

推荐 (维持)

清洗需求提高，关注设备进口替代

2020 年 03 月 05 日

半导体设备系列报告之三——清洗篇

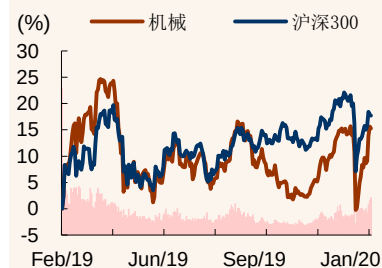
上证指数 3012

行业规模

	占比%
股票家数 (只)	367 9.7
总市值 (亿元)	30966 5.1
流通市值 (亿元)	23208 4.8

行业指数

%	1m	6m	12m
绝对表现	0.8	8.8	15.1
相对表现	3.3	1.9	-2.7



资料来源：贝格数据、招商证券

相关报告

- 1、《基金 19 年报持仓分析——机械持仓回升，前十大重仓股持仓占比提升》2020-02-02
- 2、《疫情对机械行业影响点评——冲击是短暂的》2020-02-02
- 3、《油气装备行业点评——油气勘探全面开放，有望提升板块估值》2020-01-09

诸凯

zhukai@cmschina.com.cn
S1090518070005

吴丹

wudan6@cmschina.com.cn
S1090518090001

刘荣

S1090511040001

研究助理

时文博
陈铭

新冠疫情对于社会正常生产、生活形成了较大影响，然而半导体集成电路制造行业由于其生产流程的特殊性，受到的影响相对较小（不考虑物流运输、封测等环节）。春节期间，位于武汉的长江存储、武汉新芯仍在正常运转，而这主要是由于集成电路制程的日益精细、复杂化，对厂区的洁净度、隔离一贯的高要求。同时，先进制程的发展也对生产过程中的清洗环节提出了更高的要求。本篇报告主要介绍集成电路清洗工艺以及相关设备，并关注由存储芯片等下游市场回暖带来的清洗设备国产化机会。重点推荐关注清洗设备进口替代领先企业——至纯科技。

- **存储器行业价格反弹，国产存储器厂商产能爬坡，行业有望进入景气周期。**经过一年多的低迷后，NAND 和 Dram 价格均在 19 年年末止跌回升，全球行业景气度回暖有望重新带动资本开支。而国内的主流存储器厂商，2020 年也将迎来持续产能爬坡，有望进一步带动设备采购。
- **半导体清洗制程工艺节点演变，清洗设备要求不断提升。**清洗设备是贯穿半导体产业链的重要环节，避免杂质影响成品质量和下游产品性能，在单晶硅片制造、光刻、刻蚀、沉积等关键制程及封装工艺中均为必要环节。随着集成电路制程工艺节点越来越先进，对清洗环节也提出了新要求，重要性日益凸显，清洗步骤约占整体步骤的 33%。
- **国内清洗设备公司任重道远。**根据我们测算，半导体清洗设备年市场空间 30 亿美元以上，其中国内市场 15-20 亿美元。目前行业绝大部分份额被迪恩士、泛林等海外巨头垄断，但近年来国内的清洗设备企业发展也非常迅速，通过人才引进，设立海外子公司，加强研发等方式，龙头至纯科技、盛美等也逐渐进入了国内、国际一线半导体生产公司。随着国产半导体制造企业对于设备国产化要求的提升，我们认为清洗设备有可能成为最先大规模国产化的半导体生产设备品类。
- **相关公司及投资建议。**至纯科技自 2015 年进入半导体清洗设备领域以来，已经切入了中芯、万国、燕东、TI 等半导体领先企业，并与国产存储器核心企业保持了密切合作关系，预计 2020 年单片清洗设备将放量，给予重点推荐。
- **风险提示：**半导体资本开支、设备国产化不及预期，产品利润率下滑。

重点设备公司主要财务指标

	股价	18EPS	19EPS	20EPS	19PE	20PE	PB	评级
至纯科技	35.8	0.13	0.46	0.81	87	43	8.5	审慎推荐-A
长川科技	27.8	0.12	0.05	0.38	556	78	12	审慎推荐-A
华兴源创	48.3	0.61	0.68	0.84	72	57	11	暂无评级
晶盛机电	23.5	0.45	-	-	-	-	8.4	电新覆盖
盛美	20.0	2.54	-	-	-	-	4.3	美股

资料来源：公司数据、招商证券

正文目录

前言——存储器价格回升，资本开支有望回暖	5
一、全球逐渐走出低谷，国内产能持续爬坡	5
1、全球市场：2019 年市场同比下滑，年末逐渐走出低谷	5
2、国内市场：产能持续增长，将超韩国成为全球最大半导体市场	7
二、摩尔定律下，制程工艺节点迅速演变	9
三、半导体清洗——需求、难度不断增长	10
1、半导体清洗——高质量半导体器件的保障	11
2、技术路线——干法、湿法各有所长	12
3、技术路线——单晶圆清洗有望逐渐取代槽式清洗	14
四、半导体清洗设备市场及行业格局	16
1、清洗设备市场：呈寡头垄断格局，国内企业水平与国际仍有较大差距	16
2、市场空间，国产清洗设备厂商的机遇	18
五、海外清洗设备龙头	19
1、迪恩士（SCREEN）——行业霸主	19
2、东京电子（Tokyo Electron）——干法清洗领导者	21
六、国内清洗设备企业	23
1、至纯科技——清洗领域新贵，单片、槽式均具竞争力	24
2、北方华创（电子覆盖）——收购 Aktron，实现槽式清洗国产化	26
3、盛美（ACM Research）	27
七、风险提示	30

图表目录

图 1：全球半导体销售额（三个月移动平均值）及同比增速	6
图 2：1999-2019 年全球半导体销售额	6
图 3：2010-2019 年全球硅片出货量	6
图 4：DRAM 和 NAND Flash 价格止跌回升（右轴：美元）	7
图 5：中国及全球半导体销售额（亿美元）	8
图 6：中国集成电路产业结构（亿元）	8
图 7：2010-2019 年国内集成电路进出口金额（万美元）	8
图 8：新设备和生产线潜能图	9

图 9: 全球半导体设备销售额 (十亿美元)	9
图 10: 中国、韩国半导体设备销售额对比 (十亿美元)	9
图 11: 晶体管结构	10
图 12: 半导体工艺流程	12
图 13: 半导体良品率随支撑变化曲线	12
图 14: 清洗次数随制程提升曲线	12
图 15: 浸入式湿法清洗槽	13
图 16: 兆声清洗槽	13
图 17: 旋转喷淋示意原理图	14
图 18: 晶圆清洗机的控制结构框图	14
图 19: 单晶圆清洗设备示意图	15
图 20: 自动工作站示意图	15
图 21: 洗刷装置示意图	15
图 22: 洗刷器示意图	15
图 23: 全球晶圆市场营收及同比增速	18
图 24: 2017 年全球半导体设备市场结构	18
图 25: 自动清洗机 FC-3100	20
图 26: 2017 年全球半导体设备市场结构	20
图 27: 单晶圆清洗机 SU-3300	20
图 28: SCREEN 总营业收入及同比增速	21
图 29: SCREEN 销售毛利率及销售净利率	21
图 30: 自动清洗台 EXPEDIUS™	22
图 31: 单晶圆清洗 CELLESTA™ - i MD	22
图 32: 干法清洗机 CELLESTA™ - i MD	22
图 33: 干法湿法对比	23
图 34: 疏水表面水印对比	23
图 35: TEL 总营业收入及同比增速	23
图 36: TEL 销售毛利率及销售净利率	23
图 37: 至纯科技槽式湿法设备	24
图 38: 至纯科技单片清洗设备	24
图 39: 至纯科技总营业收入及同比增速	25

图 40: 至纯科技归母净利润及同比增速.....	25
图 41: 至纯科技销售毛利率及销售净利率	25
图 42: 北方华创总营业收入及同比增速.....	26
图 43: 北方华创归母净利润及同比增速.....	26
图 44: 北方华创销售毛利率及销售净利率	27
图 45: 盛美 SAPS 设备图	28
图 46: 盛美 TEBO 设备图	28
图 47: SAPS 清洗原理	28
图 48: SAPS 清洗效率对比	28
图 49: 清洗损伤程度对比.....	29
图 50: 盛美总营业收入及同比增速.....	29
图 51: 盛美销售毛利率及销售净利率	29
图 52: 机械行业历史 PE Band.....	30
图 53: 机械行业历史 PB Band.....	30
表 1、沾污的种类及对半导体硅片的影响	11
表 2、硅片的主要清洗方法及优缺点	13
表 3、半导体清洗设备	14
表 4、2018 年全球半导体设备厂商营收排名（百万美元）	16
表 5、2017 年半导体设备竞争格局	17

前言——存储器价格回升，资本开支有望回暖

存储器占据了集成电路市场的半壁江山，从 2018 年以来，由于产能集中释放、库存高企以及需求低增速，存储器的价格经历了一年多的持续下跌，但 19 年年末以来，随着云计算数据中心等因素的驱动，存储器价格开始反弹，NAND Flash 价格近期以来持续上涨，Dram 也已经由跌转涨，预期价格还将进一步上涨，带动存储器行业复苏。

当前我国存储器产业仍与世界先进水平有一定差距，出于战略目的，国内存储器厂商将进一步加大产能，其中的佼佼者就是长江存储以及合肥长鑫。这两家企业有望在 2020 年顺利进入产能爬坡期，从而催生较大数量的设备需求。截至 19 年年末，预计长江存储月产能约 2 万片，有望在 20 年上半年达到 5 万片，合肥长鑫 19 年年末产能 2 万片，预计一季度末就将达到 4 万片。存储器相对于逻辑芯片标准化程度高，因此近年来成为国产化突破的重要方向，除了制造工艺的国产化以外，设备的国产化也是重要关注点。根据招标网数据，长江存储自 19 年四季度以来招标密度、核心设备招标数量明显增加，例如四季度中微半导体获得长江存储 3 台设备订单，2020 年 1 月 2 日，中微半导体再中标长江存储 9 台刻蚀设备订单。

一、全球逐渐走出低谷，国内产能持续爬坡

半导体行业由于其资本密集、技术革新快等特点，经常呈现以 4-6 年为一个周期波动向上发展的趋势，2018 年下半年以来，受到下游智能手机、汽车、工业等需求疲软以及库存处于历史高位，全球半导体行业进入下行周期，2019 年全球半导体销售额 4110 亿美元，同比 2018 年下降 12.4%。

但从 19 年 9 月开始，已有迹象显示随着 5G、AI、智能驾驶、物联网 IOT 等创新应用的发展，全球半导体行业正逐步进入复苏期。

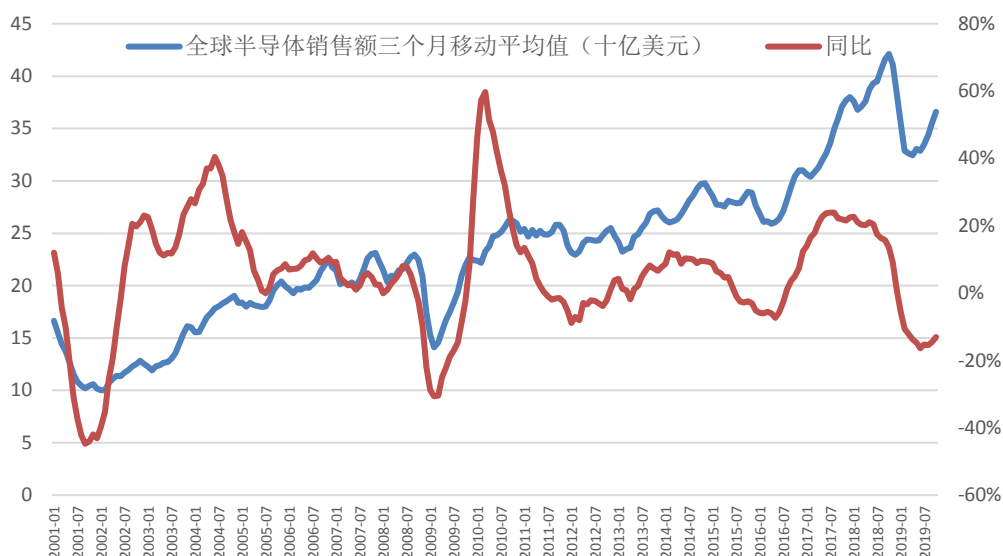
而在中国，半导体行业始终处于较高的景气位置。存储器行业是我国集成电路产业突破的重要方向，出于战略目的，国内存储器厂商数量、产能均在持续增加，其中的佼佼者就是长江存储以及合肥长鑫。这两家企业有望在 2020 年顺利进入产能爬坡期，从而催生较大数量的设备需求。

1、全球市场：2019 年市场同比下滑，年末逐渐走出低谷

全球半导体行业已经进入存量竞争格局，并购频繁。近 10 年来行业规模增速维持在 4%-6% 之间，维持了较高的增长，但和互联网、人工智能等新兴科技产业 50% 以上的爆发式增长相比，半导体行业的平稳增速更贴近传统产业。存量竞争的格局下，国际巨头更多通过并购整合的方式实现增长、减少行业竞争，从而保持增长率和毛利率。根据不完全统计，仅 2015 年就有恩智浦并购飞思卡尔、安华高并购博通、英特尔并购阿尔特拉等 9 个重要并购事件。

