同的状态, 按逻辑测试方法测试需要庞大的测试图形, 这些特性决定了存储器测试要求与模拟电路和数字电路不同。存储器芯片测试时使用测试向量进行错误检测, 测试向量是施加给存储芯片的一些列功能, 即不同的读和写的功能组合。

**国内存储器厂建设, 将直接推动存储器测试设备快速增长。**存储器是一个周期性极强的产业, 强于半导体产业整体周期性。下游需求的周期波动、市场份额集中的格局、产品的标准化属性导致存储器行业历史上容易出现大幅的波动。在2007年之前, 存储器测试还占据全部半导体自动测试设备市场的30%~40%; 在2008年金融危机后, 虽然到2010年存储器产品销售额已有良好的恢复, 占半导体总市场的比重恢复至2006-2007年水平, 但存储器测试设备的市场已经进一步被侵蚀, 2009年存储器测试设备比重降至11%左右, 此后存储器测试设备基本在17%~22%之间。

根据爱德万公司的预测, 随着存储器市场复苏, 存储器测试设备行业正在复苏。预计2020年全球存储器测试设备市场空间800百万美元, 同比增长23.1%。其中中国

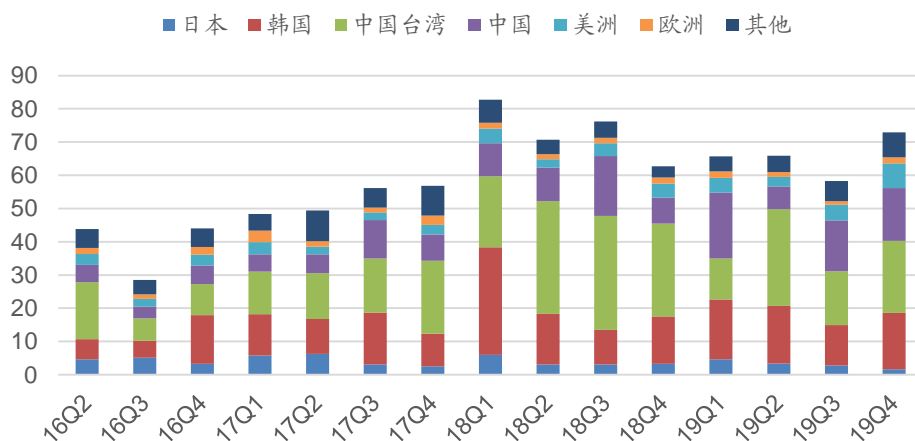
地区存储器厂建设将贡献最主要的增量。爱德万公司存储器测试设备的订单反映了这一点。19Q4爱德万新签存储器测试订单15.9十亿日元，同比增长40.6%，结束了自18Q3以来连续5个季度的持续下滑。分区域看，2019年爱德万全部业务新签订单72.9亿日元，同比下滑10.9%其中韩国区域、中国台湾、中国大陆区域订单占总订单合计74.9%，2019年三个区域订单分别同比变动-10.7%/-32.5%/+26.2%，中国地区贡献了最重要的增量。

图10: 爱德万测试设备订单情况 (十亿日元)



数据来源: 爱德万公司季报, 广发证券发展研究中心

图11: 爱德万公司分区域订单 (十亿日元)



数据来源: 爱德万公司季报, 广发证券发展研究中心

### （三）过程工艺控制：高深宽比存储结构带来的良率控制难题

过程工艺控制检测广泛的存在于晶圆制造加工中，在反反复复进行几百道甚至上千道工序中，有超过一半的工序后需要选择进行控制检测。进行过程工艺控制的目的在于提高成品率，维持良好的工艺生产能力并提高器件的特性。成品率是硅片工厂生产高质量管芯能力的标志，定义为产出的合格部分与整个部分的百分比。成品率广泛应用于半导体生产，用来反映工艺流程是否正常。高的成品率标志着工艺生产的产品合格并按设想运行；而低的成品率说明在产品设计和制造中存在质量问题，必须进行改进予以解决。过程工艺控制检测的主要内容包括：缺陷检测、膜厚检测、线宽检测、关键尺寸（CD）检测等等，广泛的存在于晶圆加工过程中。

