

半导体

半导体检测设备：从前道到后道，全程保驾护航

在半导体设计、制造、封装中的各个环节都要进行反复多次的检测、测试以确保产品质量，从而研发出符合系统要求的器件。**缺陷相关的故障成本影响高昂，从 IC 级别的数十美元，到模块级别的数百美元，乃至应用端级别的数千美元。**因此，检测设备从设计验证到整个半导体制造过程都具有无法替代的重要地位。

检测设备作为能够优化制程控制良率、提高效率与降低成本的关键，未来在半导体产业中的地位将会日益凸显。预计未来我国半导体检测设备市场广阔，其主要原因为当前复杂的地缘政治带来国产替代的迫切需求；国家政策大力支持集成电路产业，产业发展迅速；半导体产业重心由国际向国内转移带来机遇；中国市场已成为全球最大的设备市场；新应用领域不断涌现，新器件性能迭代加速，带来设计公司发展新机遇；芯片集成度的不断提高，迎来了检测设备的更大需求。**2020 年我国半导体检测设备市场为 176 亿元，预计未来五年预计复合增长率为 14%，增速高于全球。**

广义上的检测设备分为**前道量检测和后道测试设备**。量检测的对象是工艺过程中的晶圆，测试的对象是工艺完成后的芯片。前道量检测对每一步工艺过程的质量进行测量或者检查，以保证工艺符合预设的指标，防止出现偏差和缺陷的不合格晶圆进入下一道工艺流程。**前道量检测设备 2020 年全球市场为 69 亿美元，我国约 15 亿美元。**前道量检测按照测试目的分为量测和检测。**按照应用主要分为关键尺寸量测、薄膜的厚度量测、套刻对准量测、光罩/掩膜检测、无图形晶圆检测、图形化晶圆检测和缺陷复查。按照技术主要分为光学检测设备、电子束检测设备。**国际市场头部企业为美国 KLA、美国 AMAT、日本 Hitachi 和美国 Onto，这四大设备商产品类型丰富，垄断了全球市场，全方位高筑壁垒。中国半导体企业精测电子（设立子公司上海精测）、赛腾股份（收购 Optima）和中微公司（入股上海睿励），积极加大检测领域的研发投入，基于已有技术基础通过投资并购占据中国大量检测市场先机，建议关注。

后道测试设备关注的是在所有晶圆工艺完成后芯片的各种电性功能。**后道测试设备 2020 年全球市场为 62 亿美元，我国约 14 亿美元。**测试设备分为测试机、探针台和分选机。**测试机占比约 63%，**国际市场中爱德万和泰瑞达占据寡头垄断地位，同时先进封装领航者 ASM PACIFIC 近年来在光电测试领域积极布局。我国市场中精测电子（设立子公司武汉精鸿）、华峰测控和长川科技有望依托中国市场的发展在相关细分赛道中迎来机遇。**探针台占比约 15%，**国际市场中东京精密和东京电子市占率过半，我国市场中长川科技在积极研发中。**分选机占比约 17%，**由于该细分领域壁垒相对多样化，其竞争优势侧重有所不用，更易于市场化突破。

我们建议重点关注随着未来人工智能、物联网、新能源汽车等新应用领域所带来的检测行业发展机遇。同时随着芯片集成度越来越高，工艺步骤越来越复杂，晶圆在生产过程中需要量检测和测试的频次也越来越高，驱动检测设备市场需求不断提升。基于以上，精测电子的检测设备有望凭借其自身技术内生发展和外部投资并购布局量价齐升。

投资建议：精测电子（推荐）、ASM PACIFIC（与海外团队联合覆盖）、长川科技（建议关注）、华峰测控（建议关注）

风险提示：半导体行业周期性、产业配套环境有待进一步改善、高端技术人才相对缺乏、国内企业规模较小造成品牌影响力不足

证券研究报告

2021 年 03 月 16 日

投资评级

行业评级 强于大市(维持评级)

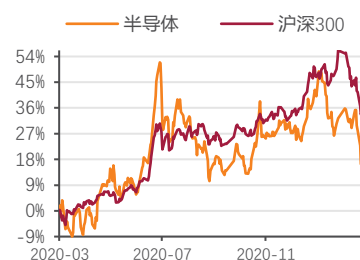
上次评级 强于大市

作者

潘暕 分析师
SAC 执业证书编号：S1110517070005
panjian@tfzq.com

陈俊杰 分析师
SAC 执业证书编号：S1110517070009
chenjunjie@tfzq.com

行业走势图



资料来源：贝格数据

相关报告

- 《半导体-行业研究周报:中美合作在半导体国产化与上升周期中朝向正向发展》2021-03-14
- 《半导体-行业研究周报:海外半导体业绩超预期 行业龙头指引景气》2021-02-01
- 《半导体-行业深度研究:新能源汽车行业深度——硅含量拆解》2021-01-31

内容目录

1. 检测设备：保驾护航、侦测并监控半导体关键良率偏移	5
1.1. 分类：前道量检测、后道测试，提升良率保障性能	5
1.2. 市场趋势：新应用涌现驱动市场潜力、工艺步骤倍增拓宽市场空间	6
1.3. 市场规模：重要地位日益凸显，中国增速高于全球	9
1.4. 竞争格局：国外高度垄断，国产替代需求迫切有望提速	11
2. 前道量检测设备：物理、功能性检查，提升良率，市场壁垒高筑	11
2.1. 三种分类标准：检测目的、应用范畴、技术原理	12
2.2. 检测目的分类：量测和检测，价值量随工艺技术同步提升	12
2.3. 应用范畴分类：关键尺寸、膜厚、套刻对准，光罩/掩膜、图形、缺陷复查等	12
2.3.1. 关键尺寸量测：监控线宽和孔径，实现精确误差测量	13
2.3.2. 薄膜厚度量测：厚度、反射率、密度量测，鉴定和监控不同薄膜层	13
2.3.3. 套刻对准量测：高阶矫正光刻机、掩模和硅片位置误差，提高覆盖精度	13
2.3.4. 光罩/掩模检测：捕获光罩缺陷和图案位置错误，降低缺陷引发风险	15
2.3.5. 无图形晶圆检测：检出裸晶圆颗粒及缺陷，奠定图形化检测基础	17
2.3.6. 图形化晶圆检测：比较图像生成缺陷图，识别物理和高纵横比缺陷	19
2.3.7. 缺陷复查检测：放大缺陷图像进行甄别，提供依据优化制程工艺	20
2.4. 技术原理分类：光学、电子束检测，应用互补，多方位检测	21
2.5. 全球市场及主要厂商：国外高度垄断，膜厚量测打开细分赛道突破口	24
2.6. 中国主要厂商：紧握细分市场机遇，产品陆续中标，拉动增长曲线	29
3. 后道测试设备：电性测试，新产线持续投入带动市场高速增长	32
3.1. 分类：测试机、探针台、分选机，保障性助力良率提升	33
3.2. 全球市场：测试机市场份额过半	33
3.3. 测试机：测试器件电路功能及电性能参数，保驾护航贯穿始终	33
3.3.1. 全球市场及主要厂商：爱德万、泰瑞达寡头垄断，进口替代需求迫切	34
3.3.2. 中国主要厂商：积极布局追赶，夯实国内，开拓海外	38
3.4. 探针台：负责晶圆输送与探针定位，提升测试效率	41
3.4.1. 全球市场及主要厂商：东京精密、东京电子寡头垄断，中国增速加快	41
3.4.2. 中国主要厂商：抓住市场机遇，技术积累，蓄势待发	42
3.5. 分选机：高精度高兼容，负责产品的测试接触、拣选和传送	44
3.5.1. 全球市场及主要厂商：壁垒多重，格局未定，中国有望取得话语权	44
4. 风险提示	45

图表目录

图 1：全球检测设备市场、分类及厂商	6
图 2：广义上的半导体检测设备分类	6
图 3：半导体在汽车中的应用	7
图 4：汽车领域缺陷导致产生的产品损失（百万美元）	7
图 5：2020-2021 全球 GDP 和 IC 市场增量（%）	8

图 6: 全球半导体前道量检测设备市场规模 2016-2020 (亿美元, %)	10
图 7: 全球半导体后道测试设备市场规模 2016-2020 (亿美元, %)	10
图 8: 2016-2020 中国半导体检测设备市场规模 (亿元)	10
图 9: 2020-2026 年中国半导体检测设备市场规模预测 (亿元)	10
图 10: 缺陷检测设备原理	12
图 11: 关键尺寸量测	13
图 12: 薄膜厚度量测	13
图 13: 套刻对准量测	13
图 14: 套刻对准量测和关键尺寸量测案例	14
图 15: 膜厚量测设备案例	14
图 16: 光罩/掩模检测系统工作原理示意图	15
图 17: 光罩/掩模缺陷检测系统案例	15
图 18: 光罩/掩模检测系统案例 2	16
图 19: EUV 掩模版缺陷检测: 聚焦扫描原理示意图	16
图 20: EUV 掩模缺陷检测 1	16
图 21: EUV 掩模缺陷检测 2	16
图 22: 极紫外光 EUV 相关设备	17
图 23: 无图形晶圆上的缺陷检测流程	18
图 24: 无图形晶圆上缺陷检测原理	18
图 25: 检测工具中的光收集、加工和晶圆映射	19
图 26: 无图形晶圆检测系统案例	19
图 27: 图形化晶圆检测原理	19
图 28: 图形化晶圆检测系统案例	20
图 29: 缺陷复查设备功能	20
图 30: 光学明场、暗场检测原理	21
图 31: 电子束检测原理	22
图 32: 电子束图案晶圆检测系统案例	23
图 33: 光学明场检测设备案例	23
图 34: 光学暗场检测设备案例 1	23
图 35: 光学暗场检测设备案例 2	24
图 36: 2016-2020 全球半导体前道量检测市场规模及拆分 (亿美元, %)	24
图 37: 前道量检测细分赛道市场情况 (%)	24
图 38: 2017-2018 前道量检测市场格局 (%)	25
图 39: KLA 最新产品	26
图 40: 应用材料 AMAT 检测设备	26
图 41: 日立 Hitachi 检测设备	27
图 42: Onto 主要检测设备	28
图 43: ASMP 图像传感器封测流程	28
图 44: ASMP 检测设备	29
图 45: 上海精测发展历程及产品	29
图 46: 上海精测检测设备案例	30

图 47: 中科飞测主要设备	31
图 48: 上海睿励主要设备	31
图 49: Optima 主要设备	32
图 50: 后道测试设备在集成电路流程中所处位置	32
图 51: 中国测试设备构成及市场规模 (单位: %, 亿美元)	33
图 52: 2019 年测试机主要设备公司及占比 (%)	34
图 53: 泰瑞达测试机主要分类	34
图 54: 爱德万主要测试机分类	35
图 55: ASMPT 光电产品应用解决方案及先进封装解决方案	36
图 56: ASMPT 主要测试设备	37
图 57: 2019 测试机全球细分领域占比分类 (%)	37
图 58: 2019 测试机中国细分领域占比分类 (%)	38
图 59: 各公司测试机适用领域	38
图 60: 2018 年中国集成电路测试机产品结构 (单位: 亿元)	38
图 61: 存储器测试设备分类及占比 (%)	39
图 62: 长川科技主要设备	40
图 63: 华峰测控主要设备	40
图 64: 2020 主要测试机公司关键技术指标对比	41
图 65: 探针台	41
图 66: 全球及我国探针台市场规模 (亿元, %)	41
图 67: 2019 年全球及我国探针台市场 TOP 企业格局 (%)	42
图 68: 全球及我国探针台主要公司	43
图 69: 全球分选机市场主要企业及占比 (%)	44
图 70: 长川科技主要分选机设备	44
图 71: 上海中艺主要分选机设备	45

1. 检测设备：保驾护航、侦测并监控半导体关键良率偏移

在半导体设计、制造、封装中的各个环节都要进行反复多次的检验、测试以确保产品质量，从而研制开发出符合系统要求的器件。缺陷相关故障的影响成本从 IC 级别的数十美元，到模块级别的数百美元，乃至应用端级别的数千美元。因此，检测设备从设计验证到整个半导体制造过程都具有无法替代的重要地位。检测设备可以帮助工程师发现、侦测并监控关键的良率偏移，从而加快良率提升并达到更高的产品良率。