2019 年全年半导体销售同比下滑 12.4%。据 SIA 最新数据显示，2019 年全年全球半导体销售额 4110 亿美元。其中累计销售额为 3017 亿美元，同比下降 14.2%，四季度虽然依然下降，但降幅明显收窄，全年降幅收窄至 12.4%。

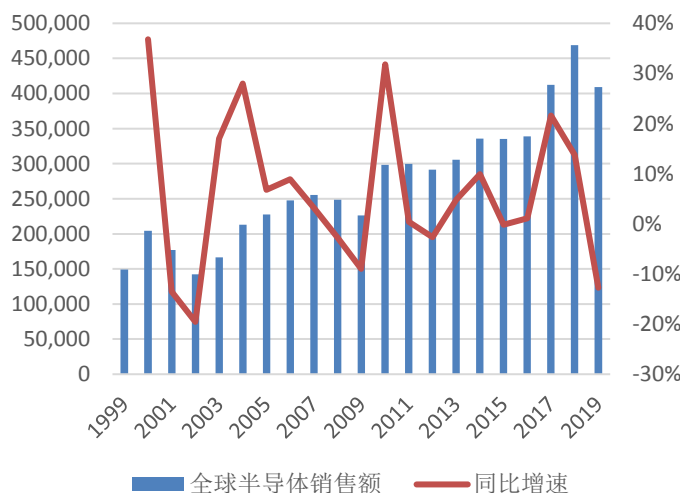
图 1: 全球半导体销售额 (三个月移动平均值) 及同比增速



资料来源: wind、招商证券

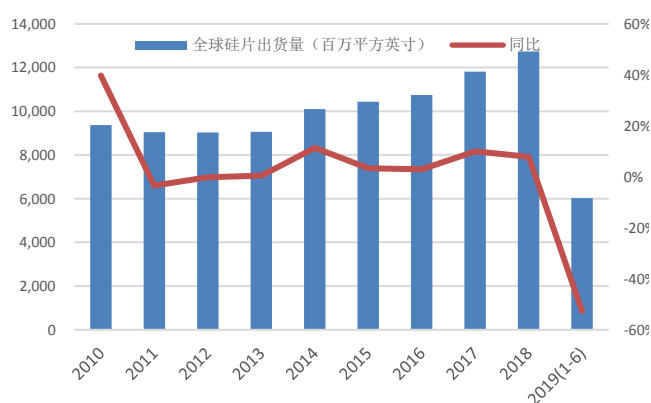
台积电业绩同比增长，三星、英特尔有所下降。全球最大的芯片代工厂台积电 2019 年第三季度营收约为 2930 亿元新台币，同比增长 13%；税后纯收益约 1011 亿元新台币，较上年同期上涨 13%。三星 Q2 财报数据显示，其半导体业务的营业利润为 3.04 万亿韩元，与去年同期 13.65 万亿韩元的盈利相比暴跌了 78%（主要系存储器价格下降）。英特尔最新财报显示第三季度营收为 191.1 亿美元，同比上升 0.14%；净利润为 59.9 亿美元，同比下降 6.38%。

图 2: 1999-2019 年全球半导体销售额



资料来源: wind、招商证券

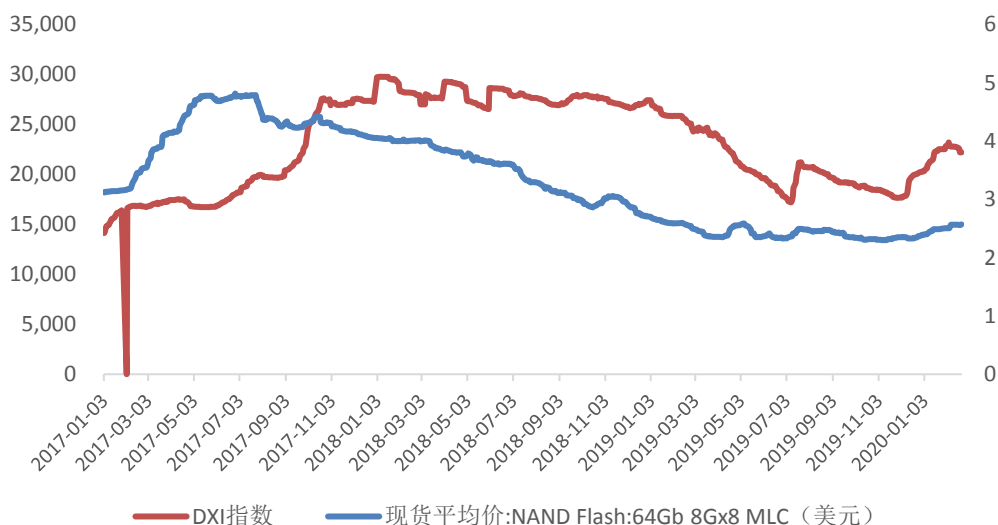
图 3: 2010-2019 年全球硅片出货量



资料来源: wind、招商证券

存储器价格 19 年继续下行，但已经止跌回升。2017 年，DRAM 和 NAND Flash 的价格分别上涨了 44% 和 17%，价格上涨趋势一直延续到 2018 年上半年，但进入到下半年，由于产能供给的过剩，内存和闪存开始全面降价，2018 年第四季度，NAND 价格跌 15%，厂商库存也逼近十年最高水平。2019 年也依然延续了下降趋势，但自 19 年 1 月份以来，NAND 价格和 Dram 价格指数均开始止跌回升。

图 4: DRAM 和 NAND Flash 价格止跌回升 (右轴: 美元)



资料来源: SIA、WSTS、招商证券

从 SEMI 最新公布 2019 年全球晶圆厂预测报告来看, 经历上半年衰退态势后, 下半年因存储器投资有所回暖, 预估 2019 年全球晶圆厂设备支出将上修至 566 亿美元。预计 2019 年晶圆厂设备投资仅同比下滑 7%, 相较于先前所预测降幅 18% 降幅缩小。11 月半导体出货额及部分地区设备出货量有所回暖, 可能预示着持续低迷一年的半导体投资也将有所回暖。

2、国内市场: 产能持续增长, 将超韩国成为全球最大半导体市场

2019 年中国半导体市场需求约为全球的 35%, 中国为全球需求增长最快的地区, 年均复合增速超过 20%。在中国半导体产业的大规模引进、消化、吸收以及产业的重点建设下, 中国已成为全球半导体的主要市场之一。2014 年中国半导体产业销售额已达 4887.8 亿元, 同比增长 11%; 到了 2016 年中国半导体产业销售额达到 6378 亿元, 同比增长 14.8%; 2018 年全球半导体销售额为 4688 亿美元, 其中我国半导体销售额 1579 亿, 占全球市场的 33.7%。2019 年以来, 全球市场半导体累计销售额同比下降 14% 至 3017 亿元。截至 2019 年 9 月, 我国今年半导体累计销售额达到 1057 亿, 同比下降 12%, 占全球市场的 35%。随着 5G、消费电子、汽车电子等下游产业的进一步兴起, 预计中国半导体产业规模将快速增长。

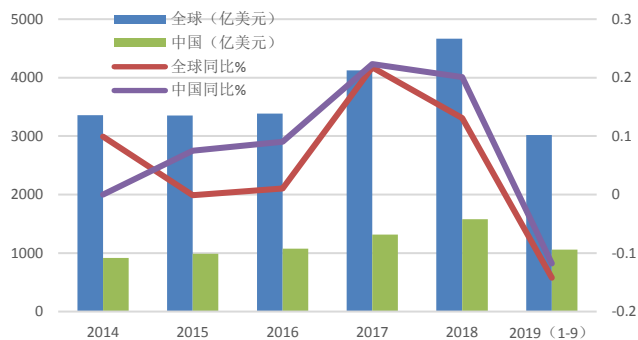
中国大陆强化存储器布局, 长江存储、合肥长鑫产能爬坡。19 年 9 月 2 日, 长江存储正式宣布量产 64 层堆栈的 3D 闪存 (Xtacking 3D NAND)。通过将 Xtacking 架构引入批量生产, 能够显著提升产品性能, 缩短开发周期和生产制造周期, 从而推动高速大容量存储解决方案市场的快速发展。随着 5G、人工智能和超大规模数据中心时代的到来, 闪存市场的需求将持续增长。

19 年 9 月 20 日, 总投资约 1500 亿元的长鑫存储内存芯片自主制造项目正式宣布投产, 长鑫存储填补了国内 DRAM 的空白, 有望突破韩国、美国企业在国际市场的垄断地位。DRAM 即动态随机存取存储器, 是芯片产业中产值占比最大的单一品类, 广泛用于 PC、手机、服务器等领域。

我国集成电路产业结构更加趋于优化, 2019 年 IC 设计、制造、封测的产业比重分别为 40.4%、27% 和 32.6%。近年来, 国内半导体一直保持两位数增速, 制造、设计与封测

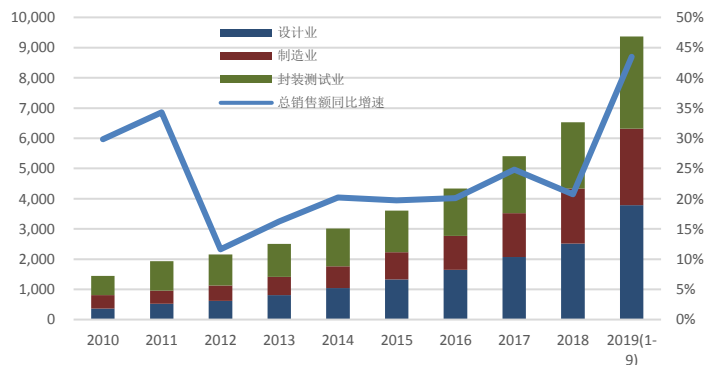
三业发展日趋均衡。世界集成电路产业设计、制造和封测三业占比惯例为 3:4:3, 2018 年我国集成电路设计业销售收入 2519.3 亿元, 所占比重从 2012 年的 35% 增加到 39%; 制造业销售收入 1818.2 亿元, 所占比重从 23% 增加到 28%; 封测业销售收入 2193.9 亿元, 所占比重从 2012 年的 42% 降低到 34%, 结构更加趋于优化。截至 2019 年 9 月, 我国设计、制造、封测的产业比重分别为 40.4%、27%、32.6%, 增长势头良好。

图 5: 中国及全球半导体销售额 (亿美元)



资料来源: wind、招商证券

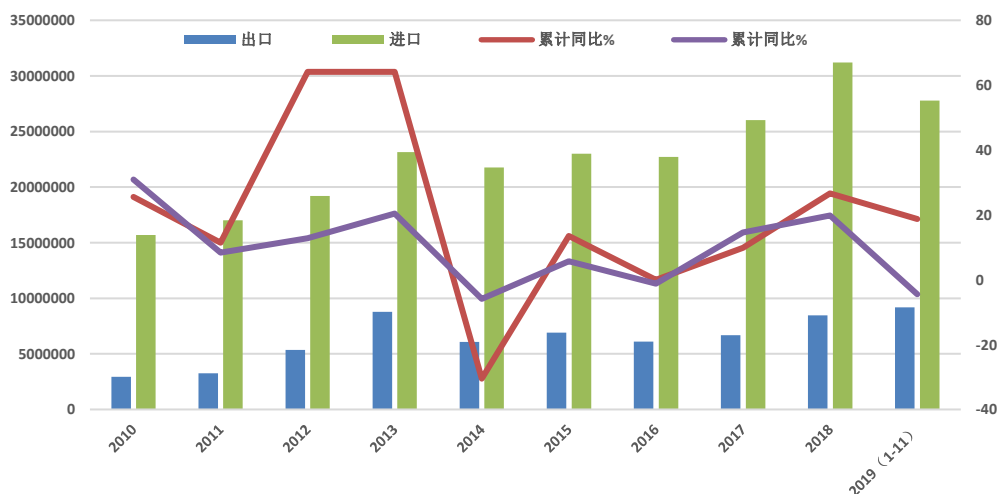
图 6: 中国集成电路产业结构 (亿元)



资料来源: wind、招商证券

我国半导体市场虽大但自给率低, 供给能力不足。2019 年 1-11 月我国集成电路出口累计金额为 919.61 亿美元, 进口累计金额约为 2778.62 亿美元, 贸易逆差下降 18.25%。2018 年我国集成电路出口金额为 846.36 亿美元, 进口金额为 3120.58 亿美元, 贸易逆差同比增长 17.7%。从 2015 年开始, 集成电路进口金额连续 4 年超过原油成为我国第一大进口商品。我国 2014 及 2015 年芯片进口均超过 2000 亿美元, 成为中国进口量最大的商品。2016 年中国公司仅能满足本土 15% 左右的芯片需求。在高端芯片市场上, 服务器 MPU、桌面计算机 MPU、工业控制用 MCU、可编程逻辑器件 FPGA、数字信号处理器 DSP, 手机芯片中的用到的嵌入式 CPU、嵌入式 DSP、动态随机存储器 DRAM、闪存 FLASH、高速高精度转换器 AD/DA、高端传感器 Sensor 等基本上全部依赖国外, 我国产品的市场占有率几乎为 0。2019 年 11 月份, 我国集成电路进口金额同比下跌 4.5% 至 293.75 亿美元; 出口金额同比上涨 18.7%, 达到 90.75 亿美元。