表1：硅片制造生产区的质量测量

质量测量	注入	扩散	薄膜		抛光	刻蚀	曝光
			金属	电介质			
膜厚		✓	✓	✓	✓	✓	✓
方块电阻	✓	✓	✓				
膜应力		✓	✓	✓			
折射率		✓		✓			
掺杂浓度	✓	✓					
无图形表面缺陷	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
有图形表面缺陷						✓	✓
关键尺寸						✓	✓
台阶覆盖					✓	✓	
套刻标记							✓
电容-电压特性		✓					
接触角度							✓

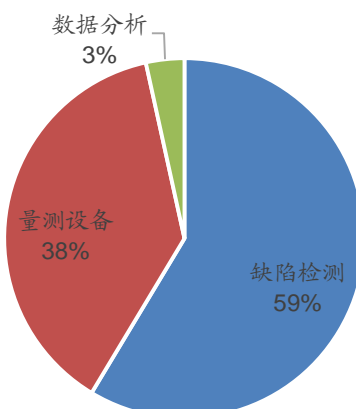
注：扩散区工艺包括：氧化、淀积、扩散、退火和合金

数据来源：《半导体制造技术》，Michael Quirk，电子工业出版社，广发证券发展研究中心

全球过程工艺控制设备行业主要由科磊KLA-Tencor、日本日立Hitachi、阿斯麦ASML、应用材料Applied Materials等占据，这其中阿斯麦、应用材料在光刻、刻蚀等领域有着重要的市场份额，而日立多个制程设备都有一定规模，工艺控制业务通常仅占这几家公司总业务较小的部分。科磊是全球过程工艺控制领域龙头，其市场份额超过50%，特别在缺陷检测、膜厚测量等领域有极高的市场占有率。根据Gartner，2018年全球半导体过程工艺控制设备市场空间58亿美元，其中缺陷检测市场34亿美元，占比59%；测量设备市场22亿美元，占比38%；数据分析市场2亿美元，占比3%。

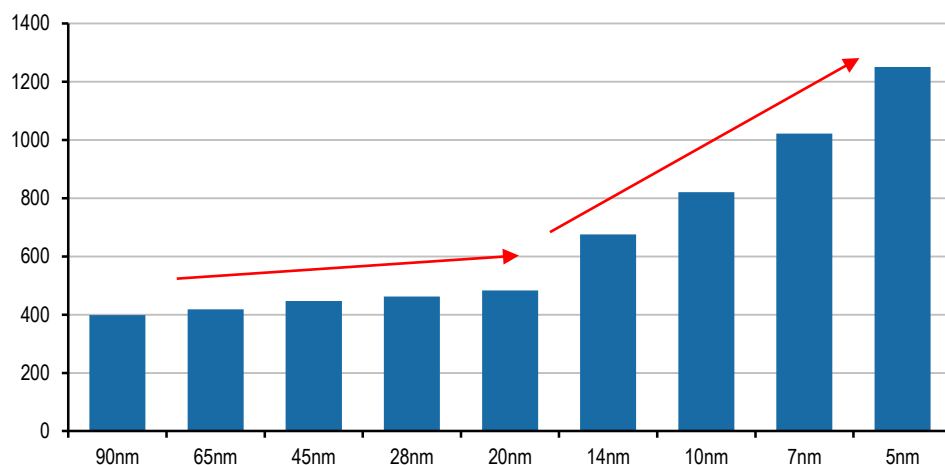
关键技术的引入将推动检测与量测的重大改变，工艺控制要求会随着每一条设计规则而增加。在20nm的节点之前，工艺步骤随着设计规则缩小而增加的幅度非常有限，例如更多的金属层以及增添的硬遮罩层，但从16/14nm节点开始，工艺步骤的数量增加得非常明显。这一工艺步骤数量的飞跃是由3D晶体管结构、前后端更复杂的集成、EUV光刻等因素推动的。（资料来源于KLA-Tencor的YMS Magazine）

图12: 2018年过程工艺控制检测各种检测设备占比



数据来源: Gartner, 广发证券发展研究中心

图13: 不同设计规则对应的工艺步骤数量(次)