1.1. 分类：前道量检测、后道测试，提升良率保障性能

检测设备按照其功能和对应的产业链位置不同，可以分为前道量检测、后道测试两大类，分别应用于半导体产业链的上游设计验证、中游制程工艺的晶体管结构检测、下游封测芯片的成品终测。无论是前道检测还是后道测试，都是提升芯片良率及质量的关键设备。

1) 前道量检测设备：

前道量检测对象是工艺过程中的晶圆，它是一种物理性、功能性的测试，用以检测每一步工艺后产品的加工参数是否达到了设计的要求，并且查看晶圆表面上是否存在影响良率的缺陷，确保将加工产线的良率控制在规定的水平之上。

前道量检测包含膜厚量测设备、OCD 关键尺寸量测、CD-SEM 关键尺寸量测、光刻校准量测、图形缺陷检测设备等多种前道量检测设备。由于晶圆制造工艺环节复杂，所需要的检测设备种类较多，因此也是所有半导体检测赛道中壁垒最高的环节，单机设备的价格比后道测试设备还高，且不同功能设备价格差异也较大。前道量检测设备供应商目前有美国的科磊、应用材料；日本的日立；国内的精测电子、中科飞测、上海睿励等。下游客户为集成电路制造商，包含台积电、中芯国际、长江存储等。

2) 后道测试设备：

应用于上游设计、下游封测环节中，目的是检查芯片的性能是否符合要求，是一种电性、功能性的检测，用于检查芯片是否达到性能要求。

一、上游设计商需要对流片完的晶圆与芯片样品进行有效性验证，主要设备为测试机、探针台、分选机，因为作为样品测试所以通常并不会大量采购，但是会与下游封测深度联动，因此绑定集成电路设计商也成为后道测试设备商的壁垒之一。主要下游客户为集成电路设计商，例如：高通、联发科、海思、卓胜微、韦尔等。

二、封测环节主要可以分为：晶圆测试（CP），针对加工完的晶圆，进行电性测试，识别出能够正常工作的芯片，主要设备为测试机和探针台。部分客户为集成电路制造商还有部份第三方的晶圆测试商；成品测试（FT），最后晶圆切割变成芯片后，针对芯片的性能进行最终测试，主要设备为测试机和分选机；下游客户为集成电路封装测试商，包含日月光、通富、长电等。由于半导体终端应用持续攀升，催生出全自动及高性能的后道测试设备，加上集成电路产业与国际先进水平的差距逐步缩小，封装测试技术达到国际领先水平，后道测试设备迎来重要国产化机遇。后道测试设备供应商目前有美国的泰瑞达、爱德万；国内的精测电子、华峰测控、长川科技等。

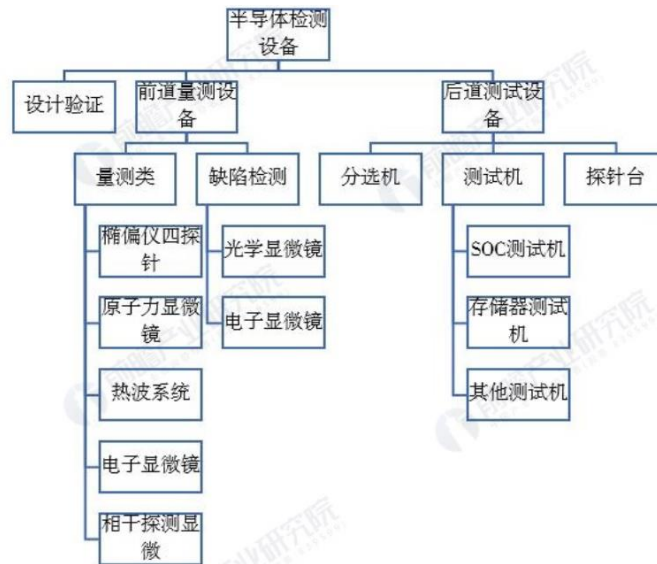
下图为本报告对全球检测设备市场、分类及厂商的分析总结：

图 1：全球检测设备市场、分类及厂商



资料来源：IC Insights, 东西智库, 智研咨询, SEMI, 前瞻经济人, Hitachi, 芯制造, Newport, 天风证券研究所

图 2：广义上的半导体检测设备分类



资料来源：前瞻产业研究院, 天风证券研究所

1.2. 市场趋势：新应用涌现驱动市场潜力、工艺步骤倍增拓宽市场空间

超越摩尔领域：

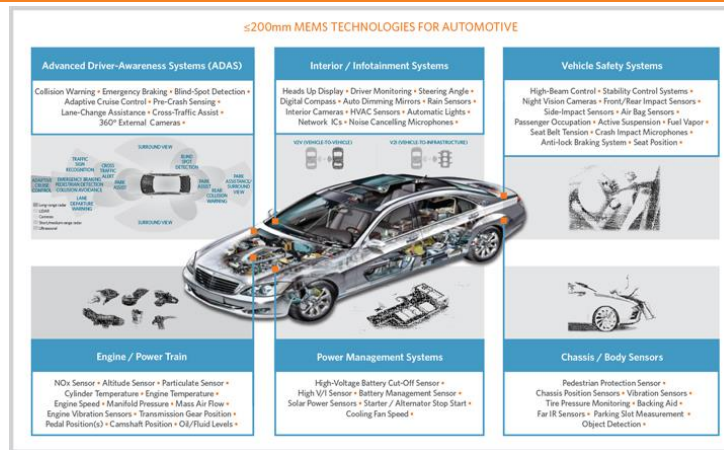
模拟/混合信号、RF、MEMS、图像传感、电源等技术可与 CMOS 在各种平面乃至 2.5D、3D 架构中集成。这些集成和其他关键技术使人工智能、物联网和汽车雷达等一系列应用

快速增长。

Yole Developpement 数据预计，到 2023 年，超越摩尔市场年增长速度所以晶圆尺寸合计约 7400 万片硅片，复合年增长率约为 3%。但仅考虑最流行的晶圆尺寸（12”、8”和 6”晶圆），到 2023 年，预测将变为 6000 万片，复合年均增长率约为 5%。对于半导体制造商来说，超越摩尔市场已成为半导体需求的重要来源，但这同时意味着需要新的量检测和测试方法，以适应各种可能影响这些多技术设备产生的故障。

例如，汽车行业的一家主要半导体供应商恩智浦半导体说到：“缺陷相关故障的影响成本从 IC 级别的数十美元，到模块级别的数百美元，到汽车应用端级别的数千美元”。IC 在当今的汽车中被广泛使用，且未来使用会更多。汽车零部件故障可能导致严重伤害甚至死亡，所以汽车行业服务的零部件制造商使用以每万亿（ppt）的零件损失为测量标准，可见检测设备的需求更甚。



图 3：半导体在汽车中的应用



资料来源：NXP, Applied materials, 天风证券研究所

如下图可见，在汽车领域，由于缺陷导致故障而无法使用的产品损失极大，在 1ppm 情况下，大众集团的损失可以达到每年 2.19 亿美元。

图 4：汽车领域缺陷导致产生的产品损失（百万美元）

BMW	VOLKSWAGEN GROUP
	
Manufactures 6K cars per day	Manufactures 40K cars per day
The average BMW has 1K ICs	That's 10M cars per year!
At 1 ppm, that's 6 cars parked at the end of the manufacturing line each day	At 1 ppm, that's 24 cars parked at the end of the manufacturing line each day
Average total value of \$76.7M per year	Average total value of \$219M per year

资料来源：NXP, Applied materials, 天风证券研究所

摩尔定律领域：

新应用需求驱动了制程微缩和三维结构的升级，使得工艺步骤大幅提升，成熟制程（以 45nm 为例）工艺步骤数大约需要 430 道到了先进制程（以 5nm 为例）将会提升至 1250 道，工艺步骤将近提升了 3 倍；结构上来看包括 GAAFET、MRAM 等新一代的半导体工艺都是越来越复杂，在数千道制程中，每一道制程的检测皆不能有差错，否则会显著影响芯片的成败。

中国半导体检测设备未来市场空间广阔具体原因如下：

1. 国家政策大力支持集成电路产业，检测作为关键一环尤为重要

集成电路产业是国民经济中基础性、关键性和战略性的产业，作为现代信息产业的基础和核心产业之一，在保障国家安全等方面发挥着重要的作用，是衡量一个国家或地区现代化程度以及综合国力的重要标志。国家为扶持集成电路行业发展，制定了多项引导政策及目标规划。第一，国家为规范集成电路行业的竞争秩序，加强对集成电路相关知识产权的保护力度，相继出台了《集成电路设计企业及产品认定暂行管理办法》、《集成电路布图设计保护条例》、《集成电路布图设计保护条例实施细则》等法律法规，为集成电路行业的健康发展提供了政策保障。

第二，国家出台了若干优惠政策，从投融资、税收、出口等各个方面鼓励支撑电路行业的发展，具体政策包括《财政部、税务总局、国家发展改革委、工业和信息化部关于集成电路生产企业有关企业所得税政策问题的通知》、《国务院关于印发进一步鼓励软件产业和集成电路产业发展若干政策的通知》等，为集成电路企业的发展创造了有利的市场环境。

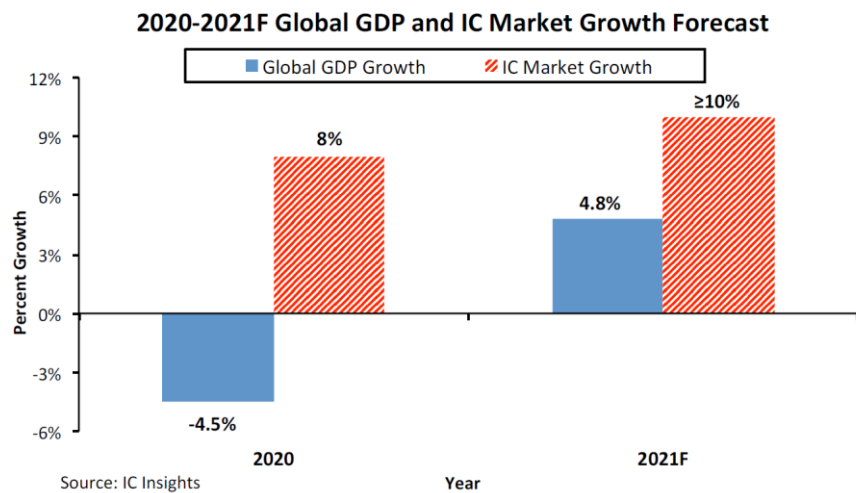
第三，国家指定了《集成电路产业研究与开发专项资金管理暂行办法》、《国务院关于印发“十三五”国家科技创新规划的通知》等目标规划，将集成电路装备列为国家科技重大专项，积极推进各项政策的实施。国家政策的落地实施为产业发展破解融资瓶颈提供了保障，有力促进集成电路专用设备行业的可持续良性发展。

2. 半导体产业重心由国际向国内转移带来机遇

中国集成电路行业增长迅速，半导体行业重心持续由国际向国内转移。中国半导体产业发展较晚，但凭借着市场容量，中国已成为全球最大的半导体消费国。根据 CSIA 数据，2018 年国内集成电路市场规模为 985 亿美元，同比增长 18.53%，2010 年至 2018 年国内集成电路市场复合增长率达到 21.10%，高于全球市场同期年复合增长率，中国已经超过美国、欧洲和日本，成为全球最大的集成电路市场。随着半导体制造技术和成本的变化，半导体产业正在经历第三次产能转移，行业需求中心和产能中心逐步向中国大陆转移。随着产业结构的加快调整，中国集成电路的需求将持续增长。

