

半导体设备系列研究三

半导体检测设备：芯与屏相融，光与电交汇

分析师：罗立波 S0260513050002



021-60750636



luolibob@gf.com.cn

分析师：许兴军 S0260514050002



021-60750532



xxj3@gf.com.cn

分析师：代川 S0260517080007



021-60750615



daichuan@gf.com.cn

核心观点：

● 半导体检测内涵丰富，设备商聚焦两大阵营

半导体检测是半导体行业唯一贯穿设计、制造、封装、应用全过程的重要部分，具备丰富内涵。根据 SEMI 数据，半导体检测设备占据整个半导体设备市场空间的 15%~20%，市场空间在 60~80 亿美元。这其中，前段制程中的工艺控制检测设备、后段 CP 与 FT 测试各占据半壁江山。科磊作为全球工艺控制检测设备龙头、爱德万与泰瑞达则在后道 CP 与 FT 形成寡头垄断，这三家半导体检测设备巨头均跻身 2016 年全球前十大半导体设备巨头之列，同时表现了更高的毛利率水平，显示半导体检测设备行业的广阔空间。

● 过程工艺控制：倾向于面向制造商的解决方案，与晶圆厂投资高度同步

过程工艺控制被定义为检查、测量与成品率控制，广泛存在于晶圆制造加工过程中，用于协助芯片制造商提升良率和生产效率。其需求主要来自于芯片制造商（逻辑芯片、存储芯片）以及代工厂，与晶圆厂设备（WFE）投资表现了高度的一致性，稍弱于半导体整体投资波动。根据 Gartner 数据，2015 年过程工艺控制市场为 46 亿美元，主要由科磊、日本日立、阿斯麦、应用材料等占据，目前国内企业中，上海睿励在光学测量设备已有一定突破。

● 半导体测试：面向不同类型的集成电路，国产品牌有望从细分市场取得突破

半导体测试（Test）主要包括设计阶段的验证测试、晶圆加工完成后分别在封装完成前后的 CP 测试和 FT 测试，面向不同类型的集成电路进行测试，其需求主要来自于设计厂商与封测厂商。据泰瑞达年报，2017 年全球半导体测试设备市场 33.5 亿美元，其中 SOC、存储器测试分别达到 24 亿美元、6.5 亿美元，SOC 测试需求趋势持续向上，而存储器测试迎来复苏。在测试机市场，爱德万和泰瑞达占据了 90% 的市场（SEMI 数据）。目前国内企业长川科技在 FT 测试市场已有一定积累，随着新产品探针台推向市场，有望向 CP 测试拓展；精测电子作为国内面板检测龙头，与三星半导体检测设备供应商 IT&T 成立合资公司，进军半导体检测领域。

● 投资建议与风险提示

投资建议：随着大陆晶圆厂投资加速，半导体设备需求大幅增加。国内优势企业经多年深耕研发，已经在技术门槛相对较低的测试设备领域取得一定突破，未来将充分受益巨大的国产替代空间。我们建议重点关注国内半导体检测设备企业中，注重研发创新，技术领先，未来核心竞争力持续强化的企业，重点关注精测电子*、长川科技*。

（标*为联合覆盖标的）

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。

相关研究：

“轻深度”系列之一：从 KLA-Tencor 收购 Orbotech，看检测设备的成长与估值	2018-03-21
机械设备：从半导体展看装备企业产品红利	2018-03-19
“全球视野”系列研究五：爱德万，全球半导体测试设备龙头的锤炼之路	2018-01-22
长川科技：国内半导体投资加快，测试设备龙头崛起	2017-12-24

识别风险，发现价值

请务必阅读末页的免责声明

本报告联系人：王璐 021-60750632 wanglu@gf.com.cn；周静 021-60750625 zhoujing@gf.com.cn

目录索引

半导体检测内涵丰富，形成两个聚焦市场	5
贯穿全程，半导体设备市场重要组成部分	5
工艺过程控制与半导体测试各占半壁江山	7
过程工艺控制：高效生产的保障，产业环境平稳健康	10
过程工艺控制：倾向于解决方案，协助芯片制造商提升生产效益	10
半导体制造商投资多种新工艺，驱动工艺控制持续发展	13
细分市场多由寡头垄断，构筑高毛利	17
半导体测试：测试需求不断推进，份额向龙头聚拢	21
从设计验证到生产测试，侧重有所不同	21
三类主要设备：测试机、分选机与探针台	24
SOC 测试趋势持续向上，存储器测试迎来复苏	27
两家巨头引领全球 ATE 市场——泰瑞达与爱德万	33
国内设备企业：关注产品红利带来的增量空间	36
投资建议与风险提示	39

图表索引

图 1: 测试在集成电路全过程中的应用	5
图 2: 单个晶体管的制造成本与测试成本对比 (美分)	6
图 3: 主要半导体设备市场份额	6
图 4: 2016 年全球前十大半导体设备企业设备收入与毛利率	7
图 5: 2015 年各类半导体设备销售额及占总设备市场的比例	9
图 6: PMOS SiGe 关键尺寸测量	11
图 7: 鳍图案上颗粒在伪栅极蚀刻后导致鳍尖顶缺陷	11
图 8: 生产线内出现缺陷问题	11
图 9: 工艺控制的受益类型	12
图 10: 电子产品工业链	13
图 11: 半导体行业资本开支增速	14
图 12: 半导体行业资本开支 (亿美元)	14
图 13: 半导体行业资本开支结构	14
图 14: 过程控制设备与 WFE 的市场规模 (亿美元)	15
图 15: 过程控制与半导体设备市场增速	15
图 16: 过程控制与先进技术的相互促进	16
图 17: 不同设计规则对应的工艺步骤数量	17
图 18: 2012 年过程工艺控制检测各种检测设备占比	17
图 19: 主要过程工艺控制检测设备商	18
图 20: KLA-Tencor 营业收入 (百万美元)	18
图 21: KLA-Tencor 净利润 (百万美元)	18
图 22: KLA-Tencor 营业收入 (百万美元)	19
图 23: 2017 财年 KLA-Tencor 收入结构	19
图 24: KLA-Tencor 毛利率与净利率	19
图 25: KLA-Tencor 研发费用 (百万美元)	20
图 26: KLA-Tencor 存货 (百万美元)	20
图 27: 按测试内容分类的半导体测试类型	21
图 28: 测试在集成电路全过程中的应用	22
图 29: 经过测试和墨点标示的晶圆示意图	23
图 30: 半导体产业链及测试设备的应用	24
图 31: 晶圆测试和封装测试工作流程示意图	24
图 32: 晶圆检测中的探针台和测试机工作示意图	25
图 33: 东京电子与东京精密的探针台产品布局	26
图 34 分选机常见的三种结构类型	26
图 35: 全球分选机市场规模 (亿美元)	27
图 36: 全球探针台市场规模 (亿美元)	27
图 37: 2017 年全球半导体产品销售额结构	27
图 38: 泰瑞达部分半导体测试设备产品	28
图 39: 全球 SOC 测试设备市场 (百万美元)	30
图 40: 爱德万 T2000 系列开放式 SoC 测试系统	30
图 41: 存储器和整体半导体产业周期波动对比	31

图 42: SOC 测试与存储器测试占 ATE 设备的比重	31
图 43: 全球存储器销售额 (百万美元)	32
图 44: 全球存储器测试设备市场规模 (百万美元)	32
图 45: 2016 年全球测试设备市场格局	33
图 46: 全球半导体测试机市场份额 (百万美元)	33
图 47: 爱德万营业收入与净利润 (亿美元)	33
图 48: 泰瑞达营业收入与净利润 (亿美元)	33
图 49: 2000 年以来爱德万公司的产品革新历程	34
图 50: 爱德万和泰瑞达的研发费用占比	34
图 51: 全球主要测试设备企业的毛利率	34
图 52: 国际测试机企业与国内企业测试机产品系列对比	35
图 53: 国际测试机企业与国内企业分选机产品系列对比	35
图 54: 上海睿励科学仪器主要产品	36
图 55: 长川科技公司主要测试机产品	37
图 56: 近三年长川科技营收及毛利率 (百万元)	38
图 57: 2016 年长川科技主营业务收入的产品结构	38
图 58: 精测电子营业收入和净利润 (百万元)	39
图 59: 精测电子研发费用	39
表 1: 工艺过程控制检测与半导体测试对比	7
表 2: IC 产品的不同电学测试 (从设计阶段到封装的 IC)	8
表 3: 硅片制造生产区的质量测量	10
表 4: CP 测试与 FT 测试对比	23
表 5: 测试机的发展历程	25
表 6: 十二五后集成电路测试平台需求趋势	29
表 7: 长川科技公司主要分选机产品	37

半导体检测内涵丰富，形成两个聚焦市场

贯穿全程，半导体设备市场重要组成部分

半导体检测是半导体行业唯一贯穿设计、制造、封装、应用全过程的重要部分，具备丰富内涵。在全球半导体设备市场中，诸如光刻、刻蚀、沉积等关键制程领域，占据了大部分的市场份额，而这些细分领域中，往往呈现一家或少数几家瓜分某一制程设备的格局，从而造就了应用材料（AMAT）、阿斯麦（ASML）、泛林（Lam Research）等国际半导体设备巨头。对于半导体检测，与前者不同的是，半导体检测是唯一贯穿设计、制造、封装、应用全过程的重要部分。从最初形成满足特定功能需求的芯片设计，经过晶圆制造、封装环节，在最终形成合格产品前，需要检测产品是否符合各种规范，比如功能（输入输出特性）、工作特性（功耗、频率、噪声等）、物理特性（封装等）、环境特性（温度、湿度、可靠性等）以及其他特性（体积、成本、价格、可用性等）。

图1：测试在集成电路全过程中的应用

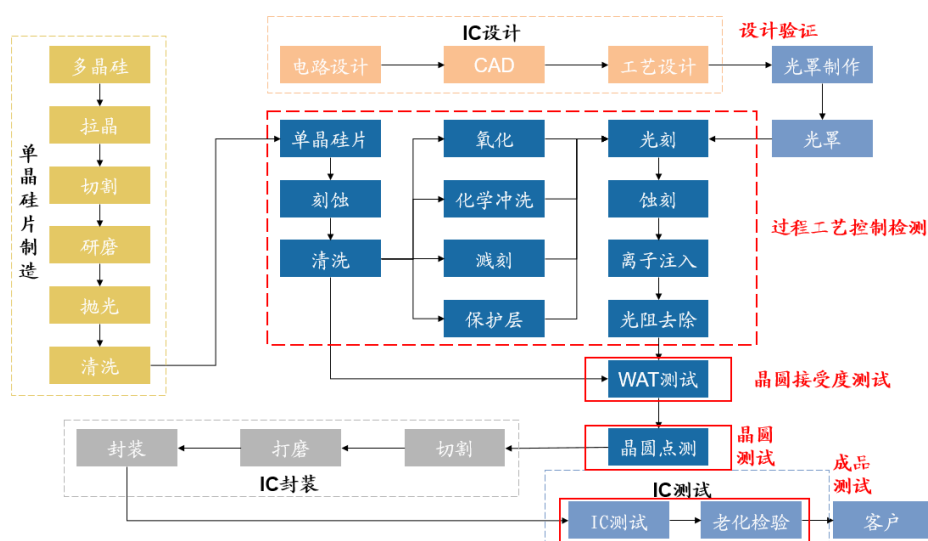
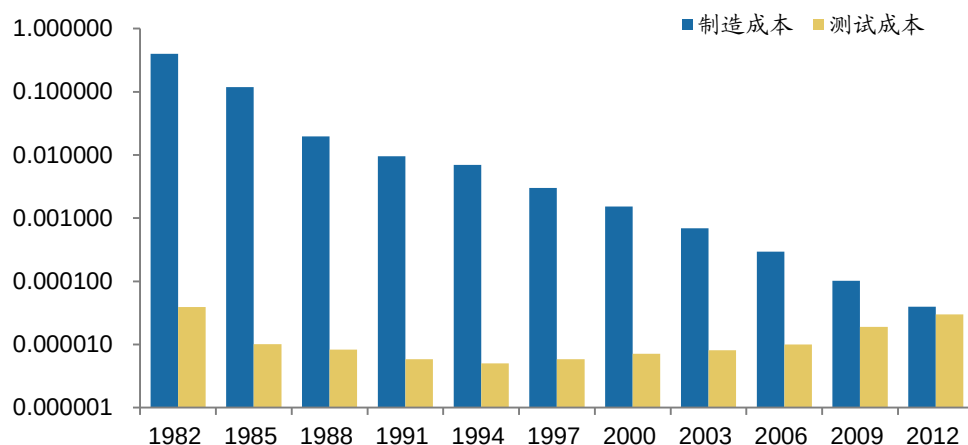


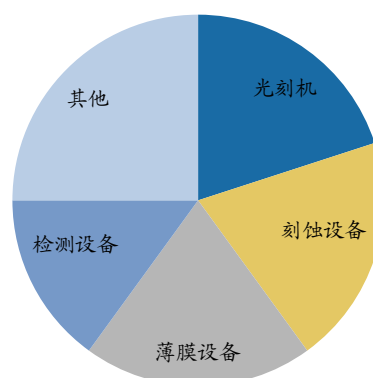
图2：单个晶体管的制造成本与测试成本对比（美分）



数据来源：ITRS，广发证券发展研究中心

半导体检测设备具备可观的市场空间。正是因为半导体检测的广泛应用以及对良率和成本的重要性，总体检测设备的投资与光刻、刻蚀等关键工艺相差无几。根据SEMI数据，在全球半导体设备市场中，前段晶圆加工设备部分，光刻、刻蚀、薄膜沉积设备各占20%的市场；在测试设备领域，包括工艺过程控制、CP测试、FT测试等，其占整个半导体设备市场空间的15%~20%。以2016年全球410亿美元的半导体设备销售额（数据来源于SEMI）测算，半导体检测设备市场空间在60~80亿美元。