数据来源: KLA-Tencor, 广发证券发展研究中心

**高深宽比存储结构带来的良率控制难题。**先进存储器的快速发展, 伴随而来的是器件结构、材料、图案形成技术等都要发生或大或小的改变。更小的特征尺寸和高集成度也带来了许多物理缺陷, 致使芯片生产商面临着良率偏低和产品功能性失效的问题。与平面器件不同, 垂直集成放宽了对3D NAND器件的光刻要求, 取而代之的是将最复杂的工艺挑战转移到沉积和刻蚀上, 不断地给良率提升带来巨大的挑战:

1. 薄膜生长环节的良率控制: 在3D NAND结构中, 需要进行几十层甚至上百层薄膜堆叠材料的生长。随着更多层数的重复进行, 面临的共同挑战是在高产量下如何生长具有精确厚度和良好均匀性的薄膜, 否则在堆叠结构生长过程中, 极易出现

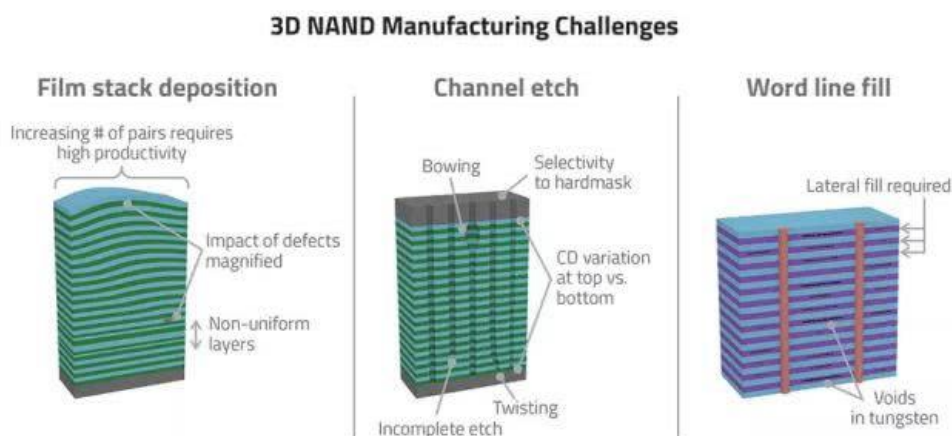


应力和缺陷控制问题，而且堆叠层在应力作用下往往会发生弯曲或翘曲现象，这会直接影响后续多重曝光时的垂直套刻的精度。另外，薄膜的厚度、均匀性、重复性也会严重影响存储单元有源区的性能和后续光刻和刻蚀工艺的一致性和匹配程度。由此可见，成功实现薄膜堆叠层沉积的关键在于严格控制每一层薄膜的应力并确保良好的工艺一致性，这是保持产品高良率的决定性因素。

2.刻蚀环节的良率控制：在3D NAND结构中，沟道孔的刻蚀及字线图形形成期间形貌的变异性及缺陷，字线金属填充时出现的各种缺陷问题，以及在接触孔和阶梯间连接时极易发生的短路现象等，都给3D NAND的工艺控制带来了许多不同于平面器件的新型挑战，进而将直接影响到器件的良率上。

3.DRAM面临的挑战包括存储节点电容形貌的变异性及缺陷、位线缺陷以及缩小特征尺寸而采用多重曝光技术导致的光刻对准偏差等。改进这些工艺需要在开发阶段就克服缺陷、CD偏差、对准偏差和形貌控制等方面的挑战，就能实时同步检测生产工艺以尽早发现各种问题。