3. 集成电路产业发展迅速，增速高于 GDP 增长，产品更新换代加速，新型应用领域不断涌现，为技术超车创造机遇

图 5：2020-2021 全球 GDP 和 IC 市场增量（%）



资料来源：IC Insights，天风证券研究所

如上图 IC Insights 的调查数据可见，2020 年集成电路增长率为 8%，远超 GDP 增长，同样，2021 年预计集成电路增长率为超过 10%，是 GDP 增长率的两倍以上。

作为全球最大的集成电路市场，中国集成电路产业随着 5G、电动汽车等的快速发展持续

增长，为半导体测试需求带来增量空间。在国家重大科技专项的支持下，“十二五”期间中国集成电路产业各个环节的整体水平都有了明显提升，国产软硬件在航天、电力、办公应用和移动智能终端等领域实现规模应用，为保障国家信息安全提供了重要支撑。伴随技术革新和产业升级换代的波浪式递进，市场机会窗口不断涌现，每一次的技术升级都为集成电路及其专用设备制造企业带来了发展机会。

当前，以互联网、智能手机为代表的信息产业的第二次浪潮已步入成熟，增速放缓，而以物联网为代表的信息感知及处理正在推动信息产业进入第三次浪潮，物联网革命已经悄然开始。在物联网智能时代，由于交互模式的改变，智能化产品的多样性必然会更加丰富，对各类信息的采集形成了快速膨胀的数据处理需求，对海量数据的有效处理将成为真正推动集成电路行业发展的核心驱动力。物联网、大数据、人工智能、5G 通信、汽车电子等新型应用市场带来巨量芯片增量需求，为半导体自动化测试系统企业提供更大的市场空间；同时，第三代半导体 GaN 等半导体新技术的出现为国内半导体自动化测试系统企业带来超车国际巨头的新机遇。

4. 大陆芯片设计公司迎来大发展时代，检测需求将跟随发展

近年来，集成电路测试行业发展迅速，根据中国半导体行业协会 IC 设计分会的统计，截至 2019 年 11 月，中国大陆 IC 设计公司达到 1,780 家，比 2018 年的 1,698 家多了 82 家，中国大陆的芯片设计公司迎来高速增长。IC 设计行业 2019 年的销售额为 3,063.5 亿元，相比 2018 年增长了 21.60%。芯片设计公司的快速增长，使得芯片检测设备的市场需求随之增长。随着国内集成电路产业的快速发展和国产化加速，晶圆制造、芯片设计公司的测试服务需求越来越多，检测设备相关企业将迎来新的发展机遇。

5. 芯片复杂度提高，验证测试要求越发严格

对芯片最显著的改进不仅仅在设计流程中产生，而且在芯片调试和验证流程中反复进行，尤其是在高性能芯片的研制过程中。随着芯片复杂度的提高，对验证测试的要求更加严格，与设计流程的交互更加频繁。随着芯片速度与功能的不断提高，超大规模集成电路尤其是集成多核的芯片系统（SOC）的出现使得芯片迅速投入量产过程难度增加，由此验证测试变得更加必要。目前，开发低成本高效率的全面验证测试策略成为芯片制造商的关注点。能够在早期（如初次样片测试阶段）全面获取芯片品质鉴定的信息变得至关重要。

6. 检测本身已从工序到独立行业，贯穿所有流程，未在检测流程发现缺陷则损失惨重

早期的检测只是作为 IC 生产中的一个工序存在，被合并到制造业或封装业中。随着集成电路产业分工日益明晰和人们对集成电路品质的重视，再加上技术、成本和知识产权保护等诸多因素，检测目前正成为集成电路产业中一个不可或缺的、专业化的独立行业，作为设计、制造和封装的有力技术支撑，推动了集成电路产业的迅速发展。

在集成电路研制、生产、应用等各个阶段都要进行反复多次的检验、测试来确保产品质量和研制开发出符合系统要求的电路。半导体检测从设计验证到最终测试都不可或缺，贯穿整个半导体制造过程。半导体检测包括设计验证、工艺控制检测、晶圆测试(CP 测试)以及成品测试(FT 测试)。

按照电子系统故障检测中的“十倍法则”，如果一个芯片中的故障没有在芯片测试时发现，则在电路板(PCB)级别发现故障的成本为芯片级别的十倍。因此，检测在半导体产业中扮演着重要角色，且其地位日益凸显。

1.3. 市场规模：重要地位日益凸显，中国增速高于全球

全球半导体检测设备市场概况：

根据智研咨询和 Gartner, SEMI 数据整理，2020 年检测设备全球市场规模约 131 亿美元，如下图可见。

图 6：全球半导体前道量检测设备市场规模 2016-2020(亿美元, %)



资料来源：智研咨询，天风证券研究所

图 7：全球半导体后道测试设备市场规模 2016-2020 (亿美元, %)

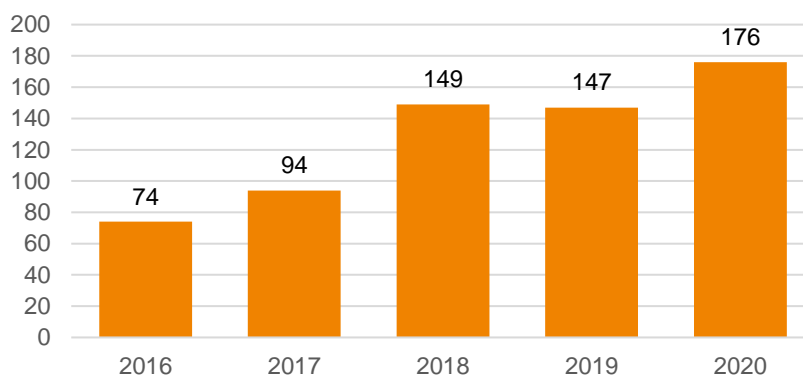


资料来源：Gartner, SEMI,天风证券研究所

我国半导体检测设备市场概况：

据前瞻产业研究院统计，2020 年我国半导体检测设备市场规模 176 亿元。

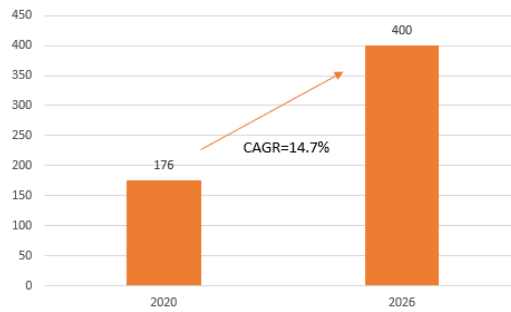
图 8： 2016-2020 中国半导体检测设备市场规模（亿元）



资料来源：前瞻产业研究院，天风证券研究所

随着我国半导体产业的不断发展，检测设备作为能够提高制程控制良率、提高效率与降低成本的重要检测仪器，未来在半导体产业的地位将会日益凸显。前瞻产业研究预计 2026 年我国半导体检测设备市场有望到达 400 亿元。2020-2026 CAGR 为 14.7%，增速高于全球。

图 9：2020-2026 年中国半导体检测设备市场规模预测（亿元）



资料来源：前瞻产业研究院，天风证券研究所

1.4. 竞争格局：国外高度垄断，国产替代需求迫切有望提速

目前，国际国内市场中检测设备被国外高度垄断，目前绝大部分半导体设备依然高度依赖进口，提升“核芯技术”自主化率已迫在眉睫。

量检测设备领域：

量检测设备行业具有极高的技术、资金壁垒，对业内公司研发能力有很强要求。海外巨头 KLA 为首，AMAT、Hitachi 等合计占比超 90%。国内设备厂商由于起步晚基础薄，始终在努力追赶，国产设备仍有很大的突破空间。前道设备种类复杂，细分市场较多；其中，膜厚量测技术门槛较低，集中度相对分散，为国内厂商进入检测设备的突破口。

测试设备领域：

测试种类繁多，客户需求多样化，因此测试设备往往存在非标定制化的特点。根据性能要求的不同，类别也是五花八门，包括外观尺寸测试、视觉测试等。虽然相比于光刻机、刻蚀机等前道设备，测试设备的制造相对容易一些，但是也存在较高的推广难度。目前全球设备市场份额主要被美、日等发达国家的先进厂商所占据，半导体测试设备行业已经形成了泰瑞达、爱德万两家垄断的局面。国内半导体设备厂商想要提高市场份额依然面临极大挑战。

进口替代需求迫切，测试设备的国产替代进程将加速：

受中美贸易摩擦影响，供应链的安全日益受到重视，国产测试设备将得到更多的试用机会，在中低端模拟测试机和分选机领域，国产替代明显提速。目前绝大部分半导体设备依然高度依赖进口，提升“核芯技术”自主化率已迫在眉睫，上升至国家战略，进口替代是国内半导体设备公司面临的重大机遇。2018 年以来，国产半导体测试设备向中国大陆市场拓展，国产替代进程明显提速。

2. 前道量检测设备：物理、功能性检查，提升良率，市场壁垒高筑

前道量检测运用于晶圆的加工制造过程，它是物理性、功能性的，用以检测每一步工艺后产品的加工参数是否达到了设计的要求，并且查看晶圆表面上是否存在影响良率的缺陷，确保将加工产线的良率控制在规定的水平之上。

前道量检测包含膜厚量测设备、OCD 关键尺寸量测、CD-SEM 关键尺寸量测、光刻校准量测、图形缺陷检测设备等多种前道量检测设备。由于晶圆制造工艺环节复杂，所需要的检测设备种类较多，因此也是所有半导体检测赛道中壁垒最高的环节，单机设备的价格比后道测试设备还高，且不同功能设备价格差异也较大。前道量检测设备供应商目前有美国的科磊、应用材料；日本的日立；国内的精测电子、中科飞测、上海睿励等。下游客户为集成电路制造商，包含台积电、中芯国际、长江存储等。

2.1. 三种分类标准：检测目的、应用范畴、技术原理

按照不同的分类方法，集成电路可以被分成不同的类型。

- 1) 按照检测目的可以分为量测 (Metrology) 和缺陷检测 (Defect Inspection)
- 2) 按照应用范畴主要可以分为关键尺寸测量 (Optical Critical Dimension OCD)、薄膜的厚度测量 (Film Metrology)、套刻对准测量 (Overlay Metrology)、光罩/掩膜检测 (Reticle Inspection)、无图形晶圆检测 (Non-patterned Wafer Inspection)、图形化晶圆检测 (Patterned Wafer Inspection)、缺陷复查 (Review SEM)
- 3) 按技术原理可以分为光学检测设备 (Optical Inspection Equipment)、电子束检测设备 (E-beam Inspection Equipment) 和其他检测设备

2.2. 检测目的分类：量测和检测，价值量随工艺技术同步提升

量测 (Metrology) 和检测 (Inspection)：

前道量检测根据检测目的可以细分为量测 (Metrology) 和检测 (Inspection)。量测主要是对薄膜厚度、关键尺寸、套准精度等制成尺寸和膜应力、掺杂浓度等材料性质进行测量，以确保其符合参数设计要求；而缺陷检测主要用于识别并定位产品表面存在的杂质颗粒沾污、机械划伤、晶圆图案缺陷等问题。

量测和缺陷检测对于半导体制造过程非常重要。半导体晶圆的整体制造过程有 400 至 600 个步骤，需要一到两个月内完成。如果流程早期出现任何缺陷，则后续耗时步骤中执行的所有工作都将被浪费。因此，在半导体制造过程的物理量测和缺陷检测是其中的关键步骤，用于确保良率和产量。新应用需求驱动了制程微缩和三维结构的升级，使得工艺步骤大幅提升，成熟制程（以 45nm 为例）工艺步骤数大约需要 430 道到了先进制程（以 5nm 为例）将会提升至 1250 道，工艺步骤将近提升了 3 倍；结构上来看包括 GAAFET、MRAM 等新一代的半导体工艺都是越来越复杂；虽然相较于制造设备，量测设备的技术门槛较低，但是在数千道制程中，每一道制程的检测皆不能有差错，否则会显著影响芯片的成败。

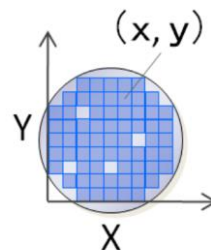
量测 (Metrology)：

量测 (Metrology) 不仅指测量行为本身，而且指通过考虑误差和准确性而进行的测量，以及测量设备的性能和机制。如果测量结果不在给定的规格范围内，则制造设备无法按设计继续运行。