图 7: 2010-2019 年国内集成电路进出口金额 (万美元)

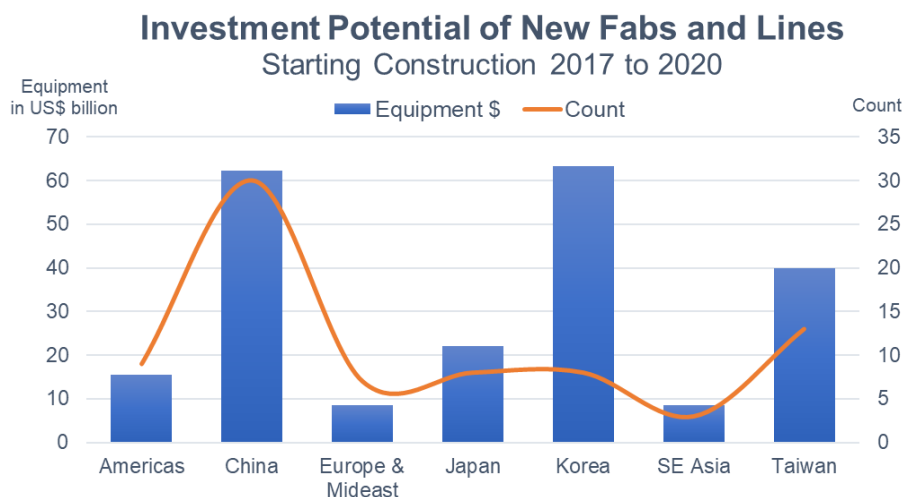


资料来源: wind、招商证券

中国半导体产业销售额或超韩国成为全球最大半导体市场。随着半导体行业的快速发展,

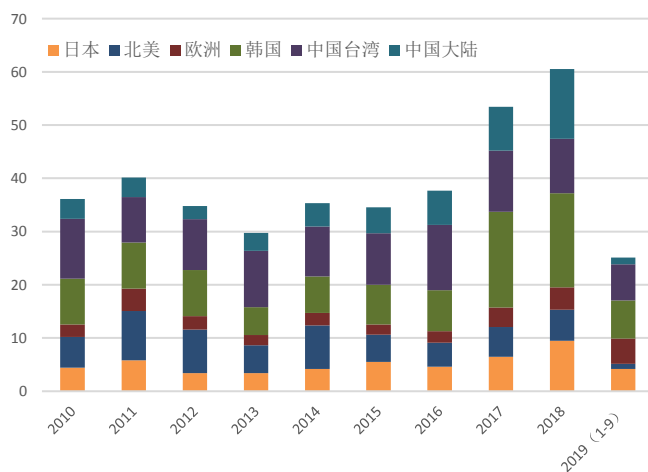
应用场景不断扩展，嵌入到从汽车等各类产品中，同时伴随着人工智能、虚拟现实和物联网等新兴技术的出现，半导体的市场需求不断扩大。随着半导体制造环节向大陆转移，新建晶圆厂拉动半导体设备需求。2018 年大陆地区首次超过台湾地区已成为全球第二大半导体设备市场，预计到 2019 年，中国、韩国和台湾将保持前三大市场，中国将跻身榜首，韩国预计将变成第二大市场，为 163 亿美元，而台湾预计将达到 123 亿美元的设备销售额。

图 8：新设备和生产线潜能图



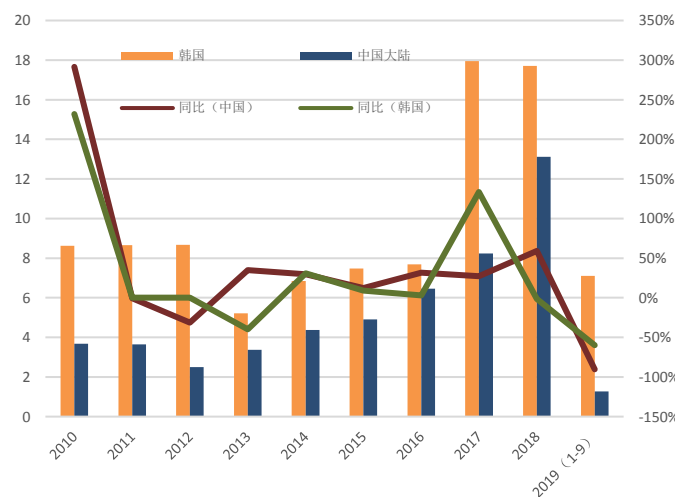
资料来源：SEMI、招商证券

图 9：全球半导体设备销售额（十亿美元）



资料来源：wind、招商证券

图 10：中国、韩国半导体设备销售额对比（十亿美元）



资料来源：wind、招商证券

二、摩尔定律下，制程工艺节点迅速演变

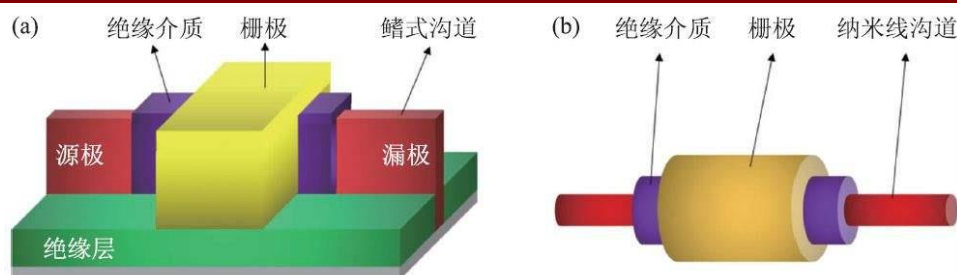
集成电路技术的发展过程，就是把晶体管尺寸做得越来越小的过程。在市场需求的驱动下，集成电路从小规模集成电路（SSI）到中规模集成电路（MSI）、再到大规模集成电路（LSI），一直到现在的超大规模集成电路（VLSI）。集成度的提高，不仅意味着单个晶体管的尺寸缩小了，同时也意味着采用了更加先进的制造工艺。九十年代的大规模

集成电路普遍采用的是微米级工艺，现在已经发展到纳米级工艺了。目前全球发展 7 纳米及其以下先进制程的有台积电、三星及英特尔 3 家公司。其中，台积电发展最快，2019 年即将试产 5 纳米制程。而相对于国内最大的晶圆代工厂中芯国际，技术水准与业界至少差了两代以上，已量产的最先进制程还是在 28 纳米制程上。不过，国内企业将持续推进先进制程研发，中芯国际的 14 纳米制程将于 2019 年量产。

工艺节点姑且认为是相当于晶体管的尺寸，是描述摩尔定律进程的一个指标。摩尔定律说，半导体芯片每一年半（后来改为两年），其集成度翻一番，并伴随着性能的增长和成本的下降。怎样描述这个集成度呢？这就有了工艺“节点”的说法。

工艺节点数值越小，表征芯片的集成度就越高。晶体管结构中，电子从一端(S)，通过一段沟道，送到另一端(D)，这个过程完成了之后，信息的传递就完成了。电流会损耗，而栅极的宽度则决定了电流通过时的损耗，表现出来就是手机常见的发热和功耗，宽度越窄，功耗越低。晶体管尺寸越小，速度就越快；尺寸缩小之后，集成度提升，一来可以增加芯片的功能，二来直接结果是成本的下降；晶体管缩小还可以降低单个晶体管的功耗，同时会降低整体芯片的供电电压，进而降低功耗。

图 11：晶体管结构



资料来源：网络资料整理、招商证券

摩尔定律逐渐放缓，新材料的应用、新技术的研发不会停止，半导体行业将迎来新的转折点。但近些年来，在工艺节点不断向前推进的过程中，晶体管尺寸已经接近物理极限，半导体器件也面临着短沟道效应、漏栅极漏电流增大，功耗增大的挑战。在此背景下，半导体行业五大趋势值得关注：大陆半导体的崛起、2.5/3D 封装技术、EUV 光刻机、人工智能/机器学习、新材料如 C-tube/Graphene 等。

随着集成电路制程工艺节点越来越先进，特征尺寸的不断缩小，半导体对杂质含量越来越敏感，对实际制造各个环节的要求越来越高，清洗环节的重要性日益凸显。

三、半导体清洗——需求、难度不断增长

清洗设备是贯穿半导体产业链的重要环节，用于清洗原材料及每个步骤中半成品上可能存在的杂质，避免杂质影响成品质量和下游产品性能，在单晶硅片制造、光刻、刻蚀、沉积等关键制程及封装工艺中均为必要环节。

随着集成电路制程工艺节点越来越先进，对实际制造的几个环节也提出了新要求，清洗环节的重要性日益凸显。清洗的关键性则是由于随着特征尺寸的不断缩小，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，实际生产中不仅仅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，清洗步骤约占整体步骤的 33%。

1、半导体清洗——高质量半导体器件的保障

在硅晶体管和集成电路生产中，几乎每道工序都有硅片清洗的问题，所有与硅片接触的媒介都可能对硅片造成污染，硅片清洗的好坏对器件性能有严重的影响。污染途径可能来自于水、大气、设备、各类化学试剂以及人为加工造成的污染，污染可以分为颗粒污染、有机物污染和金属污染。若半导体材料表面存在痕量杂质，如钠离子、金属和其他杂质粒子等，在高温过程中会扩散、传播，进入半导体材料内部，对器件不利。要得到高质量的半导体器件，硅片必须具有非常洁净的表面。

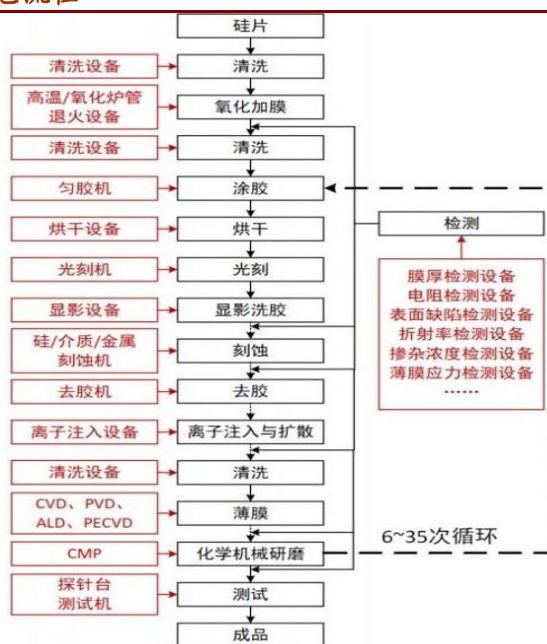
表 1、沾污的种类及对半导体硅片的影响

硅晶圆表面沾污的种类		对主要器件、工艺的影响
金属污染	颗粒沾污	图形缺陷 离子注入不良绝缘膜耐压不良
	碱性金属 (Na, K)	MOS 晶体管特性不稳定 栅极氧化膜耐压劣化 PN 结逆方向漏电流增大 栅极氧化膜耐压压力劣化
	重金属 (Fe, Ni, Cu, Au 等)	少数载流子寿命缩短 氧化激励层产生缺陷
	其他金属 (Al, Ca 等)	绝缘膜耐压不良
化学污染	有机沾污	栅极氧化膜耐压不良 CVD 膜厚产生偏差热 氧化膜产生偏差 (加速氧化) 在硅基板上扩透镜表面等产生
	无机污染	MOS 晶体管的 V_{th} 变化 Si 基板和高阻值 poly-Si 片电阻变化 胺使化学增模型保护膜清晰度劣化 氨和氧使形成的盐产生微粒
	自然/化学氧化膜 (水分和氧)	接触电阻增加 场栅氧化膜耐压劣化 (膜上有沾污的场合)

资料来源：网络资料整理、招商证券

几乎所有制程前后都频繁的进行清洗，晶圆的清洁程度直接影响集成电路的成品率。随着半导体制程不断升级，清洗次数直线上升，由《半导体工艺流程基础》一书中得知，最重要的清洗环节有三次，第一次是加工前对硅片的清洗，去除硅片表面杂质，保证后续操作精度；第二次是氧化加膜后的清洗，将半导体表面不必要的为了和金属氧化物以及有机物去除，以保证涂胶均匀度；第三次是离子注入后的清洗，主要是将表面的金属离子去除，防止发生短路。实际上，随着工艺不断进步，精度不断上升，清洗越来越不限于这三个环节，加工的每一步都会伴随一定的清洗步骤。