图14：3D NAND器件HAR结构面临的主要挑战

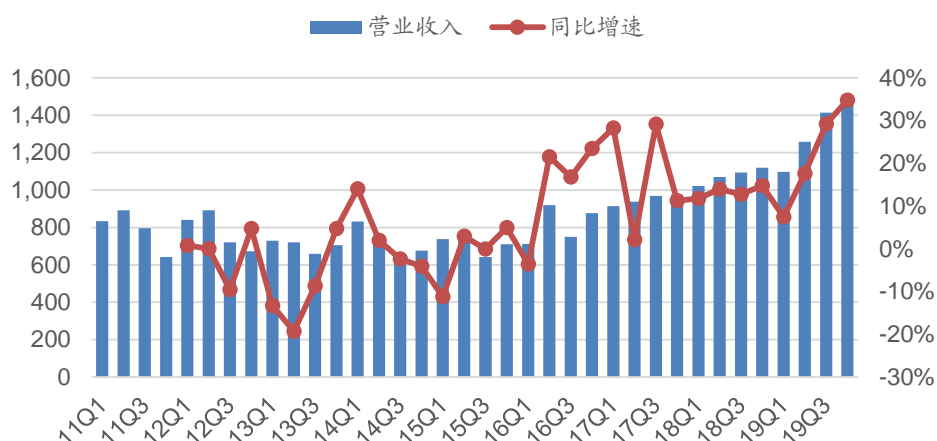


数据来源：LAM，广发证券发展研究中心

KLA（科磊）近期披露了2020Q1财年业绩（对应2019年10月-12月，以下简称2019Q4），位于公司前次指引上限。2019Q4营业收入15.09亿美元，同比增长35%，连续4个季度增速上行；实现Non-GAAP毛利率60.8%，接近前次指引60%~61%上限；实现Non-GAAP净利润4.22亿美元，同比增长13%。

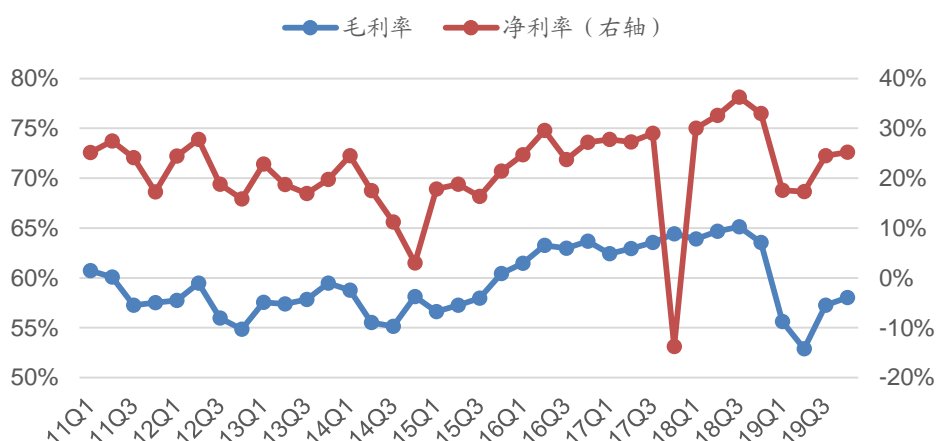
**Foundry增长强劲，Memory仍处负增长。**细分品类看，2019Q4科磊Wafer Inspection同比增长20%，Patterning基本持平，Service同比增长24%。细分领域看，半导体过程控制业务中（合计占总收入83%），Memory部分占比40%，同比下降25%，已经连续25个季度负增长；Foundry同比增长148%；Logic同比下降39%。当前科磊收入增长主要来自于5G开发和推出的新先进技术、在中国不断增长的半导体投资，以及持续的设备性能创新。

图15: KLA营业收入（百万美元）



数据来源: Wind, 广发证券发展研究中心

图16: KLA毛利率与净利率



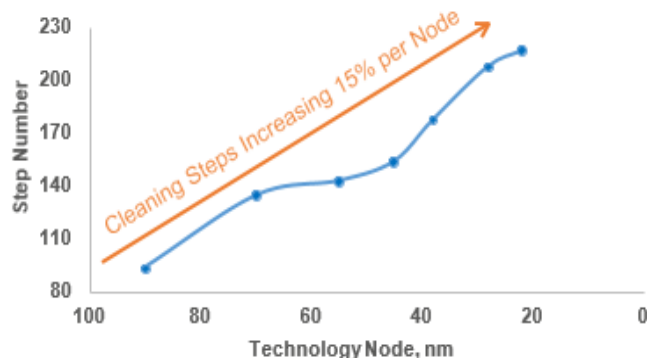
数据来源: Wind, 广发证券发展研究中心

#### （四）清洗设备：清洗步骤不断增加，清洗更具挑战性与关键性

在晶圆制造过程中，几乎所有的工艺步骤都会出现随机缺陷，导致成品率损失和晶片性能受损。清洁是消除晶片上随机缺陷的过程，通常发生在其他工艺步骤之间（例如蚀刻、沉积）。