检测 (Inspection) 查找缺陷的位置坐标：

检测可以检测缺陷并指定其位置涉。主要用于使用检查设备来检查是否出现异质量情况，如检测晶圆中存在灰尘或者颗粒污染等缺陷的过程。具体来说，它旨在查找缺陷的位置坐标 (X, Y)。

图 10：缺陷检测设备原理



资料来源：Hitachi，天风证券研究所

2.3. 应用范畴分类：关键尺寸、膜厚、套刻对准，光罩/掩膜、图形、缺陷复查等

按照应用范畴分类，量检测可以主要分为七大类：关键尺寸量测、薄膜厚度量测、套刻对准量测、光罩/掩膜检测、无图形晶圆检测、图形化晶圆检测、缺陷复查检测等。

2.3.1. 关键尺寸量测：监控线宽和孔径，实现精确误差测量

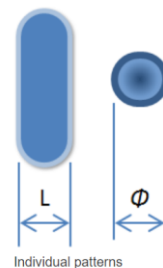
量测按应用可以主要分为关键尺寸量测，薄膜的厚度量测及套刻对准量测

1) 关键尺寸量测 (OCD-Optical Critical Dimension Metrology):

关键尺寸量测-半导体制程中最小线宽一般称之为关键尺寸，其变化是半导体制造工艺中的关键。随着关键尺寸越来越小，容错率也越小，因此必须要尽可能的量测所有产品的线宽，可见关键尺寸的量测重要性越发关键。

案例：在半导体晶圆的指定位位置测量电路图案的线宽和孔径

图 11：关键尺寸量测



资料来源：Hitachi，天风证券研究所

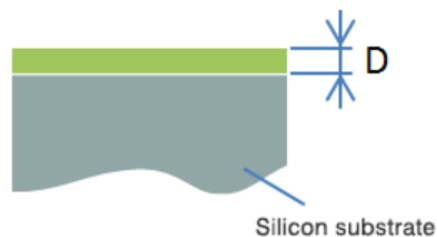
2.3.2. 薄膜厚度量测：厚度、反射率、密度量测，鉴定和监控不同薄膜层

薄膜厚度量测 (Film Metrology):

在整个制造工艺中硅片表面有多种不同类型的薄膜，包含金属、绝缘体、多晶硅、氮化硅等材质。晶圆厂为生产可靠性较高的芯片时薄膜的质量成为提高成品率的关键，其中薄膜的厚度、反射率、密度等都须要进行精准的量测。

案例：测量半导体晶圆表面薄膜的厚度

图 12：薄膜厚度量测



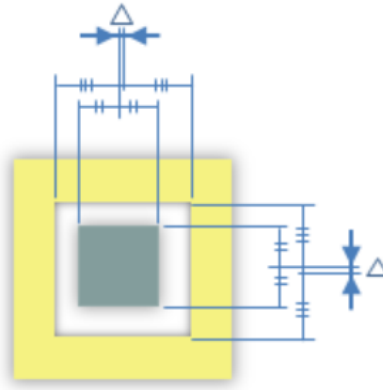
资料来源：Hitachi，天风证券研究所

2.3.3. 套刻对准量测：高阶矫正光刻机、掩模和硅片位置误差，提高覆盖精度

套刻对准测量(Overlay Metrology):

套刻对准测量应用在光刻工艺后，主要是用于量测光刻机、掩模版和硅片的对准能力。量测系统检查覆盖物的准确性（叠加工具）测量用于检查传输到晶圆上的第一层和第二层图案的射覆盖精度。

图 13：套刻对准量测



资料来源：Hitachi, 天风证券研究所

关键尺寸测量，薄膜的厚度测量及套刻对准测量设备案例：

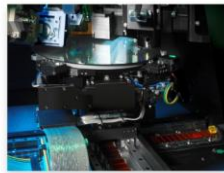
图 14：套刻对准量测和关键尺寸量测案例



Archer™

套刻量测系统

Archer™750套刻量测系统提供对产品套刻误差的准确反馈，能实现快速的技术升级，稳定生产先进的存储器和逻辑器件产品。在制造工艺不断变化的情况下，具有10nm分辨率的波长可调性提供了准确而强大的套刻误差测量。量产应用常见于散射量测的系统，Archer 750成像技术套刻系统支持更高采样率对光刻机的高阶校正，同时提供高产量便于进行在线监测。先进的算法和新颖的r-AIM™套刻目标设计可改善目标与器件套刻误差之间的相关性，从而帮助光刻人员准确跟踪器件套刻的状况。



SpectraShape™

光学临界尺寸 (CD) 和形状量测系统

SpectraShape™11k尺寸量测系统用于全面表征和监控finFET的关键尺寸 (CD) 及其三维形状、垂直堆叠的NAND和DRAM结构以及前沿设计节点上集成电路的其他复杂功能。利用光学技术和专利算法的先进性突破，SpectraShape 11k可以识别关键器件的参数 (关键尺寸、高k和金属栅极凹槽、侧壁角度、光刻胶高度、硬掩模高度、间距偏移) 的细微变化。SpectraShape 11k配备了经过改进的工作台和全新的测量模块，可实现高产量运转，能够在快速识别制程中的问题，从而帮助晶圆厂加快产量提升并实现稳定的生产。

资料来源：KLA,天风证券研究所

图 15：膜厚量测设备案例



产品特点：
 纳米级三维形貌测量
 膜厚，胶厚测量
 高深宽比孔膜厚测量
 专利多功能融合光路设计

资料来源：中科飞测官网, 天风证券研究所

2.3.4. 光罩/掩模检测：捕获光罩缺陷和图案位置错误，降低缺陷引发风险

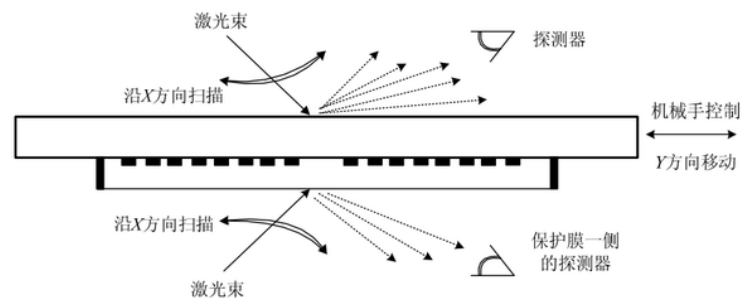
光罩/掩模检测（Reticle Inspection）：

可以说，光罩/掩模检测远比其他应用，例如无图案或图案晶圆检测重要。这是因为，虽然裸晶圆或图案晶圆上的单个缺陷有可能损坏一个器件，但掩模版上的单个缺陷可能会摧毁上千个器件。

在半导体器件生产中，零缺陷光罩（也称为光掩模或掩模）是实现芯片制造高良率的关键因素之一，因为光罩上的缺陷或图案位置错误会被复制到产品晶圆上面的许多芯片中。光罩的制造采用光罩基板，即镀了吸收薄膜的石英基板。优秀的光罩检测、量测和数据分析系统产品能够协助光罩基板、光罩和 IC 制造商识别光罩缺陷和图案位置错误，以降低良率风险。

通常，掩模在使用过程中很容易吸附粉尘颗粒，而较大粉尘颗粒很可能会直接影响掩模图案的转印质量，如果不进行处理会进一步引起良率下降。因此，在利用掩模曝光后，通常会利用集成掩模探测系统对掩模版进行检测，如果发现掩模版上存在超出规格的粉尘颗粒，则处于光刻制程中的晶圆将会全部被返工。掩模检测系统工作原理可见下图：

图 16：光罩/掩模检测系统工作原理示意图



资料来源：芯制造，天风证券研究所

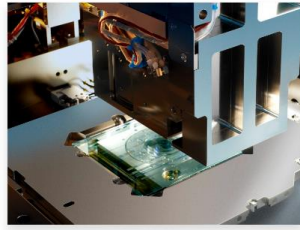
Fab 中对掩模缺陷的检测分为在线和离线两种。在线检测是指每次曝光之前和之后对掩模板表面检测。这通常是依靠光刻机中内置的检测单元来完成的。最常见的是集成在 ASML 系列光刻机上的掩模检测系统。IRISTM 对即将被使用的掩模或刚使用完毕后的掩模的正反面分别扫描，发现吸附在掩模上的颗粒，并报警。光刻工程师看到报警信号后做相应处理。图 16 是 IRISTM 工作的原理图。在做颗粒扫描时，掩模沿 Y 方向运动由机械手控制，X 方向的扫描由激光束的移动来实现。完成一次 IRISTM 扫描的时间大约等价于 2 到 3 个晶圆曝光的时间。通常对一批晶圆可以只做一次 IRISTM 扫描，这样可以减少占用生产的时间，提高光刻机的产能。

离线检测是指定期地把掩模从系统中调出来做缺陷检测。检测的时间间隔可以在掩模版管理系统中设定，也可以按使用的次数来决定是否做检测。半导体设备供应商提供专用设备来做这种检测。离线检测的优点是分辨率高，有些检测设备还能对检测出来的缺陷做简单处理。

光罩/掩模检测设备案例：

1) 光罩/掩模检测系统：

图 17：光罩/掩模缺陷检测系统案例



Teron™ 6xx

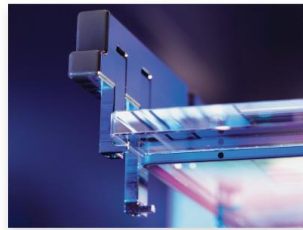
针对光罩厂应用的光罩缺陷检测系统

Teron™640e光罩检测产品系列通过检测关键图案和颗粒缺陷，在光罩厂中推动了先进的EUV。这些检测系统采用芯片与数据库或芯片与芯片的模式，可以处理各种堆叠材料和复杂的OPC色。Teron 640e将多种光学和图像处理的配套功能升级，可以满足缺陷捕获率要求，并加能满足生产EUV光罩所需的严格的洁净度标准。

资料来源：KLA,天风证券研究所

2) 光罩/掩模检测系统:

图 18: 光罩/掩模检测系统案例 2



LMS IPRO

光罩图案定位测量系统

LMS IPRO7光罩定位测量系统旨在为7nm设计节点使用的EUV和光学光罩提供准确快速的误差的全面表征。LMS IPRO7可以在高级设计节点光罩的开发和生产期过程中收集数据并将测量控制。采用 KLA 专利的模型量测算法。LMS IPRO7可以高精度地测量目标和多个器件上工厂提供全面表征信息，减少由光罩引起的的器件叠对误差。

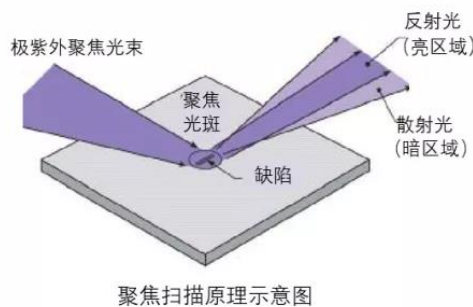
资料来源：KLA,天风证券研究所

EUV 光罩/掩模检测：波长更短，检测灵敏度更高

传统的检查 EUV 光掩膜的方法主要是将深紫外光 (DUV) 应用于光源中，而极紫外 (EUV) 的波长较 DUV 更短，产品缺陷检测灵敏度更高。

EUV 掩模版的检测原理为：电磁波辐射到细小缺陷颗粒上被散射形成暗场，这样可以实现缺陷的检测，系统采用 364nm 的工作波长，对于基地大小为 88nm 的缺陷，检测可行度为 97%。