图3：主要半导体设备市场份额



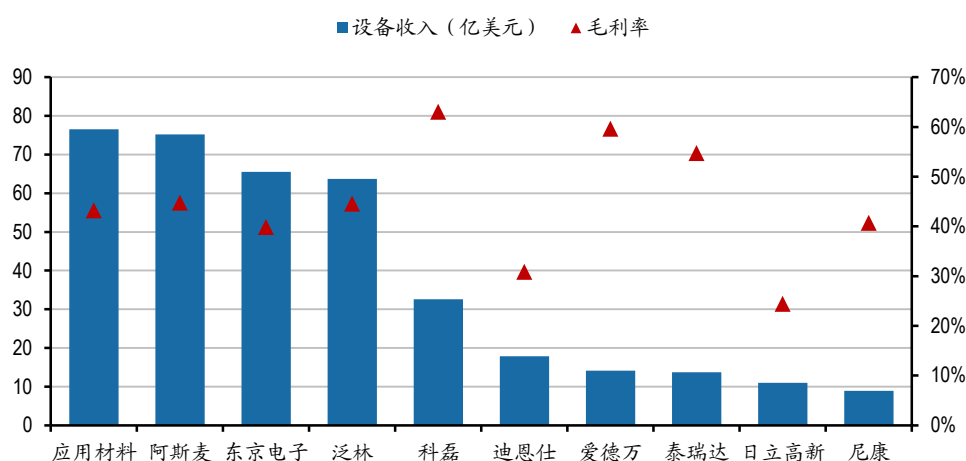
数据来源：SEMI，广发证券发展研究中心

从全球半导体设备巨头的产品领域也可以看出半导体测试设备的广阔市场空间。2016年全球前十大半导体设备企业中，科磊（KLA）、爱德万（Advantest）、泰瑞达（Teradyne）均是以检测设备为主要产品。2016年科磊公司设备收入达到32.6亿

美元，而爱德万与泰瑞达的设备收入分别为14.1亿美元、13.7亿美元。

同时，半导体测试设备企业实现了更高的毛利率。2016年科磊毛利率达到63%，爱德万毛利率达到59.6%、泰瑞达毛利率达到54.7%，显著高于其他巨头40%的毛利率水平。这其中，由于科磊的测试产品中包含软件及其他服务，因而毛利率水平最高。

图4：2016年全球前十大半导体设备企业设备收入与毛利率



数据来源：各公司年报，广发证券发展研究中心

工艺过程控制与半导体测试各占半壁江山

与半导体制造形成分工而对应，检测设备行业也形成了两个聚焦市场。按半导体生产流程，主要的测试环节包括：设计验证、过程工艺控制检测、CP测试（晶圆测试）、FT测试（成品测试）。其中我们将过程工艺控制检测归为一类、将设计验证、CP测试、FT测试归为一类，在本篇报告中余下部分，我们将后一类统称为半导体测试。之所以这样分类，主要是综合测试内容、竞争格局、客户类型等。

过程工艺控制检测：主要集中在前道晶圆制造过程中，主要是进行：（1）OCD结构检测，如形状、线宽、膜厚等；（2）缺陷检测；（3）其他小类型的检测，如电阻率的测试，离子注入浓度检测等。其中在缺陷检测中主要应用光学检测，除此之外，过程工艺控制检测也会有电参数检测、电子束检测等。在晶圆加工过程，需要反反复复进行几百道甚至上千道工序，这其中有超过一半的工序后需要选择进行控制检测。在这一领域，科磊、日立高新、应用材料合计占有近80%的市场份额（2012年数据，来源于Gartner），他们的客户主要是逻辑芯片企业、存储芯片企业以及代工厂，比如三星、Intel。

表1：工艺过程控制检测与半导体测试对比

测试内容	测试环节	测试类型	主要设备企业	客户
------	------	------	--------	----

过程工艺控制检测	形状、膜厚、线宽、缺陷检测、电阻率、离子注入浓度	晶圆加工环节	主要是光学检测	科磊、日立高新、应用材料	逻辑芯片企业、存储芯片企业以及代工厂
半导体测试	DC/AC参数测试、功能测试	设计环节；晶圆加工完成后、封装完成后（CP与FT）	主要是电参数检测	泰瑞达、爱德万、科利登（Xcerra）	设计企业、封测企业

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

半导体测试：设计验证、CP测试、FT测试均归在这一类，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。通常所讲的后道测试仅指FT测试，即封装完成后的芯片级测试，但事实上，CP测试与FT测试设备通常是一样的，使用相同的测试平台。这一领域的测试设备企业主要是泰瑞达与爱德万，在测试机领域，两者合计市场份额可以达到90%。他们的客户主要是封测企业以及设计企业。这其中封测企业与设计企业对设备的选择将会形成相互影响。通常所说的测试设备，指的便是设计验证、CP测试、FT测试所只用的检测设备，而前道的过程工艺控制往往要与制程工艺相结合，归类通常放在前道晶圆加工设备中。

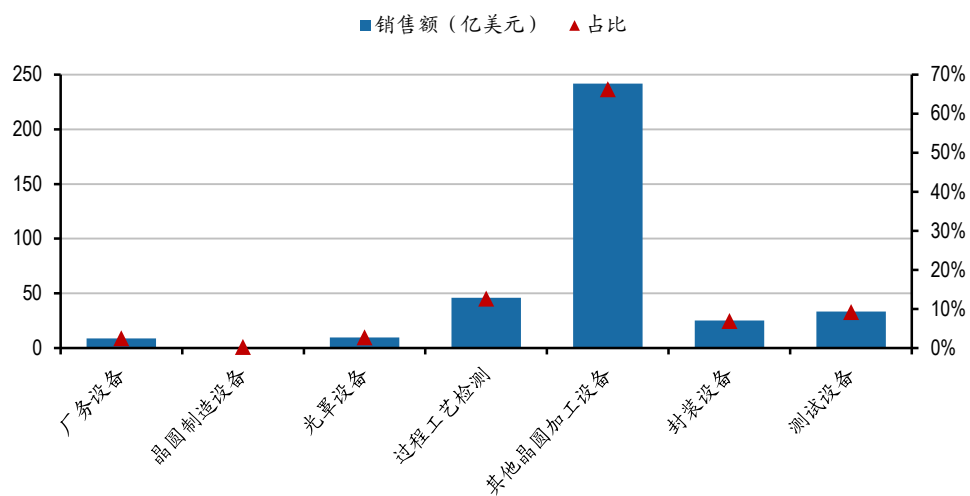
表2：IC产品的不同电学测试（从设计阶段到封装的IC）

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

工艺过程控制与半导体测试各占半壁江山。根据Gartner数据，2015年全球半导体设备市场为365亿美元，其中过程工艺控制检测市场为46亿美元、半导体测试设备市场为33亿美元，两者合计占总设备市场的21.6%。

图5：2015年各类半导体设备销售额及占总设备市场的比例



数据来源：Gartner，广发证券发展研究中心

过程工艺控制：高效生产的保障，产业环境平稳健康

过程工艺控制：倾向于解决方案，协助芯片制造商提升生产效益

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。

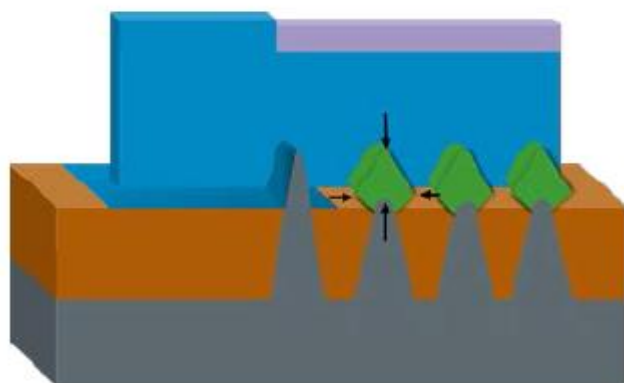
表3：硅片制造生产区的质量测量

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

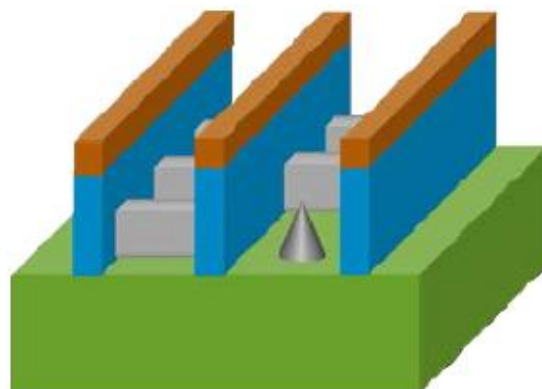
数据来源：《半导体制造技术》，Michael Quirk，电子工业出版社，广发证券发展研究中心

图6: PMOS SiGe关键尺寸测量



数据来源: KLA-Tencor, 广发证券发展研究中心

图7: 鳍图案上颗粒在伪栅极蚀刻后导致鳍尖顶缺陷

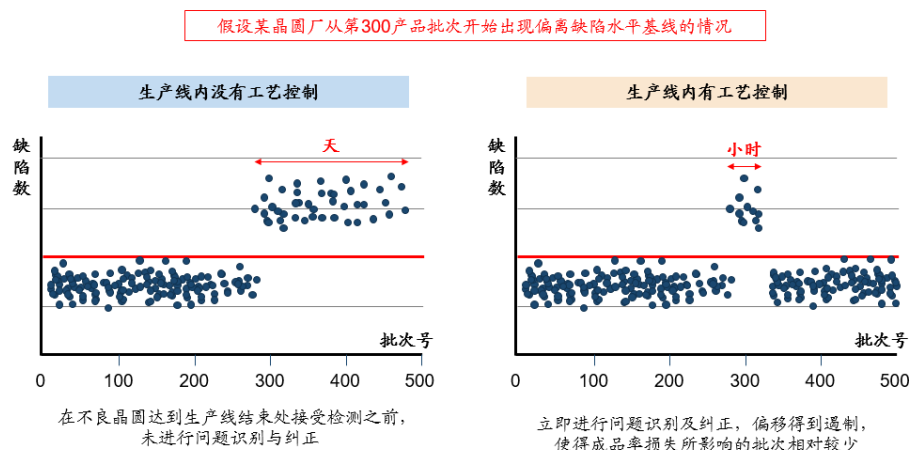


数据来源: KLA-Tencor, 广发证券发展研究中心

在半导体生产中,过程控制被定义为检查(Inspection)、测量(Measurement)与成品率控制(Yield Control)。过程控制中使用的设备包括过程参数管理模块、光刻过程控制设备、成品率分析软件和系统。与其他类型的生产设备相比,过程控制不仅涉及产品规格管理,还涉及相关的咨询服务,因此过程工艺控制更多的是协助芯片制造商提升良率、提升生产效率的解决方案。

要拥有高效率、低成本的晶圆厂,关键在于能够及时地收集到关于公益的有用信息。工艺控制工具(量测与检测)是晶圆厂的眼睛和耳朵,他们能够洞察哪些运作正常而哪些不运作;他们是对“工艺信息”的投资。美国商务部国家标准与技术研究院(NIST)在2007年的文章中预计,仅量测的平均投资回报率就高达300%。

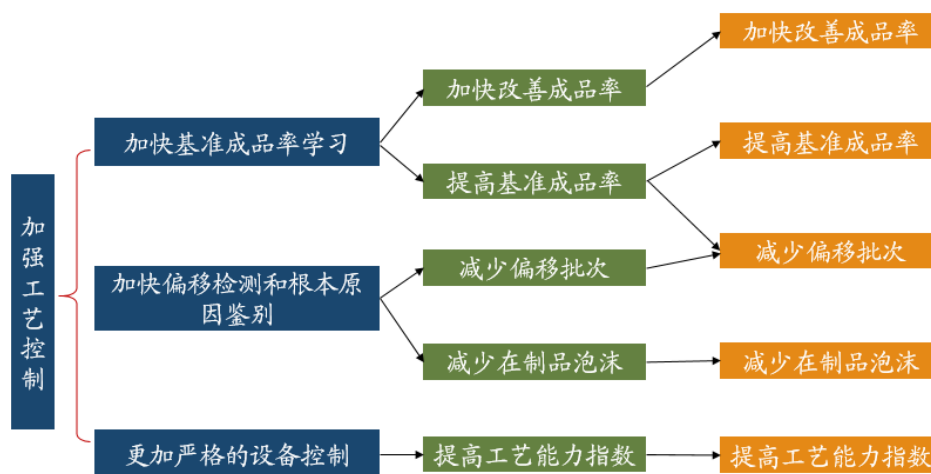
图8: 生产线内出现缺陷问题



数据来源：KLA-Tencor，广发证券发展研究中心

工艺控制实现降低成本、提升工厂效率的几个重要因素包括：（1）降低次品率以及减少与可靠性不合格相关的报废和原材料成本来降低成本；（2）改善成品率可以减少晶圆厂运营在每个合格芯片留下的环境足迹；（3）提高成品率也能提高期间期间可靠性，由于成品率缺陷和可靠性缺陷有着相同来源，因此减少成品率缺陷的来源也具有减少可靠性缺陷的附带好处；（4）从节点好节点的工艺设备再利用，通过工艺控制有助于延长现有工艺设备的使用寿命；（5）改善净周期时间，任何导致晶圆批次不能正常流动的变量都会增加周期时间，而增加检测步骤虽然会增加被筹建批次的周期时间，但总体而言，晶圆厂的总中断时间（可变性）将缩短，且所有批次的周期时间都将得到改善。（资料来源于KLA-Tencor的YMS Magazine）