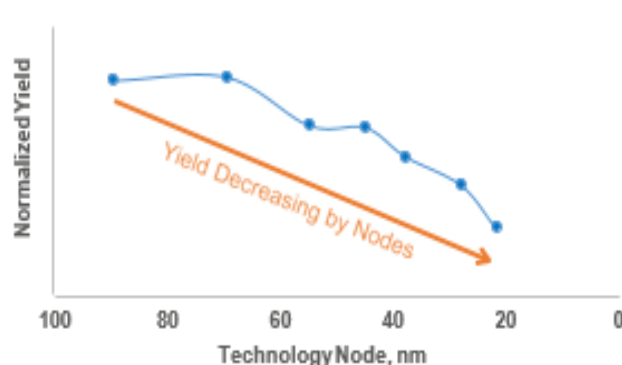
根据盛美半导体估计，就每月生产10万片晶圆的20nm的DARM厂来说，产量下降1%将导致每年利润减少30至50百万美元，而逻辑芯片厂商的损失更高。此外，产量的降低还将增加厂商原本已经十分高昂的资本支出。因而，工艺的优化和控制是半导体生产制程的重中之重。随着晶圆尺寸的不断缩小，半导体对杂质含量越来越敏感，而半导体制造中不可避免会引入一些颗粒、有机物、金属和氧化物等污染物。为了减少杂质对芯片良率的影响，实际生产中需要提高单次的清洗效率，还需要在几乎所有制程前后都频繁的进行清洗。在20nm及以上领域，清洗步骤数量占到所有工艺步骤数量的30%，最多可重复200次。而从16/14nm节点开始，由3D晶体管结构、前后端更复杂的集成、EUV光刻等因素推动，工艺步骤的数量增加得非常明显，对清洗工艺和步骤的要求也将明显增加。

图17：清洗步骤随工艺节点缩小不断增加



数据来源：ACMR，广发证券发展研究中心

图18：晶圆产出率随工艺节点缩小而下滑



数据来源：ACMR，广发证券发展研究中心

常用清洗技术有湿法清洗和干法清洗两大类，湿法清洗是主流。湿法工艺是指采用腐蚀性和氧化性的化学溶剂进行喷雾、擦洗、蚀刻和溶解随机缺陷，使硅片表面的杂质与溶剂发生化学反应生成可溶性物质、气体或直接脱落，并利用超纯水清洗硅片表面并进行干燥，以获得满足洁净度要求的硅片。而为了提高硅片清洁效果，可以采用超声波、加热、真空等辅助技术手段。湿法清洗包括纯溶液浸泡、机械擦拭、超声/兆声清洗、旋转喷淋法等。

表9：常见清洗工艺

分类	清洗方法	清洗介质	工艺简介	优点	缺点
湿法清洗	溶液浸泡	化学溶液	将圆片浸泡在化学溶液中来达到清除表面污染	清除不同类型杂质	耗用化学品多，排放量大，污染环境
	机械擦拭	化学溶液，机械擦拭辅助清洗	通常用擦片机擦洗圆片表面的微粒或有机残渣	可以达到清除槽痕里的沾污	不能适应小工艺节点的清洗要求

	超声清洗	化学溶液，超声波辅助清洗	在强烈的超声波（20-40 kHz）作用下，液体介质内部空腔泡消失时附近产生强大的局部压力，使分子内的化学键断裂，清洗晶圆表面的杂质	清洗的速度，效果好；能够清洗各种复杂形状的硅片表面；易于实现遥控和自动化	清洗精度稍低；可能会损伤晶片
	兆声清洗	化学溶液，兆声波辅助清洗	由高能(850 kHz) 频振效应和化学清洗剂的化学反应对圆片进行清洗。	能同时起到机械擦片和化学清洗两种方法的作用	可能会损伤晶片
	旋转喷淋法	化学溶液或高纯去离子水，高压喷淋辅助清洗	利用机械方法将圆片以较高的速度旋转，在旋转过程中不断向圆片表面喷淋液体以去除圆片表面杂质	结合溶液浸泡和高压擦拭的优点，同时还可使圆片表面快速脱水	
干法清洗	等离子体清洗	等离子体	在强电场作用下，使氧气产生等离子体，迅速使光刻胶氧化成为可挥发性气体状态物质被抽走。	在去胶工艺中操作方便、效率高、表面干净、无划伤、有利于确保产品的质量，且污染小	不能去除碳和其它非挥发性金属或金属氧化物杂质
	气相清洗	化学溶液的气相等效物	利用液体工艺中对应物质的汽相等效物与圆片表面的沾污物质相互作用而去除杂质	化学消耗小，清洗效率更高。能够进行有效的清洗结构较深的部分，且无二次污染	不能有效除去金属污染
	束流清洗	高能束流物质	利用高能量的呈束流状的物质流与圆片表面的沾污杂质发生相互作用而清除圆片表面杂质	清洗液消耗量很少，而且减少了二次污染的发生	