图 19: EUV 掩模版缺陷检测：聚焦扫描原理示意图



资料来源：半导体设备与材料，国科大，天风证券研究

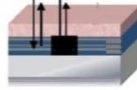
图 20: EUV 掩模缺陷检测 1

图 21: EUV 掩模缺陷检测 2

2. 多层膜的缺陷检测

a. 聚焦光束扫描技术

仅限于多层膜表面的缺陷如多层膜将要完成和已完成时产生的振幅缺陷，目前最高的检测精度已经达到30nm，但扫描速度慢。



b. 光刻胶传递法

将多层膜的缺陷通过反射光实现光刻胶的不均匀曝光，通过后期显影实现检测。方法简单但具破坏性，仅做辅助手段。

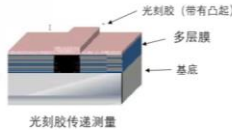


图 21

资料来源：国科大，天风证券研究所

c. EUV Mirau 干涉显微镜

由分束镜将照明光源分成两部分，一部分光通过参考多层膜镜而另一部分则照射到掩膜表面，两束光再次在分束镜相遇并产生干涉最后平面成像。可直接得到缺陷的位置和大小，可检测50nm的相位或者振幅缺陷。

d. 暗场快速测量

原理与a相似，但仅利用非镜面散射光，而且可以实现连续扫描加快测量速率。

资料来源：国科大，天风证券研究所

EUV 光罩/掩膜检测市场，Lasertec 高度垄断

除了仅由 ASML 提供的 EUV（极紫外光）光刻系统之外，三星电子和台积电之间在争夺超微加工工艺所需设备的安全方面的竞争也越来越激烈。APMI（光化图案掩膜检查）系统和制造掩膜的写入器就是最好的例子。这个设备是芯片制造的关键工具，当芯片制程小于 5 纳米时，它们将决定生产率和质量。

EUV 掩模的高科技检查系统能够检查基于复杂结构的 EUV 掩模，比目前使用 ArF 光源的检查系统更精确，更紧密。这个新的检查系统在将掩模引入生产线之前和之后进行检查。业界将此系统称为 APMI 系统。

图 22：极紫外光 EUV 相关设备

EUV 相关设备	
设备	厂家
曝光设备	荷兰 ASML 市场份额 100%
光掩膜 (Photo Mask) 缺陷检测设备 (光源为 EUV)	Lasertec 公司市场份额 100%
光掩膜 (Photo Mask) 缺陷检测设备 (光源为 DUV)	Lasertec 公司、美国 KLA
光掩膜坯 (Mask Blanks, 光掩膜的材料) 缺陷检测设备	Lasertec 公司市场份额 100%
涂覆显影设备 (Coater Developer)	东京电子市场份额 100% 半导体行业观察

资料来源：半导体行业观察，天风证券研究所

EUV 光罩（半导体线路的光掩模版、掩膜版）检验设备最近几年需求增长尤其旺盛，在这个领域，日本的 Lasertec Corp. 是全球唯一的测试机制造商，Lasertec 公司持有全球市场 100% 的份额。2017 年，Lasertec 解决了 EUV 难题的关键部分，当时该公司创建了一款可以检查空白 EUV 掩模内部缺陷的机器。2019 年 9 月，它又推出了可以对已经印有芯片设计的模板进行相同处理的设备，从而又创建了另一个里程碑。

传统的检查 EUV 光掩膜的方法主要是将深紫外光（DUV）应用于光源中，而 EUV 的波长较 DUV 更短，产品缺陷检测灵敏度更高。DUV 光虽然也可以应用于当下最先进的工艺 5 纳米中，但是 Lasertec 公司的经营企划室室长三泽祐太郎指出，“随着微缩化的发展，在步入 2 纳米制程时，DUV 的感光度可能会不够充分”即，采用 EUV 光源的检测设备的需求有望进一步增长。

根据彭博社的报道，Lasertec 股价自 2019 年初到 2020 年下旬，已增长了 550%。在其公布的 2020 年 7 月-9 月三个月的财报显示，这三个月 Lasertec 的销售额达到了 131.65 亿日元，而 2019 年同期的销售额则仅为 55.42 亿日元，增长了超过两倍。随着之后 5nm 制程的不断推进，Lasertec 未来的盈利增长空间广阔。

2.3.5. 无图形晶圆检测：检出裸晶圆颗粒及缺陷，奠定图形化检测基础

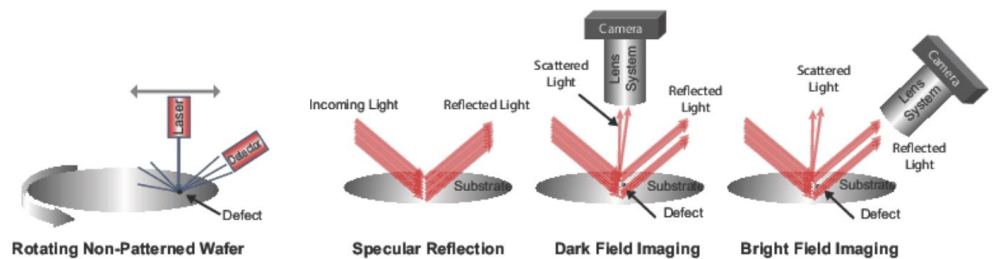
无图形晶圆检测 (Non-patterned Wafer Inspection):

图形化定义：图形化使用光刻法和光学掩膜工艺来刻印图形，在器件制造工艺的特定工序，引导完成晶圆表面的材料沉积或清除。对于器件的每一层，在掩膜未覆盖的区域沉积或清除材料，然后使用新的掩膜来处理下一层。按照这种方式来重复处理晶圆，由此生成多层电路。

无图形化检测指在开始生产之前，裸晶圆在晶圆制造商处获得认证，半导体晶圆厂收到后再次认证的检测的检测过程。

无图形晶圆检测系统用于晶圆制造商中的**晶圆运输检验、晶圆进货检验以及使用虚拟裸晶圆监控设备清洁度的设备状况检查**。设备状况检查也由设备制造商在装运检查时和进货检查时执行。设备制造商使用光学检测系统检查晶圆和掩模板有无颗粒和其他类型的缺陷，并确定这些缺陷在晶圆上的 X-Y 网格中的位置。

图 23：无图形晶圆上的缺陷检测流程



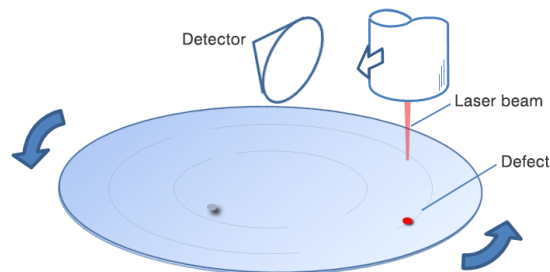
资料来源：MKSnewport，天风证券研究所

基本原理：

用于无图形晶圆缺陷检测的基本原理相对简单。激光束在旋转的晶圆表面进行径向扫描，以确保光束投射到所有晶圆表面。激光从晶圆表面反射，就像从镜子反射一样，如上图所示。这种类型的反射称为镜面反射。当激光束在晶圆表面遇到粒子或其他缺陷时，缺陷会散射激光的一部分。**可直接检测散射光（暗场照明）或反射光束（亮场照明）中强度的损失。**

由于没有图案，因此无需图像比较即可直接检测缺陷。当激光束投射到旋转晶圆的粒子/缺陷上时，光线将被探测器散射和探测。因此，检测到粒子/缺陷。从晶圆旋转角度和激光束的半径位置，计算和记录了粒子/缺陷的位置坐标。镜面晶圆上的缺陷还包括晶体缺陷，如 COP 以及颗粒。

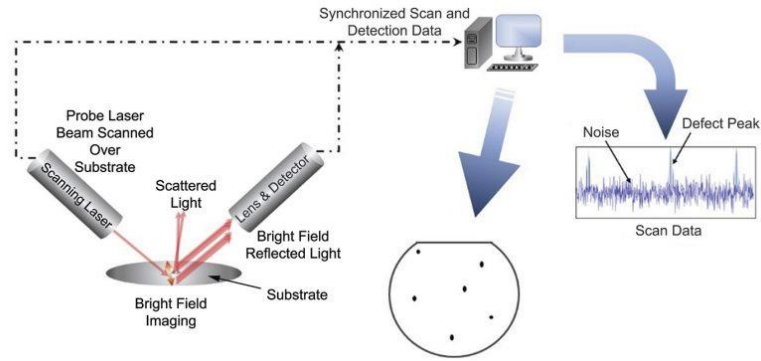
图 24：无图形晶圆上缺陷检测原理



资料来源：Hitachi,天风证券研究所

晶圆的旋转位置和光束的径向位置决定了缺陷在晶圆表面的位置。在晶圆检测工具中，使用 PMT 或 CCD 方式记录光强度，并生成晶圆表面的散射或反射强度图。此图提供有关缺陷大小和位置的信息，以及由于颗粒污染等问题而导致的晶圆表面状况的信息。

图 25：检测工具中的光收集、加工和晶圆映射



资料来源：MKSnewport,天风证券研究所

无图形晶圆检测设备案例：

图 26：无图形晶圆检测系统案例



Surfscan®

无图案晶圆缺陷检测系统

Surfscan® SP7XP 无图案晶圆检测系统可以帮助识别缺陷和表面质量问题，这些问题都会影响先进逻辑和存储器件的性能与可靠性。该系统通过鉴定和监控设备、制程和材料（包括用于 EUV 光刻设备、制程和材料）来支持 IC、OEM、材料和基板制造。使用 DUV 激光器和优化的检查模式，Surfscan SP7XP 为先进技术节点研发和生产能力提供了最高的灵敏度，并支持大批量生产，包括相位对比通道（PCC）和垂直照射（NI）在内的互补检测模式。可以检测裸晶圆、平滑和粗糙膜以及精细的光阻和光刻涂层中独特的缺陷类型。基于图像的缺陷分类（IBC）利用革命性的机器学习算法，将更快地找出产生问题的根源，Z7™ 分类引擎支持独特的 3D NAND 及厚膜等应用。

资料来源：KLA,天风证券研究所

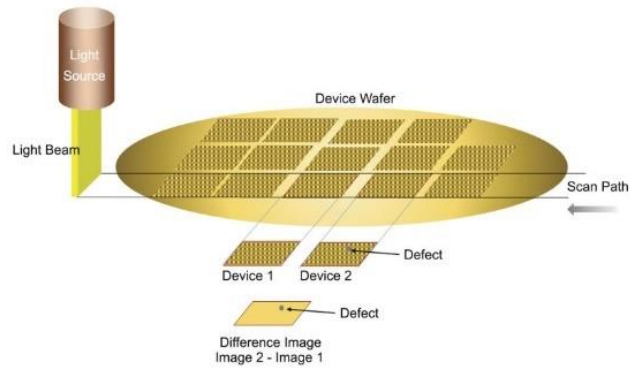
2.3.6. 图形化晶圆检测：比较图像生成缺陷图，识别物理和高纵横比缺陷

图形化晶圆检测(Patterned Wafer Inspection)：

应用材料公司表明，随着图形化和几何结构线宽的缩小，在早期技术节点不构成问题的瑕疵，现在已成为“致命”的缺陷，或影响成品率的主要因素。

图形化晶圆的检测可采用明场照明、暗场照明，或两者的组合进行缺陷检测。此外，电子束（EB）成像也用于缺陷检测，尤其是在光学成像效果较低的较小几何形状中。然而，它非常缓慢，只在研发阶段使用。模纹晶圆检测系统将晶圆上的测试芯片图像与相邻芯片（或已知无缺陷的“金”模片）的图像进行比较。缺陷的位置会生成缺陷图，类似于为无图案晶圆生成的图。与无图案晶圆的检查一样，图形化晶圆检测需要精确且可重复的运动控制，测试系统的晶圆级和光学元件同时移动。