图9：工艺控制的受益类型

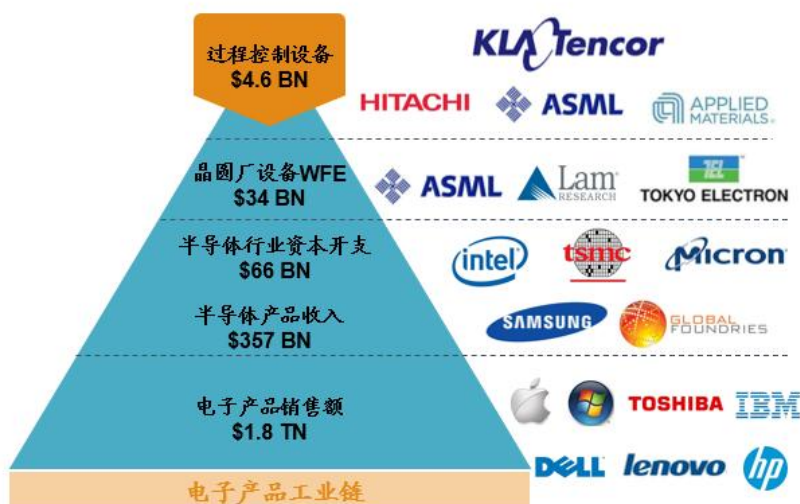


数据来源：KLA-Tencor，广发证券发展研究中心

半导体制造商投资多种新工艺，驱动工艺控制持续发展

工艺控制的需求主要来源于芯片制造商（逻辑芯片、存储芯片）以及代工厂，其需求受下游投资影响。根据Gartner数据，2015年半导体产品收入3570亿美元，而制造商（包括代工厂）整体的资本开支达到660亿美元，占收入的18.5%；资本开支中，超过50%用于设备投资，其中过程控制设备达到46亿美元。对于前段制造工艺中的工艺控制，其对应的客户包括逻辑芯片制造商、存储芯片制造商以及代工厂，包括英特尔、三星、台积电、Global Foundries等等。

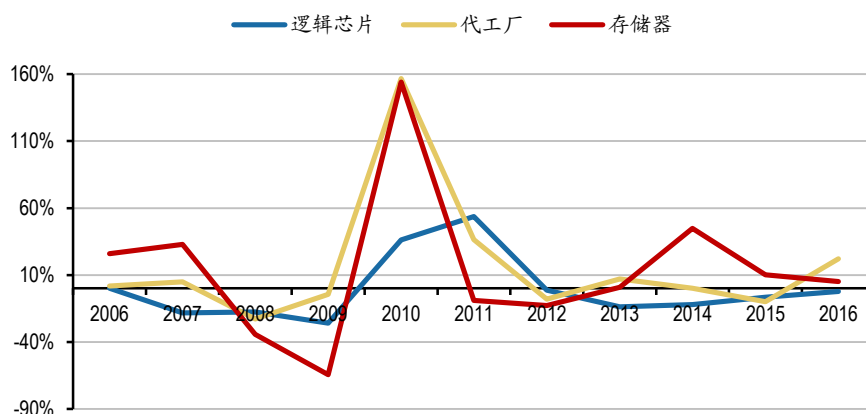
图10：电子产品工业链



数据来源：KLA-Tencor，广发证券发展研究中心

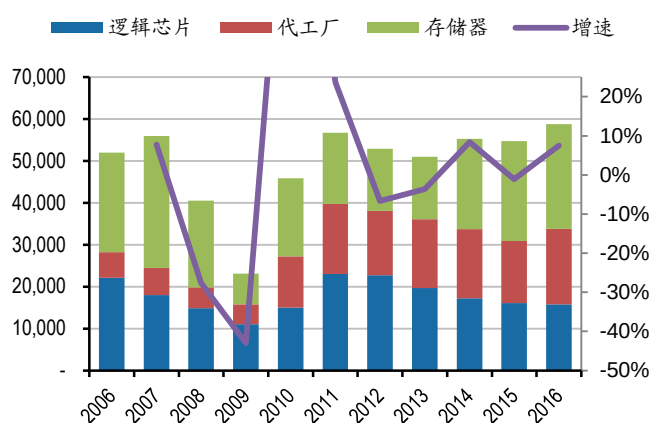
从下游资本开支看，2011-2016年全球半导体行业总资本开支呈现小幅波动的状态，但主体投资结构表现了明显的波动。其中，逻辑芯片投资占比持续下滑，而存储器芯片投资在近几年有明显的恢复性提升。逻辑芯片资本开支从2011年的230亿美元持续下滑至157亿美元；而存储芯片投资与代工厂投资表现了较大的波动，其中存储芯片投资在2007年达到顶点，当年存储器资本开支达到315亿美元，到2009年锐减到73亿美元，仅占顶点的23.2%。随着移动设备的发展，存储芯片投资开始恢复增长，2016年存储芯片行业资本开支达到250亿美元，同比增长51%，2017年预计增长15%左右；这其中NAND贡献了高增速，2015-2016年NAND资本开支分别同比增长35.9%、32.1%。

图11: 半导体行业资本开支增速



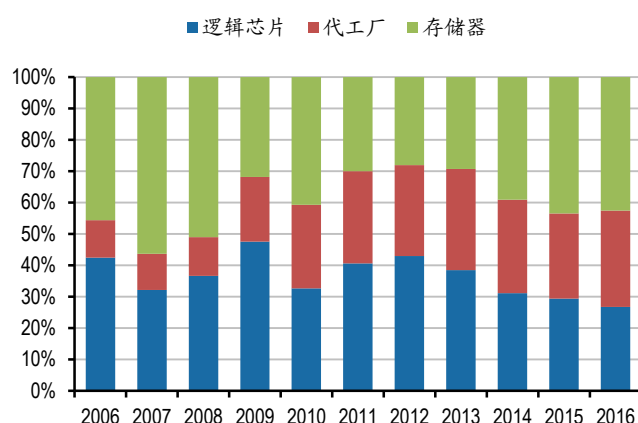
数据来源: Bloomberg, 广发证券发展研究中心

图12: 半导体行业资本开支 (亿美元)



数据来源: Bloomberg, 广发证券发展研究中心

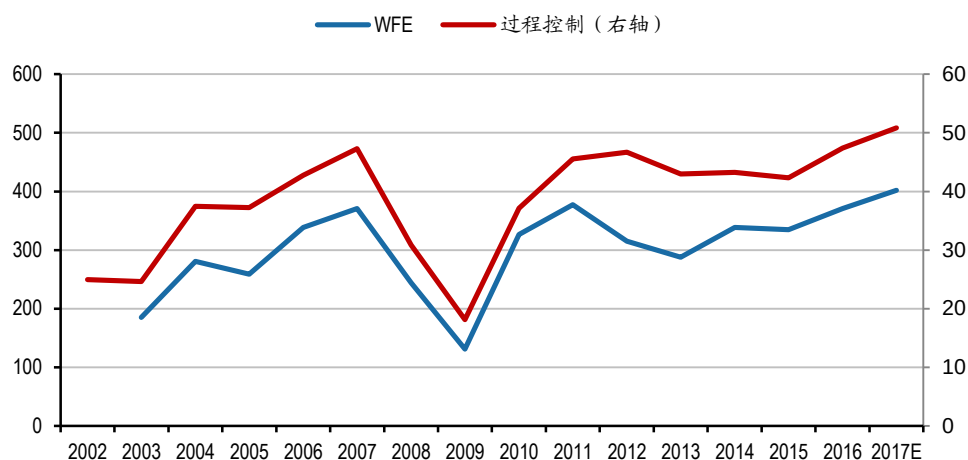
图13: 半导体行业资本开支结构



数据来源: Bloomberg, 广发证券发展研究中心

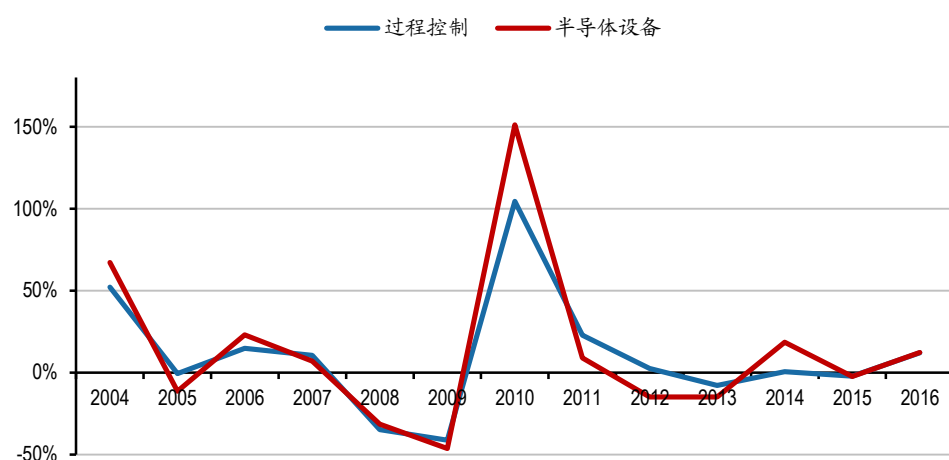
工艺控制投资周期波动较弱于半导体整体投资波动。整体来看, 过程控制设备的趋势与晶圆厂设备(WFE)趋势具备很高的一致性, 2015-2016年过程控制设备占WFE的比重稳定在11.6%; 但由于封测厂投资在近十多年里有更强的波动, 因而整体上过程控制设备的投资波动较弱于半导体设备整体投资。

图14: 过程控制设备与WFE的市场规模 (亿美元)



数据来源: Gartner, 广发证券发展研究中心

图15: 过程控制与半导体设备市场增速



数据来源: Gartner, 广发证券发展研究中心

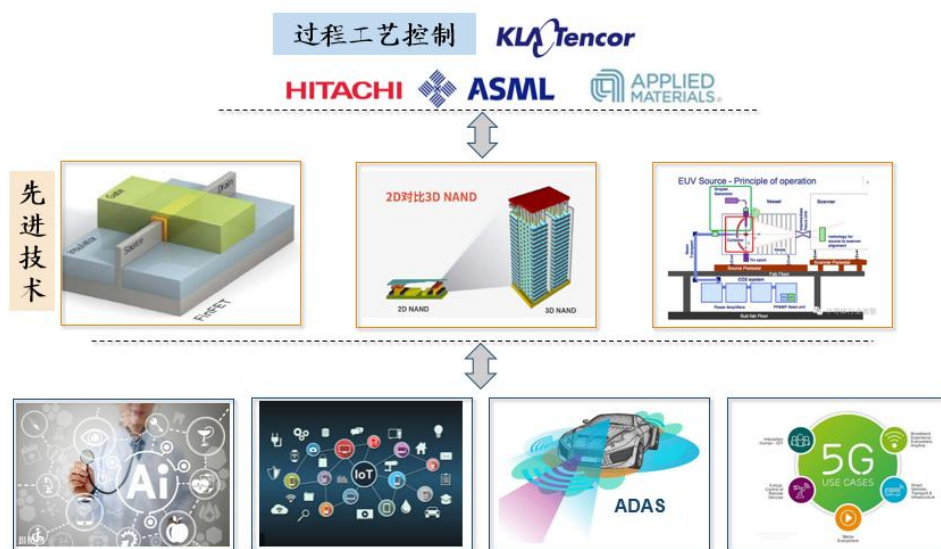
半导体制造商新工艺投资, 驱动工艺控制需求持续发展。现代半导体制造业的关键目标是加速产量增长并最大限度提高高性能器件的产量。在竞争对手之前大批量生产可以显著提高IC制造商特定产品的收入。在过去的行业周期中, 半导体制造商通常会采用一些关键的新技术或市场趋势, 例如特定的设计规则缩小。在当今市场, 受消费者对低成本电子产品需求的驱动, 领先的半导体制造商正投资于集成的多种新工艺技术, 其中可能需要新的基板和薄膜材料, 新的几何结构, 先进的多重图案化和EUV光刻技术, 以及先进的包装技术。尽管这些技术中的许多技术已被采纳并被应用在芯片制造的试生产阶段, 但与每种技术相关的重大挑战和风险都影响了这

些技术在量产中的采用。例如，随着设计规则的减少，产量对缺陷的尺寸和密度变得更加敏感，器件性能特性（即速度，容量或功率管理）对线宽和膜厚变化等参数变得更为敏感。诸如科磊等工艺过程控制商通过开发帮助芯片制造商加速将这些新技术应用于批量生产的新型工艺控制和良率管理工具，提升其投资回报率，帮助芯片制造商在进行量产时，确保产量稳定。

半导体行业正在受到多种驱动因素推动：（1）人工智能应用领域；（2）关键尺寸不断减小；（3）EUV光刻工艺和设备的认证正推动领先的逻辑/代工厂和动态随机存取存储器（“DRAM”）制造商的发展；（4）物联网（“IoT”）的扩张以及随着高级驾驶辅助系统（“ADAS”）日益被接受，预期引入自动驾驶汽车已开始加速传统节点技术转换和容量扩展；（5）数据存储和连接需求推动内存芯片需求的增长。

半导体行业引进多种技术以支持细分市场的增长：三维finFET晶体管；三维闪存（“3D NAND”）；设计技术协同优化（“DTCO”）；先进的图案光刻，包括自对准多重图案化和极紫外（“EUV”）光刻；和先进的晶圆级封装。而过程工艺控制则是帮助客户开发和制造先进半导体器件以支持这些趋势发展。

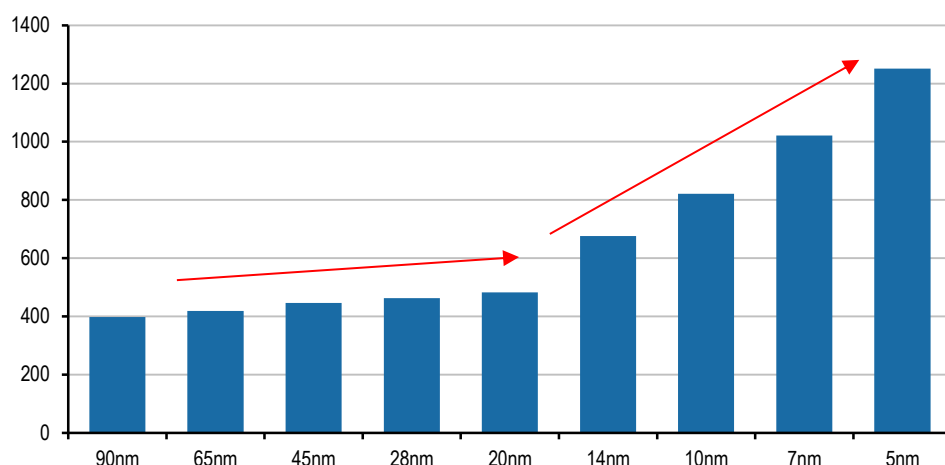
图16：过程控制与先进技术的相互促进



数据来源：： KLA-Tencor，广发证券发展研究中心

关键技术的引入将推动精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17：不同设计规则对应的工艺步骤数量