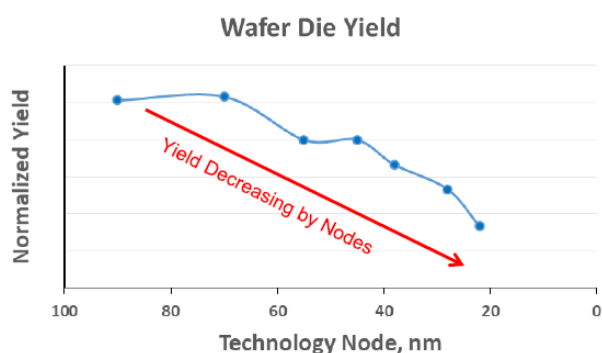
图 12: 半导体工艺流程



资料来源:《半导体工艺流程基础》、中芯国际、招商证券

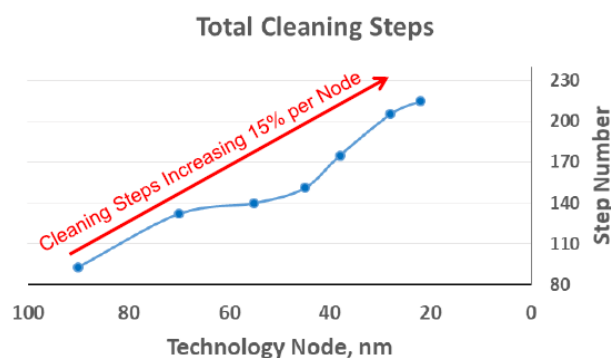
到了 20 纳米以下, 超过三分之一的工艺步骤是清洗步骤。从 70 纳米以下起, 芯片制造的良率就开始有所下降。主要原因之一就在于硅片上的颗粒物、污染难以清洗。随着节点越来越小, 到了 20 纳米以下, 超过三分之一的工艺步骤是清洗步骤, 基本上每两个步骤就要进行一次清洗。比如 20nm 节点的 DRAM, 就多达 200 个清洗步骤。而越往下走, 要得到较高的良率, 几乎每步工序都离不开清洗。据盛美公司估计, 每月十万片的 DRAM 工厂, 1% 的良率提升可为客户每年提高利润 3000-5000 万美元。

图 13: 半导体良品率随支撑变化曲线



资料来源: 盛美、招商证券

图 14: 清洗次数随制程提升曲线



资料来源: 盛美、招商证券

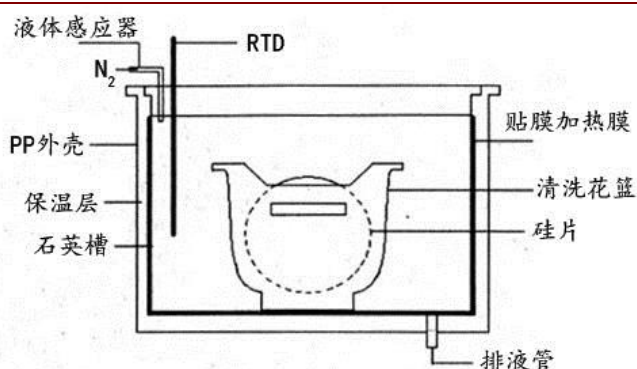
2、技术路线——干法、湿法各有所长

半导体清洗有干法和湿法两种清洗方法, 目前湿法由于其成本低产能高的优点占据主流, 占整个清洗制程 90% 以上。湿法清洗由于使用相对多的化学试剂, 也存在晶片损伤、化学污染和二次交叉污染等问题, 而干法清洗虽然环境友好、化学用量少, 随着半导体制程不断升级, 干法清洗低磨损的优点日益突出, 逐渐得到更多的关注。不过, 目前干法清洗控制要求和成本较高, 仍难以大量应用于半导体生产中。因此实际的半导体产线上通常是以湿法清洗为主, 少量特定步骤采用干法清洗相结合的方式互补所短, 构建半导

体制造的清洗方案。

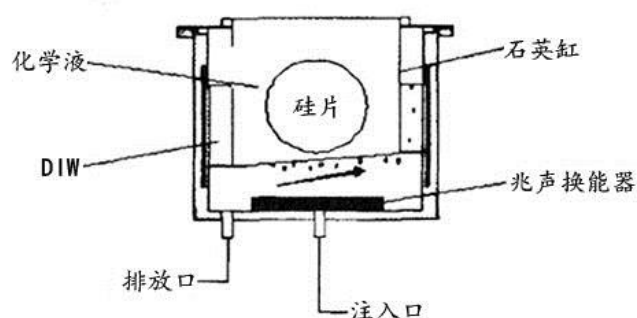
湿法清洗采用液体化学溶剂和 DI 水氧化、蚀刻和溶解晶片表面污染物、有机物及金属离子污染。由美国无线公司开发的浸泡式 RCA 化学清洗工艺得到广泛应用，但是无法在一道清洗工序中同时实现对硅外延片表面的有机物、颗粒、金属污染物和粒状水痕高质量的去除。干法清洗采用气相化学法去除晶片表面污染物，将热化学气体或等离子态反应气体导入反应室，反应气体与晶片表面发生化学反应生成易挥发性反应产物被真空抽去。干法清洗的优点在于清洗后无废液，可有选择性的进行局部处理。但气相化学法无法有选择性的只与表面金属污染物反应，都不可避免的与硅表面发生反应。各种挥发性金属混合物蒸发压力不同，在低温下各种金属挥发性不同，所以在一定的温度、时间条件下，不能将所有金属污染物完全去除，因此干法清洗不能完全取代湿法清洗。

图 15：浸入式湿法清洗槽



资料来源：《半导体硅片清洗设备研究进展》、招商证券

图 16：兆声清洗槽



资料来源：《半导体硅片清洗设备研究进展》、招商证券

表 2、硅片的主要清洗方法及优缺点

	清洗方法	描述	优点	缺点
湿法清洗	RCA 清洗法	使用双氧水与酸/碱溶液的混合物进行两步氧化。	在清除晶片表面的有机物、粒子和金属等污染物时十分有效。	去除晶片表面污染物薄膜而不能去除颗粒；需在高温环境下进行；耗用化学品大，会加大硅片的粗糙度；排放量大污染环境。
	超声清洗方法	晶片浸没在清洗液中，利用超高频率的声波能量将晶片正面和背面的颗粒有效去除。	清洗的速度快；清洗的效果比较好；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。	颗粒尺寸较小时，清洗效果不佳；在空穴泡爆破的时候，巨大的能量会对硅片造成一定的损伤。
干法清洗	气相清洗法	先让片子低速旋转，再加大速度使片子干燥，这时，HF 蒸汽可以很好的去除氧化膜玷污及金属污染物。	对那些结构较深的部分，比如沟槽，能够进行有效的清洗；对硅片表面粒子的清洗效果也比较好，并且不会产生二次污染。	虽然 HF 蒸汽可除去自然氧化物，但不能有效除去金属污染。
	紫外-臭氧清洗法	将晶片放置在氧气氛围中用汞灯产生的短波长紫外光进行照射。	特别适合氧化去除有机物，另外还有某些特殊用途，如 GaAs 的清洗。	无法清洗一般的无机物沾污。

资料来源：网络资料整理、招商证券

目前清洗工艺最大的难点在于芯片的立体结构。半导体是三维结构，在制作过程中需要保障薄层上的导电性，清除角下、角上面的颗粒，同时避免薄片不被破坏。同时，随着尺寸、颗粒越来越小，线越来越细，伴随 5 纳米、3 纳米技术的升级，清洗的难度也会加大。

3、技术路线——单晶圆清洗有望逐渐取代槽式清洗

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。在 21 世纪至今的跨度上来看，单晶圆清洗设备、自动清洗台、洗刷机是主要的清洗设备，其他清洗设备包括超声/兆声清洗设备、晶圆盒清洗设备、干法清洗设备（如等离子清洗设备）等，占比较小。

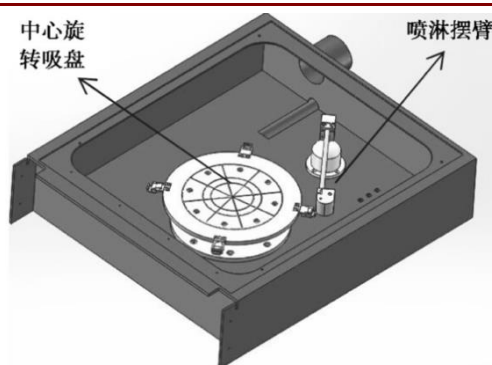
表 3、半导体清洗设备

设备	清洗方法	适用场合
单晶圆清洗设备	旋转喷淋	全生产流程中，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	溶液浸泡	全生产流程中
洗刷台	旋转喷淋	锯晶圆、晶圆磨薄、晶圆抛光、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

资料来源：网络资料整理，招商证券

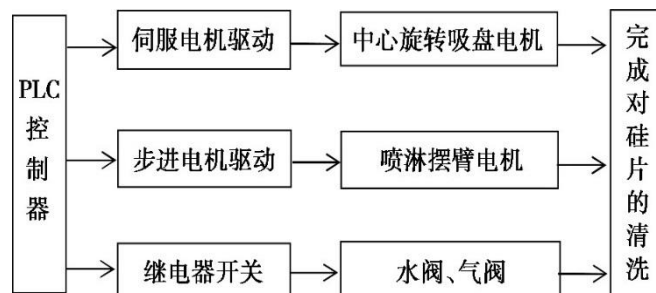
单晶圆清洗设备有着极高的制程环境控制能力与微粒去除能力，市场份额相对小。单晶圆清洗设备一般采取旋转喷淋的方式，用化学喷雾对单晶圆进行清洗的设备，相对自动清洗台清洗效率较低，产能较低，但有着极高的制程环境控制能力与微粒去除能力。可用于多种工艺中，包括扩散前清洗、栅极氧化前清洗、外延前清洗、CVD 前清洗、氧化前清洗、光刻胶清除、多晶硅清除等多个清洗环节和部分刻蚀环节中。还有另一种单晶圆清洗设备采取超声波清洗方式，市场份额相对小。

图 17：旋转喷淋示意原理图



资料来源：《晶圆清洗技术应用》、招商证券

图 18：晶圆清洗机的控制结构框图



资料来源：《晶圆清洗技术应用》、招商证券

自动工作站清洗产能高，适合大批量生产，但无法达到单晶圆清洗设备的清洗精度，很难满足在目前顶尖技术下全流程中的参数要求。自动工作站，也称槽式全自动清洗设备，以多槽为主，也有少部分单槽设备，是指在化学浴中同时清洗多个晶圆的设备，原理为利用机械手臂将放置晶圆的载体依次放入不同腔室进行各步清洗。优点是清洗产能高，适合大批量生产，但无法达到单晶圆清洗设备的清洗精度，很难满足在目前顶尖技术下全流程中的参数要求。并且，由于同时清洗多个晶圆，自动清洗台无法避免交叉污染的

弊端。

图 19：单晶圆清洗设备示意图



资料来源：SCREEN、招商证券

图 20：自动工作站示意图

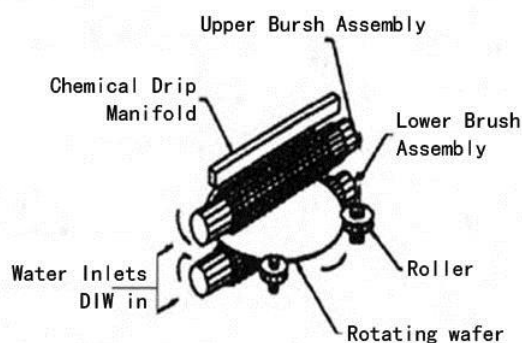


资料来源：SCREEN、招商证券

单晶圆清洗设备与自动清洗台在应用环节上没有较大差异，两者的主要区别在于清洗方式和精度上的要求。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。

洗刷器在晶圆抛光后清洗中占有重要地位。采取旋转喷淋的方式，但配合机械擦拭，有高压和软喷雾等多种可调节模式，用于适合以去离子水清洗的工艺中，包括锯晶圆、晶圆磨薄、晶圆抛光、研磨、CVD 等环节中，尤其是在晶圆抛光后清洗中占有重要地位。

图 21：洗刷装置示意图



资料来源：网络资料整理、招商证券

图 22：洗刷器示意图



资料来源：SCREEN、招商证券

清洗设备分为槽式和单片式。槽式设备是一个酸槽，里面乘着酸液，一次可以同时清洗 25 片或 50 片晶圆，清洗效率较高、成本较低。但缺点有两个：第一，同时清洗的晶圆之间会相互污染；第二，酸槽里的酸液通常一定周期更换一次，所以前一批次清洗的晶圆可能污染后一批次的晶圆。单片式的清洗设备由数个清洗腔构成，每一片晶圆在一个清洗腔里单独清洗，清洗方式为喷淋式清洗，清洗得较为干净，而且避免了交叉污染和前批次污染后批次。但缺点是清洗效率低，成本高。

越先进的工艺，单片式清洗设备占比越高。在 8 寸工艺和 12 寸里的 90/65nm 等工艺中，线宽较宽，对残留的杂质容忍度相对较高，因此对清洗的要求相对没那么高，为节省成本和提高生产效率，以槽式清洗设备为主。在 45/28/22/16/10/7nm 等工艺中，线宽较窄，对残留杂质的容忍度低，要求清洗得更干净，越先进的工艺，单片式清洗设备占比越高。因此以单片式清洗设备为主。在先进工艺中，槽式清洗设备也有单片式清洗无法

替代的清洗方式，如高温磷酸清洗，目前只能用槽式清洗设备。总的趋势是，越先进的工艺，单片式清洗设备占比越高。根据电子工程世界的产业调研，22nm DRAM 产线中，单片式清洗的占比可达到约 70%。