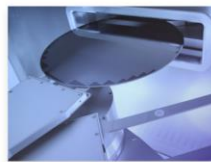
图 27：图形化晶圆检测原理



资料来源：MKSnewport,天风证券研究所

图形化晶圆检测设备案例：

图 28：图形化晶圆检测系统案例



对此产品感兴趣或有疑问？

联系我们

eSL10™

e-Beam 图案晶圆检测系统

eSL10™ 电子束 (e-beam) 图案化晶圆缺陷检测系统利用业界最高的有效着陆电压与高分辨率捕获小的物理缺陷和高纵横比的缺陷，支持高级逻辑、DRAM 和 3D NAND 器件产品制程开发和生产过程的监测。凭借创新的电子光学设计，eSL10™ 可以适应工业生产中的各种环境条件。在较小的束斑尺寸内产生高束流密度，能够在一系列具有挑战性的制程层和器件结构中捕获缺陷。革命性的 Yellowstone™ 扫描模式可在不影响分辨率同时支持高速运行，能有效研究芯片的潜在制程弱点，配合缺陷发现。业界独一无二的 Simul-6™ 技术在一次扫描中就能提供表面、形貌、材料对比度和深沟槽内部等信息，减少了完整收集各种类型缺陷信息所需的时间。借助集成的人工智能 (AI) 技术，eSL10 采用了深度学习算法，能够将关键缺陷 (DOI) 的信号与图案本身和制程带来的噪声信号区分开，帮助在研发与量产提升阶段及时捕获和分类关键缺陷。

主要应用

高分辨率缺陷检测，缺陷发现，研发过程调试，工程分析，量产和生产线监控

相关产品

eDR7xxx™：电子束晶圆缺陷检测和分类系统，用于 ≤10nm 设计节点 IC 产品的开发与生产。

资料来源：KLA,天风证券研究所

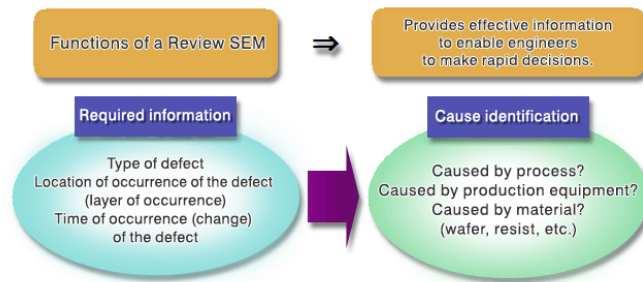
2.3.7. 缺陷复查检测：放大缺陷图像进行甄别，提供依据优化制程工艺

缺陷复查检测 (Review SEM)：

随着半导体集成电路工艺节点的推进，作为晶圆厂制程控制主力设备的光学缺陷检测设备的解析度已无法满足大规模生产和先进制程开发需求，必须依靠更高分辨率的电子束复检设备的进一步复查才能对缺陷进行清晰地图像成像和类型的甄别，从而为半导体制程工艺工程师优化制程工艺提供依据。

缺陷复查是一种使用扫描电子显微镜 (SEM) 检查晶圆上的缺陷。使用缺陷复查将半导体晶圆缺陷检测系统检测到的缺陷放大为高放大倍率图像，以便对该图像进行检阅和分类。缺陷复查设备主要与电子设备和其他半导体生产线的检测系统一起使用。

图 29：缺陷复查设备功能



资料来源：KLA,天风证券研究所

在缺陷检测系统中，将缺陷图像与相邻的模子图像（参考图像）进行比较，由于图像差异（差值图像处理）而检测缺陷。与缺陷检测系统类似的缺陷复查设备通过与相邻模具的电路模式进行比较来检测缺陷，并获得缺陷的正确位置。然后将缺陷移动到视场的中心，并拍摄放大的照片。

缺陷复查设备通常工作流程：

- 1.使用检测系统检测出晶圆缺陷。检测系统列出缺陷的位置坐标，并输出到文件中。
- 2.检查出晶圆和检验结果的文件加载到缺陷复查设备中。
- 3.拍摄列表中缺陷的图像；

根据缺陷列表中的位置信息确定缺陷位置。缺陷的图像由缺陷复查设备决定是否复查缺陷。

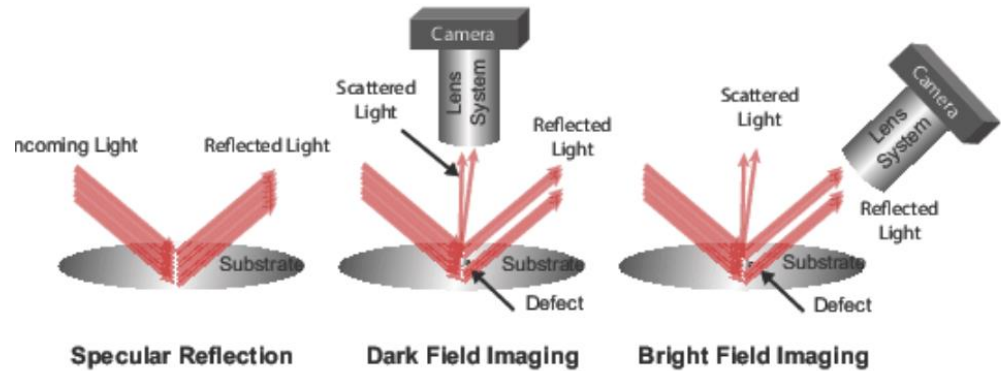
有时，使用缺陷数据文件中的位置信息无法发现晶圆上的缺陷。由于各种错误，仅使用位置信息不容易发现缺陷。

2.4. 技术原理分类：光学、电子束检测，应用互补，多方位检测

在前道工艺中，有很多类型的检测系统，其中包括电子束检测系统、光学明场检测系统和光学暗场检测系统。一般来说，光学明场检测系统用于详细检查模式缺陷。光学暗场检测系统可以高速检测，用于大量晶圆的缺陷检测。激光从晶圆表面反射，就像从镜子反射一样。当激光束在晶圆表面遇到粒子或其他缺陷时，缺陷会散射激光的一部分。暗场直接检测散射光，明场照明反射光束中强度的损失。电子束检测可提供材料对比度，其动态分辨率范围比光学检测系统大得多。

光学检测、电子束检测两者在制程工艺的检测中应用互补。光学的特点在于快速与完整，通常可以全天候进行检测，在需要实时检测以及离工艺机台较近甚至直接与工艺机台集成的应用场景下就会使用光学检测，通过光的反射、衍射光谱进行测量，具备检测速度快、成本低、范围广的优点；但是传统光学的波长是奈米等级，无法做非常精细的检测，所以会再使用电子束做更精细的检测。电子束波长是皮米等级，可以高分辨率的采集图像进行分类与分析。对于工艺的将测必须要精确评估，如果未检测到制程偏移和潜在良率问题，会使得生产的产品无法使用，因此需要多项检测设备进行多方位的检测。

图 30：光学明场、暗场检测原理



资料来源：MKSnewport，天风证券研究所

应用情况：

无图形晶圆检测：通常，暗场检测是无图形晶圆检测的首选，因为可以达到高栅格速度，可实现高晶圆吞吐量。图形化晶圆检测是一个慢得多的过程。它使用明场和/或暗场成像，具体取决于应用。

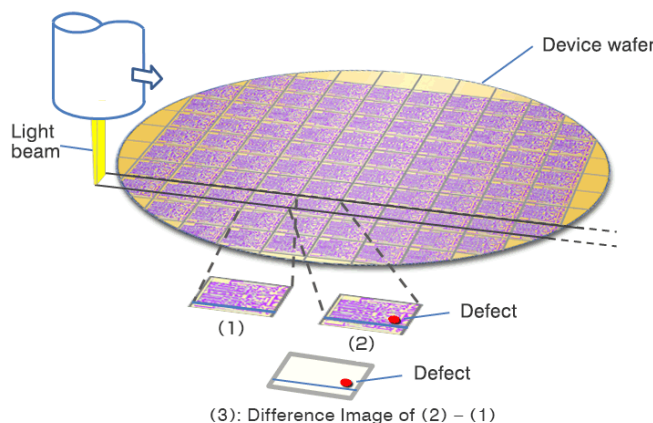
电子束（EB）成像也用于缺陷检测，尤其是在光学成像效果较低的较小几何形状中。电子束检测可提供材料对比度，其动态分辨率范围比光学检测系统大得多。然而，电子束应用受测量速度缓慢限制，因此主要在研发环境和工艺开发中对新技术进行鉴定。新的电子束工具可用于 10 nm 及更低节点的缺陷检测应用，并且正在开发具有最多 100 列或测量通道的多电子束工具。在电子束检测系统中，电子束被照射到晶圆表面，并检测出发射的二次电子和背散射电子。此外，电子束检测系统根据器件内部布线的电导率，将二次电子的量作为图像对比度（电压对比度）进行检测。如果检测到高纵横比接触孔底部的电导率，可以检测到超薄厚度的 SiO₂ 残留物。

光学（明场，暗场），电子束检测都有其自身的功能，不过基本检测原理是相似的：

基本原理：随机缺陷通常由颗粒（如灰尘）引起，并且发生在随机位置，正如名称所暗示的那样，随机缺陷在特定位置反复发生的可能性极低。因此，晶圆检测系统可以通过比较相邻芯片（也称为 DIE）的图案图像获取差异来检测缺陷。

如下图：晶片上的图案被电子束或光沿管芯阵列捕获。通过比较下图中的图像（1）图像（2）来检测缺陷。如果没有缺陷，则通过数字处理从图像（1）中减去图像（2）的得到为零的结果。相反，如果裸片图像（2）的中存在缺陷，则该缺陷将保留（如图像（3）），这个缺陷会被记录其位置坐标。

图 31：电子束检测原理



资料来源: Hitachi, 天风证券研究所

光学及电子束检测设备案例:

电子束检测设备

图 32: 电子束图案晶圆检测系统案例



对此产品感兴趣或有疑问?

联系我们

eSL10™

e-Beam 图案晶圆检测系统

eSL10™电子束 (e-beam) 图案化晶圆缺陷检测系统利用业界最高的有效着陆电压与高分辨率捕获小的物理缺陷和高纵横比的缺陷, 支持高级逻辑、DRAM和3D NAND器件产品制程开发和生产过程的监测。凭借创新的电子光学设计, eSL10™可以适应工业生产中的各种环境条件, 在较小的束斑尺寸内产生高束流密度, 能够在一系列具有挑战性的制程层和器件结构中捕获缺陷。革命性的Yellowstone™扫描模式可在不影响分辨率同时支持高速运行, 能有效研究芯片的潜在制程弱点, 配合缺陷发现。业界独一无二的Simul-6™技术在一次扫描中就能提供表面、形貌、材料对比度和深沟槽内部等信息, 减少了完整收集各种类型缺陷信息所需的时间。借助集成的人工智能 (AI) 技术, eSL10采用了深度学习算法, 能够将关键缺陷 (DOI) 的信号与图案本身和制程带来的噪声信号区分开, 帮助在研发与量产提升阶段及时捕获和分类关键缺陷。

主要应用

高分辨率缺陷检测, 缺陷发现, 研发过程调试, 工程分析, 量产和生产线监控

相关产品

eDR7xxx™: 电子束晶圆缺陷检测和分类系统, 用于≤10nm设计节点IC产品的开发与生产。

资料来源: KLA,天风证券研究所

光学明场检测设备

图 33: 光学明场检测设备案例



对此产品感兴趣或有疑问?