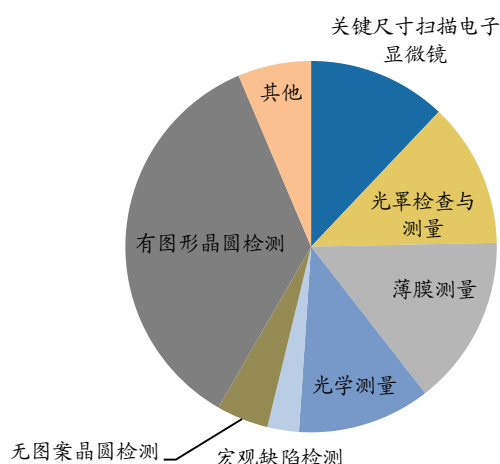


数据来源：KLA-Tencor，广发证券发展研究中心

细分市场多由寡头垄断，构筑高毛利

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，而日立在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。

图18：2012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

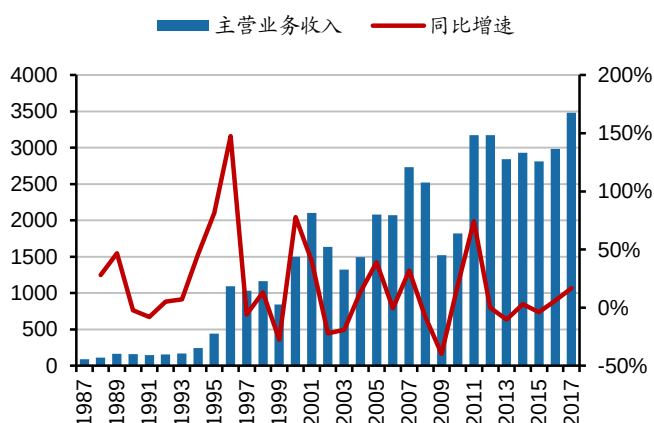
图19: 主要工艺控制检测设备商

关键尺寸测量	光罩检测	薄膜测量	无图案晶圆检测	有图案晶圆检测
日立高新	科磊KLA-Tencor	科磊KLA-Tencor	科磊KLA-Tencor	科磊KLA-Tencor
应用材料	Lasertec	Nanometrics	日立高新	应用材料
	应用材料	NVMI	Lasertec	汉民微测
	Carl Zeiss	Rudolph	Topcon	Toray Engineering
		Semilab		日立高新

数据来源: Gartner, 广发证券发展研究中心

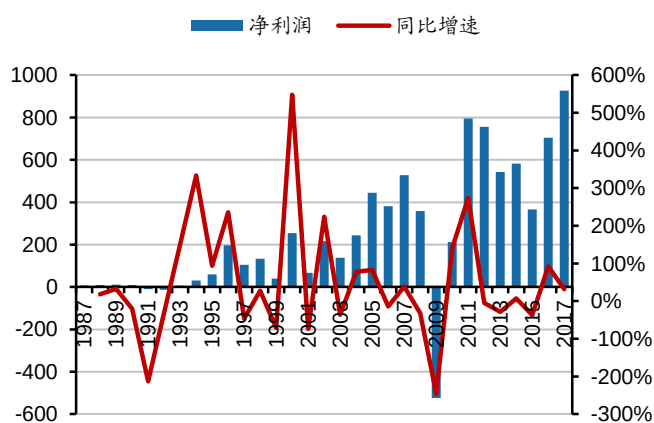
KLA-Tencor 公司成立于1976年, 总部位于美国加州硅谷, 是全球工艺控管与良率管理解决方案的业界领跑者, 与世界各地的客户合作开发尖端的检测和量测技术, 并且将这些技术致力于半导体, LED及其他相关纳米电子产业。公司主要产品市场包括硅晶圆缺陷检测、硅晶圆测量、蚀刻光罩检测、LED与应用开发。2017财年公司营收规模高达34.8亿美元, 同比增长16.6%, 创历史新高。根据VLSI RESEARCH公布的全球半导体销售额前十名, 公司常年跻身榜单, 并位列第五。从盈利能力来看, 公司毛利率自1987年以来呈稳步增长态势, 2017财年毛利率已高达63%。此外, 公司近年来净利率水平也有所提高, 2017财年达到27%。

图20: KLA-Tencor营业收入 (百万美元)



数据来源: Bloomberg, 广发证券发展研究中心

图21: KLA-Tencor净利润 (百万美元)

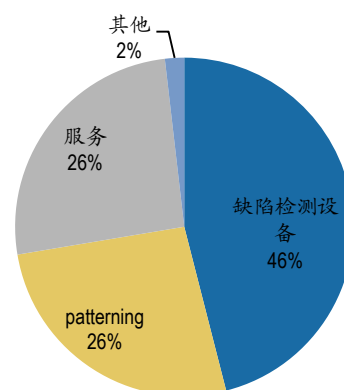


数据来源: Bloomberg, 广发证券发展研究中心

图22: KLA-Tencor营业收入(百万美元)



图23: 2017财年KLA-Tencor收入结构

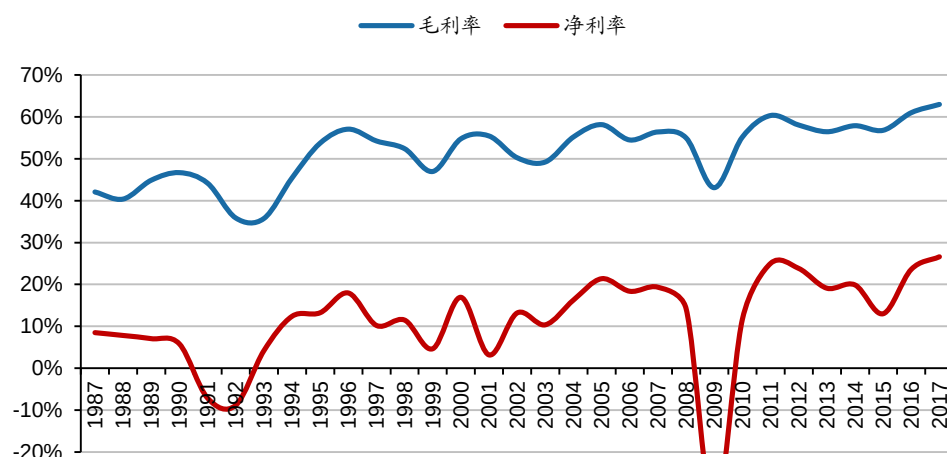


数据来源: Bloomberg, 广发证券发展研究中心

数据来源: Bloomberg, 广发证券发展研究中心

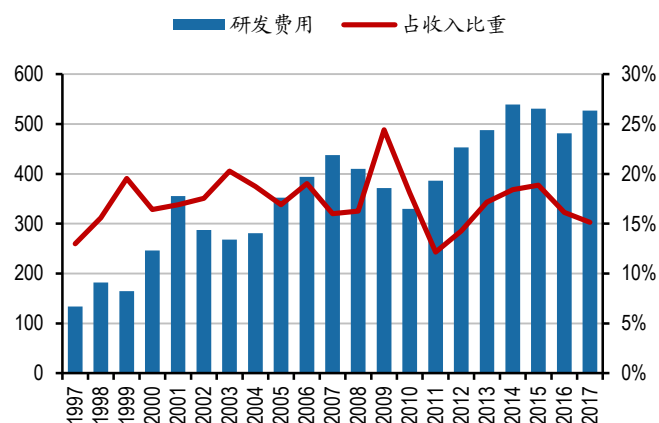
对于工艺控制设备上来说,企业利润不仅取决于收入水平,还取决于为满足客户技术路线所需的研发支出。设备商需要保持产量与产能来满足预期的客户需求,但如果业务状况恶化,将会面临与库存相关的风险。另外,可能存在客户在收货过程中的延迟或推迟,从而导致盈利波动。总体来看,由于科磊提供的检测与量测设备毛利较高,同时还提供软件和服务,因而其业务整体毛利率明显高于大多数的半导体设备上;由于当年交货量提升,同时良好的产品服务组合,2017年科磊毛利率提升2个百分点至63%、净利率提升3个百分点至27%。

图24: KLA-Tencor毛利率与净利率



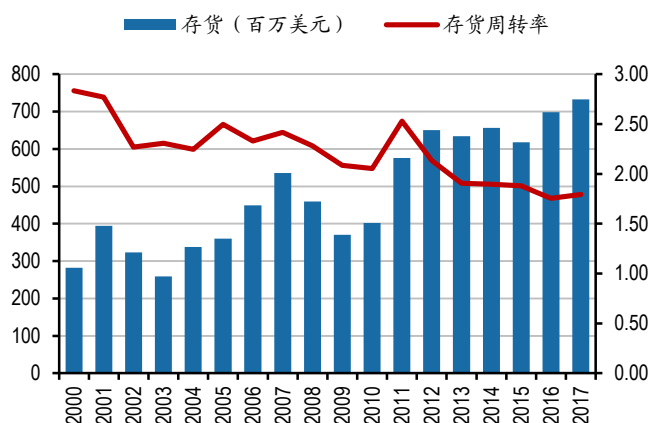
数据来源: Bloomberg, 广发证券发展研究中心

图25: KLA-Tencor研发费用 (百万美元)



数据来源: Bloomberg, 广发证券发展研究中心

图26: KLA-Tencor存货 (百万美元)



数据来源: Bloomberg, 广发证券发展研究中心

半导体测试：测试需求不断推进，份额向龙头聚拢

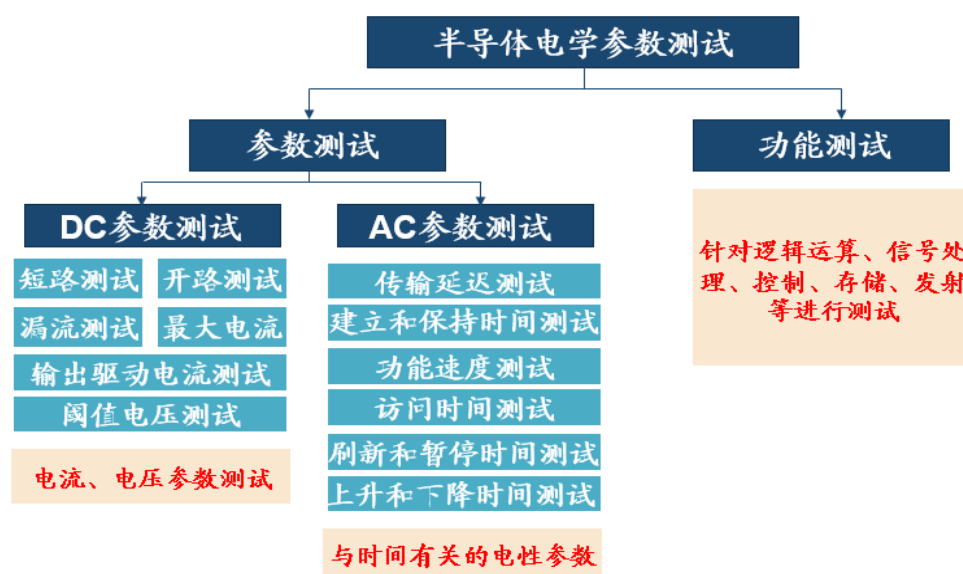
从设计验证到生产测试，侧重有所不同

按测试内容分类。半导体测试就是通过测量半导体的输出响应和预期输出并进行比较以确定或评估集成电路功能和性能的过程，其测试内容主要为电学参数测试。一般来说，每个芯片都要经过两类测试：

（1）参数测试。参数测试是确定芯片管脚是否符合各种上升和下降时间、建立和保持时间、高低电压阈值和高低电流规范，包括DC（Direct Current）参数测试与AC（Alternating Current）参数测试。DC参数测试包括短路测试、开路测试、最大电流测试等。AC参数测试包括传输延迟测试、建立和保持时间测试、功能速度测试等。这些测试通常都是与工艺相关的。CMOS输出电压测量不需要负载，而TTL器件则需要电流负载。

（2）功能测试。功能测试决定芯片的内部数字逻辑和模拟子系统的行为是否符合期望。这些测试由输入适量和相应的响应构成。他们通过测试芯片内部节点来检查一个验证过的设计是否正产工作。功能测试对逻辑电路的典型故障有很高的覆盖率。

图27：按测试内容分类的半导体测试类型



数据来源：长川科技招股书，广发证券发展研究中心

测试成本与测试时间成正比，而测试时间取决于测试行为，包括低速的参数测试和高速的矢量测试（功能测试）。其中参数测试的时间与管脚的数目成比例，适量测试的时间依赖于矢量的数目和时钟频率。测试的成本主要是功能测试。

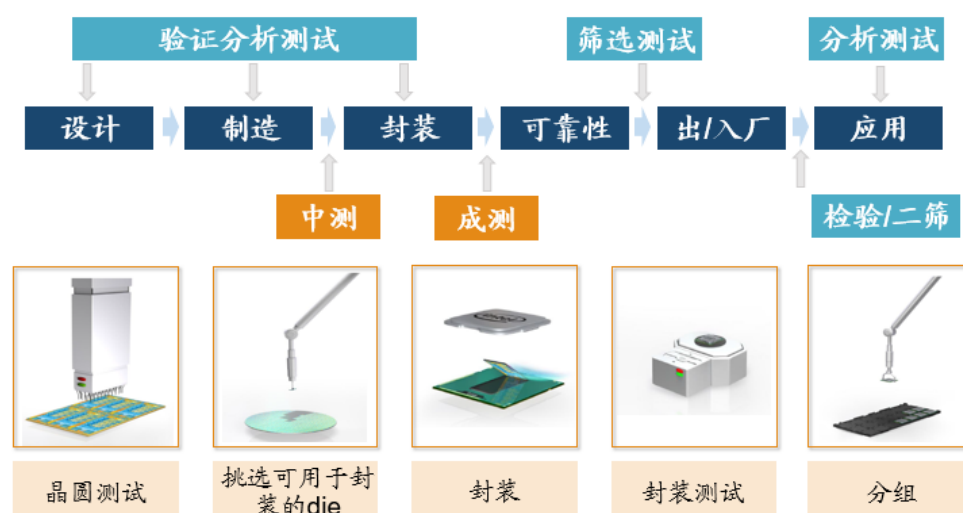
按生产流程分类。半导体测试可以按生产流程可以分为三类：验证测试、晶圆测试、封装检测。