来源：《半导体晶圆的污染杂质及清洗技术》，张士伟，广发证券发展研究中心

**单晶圆清洗设备是发展主流。**工艺技术和应用条件上的区别使得目前市场上的清洗设备也有明显的差异化，目前，市场上最主要的清洗设备有单晶圆清洗设备、自动清洗台和洗刷机三种。当工艺节点缩小到100nm以下时，为了提高清洗性能，晶圆厂逐步切换到单晶圆清洗工具，目前单晶圆清洗设备是主流。简单而言，单晶圆清洗设备是逐片清洗，自动清洗台是多片同时清洗，所以自动清洗台的优势在于设备成熟、产能较高，而单晶圆清洗设备的优势在于清洗精度高，背面、斜面及边缘都能得到有效的清洗，同时避免了晶圆片之间的交叉污染。

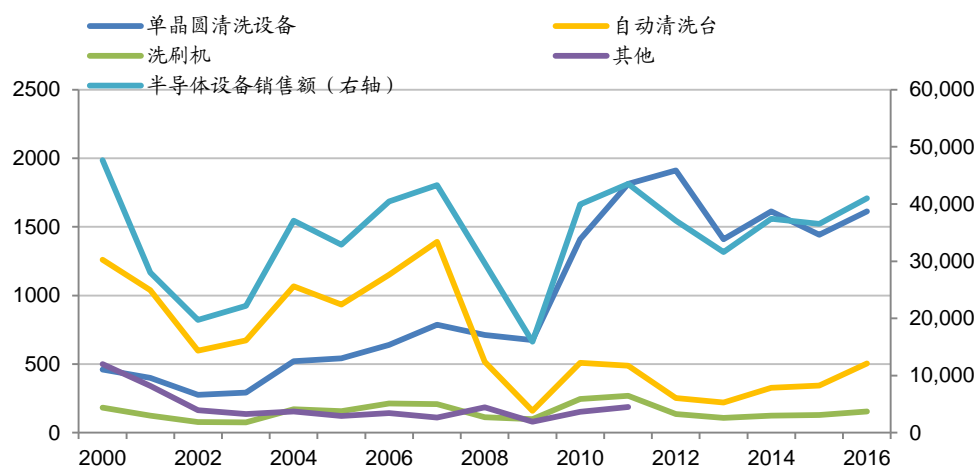
**表10：主要清洗设备**

设备	清洗方法	可应用环节
单晶圆清洗设备	旋转喷淋	<b>全生产流程</b> 中，比如扩散前清洗、栅极氧化前清洗、外延前清洗、CVD 前清洗、氧化前清洗、光刻胶清除、多晶硅清除和刻蚀环节等
自动清洗台 (槽式全自动清洗设备)	溶液浸泡	<b>全生产流程</b> 中
洗刷台	旋转喷淋、机械擦拭	锯晶圆、晶圆磨薄、 <b>晶圆抛光</b> 、研磨、CVD
超声波清洗设备	超声清洗	半导体前道各阶段
晶圆盒清洗设备	机械擦拭	晶圆盒清洗
等离子体清洗设备	等离子体清洗	光刻胶去除

数据来源：SEMI，广发证券发展研究中心

随着工艺节点缩小到22nm及以下，清洗过程变得更加复杂、具有挑战性和关键性：1.随着工艺节点缩小，所能容纳的杂质尺寸越来越小，随机缺陷很难消除。2.新的3D结构，如FinFET晶体管，通常比旧的传统2D结构更脆弱，更容易受到损坏。3.清洁挑战随着深宽比的增加而增加。例如通孔，传统的2D结构通常具有3:1或更低的深宽比，但FinFET结构目前可能具有5:1的深宽比，而在未来可能具有10:1以上的宽高比。而其他新的3D结构的长宽比可能高达60:1。