联系我们

39xx

超分辨率宽光谱等离子图案晶圆缺陷检测系统

392x系列宽光谱等离子缺陷检测系统可以提供晶圆级别的缺陷检测、良率改进以及对于≤7nm设计节点的逻辑及领先内存的在线监测。独特的深紫外 (SR-DUV) 波段光源技术可提供超分辨率,同时配合创新的传感器, 3920和3925对独特的缺陷类型具备高灵敏度的捕获能力。392x系列还配有先进的pixel-point™和nano-cell™设计认知算法, 能够在对良率关键的图案位置捕获缺陷并对其进行分类。392x系列将检测速度和灵敏度相结合, 并支持Discovery at the Speed of Light™ (光速发现) 功能, 从而使其产量达到在线监测的要求, 在研发和批量生产中缩短了晶圆级数据的采集时间并能完整表征制程问题。

主要应用

缺陷发现、制程弱点发现、制程调试、EUV光刻制程检查、工程分析、生产线监控、制程窗口发现

相关产品

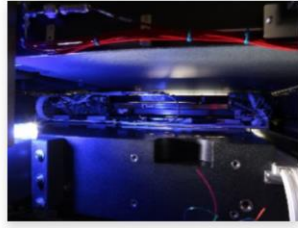
3900 and 3905: 宽光谱等离子晶圆缺陷检测仪, 针对10nm及以下的逻辑和高级内存器件进行针对影响良率的关键缺陷的检测。

29xx 系列: 针对一系列设计节点和器件类型, 与39xx系列的检测性能相辅相成的宽光谱等离子晶圆缺陷检测仪。

资料来源: KLA,天风证券研究所

光学暗场检测设备:

图 34: 光学暗场检测设备案例 1



Voyager®

激光扫描图案晶圆缺陷检测系统

Voyager® 1015激光扫描检测系统支持量产提升过程中的缺陷监测，尤其适用于浸没式（19:3）（ADI），因为这一工艺步骤下的晶圆仍可进行返工。先进设计节点ADI层上特有间距紧密的采集立体角度为这类ADI层提供了检测所需的高灵敏度。定制的传感器和能量可控的激光能进行算法可以抑制ADI检测中固有的噪声源，使得到的结果与制造工艺更具相关性。Voyager 1模块提供高产能的关键缺陷捕获，从而可以快速识别和纠正工艺中的问题。

对此产品感兴趣或有疑问?

联系我们

主要应用

生产线监控, 设备监控, 设备认证, 193i和EUV光阻认证

资料来源:KLA,天风证券研究所

图 35: 光学暗场检测设备案例 2



Puma™

激光扫描图案晶圆缺陷检测系统

Puma™ 9980激光扫描检测系统增强了多项灵敏度和速度功能，在提供了足够量产所需产能的同时，帮助1Xnm的先进逻辑器件和先进DRAM及3D NAND内存器件的批量制造捕获关键缺陷(DOI)。作为先进晶圆缺陷检测与复检设备系列的一部分，Puma 9980通过提升对于图案层(e.g., Multi-patterning)缺陷类型的捕获，为量产提升监控提供了最高产能的解决方案。Puma 9980结合了NanoPoint™这一设计解析功能，提升了缺陷检测灵敏度、更好的系统性噪音分离，以及缺陷定位精度的提高，为最终的检测结果提供了更多的可操作性。

对此产品感兴趣或有疑问?

联系我们

主要应用

产品线监测, 设备监测, 设备认证

相关产品

Puma 9850: 为2X / 1Xnm内存和逻辑器件提供全芯片(Die)区域的高灵敏度偏移监控。

Puma 9650: 为≤28nm的内存和逻辑器件提供全芯片(Die)区域的高性能偏移监控。

Puma 9500: 为≤32nm的内存和逻辑设备提供高性能的偏移监控。

资料来源: KLA,天风证券研究所

2.5. 全球市场及主要厂商：国外高度垄断，膜厚量测打开细分赛道突破口

全球前道量检测设备市场，分类占比：

2020年前道量检测设备全球市场规模约69亿美元。细项设备拆分来看，排在前列的设备为图形化检测占32%、掩模版量测占15%、膜厚检测占12%、关键尺寸量测占10%。

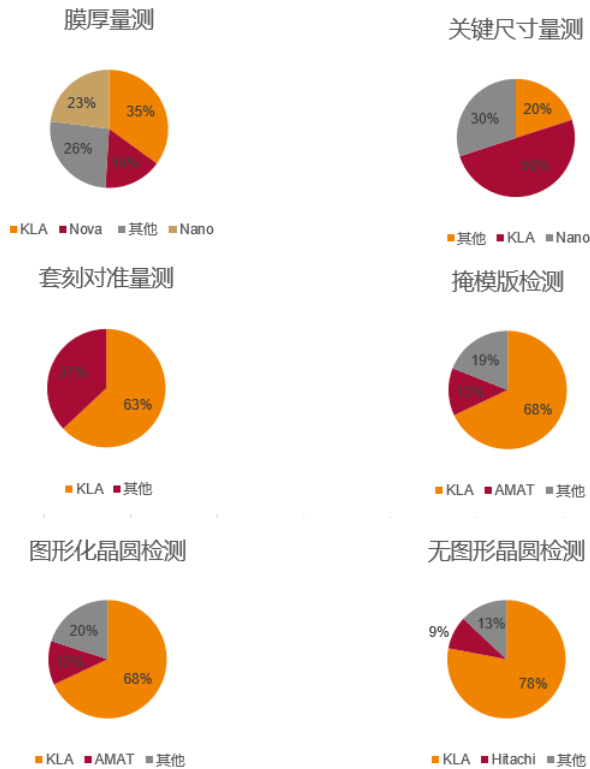
图 36: 2016-2020 全球半导体前道量检测市场规模及拆分（亿美元，%）



资料来源: 智研咨询, 天风证券研究所

细分赛道市场可见下图，其中，膜厚量测技术门槛相对较低，集中度相对分散，KLA 占比35%、Nanometrics 占比23%、Nova 占比16%，为国内厂商进入检测设备的首突破口。

图 37: 前道量检测细分赛道市场情况 (%)

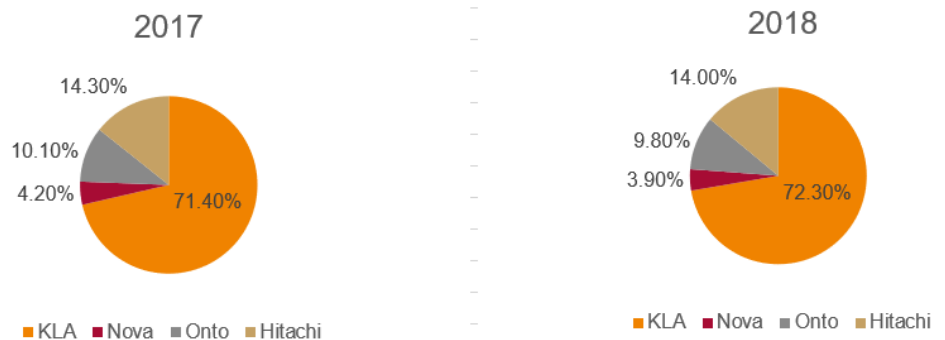


资料来源：KLA，天风证券研究所

全球前道量检测设备主要厂商：

在量检测市场中，KLA 占比超过 70%，第二名 Hitachi High Tech 占比 14%左右，Onto 紧随其后。(注：Nano 和 Rudolph 2019 宣布合并)

图 38：2017-2018 前道量检测市场格局 (%)



资料来源：MKSnewport，天风证券研究所

前道量检测设备厂商

1) 科磊 (KLA)

KLA Corporation 的前身是 KLA-Tencor Corporation，世界知名的半导体（芯片）设备供应商，总部位于美国硅谷。自 1976 年成立以来，KLA 致力于“制程控制”技术的研发与创新，该专业领域可分为检测、量测、数据分析三大基础部分，三部分相互配合，为芯片制造工业提供全方位的在线检测、量测、数据源分析，将实时信息反馈给每一道关键制程，帮助做到制程的及时优化与改进。KLA 作为制程控制技术的领导者，秉承为全球客户提供定制化优质服务理念，承诺按需求及时优化制程控制方案，实现对先进制程技术量产，现有制程高质量、高产能等工业技术的要求。

研发投入：去年 KLA 在研发方面投入了 6 亿多美元，履行对解决最严峻技术挑战的承诺。从 1975 年突破性的光罩检测设备为半导体工艺控制带来的曙光，到今天的宽带等离子技术能够快速发现缺陷，KLA 总喜欢保持领先。

最新产品：2020 年 12 月 10 日 KLA 宣布推出两款全新产品：PWG5™ 晶圆几何系统与 Surfscan® SP7XP 晶圆缺陷检测系统。新系统专注解决先进的存储器与逻辑集成电路制造中遇到的极其困难的问题。PWG5 量测系统具备前所未有的分辨率，能测量出晶圆几何形貌的微小变形，从源头识别并修正图案化晶圆的变形。而且，这些关键的晶圆几何形状测量现在能够配合在线生产的速度，并在较大的翘曲范围内完成。新的 Surfscan SP7XP 无图案晶圆缺陷检测系统具有灵敏度和生产能力方面的进步，并引入了基于机器学习的缺陷分类方式，可以应对更广泛的薄膜和基材类型，捕获和识别更大范围的缺陷类型。

图 39：KLA 最新产品



资料来源：KLA，天风证券研究所

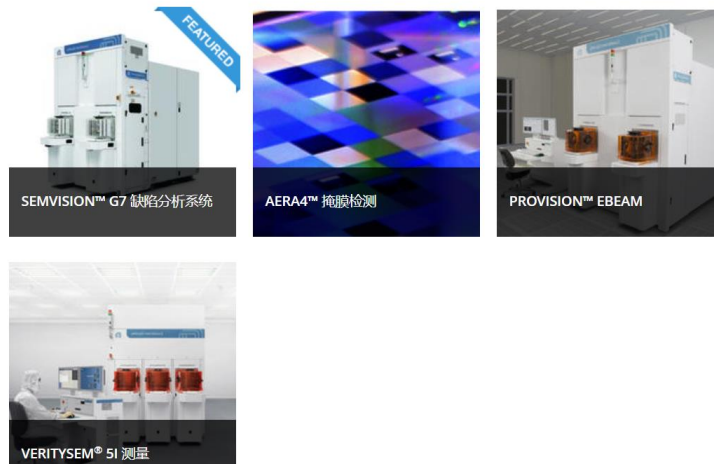
2) 应用材料 Applied Materials(AMAT)

应用材料公司是材料工程解决方案的领导者，全球几乎每一个新生产的芯片和先进显示器的背后都有应用材料公司的身影。

AMAT 检测设备产品包括：

- 1) SEMVISION™ G7 缺陷分析系统：具备对晶圆斜边和侧边的独特成像能力
- 2) Aera4 掩膜检测系统是采用 193nm 工作波长的第四代检测工具，它以独特的方式，将真实空间成像技术与前沿的高分辨率成像技术相结合。
- 3) PROVISION™ EBEAM INSPECTION 电子束检测系统：**业界第一款能够达到 1nm 分辨率的电子束检测设备**，能够检测到以往 EBI（电子束检查）技术无法识别的缺陷
- 4) VERITYSEM® 5I 测量系统：**具备独一无二的内嵌三维功能，可对 1x 纳米及以下节点的逻辑和存储器件进行量产规模的测量以及诸如栅极和鳍高度的 FinFET 测量的超越传统测量方法**

图 40：应用材料 AMAT 检测设备



资料来源: applied materials, 天风证券研究所

4) 日立 HITACHI

日立作为社会创新事业的全球领军者，开展的业务涉及电力、能源、产业、流通、水、城市建设、公共、医疗健康等领域，通过与客户的协创提供优质解决方案。现在，日立正凭借创业之初即拥有的运用控制技术优势，以及长达半世纪之久的 IT 技术，并融合大数据分析、AI 等数字技术，在全球加速开展社会创新事业，致力解决各种社会课题，成为"IoT 时代的创新合作伙伴"，努力实现在全球市场的进一步发展。

主要检测设备：

- 1) 半导体蚀刻系统 9000 系列：统一接口并且能够搭载高精度模块化的各种腔室，从而实现了对应最尖端器件的扩展性和柔软性的工艺
- 2) 高解析度 FEB 测量装置 CG6300 (HITACHI CD-SEM)：通过电子光学系统的全新设计提高了解析度，并进一步提高了测量可重复性和图像画质
- 3) 高速缺陷观测设备 CR6300(Defect Review SEM)：运用 ADR 和高精度 ADC 来为提高良率做贡献的 Inline 缺陷观测 SEM