（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：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：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28：测试在集成电路全过程中的应用

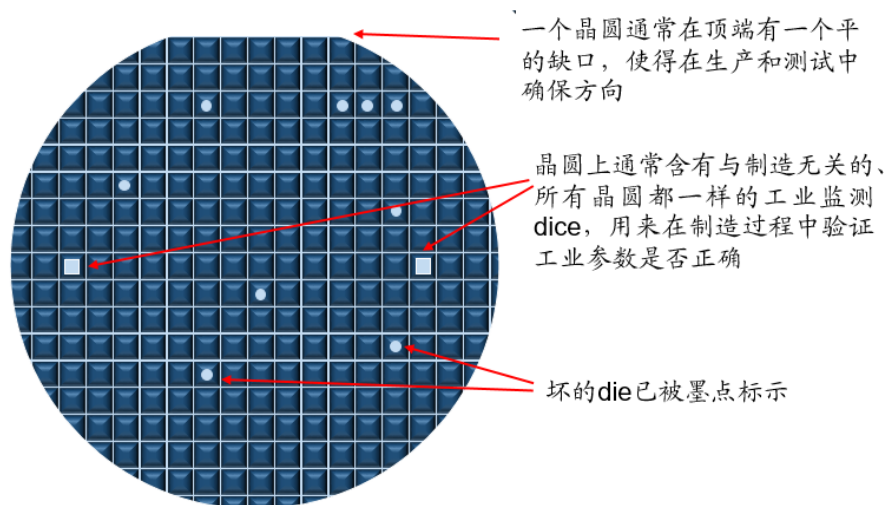


数据来源：Intel，广发证券发展研究中心

晶圆测试又称前道测试、“Circuit porbing”（即CP测试）、“Wafer porbing”或者“Die sort”。晶圆测试大致分为两个步骤：1）单晶硅棒经标准制程制作的晶圆，在芯片之间的划片道上会有预设的测试结构图，在首层金属刻蚀完成后，对测试结构图进行晶圆可靠性参数测试（WAT）来监控晶圆制作工艺是否稳定，对不合格的芯片进行墨点标记，得到芯片和微电子测试结构的统计量；2）晶圆制作完成后，针对制作工艺合格的晶圆再进行CP测试（Circuit Probing），通过完成晶圆上芯片的电参数测试，反馈芯片设计环节的信息。完成晶圆测试后，合格产品才会进入切片

和封装步骤。

图29：经过测试和墨点标示的晶圆示意图



数据来源：《The Fundamentals of Digital Semiconductor Testing》，Guy A. Perry，Soft Test Inc，广发证券发展研究中心

封装测试：在一个Die封装之后，需要经过生产流程中的再次测试。这次测试称为“Final test”（即通常说的FT测试）或“Package test”、成品测试。在电路的特性要求界限方面，FT测试通常执行比CP测试更为严格的标准。芯片也许会在多组温度条件下进行多次测试以确保那些对温度敏感的特征参数。商业用途（民品）芯片通常会经过0℃、25℃和75℃条件下的测试，而军事用途（军品）芯片则需要经过-55℃、25℃和125℃。

不同测试环节的测试参数和应用场景稍有区别。晶圆测试的对象是未划片的整个晶圆，属于在前道工序中对半成品的测试，目的是监控前道工艺良率，并降低后道封装成本。而成品测试是对完成封装的集成电路产品进行最后的质量检测，主要是针对芯片应用方面的测试，有些甚至是待机测试，以保证出厂产品的合格率。CP测试与成品测试的测试参数大体是相似的，但由于探针的容许电流有限，CP测试通常不能进行大电流测试项。此外，CP测试的常见室温为25℃左右，而成品测试有时需要在75-90℃的温度下进行。

表4：CP测试与FT测试对比

测试名称	测试对象	测试内容	测试范围	测试环境	测试目的
设计验证	晶圆级/芯片级	在芯片设计阶段进行测试，调试和检验芯片样品的功能设计是否符合要求			
WAT(Wafer Acceptance Test)	晶圆级 wafer level	管芯或结构测试	对专门的测试图形（test key）的测试		通过电参数监控各步工艺是否正常和稳定

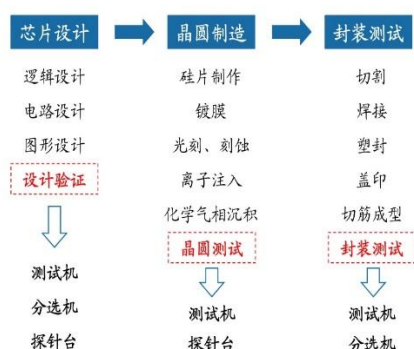
CP(Chip Probing)	晶圆级 wafer level	电路测试含功能	每个芯片都要测试	测试机电的电压和功率不会很高	监控前道工艺良率,降低后道成本
FT(Final Test)	芯片级 device level	电路测试含功能	与CP测试类似,或更全面	要求更严格,测试环境更严苛	保证出厂产品的合格率,能实现全部的功能

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

三类主要设备: 测试机、分选机与探针台

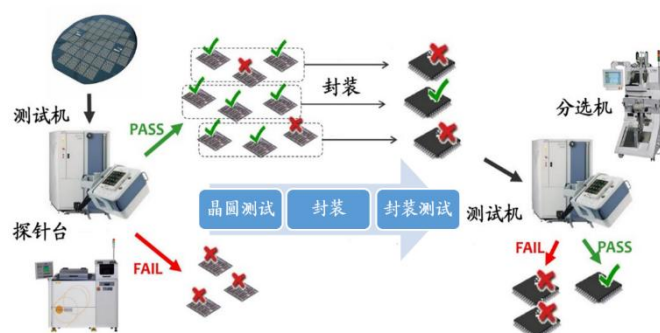
半导体测试设备主要包括探针台、分选机、测试机等。其中测试功能由测试机实现,而探针台和分选机实现的则是机械功能,将被测晶圆/芯片拣选至测试机进行检测。探针台和分选机的主要区别在于,探针台针对的是晶圆级检测,而分选机则是针对封装的芯片级检测。

图30: 半导体产业链及测试设备的应用



数据来源: 长川科技招股说明书, 广发证券发展研究中心

图31: 晶圆测试和封装测试工作流程示意图



数据来源: 长川科技招股说明书, 广发证券发展研究中心

测试机是检测芯片参数和功能的专用设备。通过对芯片施加输入信号,采集被检测芯片的输出信号与预期值进行比较,判断芯片在不同工作条件下参数和功能的有效性。伴随芯片进入批量化生产阶段,自动测试设备(ATE)已成为半导体测试的必然趋势。国际著名测试机厂商包括爱德万(Advantest)、泰瑞达(Teradyne)、科利登(Xcerra)等。

测试机经过了近60年的发展,从上世纪60年代的针对简单器件的低管脚数、低速测试系统逐步发展到适用于大规模、超大规模IC的高速测试系统。近入21世纪,随着SoC产品得到广泛应用,爱德万T2000、V93000以及泰瑞达UltraFLEX系列的SoC测试系统代表了目前的高端测试机产品,根据爱德万公司官网,V93000测试机于2017年6月完成全球5000套的出货量。

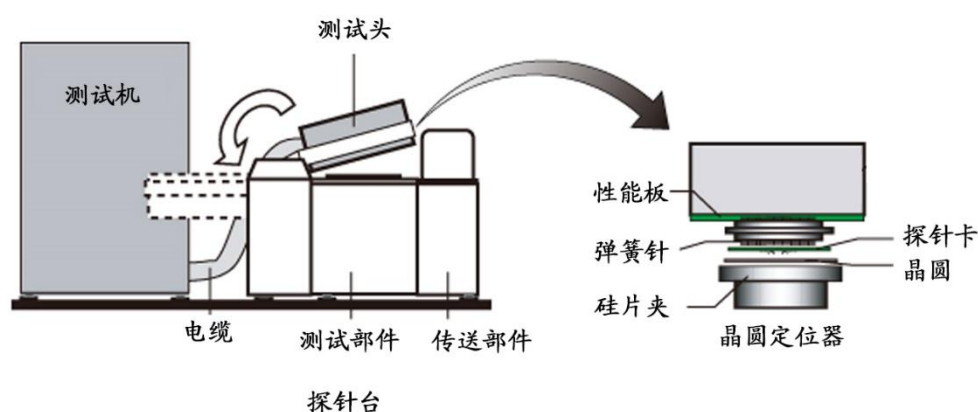
表5: 测试机的发展历程

年代	测试对象	测试速度	可测管脚数	代表机型
60 年代	简单模拟 IC	≤ 10MHz	≤ 64	仙童 5000C
70 年代	中小规模 IC	≤ 40MHz	≤ 256	爱德万 TR4100
80-90 年代	LSI/VLSI	≤ 500MHz	256-1024	爱德万 T-3330 泰瑞达 A500
21 世纪	SoC/MEMS 等	0.5-1GHz	1024	爱德万 T2000 泰瑞达 UltraFLEX

数据来源: 爱德万、泰瑞达公司官网, 广发证券发展研究中心

探针台和测试机是晶圆测试环节的核心设备。探针台的主要作用是将晶圆和测试机相连接, 具体过程为: 探针台将晶圆逐片自动传送至测试位置, 芯片的Pad点通过探针、专用连接线与测试机的功能模块进行连接。测试机对芯片施加输入信号、采集输出信号, 并将测试结果通过传送给探针台, 探针台据此对芯片进行打点标记, 形成晶圆的Map图。另外, 探针卡作为重要的耗材, 是将晶圆和DUT板相连接的测试接口, 通过探针与晶圆上每个裸片的触点相连, 完成与测试机的信号传输。

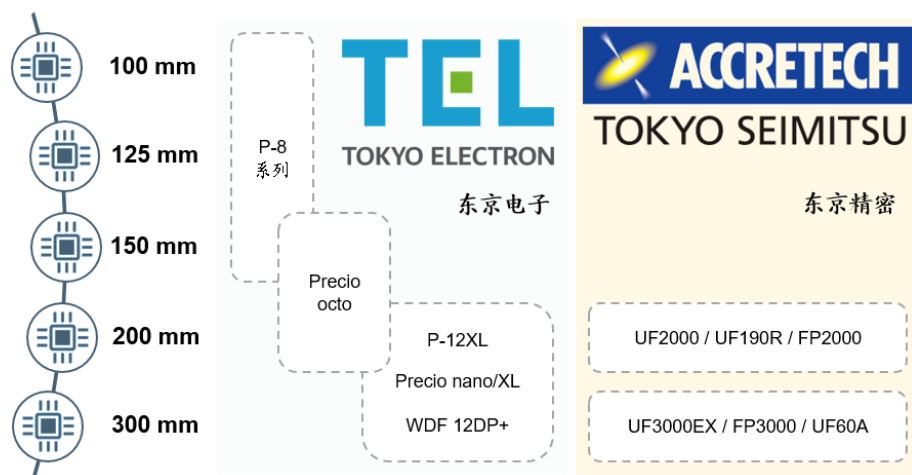
图32: 晶圆检测中的探针台和测试机工作示意图



数据来源: MJC公司官网, 广发证券发展研究中心

探针台要求的精确定位程度非常高, 因而具备比分选机更高的壁垒。探针台可以应用在芯片设计环节、晶圆加工过程的检测以及加工完成后的CP检测环节。全球探针台的市场规模大约在5亿美元 (数据来源Gartner), 占总检测设备的6%左右。全球探针台市场主要由东京精密与东京电子两家日本企业占据, 两者的市场份额可以达到80%以上。

图33: 东京电子与东京精密的探针台产品布局



数据来源: TEL, SEIMITSU, 广发证券发展研究中心

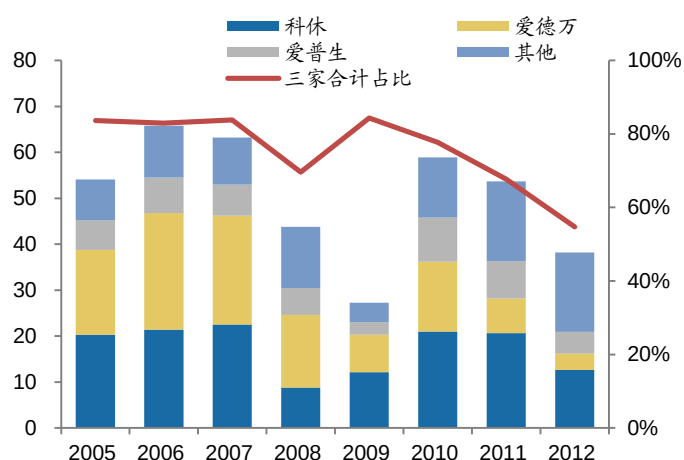
封装测试环节的核心设备为测试机和分选机。分选机主要承担机械方面的任务，包括产品的测试接触、拣选和传送等。分选机把待测芯片逐个自动传送至测试工位，芯片引脚通过测试工位上的金手指、专用连接线与测试机的功能模块进行连接，测试机对芯片施加输入信号并采集输出信号，完成封装测试。测试结果通过通信接口传送给分选机，分选机据此对被测试集成电路进行标记、分选、收料或编带。集成电路产品的封装类别多样化，使得分选机设备生产商需要持续改进机械结构和精度，并提高其兼容性，以满足对不同封装尺寸和外形的需求。在分选机市场，科休、爱德万和爱普生三家公司的市场份额大约在60~70%左右。

图34 分选机常见的三种结构类型



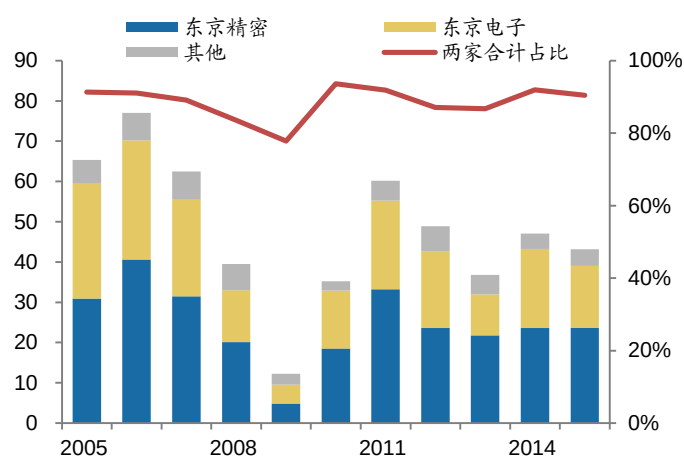
数据来源: Cohu公司官网, 广发证券发展研究中心

图35: 全球分选机市场规模 (亿美元)