图19：清洗设备市场规模（百万美元）



数据来源：SEMI，Gartner，广发证券发展研究中心

### 三、投资建议与风险提示

当前中国存储器产业面临历史性机遇，促使国内存储器厂商积极进行工艺研发与产能建设，长期性与规模性的下游投资将对国产装备创造极佳的成长环境。其中长江存储与合肥长鑫都将在2020年进入积极的产能爬坡期，预期将促使设备需求大幅增长。建议关注国内从事半导体设备优质厂商：建议关注北方华创（PVD/CVD/刻蚀/清洗/氧化扩散热处理）（电子小组覆盖）、中微公司\*（刻蚀）、精测电子\*（测试）、至纯科技（清洗）、芯源微\*（涂胶显影+湿法设备）、盛美半导体（清洗，美股上市公司ACMR.O）、长川科技\*（测试）、华兴源创\*（测试）、晶盛机电\*（硅片设备）、上海睿励（过程工艺控制，未上市）、沈阳拓荆（PECVD，未上市）、华海清科（研磨抛光，未上市）、屹唐半导体（收购Mattson，未上市）、中科信（离子注入机，未上市）、上海微电子（光刻机，未上市）。（标\*表示与广发电子、电新等小组联合覆盖）

表11：：行业内主要海外上市公司估值（市值统计截止2020.2.17收盘）

公司名称	代码	业务类型	单位	市值 /亿元	净利润（百万元）			PE 估值水平		
					2018A	2019E	2020E	2018A	2019E	2020E
应用材料	AMAT.O	半导体装备	USD	614.08	3440	2770	3880	20.76	15.53	16.04
科天半导体	KLAC.O	半导体装备	USD	276.35	1420	1140	1620	20.22	17.06	17.58
泰瑞达	TER.O	半导体装备	USD	117.57	452	479	559	24.62	21.22	21.43

数据来源：Bloomberg，广发证券发展研究中心

注：本表格内公司的盈利预测均来源于Bloomberg一致预期。

行业投资波动带来的收入不确定性；行业竞争加剧导致毛利率下滑；技术研发及国产化趋势推进不及预期；国家产业扶持政策变化或扶持力度不及预期。



## 广发机械行业研究小组

罗立波：首席分析师，清华大学理学学士和博士，9年证券从业经历，2013年进入广发证券发展研究中心。

刘芷君：资深分析师，英国华威商学院管理学硕士，核物理学学士，2013年加入广发证券发展研究中心。

代川：资深分析师，中山大学数量经济学硕士，2015年加入广发证券发展研究中心。

王珂：资深分析师，厦门大学核物理学硕士，2015年加入广发证券发展研究中心。

周静：高级分析师，上海财经大学会计学硕士，2017年加入广发证券发展研究中心。

孙柏阳：南京大学金融工程硕士，2018年加入广发证券发展研究中心。

## 广发证券—行业投资评级说明

买入：预期未来12个月内，股价表现强于大盘10%以上。

持有：预期未来12个月内，股价相对大盘的变动幅度介于-10%~+10%。

卖出：预期未来12个月内，股价表现弱于大盘10%以上。

## 广发证券—公司投资评级说明

买入：预期未来12个月内，股价表现强于大盘15%以上。

增持：预期未来12个月内，股价表现强于大盘5%-15%。

持有：预期未来12个月内，股价相对大盘的变动幅度介于-5%~+5%。

卖出：预期未来12个月内，股价表现弱于大盘5%以上。

## 联系我们

	广州市	深圳市	北京市	上海市	香港
地址	广州市天河区马场路 26号广发证券大厦35 楼	深圳市福田区益田路 6001号太平金融大厦 31层	北京市西城区月坛北 街2号月坛大厦18层	上海市浦东新区世纪 大道8号国金中心一 期16楼	香港中环干诺道中 111号永安中心14楼 1401-1410室
邮政编码	510627	518026	100045	200120	
客服邮箱	gfyf@gf.com.cn				

## 法律主体声明

本报告由广发证券股份有限公司或其关联机构制作，广发证券股份有限公司及其关联机构以下统称为“广发证券”。本报告的分销依据不同国家、地区的法律、法规和监管要求由广发证券于该国家或地区的具有相关合法合规经营资质的子公司/经营机构完成。