单晶圆清洗取代批量清洗是先进制程的主流。随着集成电路越来越先进，清洗步骤的影响也越来越大，约占整体步骤的 33%。从清洗方案来说，单晶圆清洗取代批量清洗是先进制程的主流，反映在设备上就是单晶圆清洗机对槽式全自动清洗机的取代，2016 年前者市场份额约为后者的四倍。兆声波清洗作为单晶圆清洗的一种，虽然效果好，但其由于均匀性和损伤性的问题一直阻隔其发展，而中国清洗设备公司盛美独家开发的 SAPS 和 TEBO 技术很好的解决了这个难题。SAPS 技术是针对清洗平坦硅片，TEBO 技术针对清洗立体结构。SAPS 技术和 TEBO 技术在 27 亿美金的全球市场份额中占据 30%。

四、半导体清洗设备市场及行业格局

1、清洗设备市场：呈寡头垄断格局，国内企业水平与国际仍有较大差距

在整个半导体设备市场中，晶圆制造设备大约占整体的 80%，封装及组装设备大约占 7%，测试设备大约占 9%，其他设备大约占 4%。而在晶圆制造设备中，光刻机，刻蚀机，薄膜沉积设备为核心设备，分别占晶圆制造环节设备成本的 30%，25%，25%。

从半导体设备供给侧来看，据 Gartner 统计，全球规模以上晶圆制造设备商共计 58 家，其中日本的企业最多，达到 21 家，占 36%，其次是欧洲 13 家、北美 10 家、韩国 7 家，而中国大陆仅 4 家，分别是上海盛美、中微半导体、Mattson（被亦庄国投收购）和北方华创，占比不到 7%。

表 4、2018 年全球半导体设备厂商营收排名（百万美元）

2018 年排名	国家	公司	2017	2018	同比增速
1	北美	Applied Materials	13154.6	14016.1	6.5%
2	欧洲	ASML	9758.3	12771.6	30.9%
3	日本	Tokyo Electron	8675.1	10914.8	25.8%
4	北美	Lam Research	9558	10871.4	13.7%
5	北美	KLA	3689	4209.8	14.1%
6	日本	Advantest	1673.8	2593.3	54.9%
7	日本	SCREEN	1863.5	2226	19.5%
8	北美	Teradyne	1663	1492	-10.3%
9	日本	Kokusai Electric	1181.6	1486	25.8%
10	日本	Hitachi High-Technologies	1200.3	1402.7	16.9%
11	中国	ASM Pacific Technology	1107.3	1181.2	6.7%
12	韩国	SEMES	1353	1173.9	-13.2%
13	欧洲	ASM International	836	991.2	18.6%
14	日本	Daifuku	724.6	91.5	34.1%

15	日本	Canon	499.4	765.4	53.3%
总计			56937.5	67066.9	17.8%
半导体设备制造商规模总计			70280.6	81140.3	15.5%

资料来源：VLSI Research，招商证券

同全球半导体设备市场一样，全球半导体清洗设备市场呈现着高度垄断、强者恒强的局面。目前，国际上共有 5 家企业在生产单晶片清洗设备，分别是 Screen Semiconductor Solutions、Tokyo Electron、Lam Research、SEMES 和 ACM。在整个清洗设备市场，日本公司占据了主导，约 60% 的市场份额由日本 Screen（迪恩士）占据，30% 的市场份额被日本 Tokyo Electron（东京电子）占据。半导体高端材料方面，日本长期保持绝对优势，日本是全球最大的半导体材料生产国，其中，高纯度氟化氢是半导体清洗制程中必备材料，日本在全球市占率为 70%。

而国内清洗设备市场，主要有盛美半导体、北方华创和至纯科技有布局，且三者之间的产品存在较大的差异。其中，盛美半导体技术实力最强，主攻单片式清洗设备，在较大一部分的清洗工序中可以实现国产替换。与盛美半导体主攻单片式清洗设备不同，北方华创通过收购美国 Aktron 公司实现了槽式清洗设备国产化。除了盛美半导体和北方华创以外，至纯科技在半导体清洗设备也有所布局，且也是以槽式清洗为主。

表 5、2017 年半导体设备竞争格局

	外资品牌（市占率）	国产品牌
光刻设备	ASML (75%)、Nikon (11%)、Canon (6%)	上海微电子
刻蚀设备	LAM (45%)、TEL (21%)、AMAT (20%)	中微半导体、北方华创
薄膜设备	AMAT (40%)、LAM (15%)、TEL (15%)	北方华创、沈阳拓荆
离子注入	AMAT (0%)、Axcelis (10%)	中科信、凯世通
过程控制	KLA (50%)、AMAT、日立	上海睿励、东方晶源
清洗设备	Screen (54%)、TEL (23%)、KLA (10%)、LAM	盛美半导体、北方华创、至纯科技
化学机械研磨	AMAT (60%)、Ebara (20%)	华海清科、中电四十五所
测试设备	泰瑞达 (45%)、爱德万 (40%)	长川科技、精测电子等

资料来源：Gartner，招商证券

清洗设备在晶圆制造设备中的采购费用占比约为 5%。从清洗设备的配备量来看，目前以 4 万片产能的产线为例，一般情况下，8 寸线匹配 50 台设备，12 寸线国内匹配 70 台设备左右，包括槽式和单片，国外有的厂商能够达到 120 台清洗设备水平。

价格方面，市面上最便宜的单片清洗设备是两个腔体的 50-60 万美元，6-8 个腔体的单片式清洗设备的价值大概 300-400 万美元，槽式价格 100-200 万美元市场价格，一个 Fad 厂在清洗设备上采购费用需要约 2 亿美元。

目前国外单片式清洗设备已发展到 12 个、16 个腔体了，腔体越多、对应的附属设备的介质供应也越多，需要满足智能化、软件控制、压力均等和清洗后的存放等需求。而国产清洗设备，以种类众多的湿法清洗设备为例，从种类和功能上国产设备目前实现只有

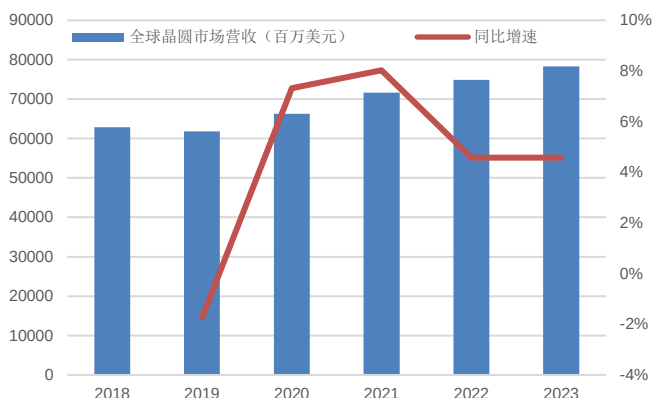
其中的 10%。

2、市场空间，国产清洗设备厂商的机遇

Gartner 预测，整体晶圆代工市场 2019 年到 2023 年的复合年均成长率为 4.5%，市场营收可望于 2023 年达到 783 亿美元。随着众多新晶圆厂的出现显着提高了设备需求，对晶圆厂技术和产品升级以及额外产能的投资将会增加。世界晶圆厂预测报告目前追踪了 78 个新工厂和线路，这些工厂和线路已经或将在 2018 年至 2020 年之间开始建设（具有各种可能性），最终或将需要 2200 亿美元的晶圆厂设备。

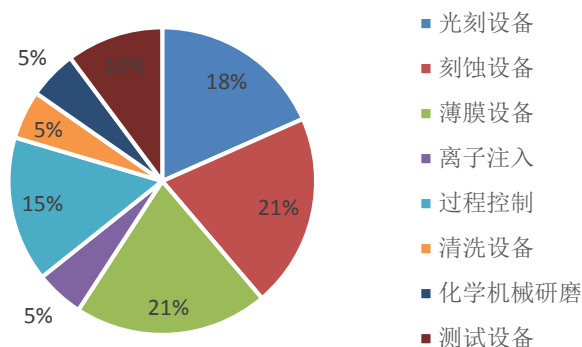
据不完全统计，2017 年全球半导体清洗设备市场规模已经达到 27 亿美元，预计到 2025 年，这一数字将增加到 46 亿美元。尽管清洗设备在半导体企业设备市场规模中占比相对光刻机等核心设备较低，约 5%-7%，但清洗设备对厂商的良率和经济效益有着至关重要的影响。因而，清洗作为半导体产业链中不可替代的一环，有着稳定而增长的市场空间。随着工艺节点的升级以及良率要求提高，清洗设备用量需求将持续增加。根据 SEMI 预测，清洗设备未来几年复合增长率达 6.8%，预计 2020 年就将达到 35-40 亿美元，是 200 亿人民币级别的大市场。

图 23：全球晶圆市场营收及同比增速



资料来源：Gartner、招商证券

图 24：2017 年全球半导体设备市场结构



资料来源：Gartner、招商证券

随着半导体产业明显向中国转移，国产清洗设备企业将迎来良好的机遇。SEMI 预测，到 2019 年，中国的设备销售将增长 46.6%，达到 173 亿美元。预计到 2019 年，中国，韩国和台湾将保持前三大市场，中国将跻身榜首。韩国预计将变成第二大市场，为 163 亿美元，而台湾预计将达到 123 亿美元的设备销售额。

2018-2019 是建厂高峰期，2019-2021 是设备的高峰期，整体行业正进入清洁设备采购期。根据 SEMI 数据表现，2018 年中国大陆 Fab 的设备采购付出接近 120 亿美元，同比增加 67%，超越中国台湾成为全球第二大半导体设备市场，而到 2019 年，中国大陆的半导体设备采购金额有望超过韩国位居全球第一，达到 180 亿美元，同比增加 58%。

大陆晶圆厂资本开支连年大幅增加将为国产设备带来伟大的市场机遇，而半导体清洗设备也将迎来优秀的发展前景。近年来，多个 12 英寸晶圆厂项目落地中国大陆。SEMI 的数据显示，2017-2020 年间全球投产的半导体晶圆厂为 62 座，其中有 26 座设于中国大陆，占全球总数的 42%。中国大陆在 12 英寸晶圆厂方面已投资数千亿美元，产品涉及多个领域与制程，多个项目已经在运行当中，其余项目将在未来 2-3 年内陆续投产。

目前中国大陆共计有 31 座在建/已建的 12 英寸晶圆厂，28 座 8 英寸在建/已建/规划中的 8 英寸晶圆厂。

根据 Gartner 数据，每年全球半导体设备的空间在 500-600 亿美元之间，假设清洗设备占整个设备投资比例约为 6%。则每年半导体清洗设备的市场为 30-36 亿美元，目前份额基本被迪恩士等外资品牌垄断，国产设备进口替代空间大。

五、海外清洗设备龙头

目前，在整个清洗设备市场，日本公司占据了主导，约 60% 的市场份额由日本 Screen（迪恩士）占据，30% 的市场份额被日本 Tokyo Electron（东京电子）占据，其他厂商包括韩国 SEMES（细美事）、美国 Lam Research（泛林）等。

1、迪恩士（SCREEN）——行业霸主

迪恩士（SCREEN）总部位于日本。成立于 1868 年，于 1975 年开发出晶圆刻蚀机，正式开启半导体设备制造之路。在随后的 40 多年里，迪恩士专注于半导体制造设备，尤其是清洗设备的研发与推广，开发出了适应于多种环境的各类清洗设备，并在半导体清洗的三个主要领域均获得第一的市场占有率。

迪恩士有 4 个主要的业务方向，半导体制造设备、图像情报处理机器、液晶制造设备、印刷电路板设备。半导体制造设备包括清洁、涂布和退火设备，半导体制造设备是该公司收入的主要部分，2019 财年（2018.4.1-2019.3.31）占总收入的 69.3%，相比去年提升 3.59%。2018 年占总收入的 66.9%，2017 年占总收入的 68.6%。从 2016 年财年来看，半导体制造设备中，清洗设备收入占该业务收入的 90%。2020 财年上半年（2019.3.31-2019.9.30）公司半导体制造设备营收占比为 72%，相较去年同期提升约 6%，逐年提升趋势明显。

截至 18 年，SCREEN 半导体解决方案有限公司累计销售其主要清洁设备超过 7,000 台，包括 FC 系列（湿站），SU 系列（单晶圆清洁剂）和 SS 系列（旋转洗涤器）。每个系列的累计总数分别为 FC 系列和 SU 系列的 2,000 多台设备和 SS 系列的 3,000 多台设备。FC-3100 通过结合高通道缓冲模块和新的传输模块，能够实现每小时 650 个晶圆的高吞吐量，适用于对清洗过程要求较低的 300mm 的晶圆尺寸，设备中包含七个独立的、可配置的标准化模块，双清洗槽内置于一个紧凑的模块中，保证整个清洗过程的稳定和高度可靠。

最新款产品 CW-2000 采用一体化概念，将化学品供应和冷却装置集成在系统中，极大地减少了设备的占地面积。此外，该型号设备可以处理从 50mm 到 200mm 的各种晶圆尺寸，能够实现每小时 150 个晶圆的处理量，同时，CW-2000 可以根据需求扩展到四个、六个或八个处理槽，以满足不同的生产力需求。