数据来源: Gartner, 广发证券发展研究中心

图36: 全球探针台市场规模 (亿美元)

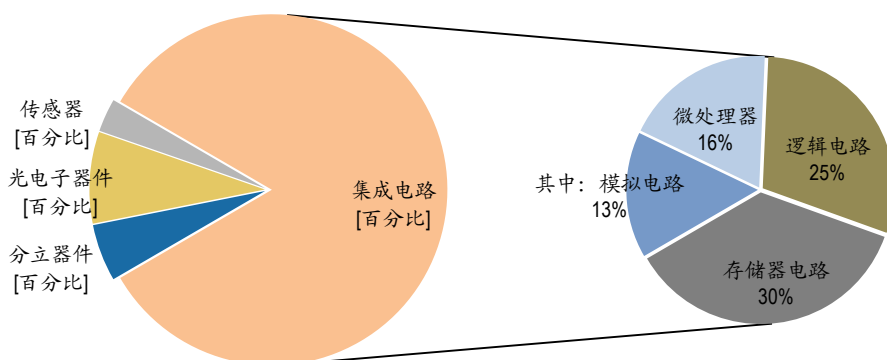


数据来源: Gartner, 广发证券发展研究中心

SOC 测试趋势持续向上, 存储器测试迎来复苏

针对不同电路的测试类型。随着半导体科技的不断发展和进步,集成电路的集成度越来越高,集成电路设计单位已经把越来越复杂的功能集成到同一个芯片上,例如集成电路内部可嵌入数字信号处理器、AD/DA、存储单元、接口电路等多种功能模块。同时,电子系统选用器件的种类划分也更为细化: 从原来单纯的数字和模拟信号器件,演变到现在的纯模拟、数字信号(含高速数字)、混合信号、和存储器四大类器件。而测试系统则大多是面向这些专门类型的集成电路, 每种类型下还可以细分成更多种类。

图37: 2017年全球半导体产品销售额结构



数据来源: WSTS, 广发证券发展研究中心

根据WSTS的统计数据, 2017年世界半导体市场规模4,087亿美元, 同比增长20.6%; 其中集成电路市场规模3,402亿美元, 同比增长22.9%, 占全球半导体市场的83.2%, 是半导体产业的核心部分, 因此常以半导体代指集成电路。集成电路产品又可分为模拟器件 (Analog)、微处理器 (Micro)、逻辑器件 (Logic) 和存储器 (Memory) 四类, 2017年的这四类集成电路产品销售占比分别为12.9%、15.5%、24.8%和30.1%。

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。

逻辑芯片功能测试用于保证被测器件能够正确完成其预期的功能。为了达到这个目的, 必须先创建测试向量或者真值表, 才能进行检测代测器件的错误。一个真值表检测错误的能力有一个统一的标准, 被称作故障覆盖率。测试向量与测试时序结合在一起组成了逻辑功能测试的核心。

图38: 泰瑞达部分半导体测试设备产品



数据来源: 泰瑞达, 广发证券发展研究中心

跟随半导体产品不断推进的测试需求。测试仪的价格相对昂贵, 通常为数百万元, 针对不同测试对象而频繁更换测试仪将带来巨大的资本开支。因此, 目前的高端测试仪已经由自动测试设备向开放式测试平台方向发展, 基于开放式系统 (如OpenStar2000等), 通过搭建自定义的PXI模块, 以适应日益增多的待测参数需求, 增强了测试仪的灵活性和兼容性。

由于元器件设计和生产工艺的不断进步, 器件性能迅速提升, 产品生命周期越来越

短，相应的测试设备也必须及时升级换代，近年来国内集成电路测试需求主要包括：1）模拟信号测试强调大功率、高精度、覆盖关键交流参数；2）数字信号测试从低速向高速跨越式发展，测试通道数倍增；3）混合信号测试从模拟信号测试中逐渐剥离，追求高速、高带宽、高采样率，射频（RF）测试的需求日渐增长；4）存储器测试产品更新换代较快，需要独立的测试平台。

表6：十二五后集成电路测试平台需求趋势

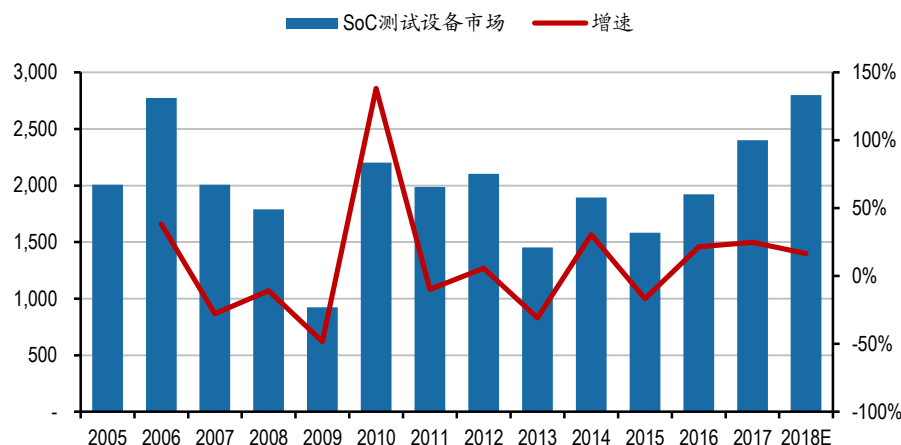
测试类型	器件种类	配置要求	测试平台	设备厂商
纯模拟信号	开关/电源/运放/比较器/功率器件	电压范围：±1000V	V93000	爱德万
		电流范围：±100A		
		TMU 分辨率：≤0.1nS	ASL1000	科利登
		覆盖信噪比等交流参数		
高速数字	处理器 逻辑电路	数字频率≥400MHz		
		向量深度：32~64M	V93000	爱德万
		测试通道：512~1024CH		
混合信号	SoC	数字频率≥200MHz	V93000	爱德万
		模拟带宽≥100MHz		
	AD/DA	采样频率≥200MHz	T2000	爱德万
		采样分辨率≥12bit		
	RF	射频传输速率≥1GHz	UltraFlex	泰瑞达
存储器	SDRAM/DDR	存储容量≥1G		
	Flash	数据速率≥200Mbps	T5813ES	爱德万
	EEPROM	测试通道≥256CH		

数据来源：《集成电路测试平台需求趋势分析》，孙丽军，广发证券发展研究中心

SOC测试占据大部分市场，趋势持续向上。进入新世纪以来，互联网大范围推广。同时，苹果推出智能手机、谷歌推出安卓系统，移动通讯进入爆发期，迅速取代PC成为新的驱动力。不同于台式电脑，人们对智能手机等消费类电子产品提出了轻薄短小、多功能和低功耗等新要求。在20世纪90年代中期诞生的SoC技术满足了人们这一需求，反过来对于消费类电子产品日益增长的需求也促使着SoC芯片产业的发展。而SoC芯片的快速发展也带来了对于SoC测试设备的大量需求，SoC测试设备逐渐成为自动测试设备市场新的增长驱动力。

根据泰瑞达2017年年报，2017年全球半导体测试设备市场为33.5亿美元，其中SCO测试设备达到24亿美元，占总测试设备市场的71.6%，同时预计2018年SOC测试设备需求将增长至28亿美元，同比增长16.7%。

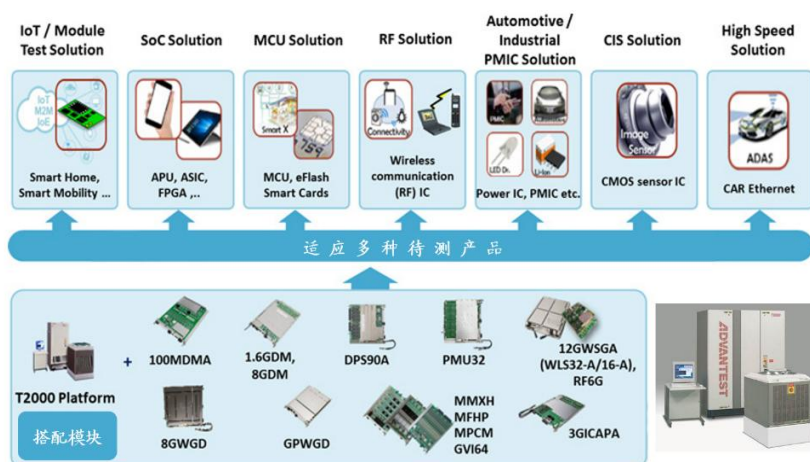
图39: 全球SOC测试设备市场 (百万美元)



数据来源: VLSI reseach, 泰瑞达, 广发证券发展研究中心

SoC芯片可使系统级产品具有高可靠、实时性、高集成、低功耗等优点, 广泛应用于工业控制、航空航天、移动通信、消费类电子、汽车电子、医疗电子设备等领域。与传统芯片不同, SoC芯片集成了微处理器、模拟IP核、数字IP核以及片外存储器控制接口等功能, 其核心技术在于IP核的复用, 这些模块可以是模拟、数字或数模混合类型, 不同模块的频率、电压、测试原理也不同。同时, 高集成度造成测试的数据量和时间成倍增长, 测试功耗也是传统测试项目的2~4倍。因此SoC的复杂性使得传统测试机难以满足需求, 专业的SoC测试机具有强大的并测能力, 通过合理规划调度各个IP核完成并发测试, 有效地降低了测试时间和测试成本。由于产品难以复制, 客户愿意支付更高的溢价购买设备。

图40: 爱德万T2000系列开放式SoC测试系统

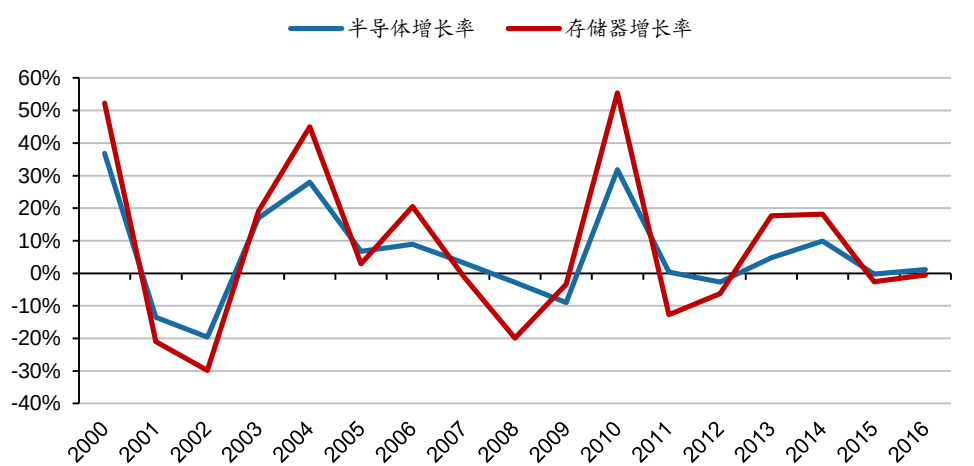


数据来源: 爱德万公司官网, 广发证券发展研究中心

存储器测试迎来复苏。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。相比而言，SoC芯片的应用范围更广泛，且标准化程度低，故SoC测试设备市场波动性更小。

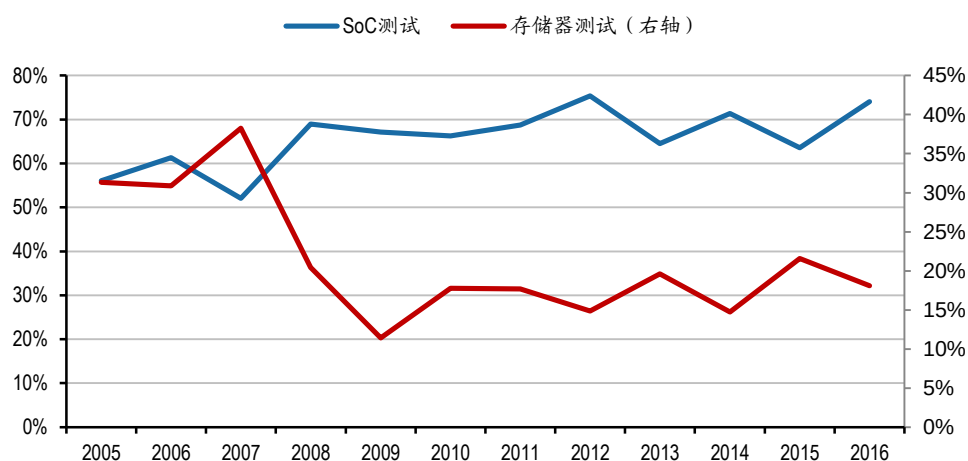
在2007年之前，存储器测试还占据全部半导体自动测试设备市场的30%~40%；在2008年金融危机后，虽然到2010年存储器产品销售额已有良好的恢复，占半导体总市场的比重恢复至2006-2007年水平，但存储器测试设备的市场已经进一步被侵蚀，2009年存储器测试设备比重降至11%左右，此后存储器测试设备基本在17%~22%之间。