广发证券股份有限公司具备中国证监会批复的证券投资咨询业务资格，接受中国证监会监管，负责本报告于中国（港澳台地区除外）的分销。广发证券（香港）经纪有限公司具备香港证监会批复的就证券提供意见（4号牌照）的牌照，接受香港证监会监管，负责本报告于中国香港地区的分销。

本报告署名研究人员所持中国证券业协会注册分析师资质信息和香港证监会批复的牌照信息已于署名研究人员姓名处披露。

## 重要声明

广发证券股份有限公司及其关联机构可能与本报告中提及的公司寻求或正在建立业务关系，因此，投资者应当考虑广发证券股份有限公司及其关联机构因可能存在的潜在利益冲突而对本报告的独立性产生影响。投资者不应仅依据本报告内容作出任何投资决策。

本报告署名研究人员、联系人（以下均简称“研究人员”）针对本报告中相关公司或证券的研究分析内容，在此声明：（1）本报告的全部分析结论、研究观点均精确反映研究人员于本报告发出当日的关于相关公司或证券的所有个人观点，并不代表广发证券的立场；（2）研究人员的部分或全部的报酬无论在过去、现在还是将来均不会与本报告所述特定分析结论、研究观点具有直接或间接的联系。

研究人员制作本报告的报酬标准依据研究质量、客户评价、工作量等多种因素确定，其影响因素亦包括广发证券的整体经营收入，该等经营收

入部分来源于广发证券的投资银行类业务。

本报告仅面向经广发证券授权使用的客户/特定合作机构发送，不对外公开发布，只有接收人才可以使用，且对于接收人而言具有保密义务。广发证券并不因相关人员通过其他途径收到或阅读本报告而视其为广发证券的客户。在特定国家或地区传播或者发布本报告可能违反当地法律，广发证券并未采取任何行动以允许于该等国家或地区传播或者分销本报告。

本报告所提及证券可能不被允许在某些国家或地区内出售。请注意，投资涉及风险，证券价格可能会波动，因此投资回报可能会有所变化，过去的业绩并不保证未来的表现。本报告的内容、观点或建议并未考虑任何个别客户的具体投资目标、财务状况和特殊需求，不应被视为对特定客户关于特定证券或金融工具的投资建议。本报告发送给某客户是基于该客户被认为有能力独立评估投资风险、独立行使投资决策并独立承担相应风险。

本报告所载资料的来源及观点的出处皆被广发证券认为可靠，但广发证券不对其准确性、完整性做出任何保证。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。广发证券不对因使用本报告的内容而引致的损失承担任何责任，除非法律法规有明确规定。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，如有需要，应先咨询专业意见。

广发证券可发出其它与本报告所载信息不一致及有不同结论的报告。本报告反映研究人员的不同观点、见解及分析方法，并不代表广发证券的立场。广发证券的销售人员、交易员或其他专业人士可能以书面或口头形式，向其客户或自营交易部门提供与本报告观点相反的市场评论或交易策略，广发证券的自营交易部门亦可能会有与本报告观点不一致，甚至相反的投资策略。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，可随时更改且无需另行通告。广发证券或其证券研究报告业务的相关董事、高级职员、分析师和员工可能拥有本报告所提及证券的权益。在阅读本报告时，收件人应了解相关的权益披露（若有）。

本研究报告可能包括和/或描述/呈列期货合约价格的事实历史信息（“信息”）。请注意此信息仅供用作组成我们的研究方法/分析中的部分论点/依据/证据，以支持我们对所述相关行业/公司的观点的结论。在任何情况下，它并不（明示或暗示）与香港证监会第5类受规管活动（就期货合约提供意见）有关联或构成此活动。

## 权益披露

(1) 广发证券（香港）跟本研究报告所述公司在过去12个月内并没有任何投资银行业务的关系。

## 版权声明

未经广发证券事先书面许可，任何机构或个人不得以任何形式翻版、复制、刊登、转载和引用，否则由此造成的一切不良后果及法律责任由私自翻版、复制、刊登、转载和引用者承担。

## 尖峰报告社群

分享8万+行业报告/案例、7000+工具/模版；  
精选各行业前沿数据、经典案例、职场干货等。



截屏本页，微信扫一扫或搜索公众号“尖峰报告”  
回复<进群> 即刻加入