图 25: 自动清洗机 FC-3100



资料来源: SCREEN、招商证券

图 26: 2017 年全球半导体设备市场结构



资料来源: SCREEN、招商证券

SU 系列——单晶圆清洗系统。半导体器件的持续小型化和多样化越来越需要单晶圆清洗系统，其可以在控制微观颗粒的同时防止对半导体表面图案的损坏。同时，单晶圆系统还必须能够提供高生产率和稳定的处理，从而有效降低拥有成本。SU-3300 采用 4*6 塔式设计，能够有效节省空间，并且可扩展至最多 24 个腔室，从而实现卓越的生产率。它还具有极高的清洗精度，配备最先进的纳米控制喷嘴，可最大限度地保证清洗的均匀性并降低化学品使用，这些功能共同确保了极其稳定的操作。

图 27: 单晶圆清洗机 SU-3300

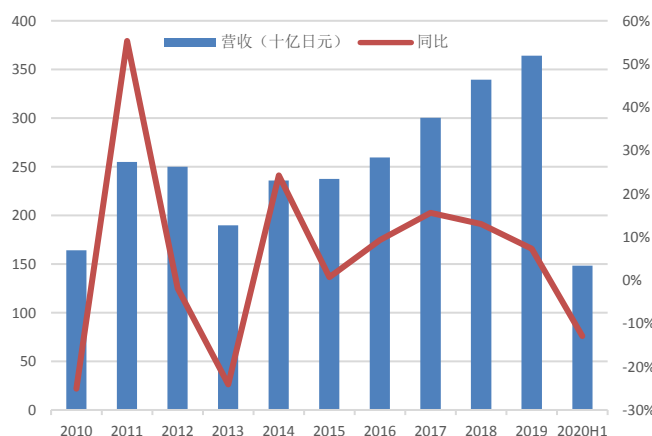


资料来源: SCREEN、招商证券

2019 财年（会计年 2018.4.1-2019.3.31）公司实现营业收入 3642.34 亿元，同比增长 7.33%，实现净利润 180.59 亿元，同比下降 36.65%，毛利率 27.61%，净利率 4.96%。经过早些年的波动，近年来迪恩士利润呈稳步上升趋势，毛利率由 30%向 35%增加，净利率以相同的趋势由 5%向 10%增进，反映出公司良好的经营现状和成本控制能力。

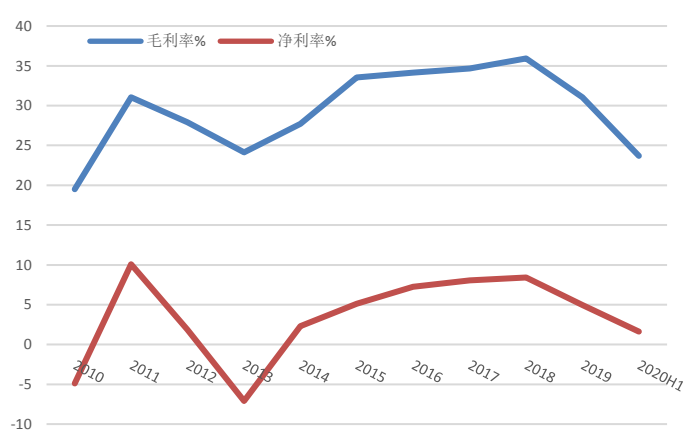
2019 年至今（2019.4.1-2019.9.30）公司实现累计营收 1481.9 亿元，同比下降 13%。实现累计净利润 2.382 亿元，同比下降 75%。今年 9 月公司毛利率 25.15%，净利率 3.17%。（迪恩士公司 2020H1 为 2019 年 4 月 1 日至 2019 年 9 月 30 日）

图 28: SCREEN 总营业收入及同比增速



资料来源: wind、招商证券

图 29: SCREEN 销售毛利率及销售净利率



资料来源: wind、招商证券

2、东京电子 (Tokyo Electron) ——干法清洗领导者

东京电子 (Tokyo Electron) 成立于 1963 年，是全球领先的半导体制造设备和液晶显示器设备的制造商。东京电子是日本 IC 和 PFD 设备最大制造商，也是世界第三大 IC 和 PFD 设备制造商。半导体生产设备，包括涂布机、电浆蚀刻系统、热加工系统、单晶片沉积系统、清洗系统，用于晶圆生产流程，还提供晶圆探针系统。平板显示器生产设备，包括平面显示镀膜机、平面电浆蚀刻，及电浆体化学气相沉积系统用于薄膜太阳能电池。东京电子的产品几乎覆盖了半导体制造流程中的所有工序。其主要产品包括：涂布/显像设备、热处理成膜设备、干法刻蚀设备、CVD、湿法清洗设备及测试设备。

EXPEDIUS™ 系列——自动清洗台。EXPEDIUS™ 不仅支持传统的湿法工艺，如预扩散/氧化清洁，蚀刻后清洁和抗蚀剂剥离，还可以实现 3D NAND 器件制造的氧化物/氮化物的去除。EXPEDIUS™ - i 是 EXPEDIUS™+ 的最新自动湿站，专为半导体制造的 45nm 及以上技术节点而设计。EXPEDIUS™ - i 实现了每小时 1,000 片晶圆的吞吐量，具有优化良好的干燥器模块，可以显著改善其清洁性能。内置先进的干燥器有助于大大缩短处理时间，能够有效减少半导体表面图案的损毁。

CELLESTA™ 系列——单晶圆清洗系统。CELLESTA™ - i MD 是 TEL 最先进的 300mm 单晶圆清洁系统，适用于 10nm 技术节点及以上。该系统具有最先进的清洁功能和先进的 IPA 干燥技术，可以减少对晶圆表面图案的损坏，并减少颗粒的损坏。该系统采用新开发的化学循环概念，实现了更高的生产率和更低的运行成本。

图 30: 自动清洗台 EXPEDIUS™



资料来源: TEL、招商证券

图 31: 单晶圆清洗 CELLESTA™ - i MD



资料来源: TEL、招商证券

ANTARES™系列——干法清洗设备。ANTARES™是全自动单晶片 CryoKinetic 系统，用于处理 200 / 300mm 晶圆。每个系统都使用低温气溶胶技术从设备表面安全地去除纳米级颗粒。与传统的湿式技术不同，这种全干式工艺可减少缺陷而不会损坏晶圆表面，即使在金属和低 k 薄膜上也是如此。ANTARES™系列不会腐蚀金属，在疏水表面不会留下水印，能够更好地适应高精度制程清洗工作。

图 32: 干法清洗机 CELLESTA™ - i MD



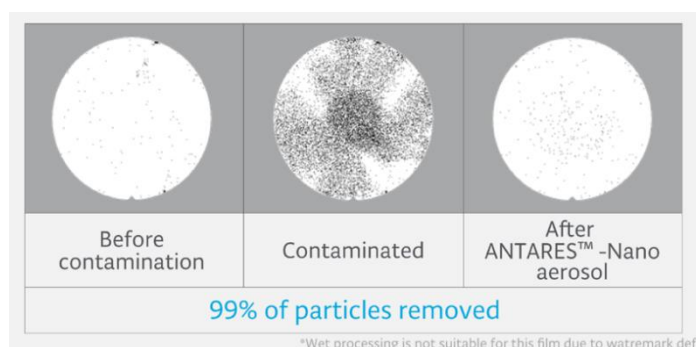
资料来源: TEL、招商证券

图 33: 干法湿法对比

	Dilute SC1/Spray	ANTARES™ -Nano
Particle removal efficiency (40nm SiO ₂)	38%	99%
SiO ₂ etching	~ 0.1A/pass	None
Pattern damage (22nm line/space, 9:1 aspect ratio)	Yes	No
Hydrophobic surface cleaning	Watermark defects	No watermark defects

资料来源: TEL、招商证券

图 34: 疏水表面水印对比

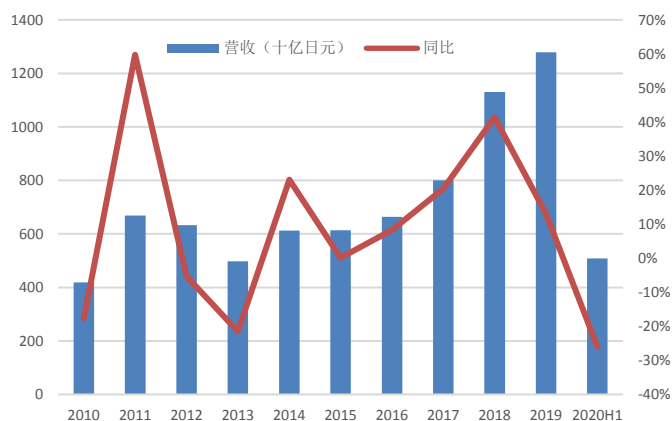


资料来源: TEL、招商证券

2019 年(会计年 2018.4.1-2019.3.31)公司实现营业收入 12782.40 亿日元,同比增长 13.05%,实现净利润 2482.48 亿日元,同比增长 41.16%,毛利率 41.61%,净利率 19.42%。经历了早些年经营波动,近几年经营收入稳步上升,特别是近三年,公司一直保持加速增长势头,营业收入快速提升。同时,公司利润率水平也保持稳步提升态势,毛利率、净利率水平均逐年增加。

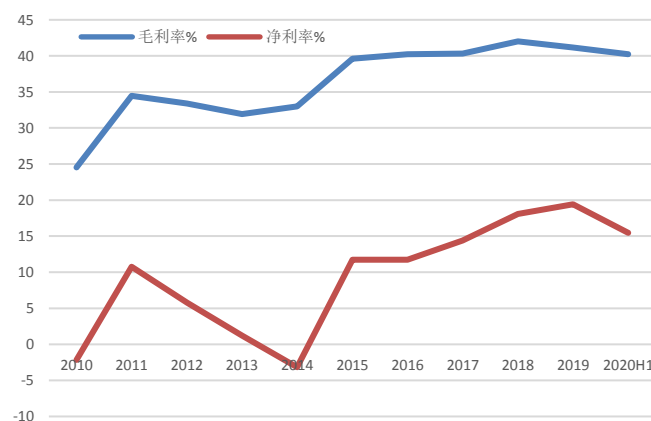
2019 年至今(2019.4.1-2019.9.30)公司实现累计营收 5084.42 亿日元,同比下降 26%,实现累计净利润 787.22 亿日元,较去年同期下降 42%。2019 年 9 月公司毛利率 40.22%,净利率 15.48%。

图 35: TEL 总营业收入及同比增速



资料来源: wind、招商证券

图 36: TEL 销售毛利率及销售净利率



资料来源: wind、招商证券

六、国内清洗设备企业

目前在国内,至纯科技、盛美半导体和北方华创主要承担着清洗设备国产化的重任。其中盛美半导体技术起步较早,主攻单片式清洗设备。至纯科技虽然起步在 2015 年,但近年来通过引进海外优秀人才,进步迅速,目前已经开拓了中芯、万国、燕东、TI、华润等知名企业。与至纯科技,盛美半导体通过自主研发不同,北方华创主要是通过收购美国 Aktron 公司实现槽式清洗设备国产化。

1、至纯科技——清洗领域新贵，单片、槽式均具竞争力

至纯科技成立于 2000 年，一直致力于为高端先进制造业企业提供高纯工艺系统的解决方案，特别是在半导体集成电路领域，拥有较好的客户口碑，客户包括上海华力、中芯国际、长江存储、合肥长鑫、士兰微等企业，2015 年至纯科技精准定位半导体设备国产化市场，通过引进海外优秀人才、设立海外子公司的方式，进军半导体清洗设备领域。公司目前已经获得了中芯、万国、TI、燕东、华润等客户的正式订单，并与长江存储、合肥长鑫等国内最主流存储器厂商建立了密切合作关系。

相较于盛美半导体和北方华创，至纯科技涉足半导体清洗设备领域的时间不算长，其于 2015 年开始启动湿法工艺装备研发，2017 年底成立独立的半导体湿法事业部，但是近几年进步速度飞快，在日本、韩国团队的帮助下，至纯在槽式清洗设备领域，成为唯二的国内主流厂商，在单片清洗设备领域，公司也已经处于国内第一梯队。

图 37：至纯科技槽式湿法设备



资料来源：至纯科技、招商证券

图 38：至纯科技单片清洗设备



资料来源：至纯科技、招商证券

高纯工艺系统择优拓展。至纯科技的原主要业务是高纯工艺系统及半导体装备以及光纤传感及光电子元器件，包括：气体高纯工艺设备及系统、化学品高纯工艺设备及系统以及物料及水系统，广泛应用于集成电路、微机电系统、平板显示、光伏、半导体照明、光纤、生物制药、食品饮料等领域。但由于高纯工艺系统对于资金占用程度较高，因此 18 年以来公司在高纯领域一直采取挑订单做的策略，确定项目毛利率和回款，2019 年
半导体相关高纯系统订单预计同比 2018 年增长 20%以上。