图41：存储器和整体半导体产业周期波动对比



数据来源：Wind，广发证券发展研究中心

图42：SOC测试与存储器测试占ATE设备的比重

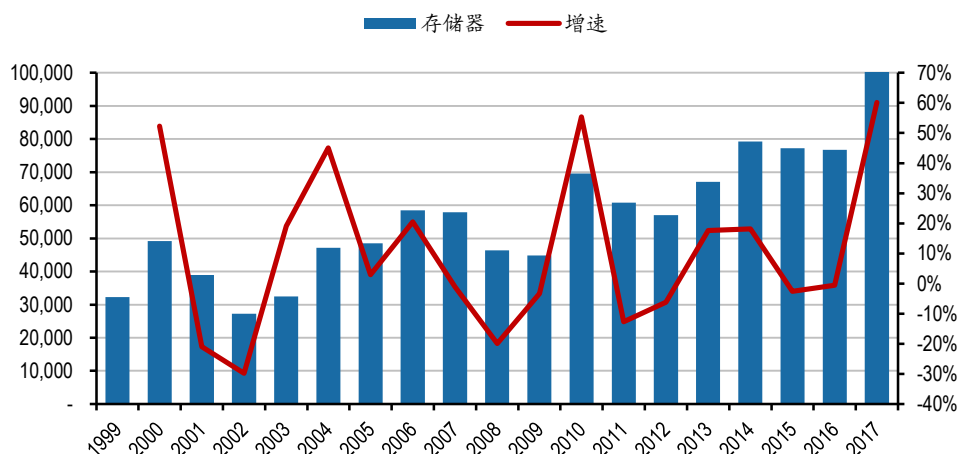


数据来源：VLSI reseach，广发证券发展研究中心

2016年下半年开始，存储器产品迎来量价提升。一方面，全球主流消费电子厂商为

拓展份额纷纷加大布局，智能手机、固态硬盘对存储器需求大增；另一方面，由于各大存储器均处于2D NAND转向3D NAND的重要节点，出货能力有限。2017年存储器销售额达到1229亿美元，同比大幅增长60.1%；占半导体销售额比重升至30.1%，较上年增加7.5个百分点。

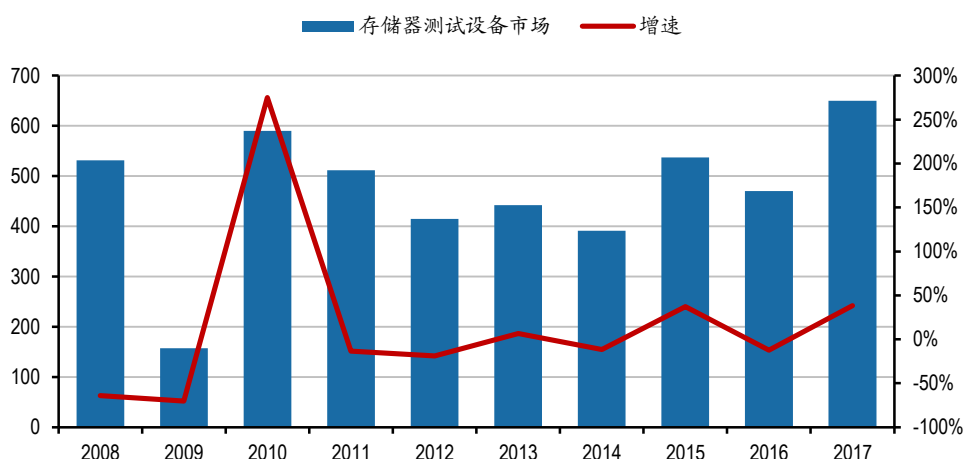
图43：全球存储器销售额（百万美元）



数据来源：SEMI，广发证券发展研究中心

受存储器需求提升影响，存储器测试设备需求迎来复苏。2017年全球存储器测试设备销售额约6.5亿美元，同比增长38.3%，占半导体测试设备比重19.4%。存储器作为IC产业重要应用领域，占据整个半导体20%以上的市场。全球存储器市场基本由三星、海力士、美光等几家国际巨头垄断，目前中国企业目前正在大举进入存储器市场，包括联电主导的福建晋华、合肥的睿力集成以及紫光集团主导的长江存储的存储器投资，也将进一步带动存储器测试设备需求。

图44：全球存储器测试设备市场规模（百万美元）

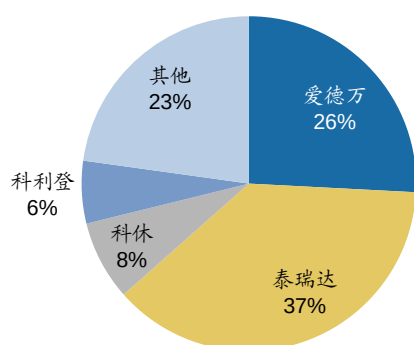


数据来源：VLSI reseach，广发证券发展研究中心

两家巨头引领全球 ATE 市场——泰瑞达与爱德万

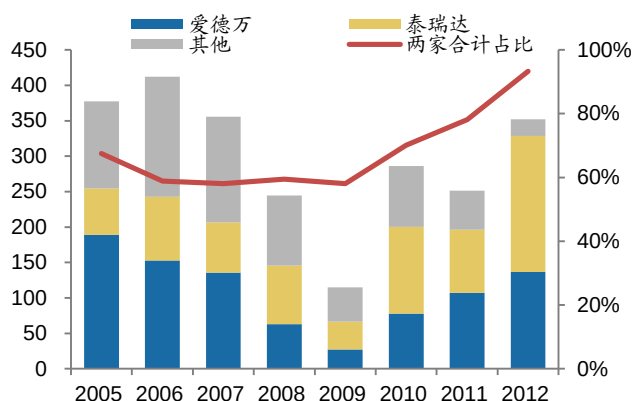
当前美国和日本厂商代表了全球半导体测试设备的前沿制造技术，国际知名测试设备企业日本爱德万（Advantest）、美国泰瑞达（Teradyne）、美国科利登（Xcerra）和美国科休（Cohu）等。据Bloomberg数据，2016年，全球半导体测试设备销售额为36.4亿美元，其中泰瑞达的半导体测试设备营业收入为13.7亿美元，爱德万是9.4亿美元，科休和科利登分别为2.8亿和2.2亿美元的营收规模，四家公司合计占全球半导体测试设备市场总份额的77%。

图45：2016年全球测试设备市场格局



数据来源：Gartner，广发证券发展研究中心

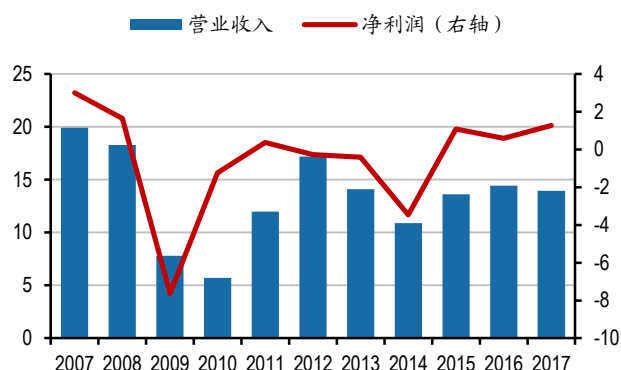
图46：全球半导体测试机市场份额（百万美元）



数据来源：Gartner，广发证券发展研究中心

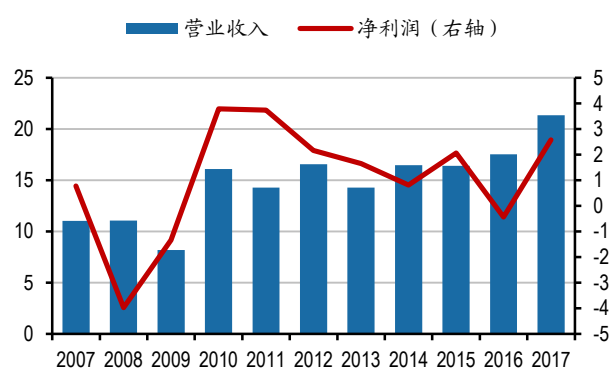
细分市场情况：随着测试技术需求不断提升，全球市场份额愈发向龙头聚集。目前测试机市场有高达90%的市场份额已经被爱德万和泰瑞达占据，其中泰瑞达在SOC测试领域具有较高的优势；而爱德万在存储器测试领域处于领军地位，在SOC测试市场相对于泰瑞达、惠瑞捷属于后进入者，但其SOC测试设备市场份额逐渐稳步上升。根据泰瑞达2017年年报，2017年泰瑞达在ATE市场的份额已经达到50%左右。

图47：爱德万营业收入与净利润（亿美元）



数据来源：Bloomberg，广发证券发展研究中心

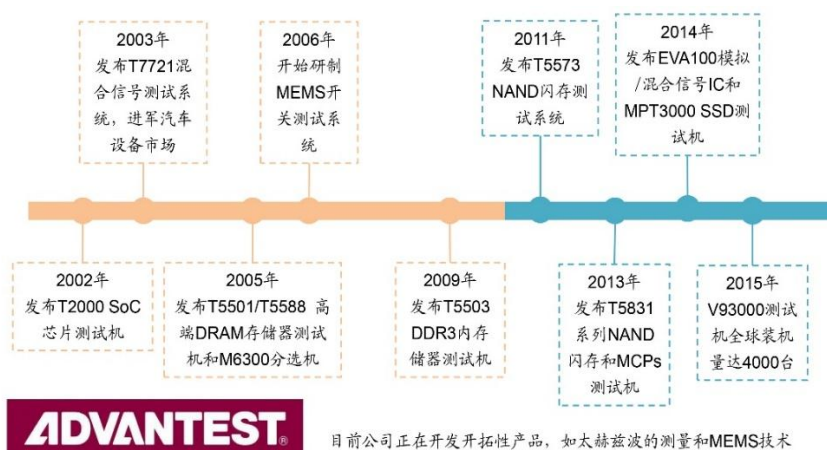
图48：泰瑞达营业收入与净利润（亿美元）



数据来源：Bloomberg，广发证券发展研究中心

打造高端产品，重视研发投入是优秀公司垄断国际市场根本原因。以测试机产品为例，为满足SoC的测试需求，爱德万于2002年推出了T2000开放式构架的SoC测试平台。2011年爱德万公司收购了美国惠瑞捷，在原有产品的基础上更新推出V93000超大规模SoC测试平台。T2000和V93000是国际测试机市场的明星产品，历经10余年的不断开发和革新，目前V93000全球装机量已超5000台。而产品的革新换代，源自于持续的研发投入，爱德万和泰瑞达近年来研发费用占营收的比例维持在15%以上，2014年爱德万研发投入高达30%，注重研发投入是保持竞争力的重要保障。

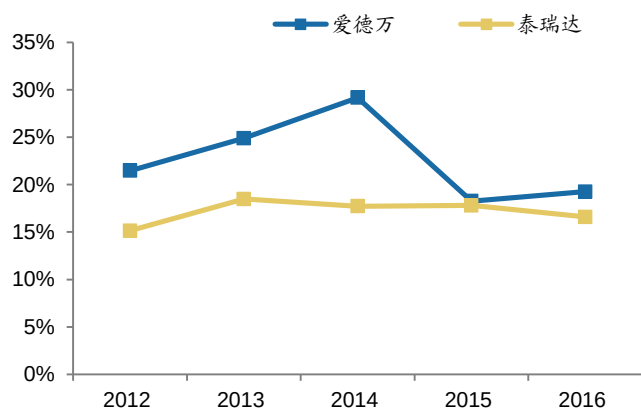
图49：2000年以来爱德万公司的产品革新历程



数据来源：爱德万公司官网，广发证券发展研究中心

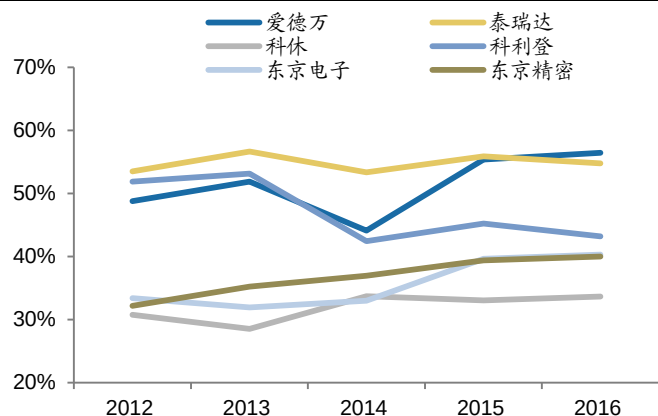
测试设备多为具有较高技术含量的高附加值产品。高端测试机的单价可以得到100~120万/台，先进制造技术为企业带来丰厚的利润。以测试机为主营业务的爱德万、泰瑞达近5年来毛利率维持在45~55%左右，定位中低端测试机市场的科利登也保持40%以上的毛利率水平。主营探针台的东京电子和东京精密毛利率维持在35~40%之间。而相较之下，分选机的附加值最低，科休近五年毛利率大约在30%。