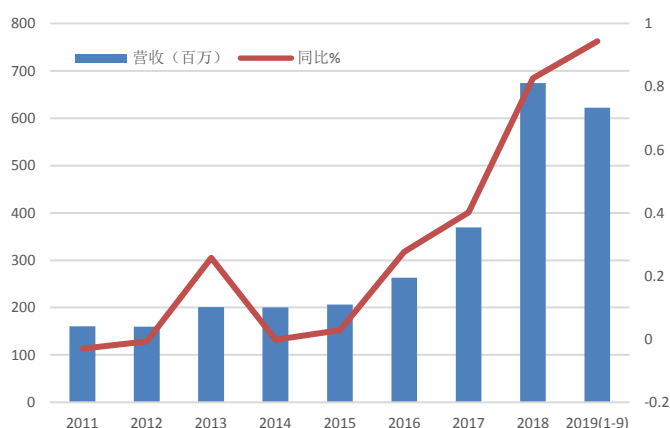
槽式清洗、单片清洗均需要综合的技术储备，结合多学科经验。目前公司湿法工艺设备所部署的技术路线：槽式设备及单片设备（8-12 反应腔）均为 8-12 寸晶圆制造的湿法工艺设备，设备技术工艺复杂、价值量高，槽式一般市场价格 100-200 万美金，单片清洗设备两个腔体的市场价格 50-60 万美金，而 6-8 个腔体的单片式清洗设备的价值大概 300-400 万美金。该类设备可以应用在先进工艺上：主要为存储器（DRAM，3D Flash）、逻辑产品以及迅速发展的特殊工艺上，例如薄片工艺、化合物半导体、金属剥离制程等。湿法工艺设备的子系统包含药液循环系统、温控系统、传送系统、自动控制系统、通信系统、传感控制系统、气体流场设计、反应药液回收环设计等。在技术储备上，公司通过引进海外优秀人才，持续投入资源开发符合高阶工艺应用的设备（如多反应腔、18 腔、高温硫酸设备等）。

湿法清洗设备正式投产、已获批量订单。2018 年公司完成了启东制造中心 6 万平米的

建设,湿法设备制造工厂正式投入使用。2019 年,公司公开发行总额约 3.6 亿元的可转换公司债券,其中 1.2 亿元用于半导体湿法设备制造项目,2.4 亿元用于晶圆再生基地项目。目前已形成 Ultron B200 和 UltronB300 的槽式湿法清洗设备和 Ultron S200 和 Ultron S300 的单片式湿法清洗设备产品系列,2018 年订单金额 1700 万美元,预计 19 年将实现翻番以上增长,市场空间非常大。

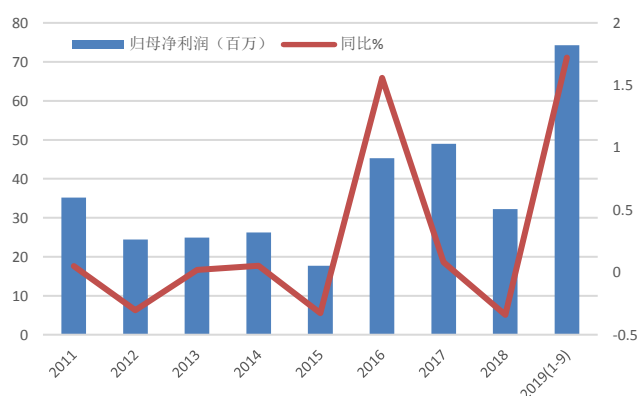
2019 年前三季度公司实现收入 6.22 亿元,同比增长 94.35%,归母净利润约 7430 万元,同比增长 172%。今年第三季度公司销售毛利率 35%,销售净利率 11.26%。公司发布 2019 年业绩预告,预计 19 年归属上市公司股东净利润 1.12-1.25 亿元,同比增长 245-285%,扣非净利润 0.95-1.08 亿元,同比增长 231-276%。

图 39: 至纯科技总营业收入及同比增速



资料来源: wind、招商证券

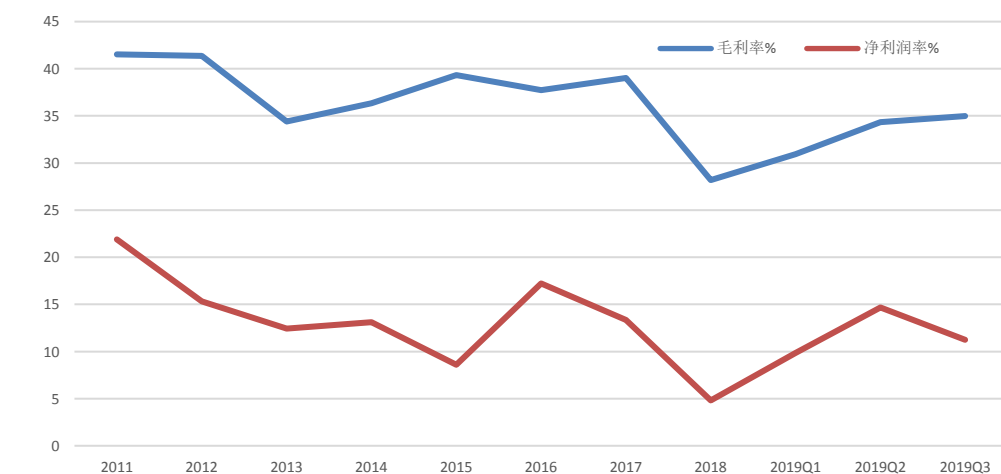
图 40: 至纯科技归母净利润及同比增速



资料来源: wind、招商证券

未来几年我们预测国内清洗设备需求在 15-25 亿美元/年,超百亿人民币市场,而目前该领域基本被外资厂商垄断。在晋华事件后,各个国内晶圆厂、存储器厂商均对设备国产化率提升了更高的要求,我们认为清洗设备是有望最先大规模突破的设备品种,而至纯作为国内清洗设备龙头,将非常受益,给予推荐!

图 41: 至纯科技销售毛利率及销售净利率



资料来源: wind,招商证券

2、北方华创（电子覆盖）——收购 Aktron，实现槽式清洗国产化

北方华创以生产销售高端集成电路装备为主，重点发展刻蚀设备（Etch）、物理气相沉积设备（PVD）和化学气相沉积设备（CVD）三大类设备，广泛应用于集成电路制造、先进封装、半导体照明(LED)、微机电系统（MEMS）等领域。北方华创已经成为了国家 02 专项承担研发项目最多的机构之一，尤其是关于 12 寸晶圆制造的刻蚀机、PVD、立式氧化炉、清洗机、LPCVD 等设备，已经批量进入了国内主流集成电路生产线。

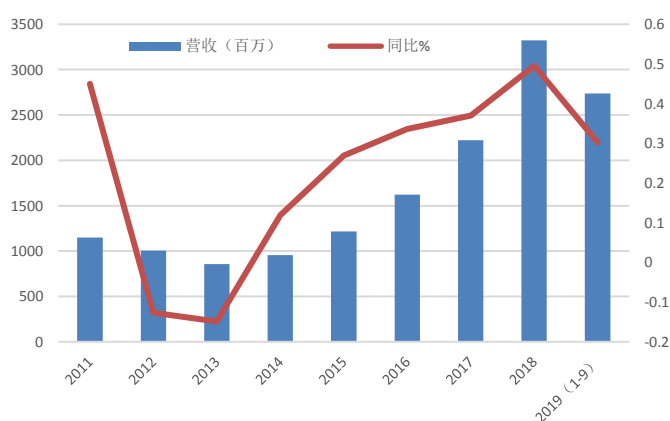
通过收购 Aktron，在清洗设备领域，北方华创也已经形成涵盖应用于集成电路、先进封装、功率器件、微机电系统和半导体照明等半导体领域的 8-12 英寸槽式和单片清洗机产品，不过北方华创未来研发更多侧重于干法工艺，与至纯、盛美的湿法工艺有所区别。

2017 年 8 月，以 1500 万美元现金收购美国半导体硅片清洗设备公司 Aktron，公司半导体清洗设备产品线得到了有效的补充和增强。整合后的清洗业务包括单片清洗和批式清洗两大产品线，覆盖工艺种类进一步增多，有力提升了北方华创清洗设备业务的整体市场竞争力，使北方华创有能力更好地为全球范围的客户提供全面的清洗工艺设备解决方案。与盛美半导体主攻单片清洗设备不同，北方华创作为国内拥有最丰富产品线的半导体设备企业，其清洗设备产品覆盖了单片和槽式，可提供多种类型的单片清洗设备和槽式清洗设备，已广泛应用于集成电路、半导体照明、先进封装、微机电系统、电力电子、化合物和功率器件等领域。12 英寸单片清洗机产品已应用于集成电路芯片制程中的预清洗、再生清洗、铜互连后清洗和铝垫清洗等工艺。

北方华创在刻蚀、薄膜设备领域更具成长。参考半导体设备的产品构成，北方华创布局薄膜设备在整个半导体设备市场的比重为 20%，硅基刻蚀占比 10%，清洗设备占比 5%，氧化扩散设备占比 3%，合计占比 30%-40%，是国产设备中涉足半导体细分设备空间最大的企业，特别是在刻蚀和薄膜沉积领域，北方华创优势更加明显，更具成长性。

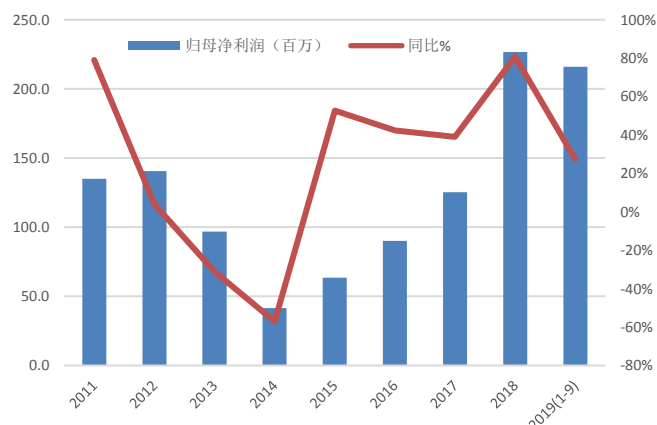
得益于公司在半导体设备方面的良好表现，营业收入和利润保持稳步增长。2019 年 1-9 月，公司实现营业收入 27.36 亿元，同比增长 30.25%；实现归属于上市公司股东的净利润 2.16 亿元，同比增长 27.3%。

图 42：北方华创总营业收入及同比增速



资料来源：wind、招商证券

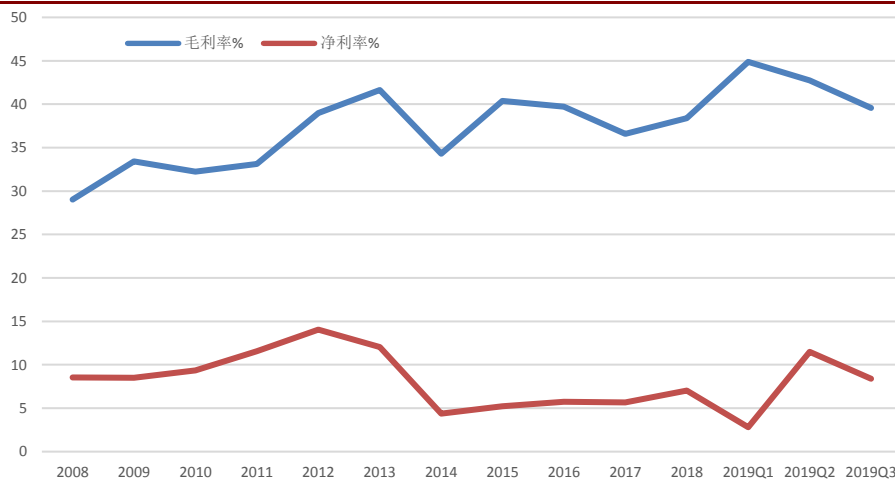
图 43：北方华创归母净利润及同比增速



资料来源：wind、招商证券

毛利率水平创新高,净利率水平持续改善。北方华创毛利率保持在 35-40%较为稳定,但净利率在 2014 年出现了较大的下降,近几年稳定在 5%-10%。2019 年第三季度,公司销售毛利率 39.6%,销售净利率 8.4%。公司在产品结构、客户结构、规模效应等逐渐进入成长通道,公司的半导体设备等国产替代道路才开始,未来预期仍将保持增长势头。

图 44: 北方华创销售毛利率及销售净利率



资料来源: wind,招商证券

3、盛美 (ACM Research)

盛美半导体设备在 1998 年由国家千人专家王晖博士为代表的一群清华校友成立于美国硅谷,2006 年 9 月与上海市政府合资落户上海张江高科技园区。公司主要产品包括:兆声波单片清洗设备,TEBO,背面清洗设备,无应力抛铜设备,TSV 深孔清洗设备,干法刻蚀设备,涂胶机,显影机,去胶机,腐蚀机,薄片清洗机等。公司近期宣布将寻求未来三年内在上海证券交易所的科创板上市。

主攻单晶圆湿式清洗设备,在五大半导体生产厂商保有超过 40 台设备。公司单晶圆湿式清洁设备的售价从 200 万美元到 500 万美元以上不等,主要客户包括中芯国际、华立微电子、SK 海力士和长江存储等。2019 年前六个月,公司单晶圆湿式清洁设备收入为 4170 万美元,占总收入的 84%,2018 年单晶圆湿式清洁设备收入总计 6850 万美元,占总收入的 92%。相比 2017 年的 74%,公司单晶圆湿式清洁设备收入占比有所提升。

盛美于 2015 年实现突破,解决了在 50 纳米半导体结构破坏性的关键问题,从而有条件向 16 纳米、10 纳米、7 纳米的深度不断挺进。在 2007 年,应用材料等巨头公司都在开发使用兆声波技术清洗解决方案。直到 2010 年,包括美国应用材料、semitech 等国外三家大公司 500 个团队,全部放弃在 50 纳米小粒情境下的清洗研发,业界认为这是一个不可能抵达的极限。盛美于 2015 年实现突破,解决了在 50 纳米半导体结构破坏性的关键问题。

2015 年,盛美的兆声波硅通孔清洗设备进入超大规模集成电路晶圆生产线量产。2016 年,盛美 12 英寸 45 纳米半导体单片清洗设备启运韩国知名存储器厂商海力士,这也

是国内首台具有自主知识产权的高端 12 英寸半导体设备，打破了国产设备在海外销售的零记录。2017 年盛美销售收入达到 3650 万美元，同比增长 33%，并成功在美国 Nasdaq 证券市场 IPO 上市，打破了 15 年来国际上没有设备企业在纳斯达克上市的沉寂，也代表中国半导体设备企业登上了美国资本市场的尖峰。

盛美拥有两大自主研发的核心技术——SAPS(Space Alternated Phase Shift)和 TEBO (Timely Energized Bubble Oscillation)清洗技术，二者解决了兆声波能量分布均匀性和能量具有破坏性的难题。

图 45: 盛美 SAPS 设备图



资料来源：盛美、招商证券

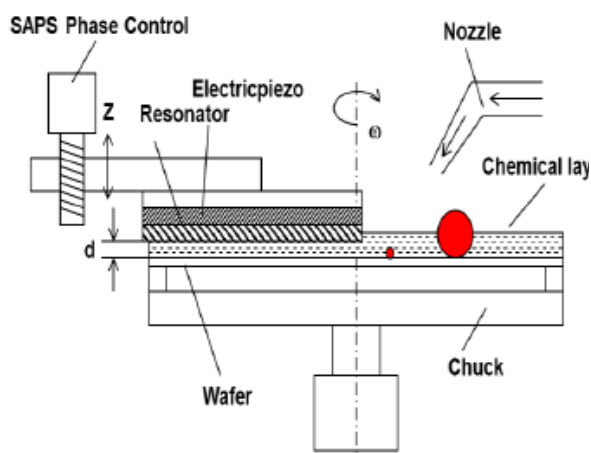
图 46: 盛美 TEBO 设备图



资料来源：盛美、招商证券

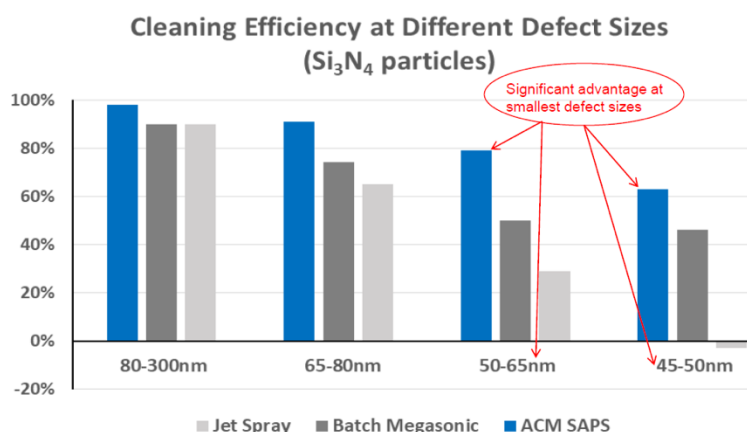
SAPS 设备是专门为 2D 半导体设计的兆声波清洗设备，极大地提高清洗效率和清洗质量，降低清洗成本。SAPS 技术解决了能量分布均匀性的问题，保证硅片上的每一点的能量都一样，使得其能够将硅片上每一个地方都清洗干净，同时避免了能量大的地方可能对硅片产生破坏的情况。它的一大优点是对于 45nm 以下的小颗粒，依然有特别好的清洗效果和良率。SAPS 设备是盛美公司的独有产品，在中国、美国、日本和韩国都已经申请技术专利。目前，SAPS 设备是公司的主营业务产品，未来 SAPS 设备的需求将更加凸显。

图 47: SAPS 清洗原理



资料来源：盛美、招商证券

图 48: SAPS 清洗效率对比

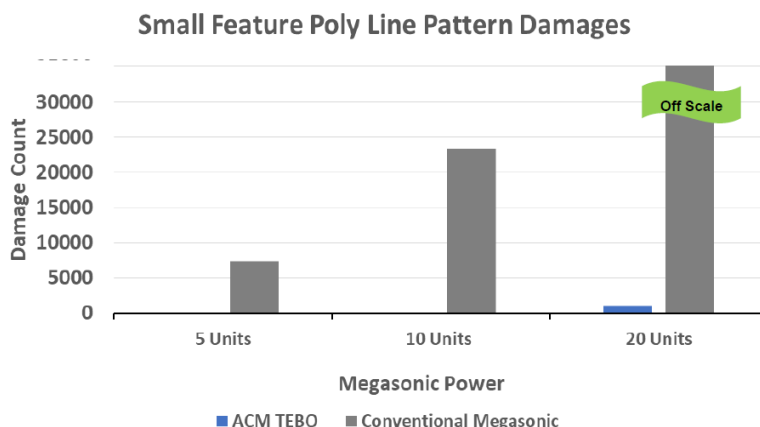


资料来源：盛美、招商证券

TEBO 技术解决了兆声波技术的另一难题，即兆声波能量会破坏硅片的问题，可以为高深宽比的 2D 和先进 3D 图形晶片提供有效、无损伤的清洗。它通过利用一系列的快速

压力变化来迫使气泡以特定尺寸和形状振荡,从而实现对兆声清洗过程中气泡空化的精确、多参数控制。由于这些气泡不是内爆或坍塌而是振荡,TEBO 技术避免了传统兆声清洗中突然空化造成的图案损伤。TEBO 已能提供小到 1nm (16nm 到 19nm) 的图形晶片的无损清洗解决方案。2017 年 7 月,盛美公司向 HLMC 交付了第一台 TEBO 设备,目前每台售价从 350 万美元至 650 万美元不等。现在已经有五家公司在做评估,华力已经使用盛美的 TEBO 技术清洗设备。这项专利是盛美独有的,该技术已经在国际上申请了 8 项 PCT 专利。目前,TEBO 处于验证时期,大量推广使用还需要花费几年时间。

图 49: 清洗损伤程度对比

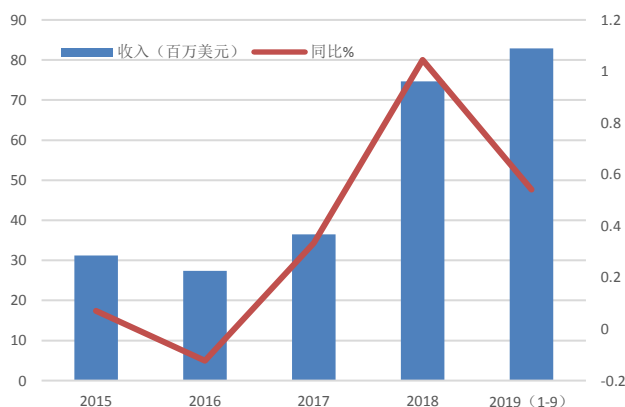


资料来源: 盛美,招商证券

收入创历史新高,盈利增长稳健。2019 年前三季度,公司实现营收 8291.6 万美元,同比增长 54%。截至 2019 年 9 月公司毛利率 48.63%,净利率 26.27%。

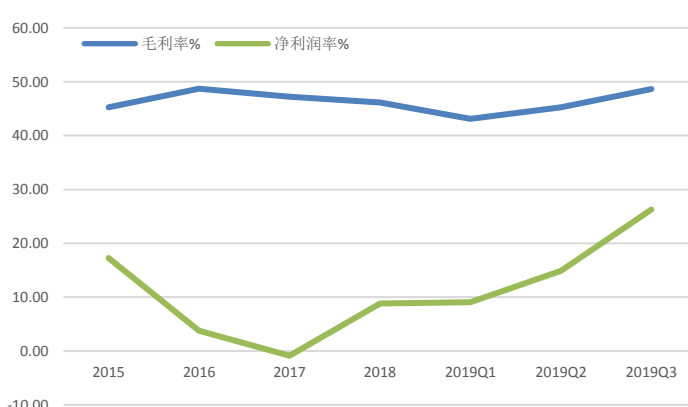
毛利率较为平稳,但净利率较低且总体呈现下滑趋势,近两年略微出现反弹迹象。从 2015 年的 20%以上到 2017 年净利润为负,2018 年开始略微回升,究其原因可能与研发费用和管理费用的大幅增加有关。

图 50: 盛美总营业收入及同比增速



资料来源: wind、招商证券

图 51: 盛美销售毛利率及销售净利率

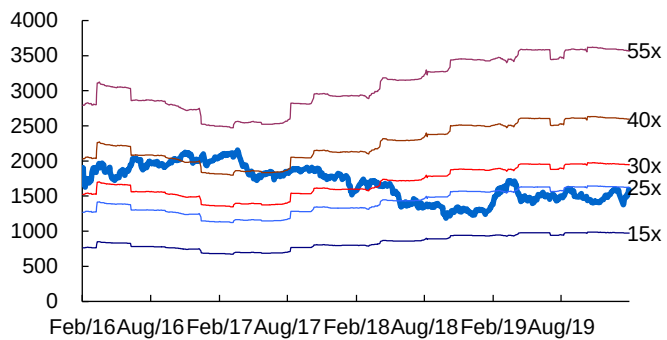


资料来源: wind、招商证券

七、风险提示

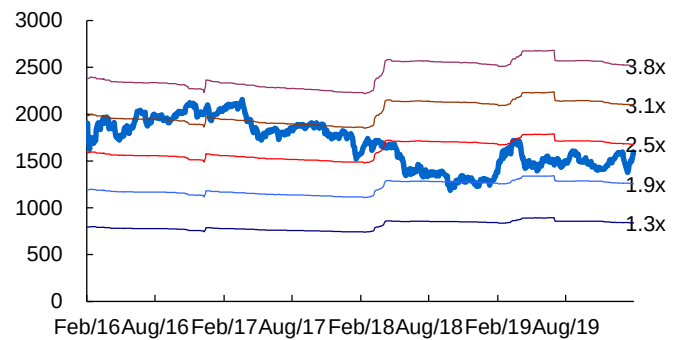
- 1) 存储器价格下降, 智能手机、数据中心等终端需求疲软, 半导体行业资本开支回暖不及预期;
- 2) 半导体设备国产化进度不及预期;
- 3) 产品毛利率、净利率下滑

图 52: 机械行业历史 PE Band



资料来源: 贝格数据、招商证券

图 53: 机械行业历史 PB Band



资料来源: 贝格数据、招商证券

参考报告:

- 1、《“自主可控”支撑长期成长——2019 半导体设备专题系列之一》2019/6/30
- 2、《冲云破雾的检测设备——2019 半导体设备专题系列之二》2019/7/26

分析师承诺

负责本研究报告的每一位证券分析师，在此申明，本报告清晰、准确地反映了分析师本人的研究观点。本人薪酬的任何部分过去不曾与、现在不与、未来也将不会与本报告中的具体推荐或观点直接或间接相关。

招商机械团队：7 次上榜《新财富》机械行业最佳分析师，连续两年第一名 三年第二名，两年第五名。连续 5 年上榜水晶球卖方机械行业最佳分析师，连续三年第一名。2012、2013、2018 年福布斯中国最佳分析师 50 强。2017 年新财富、金牛最佳分析师第五名、第三名。

投资评级定义

公司短期评级

以报告日起 6 个月内，公司股价相对同期市场基准（沪深 300 指数）的表现为标准：

- 强烈推荐：公司股价涨幅超基准指数 20%以上
- 审慎推荐：公司股价涨幅超基准指数 5-20%之间
- 中性：公司股价变动幅度相对基准指数介于±5%之间
- 回避：公司股价表现弱于基准指数 5%以上

公司长期评级

- A：公司长期竞争力高于行业平均水平
- B：公司长期竞争力与行业平均水平一致
- C：公司长期竞争力低于行业平均水平

行业投资评级

以报告日起 6 个月内，行业指数相对于同期市场基准（沪深 300 指数）的表现为标准：

- 推荐：行业基本面向好，行业指数将跑赢基准指数
- 中性：行业基本面稳定，行业指数跟随基准指数
- 回避：行业基本面向淡，行业指数将跑输基准指数

重要声明

本报告由招商证券股份有限公司（以下简称“本公司”）编制。本公司具有中国证监会许可的证券投资咨询业务资格。本报告基于合法取得的信息，但本公司对这些信息的准确性和完整性不作任何保证。本报告所包含的分析基于各种假设，不同假设可能导致分析结果出现重大不同。报告中的内容和意见仅供参考，并不构成对所述证券买卖的出价，在任何情况下，本报告中的信息或所表述的意见并不构成对任何人的投资建议。除法律或规则规定必须承担的责任外，本公司及其雇员不对使用本报告及其内容所引发的任何直接或间接损失负任何责任。本公司或关联机构可能会持有报告中所提到的公司所发行的证券头寸并进行交易，还可能为这些公司提供或争取提供投资银行业务服务。客户应当考虑到本公司可能存在可能影响本报告客观性的利益冲突。

本报告版权归本公司所有。本公司保留所有权利。未经本公司事先书面许可，任何机构和个人不得以任何形式翻版、复制、引用或转载，否则，本公司将保留随时追究其法律责任的权利。