图50：爱德万和泰瑞达的研发费用占比



数据来源：Bloomberg，广发证券发展研究中心

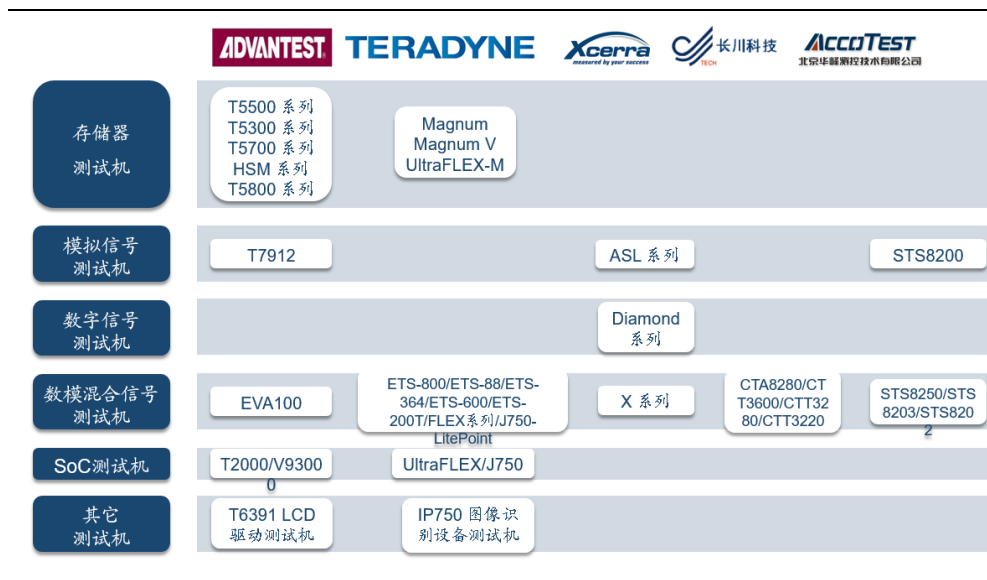
图51：全球主要测试设备企业的毛利率



数据来源：Bloomberg，广发证券发展研究中心

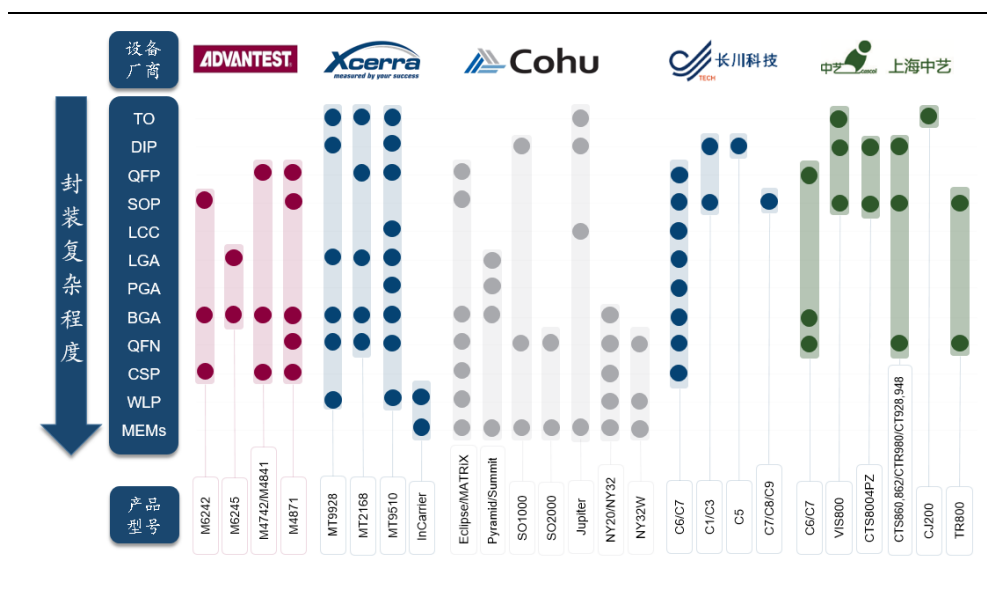
从产品类型上看，泰瑞达、爱德万形成了SOC测试、存储器测试、模拟信号测试、数模混合信号测试等全面的产品系列，同时对5G、AI、物联网等新兴趋势进行了积极开发布局，代表着行业最前沿的水平。目前国内半导体测试设备与国际水平仍有很大差距。国内半导体测试设备领先企业包括长川科技、上海中艺等，目前产品主要集中在数模混合信号测试机。

图52：国际测试机企业与国内企业测试机产品系列对比



数据来源：公司官网，广发证券发展研究中心

图53：国际测试机企业与国内企业分选机产品系列对比



数据来源：公司官网，广发证券发展研究中心

国内设备企业：关注产品红利带来的增量空间

目前在半导体检测领域，比较领先的国内设备商包括上海睿励、长川科技、华峰测控等；其中上海睿励主要做工艺控制检测设备，而长川科技、华峰测控主要做测试设备。另外，面板检测设备龙头精测电子也欲延伸产品触角，切入半导体检测领域。

上海睿励：睿励科学仪器（上海）有限公司是于2005年创建的合资公司，致力于开发、生产和销售具有自主知识产权的集成电路生产工艺装备产业中的工艺检测设备。公司的产品填补国家重大产业链中的重要空白，自列入了2005年上海市科教兴市重大产业科技攻关项目起，得到了政府和业界的大力支持和高度关注。目前公司的主要产品为针对膜厚和关键尺寸的光学测量设备，公司用于28nm制程的12英寸膜厚测量全自动精密薄膜线宽测量系统已经实现在生产线上的批量应用，而应用于12nm制程的光学尺寸测量设备开始步入生产线验证阶段。

图54：上海睿励科学仪器主要产品



数据来源：睿励公司官网，广发证券发展研究中心

TFX3000--300mm全自动精密薄膜测量系统是睿励自主研发和生产的具有完全自主知识产权的集成电路生产线工艺检测设备。应用范围包括刻蚀、化学气相沉积、光刻和化学机械抛光等工艺段的测量，能准确的确定半导体制造工艺中的各种薄膜参数和细微变化（如膜厚、折射率、应力等）。

TFX3000 OCD是睿励自主创新开发，具有自主知识产权的集成电路生产线300mm硅片全自动光学关键尺寸（OCD）和形貌测量系统。其在TFX3000系统基础上集成光学关键尺寸测量模块，除具有300mm全自动光学膜厚测量能力外，还可以进行显影后检查、刻蚀后检查等多种工艺段的二维或三维样品的线宽、侧壁角度、高度/深度等关键尺寸特征或整体形貌测量。可测量二维多晶硅栅极刻蚀、隔离槽、隔离层、双重曝光或三维连接孔、鳍式场效应晶体管、闪存等多种样品。具有高速、准确和非破坏性等特点。

睿励自主开发生产的镓液态离子源（LMIS）是应用于聚焦粒子束（FIB）设备的关键部件，在科学研究和工业开发，包括材料科学、生命科学、半导体工业等领域有着广

泛而重要的用途。

长川科技：长川科技是目前国内半导体测试设备领域唯一的上市公司，主营测试机和分选机的研发、制造和销售，深耕国内封装测试市场。公司的产品已获得长电科技、华天科技、通富微电、士兰微、华润微电子、日月光等多个一流集成电路企业的使用和认可，近三年公司前五大客户的营业额占总营收的75%以上。公司当前主要产品包括集成电路测试机和分选机，主要应用在后道FT测试中；新产品探针台产品即将推出市场，有望在国内行业投资红利下，借助探针台向CP测试拓展。

公司测试机包括大功率测试机和模拟/数模混合测试机，主要用于半导体封装测试环节。分选机包括重力下滑式分选机（C1、C3、C3Q、C37、C5、C7、C8、C9、C9Q系列）和平移式分选机（C6、C7R系列）等。目前公司产品

图55：长川科技公司主要测试机产品



数据来源：长川科技公司官网，广发证券发展研究中心

表7：长川科技公司主要分选机产品

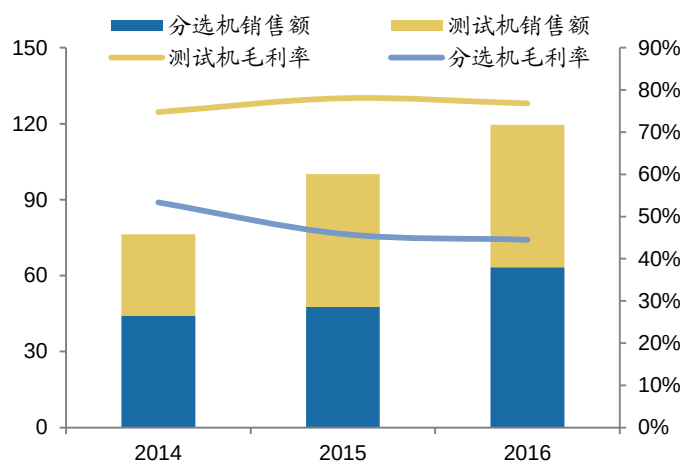
产品型号	产品类别	工作方式	适用的封装类型
C6 系列	水平拾取式自动分选系统	平移式	QFP/QFN/LQFP/PLCC/SOP/SOP/ SOP/TSOP/BGA/PGA/LGA/CSP(芯片级)
C7 系列	全自动编带机	平移式	QFP/QFN/LQFP/PLCC/SOP/SOP/ SOP/TSOP/BGA/PGA/LGA
C1 系列	双进单出自动分选系统	重力式	SOP/HSOP/SSOP/TSSOP/DIP
C3 系列	双进双出自动分选系统	重力式	SOP/HSOP/SSOP/TSSOP/DIP
C5 系列	分立器件多工位 串行并测自动分选系统	重力式	TO

C7 系列	全自动编带机	重力式	SOP/SSOP/TSSOP
C8 系列	垂直背板式四工位自动分选系统	重力式	MSOP/TSSOP
C9 系列	重力下滑式测试编带一体机	重力式	SOP/SSOP/ESOP/TSSOP/VSO/MSOP

数据来源：长川科技公司官网，广发证券发展研究中心

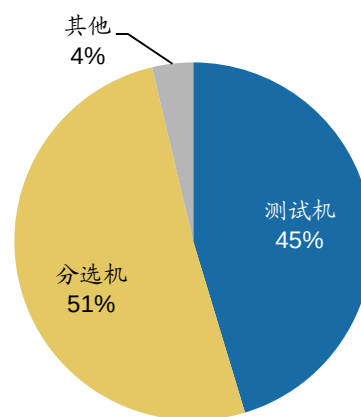
公司发布2017年业绩快报，2017年实现营业收入17,982万元，同比增长44.4%；实现归属于上市公司股东的净利润为5,096万元，同比增长23.1%。由于公司主营产品测试机和分选机都属于高附加值产品，毛利率维持在60%左右，其中测试机的毛利率高达70%以上，分选机的毛利率为45%左右，盈利能力比肩国际行业龙头。

图56：近三年长川科技营收及毛利率（百万元）



数据来源：wind，广发证券发展研究中心

图57：2016年长川科技主营业务收入的产品结构



数据来源：wind，广发证券发展研究中心

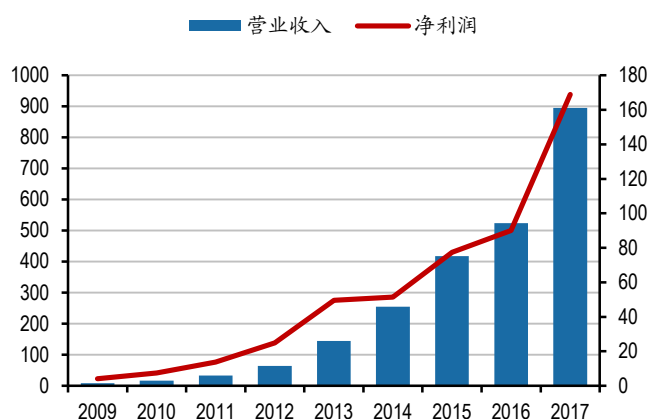
风险提示：公司对行业设备投资依赖强，可能存在受行业周期性波动带来的不利影响；技术开发风险，技术发展的趋势可能面临市场竞争力降低的风险；应收账款回收风险；中前道检测新产品开拓不及预期的风险。

精测电子：前期公司发布公告，拟与IT&T Co.,LTD、张庆勋和周璇在湖北省武汉市设立中外合资公司；同时，公司公告拟变更经营范围，增加了芯片设计、半导体测试设备、锂电池等新能源测试系统、电源测试系统等。公司与IT&T、周璇在湖北省武汉市共同投资设立中外合资公司——武汉精鸿电子科技有限公司，目前已经顺利落地。合资公司将结合各方优势，进行半导体测试设备的研发、生产、销售及技术服务，实现各方的互利共赢，把握中国半导体设备自主化的发展机遇。

公司作为面板检测设备龙头，深耕面板检测设备领域，产品已覆盖Module 制程的检测系统，并成功实现了Cell 制程产品的规模销售，Array 制程的产品也初具竞争力。随着中外合资公司的设立，公司业务将从面板检测向覆盖面更广的泛半导体测

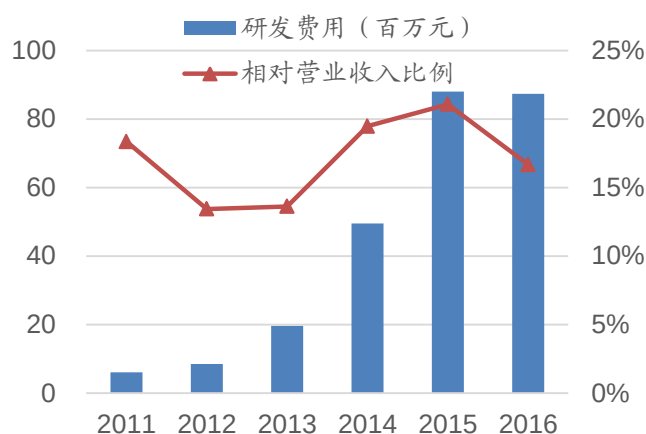
试设备延伸，综合实力及核心竞争力将大幅提升。未来公司有望充分分享国内面板和半导体产业投资的双重红利，同时向光伏、锂电池等领域延伸。以面板检测设备为中心扩散，打造平台型的检测设备业务。

图58：精测电子营业收入和净利润（百万元）



数据来源：Wind，广发证券发展研究中心

图59：精测电子研发费用



数据来源：Wind，广发证券发展研究中心

风险提示： OLED 和高世代面板线投资具有不确定性；新产品放量不及预期；行业竞争加剧导致毛利率下降；半导体业务进展低于预期。

投资建议与风险提示

投资建议： 随着大陆晶圆厂投资加速，半导体设备需求大幅增加。国内优势企业经多年深耕研发，已经在技术门槛相对较低的测试设备领域取得一定突破，未来将充分受益巨大的国产替代空间。我们建议重点关注国内半导体检测设备企业中，注重研发创新，技术领先，未来核心竞争力持续强化的企业，重点关注精测电子*、长川科技*。（标*为联合覆盖标的）

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。

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，6 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：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：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：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。

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。
- 谨慎增持：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
地址	广州市天河区林和西路 9 号耀中广场 A 座 1401	深圳福田区益田路 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	上海浦东新区世纪大道 8 号国金中心一期 16 层
邮政编码	510620	518000	100045	200120
客服邮箱	gfyf@gf.com.cn			
服务热线				

免责声明

广发证券股份有限公司（以下简称“广发证券”）具备证券投资咨询业务资格。本报告只发送给广发证券重点客户，不对外公开发布，只有接收客户才可以使用，且对于接收客户而言具有相关保密义务。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。本报告的内容、观点或建议并未考虑个别客户的特定状况，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股份有限公司认为可靠，但广发证券不对其准确性或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。

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，并不代表广发证券或其附属机构的立场。报告所载资料、意见及推测仅反映研究人员于发出本报告当日的判断，可随时更改且不予通告。

本报告旨在发送给广发证券的特定客户及其它专业人士。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。