图 41：日立 Hitachi 检测设备

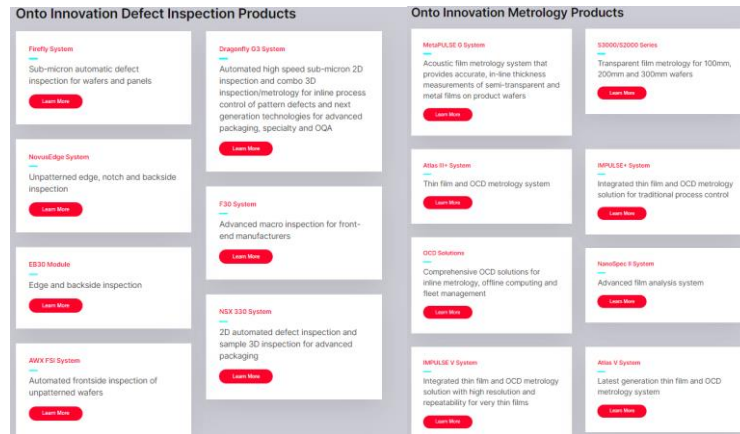


资料来源: hitachi-hightech, 天风证券研究所

4) 耐诺公司 Onto Innovation (ONTO)

Onto Innovation 由 Nanometrics 和 Rudolph Technologies 合并而成，通过整合两家半导体行业专供不同领域的领导者，新公司的半导体产品供应链尤其是检测系统的覆盖面更广。Onto Innovation 是美国第四大晶圆生产设备供应商，也是全球前十五大公司之一。是为数不多的端到端供应商之一，产品和应用范围覆盖半导体产业链，从无图案化晶圆质量、前道工艺量测和宏观缺陷检测，再到先进封装光刻和后段检测，以及企业级软件解决方案。

图 42: Onto 主要检测设备



资料来源: Onto, 天风证券研究所

5) ASM PACIFIC (ASMPT)

ASMPT 于 1975 年在香港成立，集团是全球首个为半导体封装及电子产品生产的所有工艺步骤提供技术和解决方案的设备制造商，包括从半导体封装材料和后段(芯片集成、焊接、封装)到 SMT 工艺。全球并无其他设备供应商拥有类似的全面产品组合及对封装及 SMT 程序的广泛知识及经验。

半导体解决方案分部生产及提供半导体装嵌及封装设备，应用于微电子，半导体，光电子，及光电市场。其提供多元化产品如固晶系统，焊线系统，滴胶系统，切筋及成型系统及全方位生产线设备。SMT 解决方案业务负责为 SMT、半导体和太阳能市场开发和分销一流的 DEK 印刷机，以及一流的 SIPLACE SMT 贴装解决方案。ASMPT 总部位于新加坡，自 1989 年起在香港联交所上市。

ASMPT 前道量检测设备应用于 MEMS 图像传感器封测流程中，下图为 ASMPT 图像传感器的封测应用流程，其中包括了光学检测设备：

图 43: ASMPT 图像传感器封测流程



资料来源: ASMPT, 天风证券研究所

ASMPT 光学检测具体设备包括：

- 1) CM-Inspector 全自动化光学检视机（CMOS 装嵌）
- 2) TwinSpector 全自动光学检测设备

图 44：ASMPT 检测设备



资料来源：ASMPT，天风证券研究所

2.6. 中国主要厂商：紧握细分市场机遇，产品陆续中标，拉动增长曲线

膜厚量测技术门槛相对较低，集中度相对分散，为中国公司打开细分赛道突破口。主要中国厂商见下：

- 1) 上海精测（精测电子 300567.SZ 为母公司）

2020 年 1 月上海精测中标长江存储 3 台膜厚量测设备

上海精测成立于 2018 年，核心技术团队来自国内外丰富产业经历人才，通过自主研发及吸收引进先进技术，实现半导体测试设备的技术突破及产业化，快速做大做强。公司聚焦半导体前道检测设备领域，以椭圆偏振技术为核心开发了适用于半导体工业级应用的膜厚量测以及光学关键尺寸量测系统，在产品推向市场后，先后于 2020 年 1 月中标长江存储 3 台集成式膜厚光学关键尺寸量测仪，并于 2020 年 8 月再次中标 3 台，其他客户的拓展工作也已取得了较好的成绩，电子显微镜等相关设备的研发符合预期，预计近期将完成首台套的交付，产品受到国内重点客户认可。

公司成功开发高性能集成电路制造前道量检测进口替代设备，未来公司会持续增加研发，投入光学检测设备研发，包含纳米薄膜椭圆偏测量、光学关键尺寸（OCD）测量、硅片应力测量等设备；以及电子光学检测设备研发，包含 CD-SEM 扫描电子显微镜关键尺寸测量、Review-SEM 全自动晶圆缺陷复查、FIB-SEM 双束等的行辈。公司将会持续打破集成电路高端检测设备被国外厂家垄断的局面，填补国内空白，实现进口替代，为之后研发暗场颗粒检测、精密套刻测量、多束电镜、透射电镜等前沿技术和设备提供坚实基础。

图 45：上海精测发展历程及产品



资料来源：上海精测官网，天风证券研究所

先进检测设备：国内首台拥有完全自主知识产权的半导体前道检测设备

不仅是 2021 年 1 月中标的量测设备，上海精测在缺陷检测设备中也有突破。2020 年 12 月上海精测半导体推出 eView 全自动晶圆缺陷复查设备并正式交付，该设备是基于扫描电子显微镜技术的复查和分类的设备，应用于集成电路制造过程，可对光学缺陷检测设备的结果进行高分辨率复查、分析和分类，满足 10x nm 集成电路工艺制程的需求。

图 46：上海精测检测设备案例



eViewTM全自动晶圆缺陷复查设备是上海精测半导体自主研发的扫描电子显微缺陷复查和分类设备，它具有领先的高分辨率电子束成像能力和自动缺陷分类能力。

eViewTM全自动晶圆缺陷复查设备是**国内首台拥有完全自主知识产权的半导体前道检测设备**。

资料来源：上海精测官网，天风证券研究所

2) 中科飞测

深圳中科飞测科技有限公司（以下称“公司”）是以海外留学归国的研发和管理团队为核心、与中科院微电子研究所深入合作、自主研发和生产工业智能检测装备的高科技创新企业，检测技术在行业处于国际前沿地位，检测设备在市场实现设备的国产化。2016 年公司被认定为深圳市高新技术企业，并成为中国集成电路测试仪器与装备产业技术创新联盟理事单位。

目前，深圳中科飞测科技有限公司是国内唯一一家自主研发集成电路和先进封装检测设备和光学三维尺度量测模块及整体设备的企业。公司以市场、研发和服务为战略核心，以对智能制造细分市场需求的深度了解和卓越的自主研发创新技术为核心竞争力，是引领行业的先进封装检测设备和光学量测设备的供应商。

公司产品拥有完整的自主知识产权，具代表的产品和服务有：三维形貌量测系统 CYPRESS 系列，表面缺陷检测系统 SPRUCE 系列，三维坐标尺度量测系统 PINE 系列，智能视觉检测系统 BIRCH 系列。公司产品已经获得国内多家集成电路和先进封装厂商的产品验收及批量订单，填补了国内集成电路和先进封装检测设备和精密制造检测设备在市场的空白，实现设备国产化。

中科飞测拟首次公开发行股票并在境内证券交易所上市，现已接受国泰君安证券股份有限公司的辅导，并于 2021 年 1 月 19 日在深圳证监局进行了辅导备案。随着此次中科飞测冲

刺 A 股 IPO，业内人士表示，在强大资本注入以及国产化需求下，这家本土 IC 设备厂将跨上更高一台阶。

同时，华为旗下公司哈勃科技投资有限公司 2020 年入股深圳中科飞测科技有限公司。2020 年 5 月，中科飞测首批设备进场，椭圆膜厚度测仪正式搬入厦门士兰集科。

图 47：中科飞测主要设备



资料来源：中科飞测官网，天风证券研究所

3) 上海睿励（中微公司 688012.SH 持股 20%+）

睿励科学仪器（上海）有限公司是于 2005 年创建的合资公司，致力于研发、生产和销售具有自主知识产权的集成电路生产制造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。

公司将通过不断吸收和培养人才，建立和发展业界一流的具有自主创新能力的企业和团队，达到并持续保持在国际及国内相应产业和市场的领先地位。

上海睿励是国内技术领先的集成电路工艺检测设备供应商，其目前拥有的主要产品包括光学检测设备、硅片厚度及翘曲测量设备及子公司宏观缺陷检测设备等。上海睿励自主研发的 12 英寸光学测量设备 TFX3000 系列产品，已应用在 28 纳米芯片生产线并在进行 14 纳米工艺验证，**在 3D 存储芯片上达到 64 层的检测能力**。产品目前已成功进入世界领先芯片客户 3D 闪存芯片生产线，并取得 7 台次重复订单，**是截至 2019 年进入该国际领先芯片生产企业唯一的国产集成电路设备产品**。

图 48：上海睿励主要设备



资料来源：上海睿励官网，天风证券研究所

4) Optima (赛腾股份 SSE: 603283 为母公司):

Optima Incorporated Co., Ltd.

成立时间 2015 年 2 月 3 日，业务为开发，制造和销售半导体晶圆检查设备和测量设备

Optima 设备一览:

图 49: Optima 主要设备

	<p>晶圆边缘自动缺陷检测设备 RFA-2200</p> <p>在线检测设备，用于检测和分类晶片边缘的缺陷，并测量5晶片制造/器件制造过程中所需零件的尺寸。</p> <p>半导体/制造工艺 边缘倒角/表面研磨/表面抛光/清洗/干燥/ PW最终检查/ epi、SCh/成膜/光刻/ CMP /抛光/粘合/硬化</p>
	<p>设备背面检查装置 VSA-2100</p> <p>一种检查装置，可以以高精度检测在装置处理中在晶片背面产生的缺陷和异物，并测量提取缺陷的微小三维形状。</p> <p>半导体/制造工艺 成膜/光刻/蚀刻/ CMP</p>
	<p>边/背/后组合检查装置 RFA-2200</p> <p>组合式检查设备，可对硅晶片制造(异光Epi)工艺中出现在边缘以及正面和背面的各种缺陷进行全面检查。</p> <p>半导体/制造工艺 倒角/表面研磨/表面抛光/清洗/干燥/ PW最终检查/ epi、SCh等</p>
	<p>针孔检查装置 RFA-2200</p> <p>一种缺陷检查设备，该设备使用红外光检测在5英寸晶片制造过程中出现的5μm内部和正面的针孔缺陷。</p> <p>半导体/制造工艺 单晶片/蚀刻/表面研磨/ PW最终检查</p>

资料来源：Optima 官网，天风证券研究所

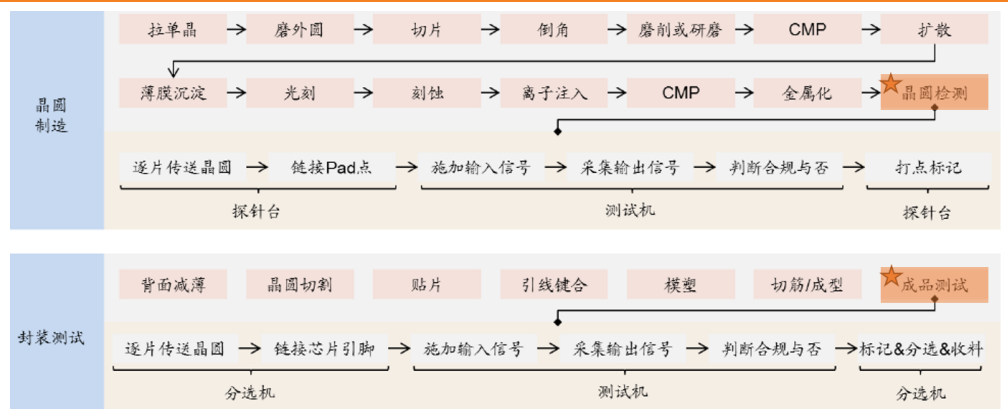
赛腾收购日本 Optima，加码半导体检测设备领域

2019 年赛腾股份公告，公司拟以现金方式购买 Kemet Japan 株式会社持有的日本 Optima 株式会社 20,258 股股份，占标的公司股权比例为 67.53%，股权收购价款 270,105.99 万日元（约合人民币 16,395 万元）。并对 Optima 株式会社进行增资，增资金额 120,000 万日元（约合人民币 7,284 万元），总计投资金额 390,105.99 万日元（折合人民币约 23,679 万元）。

3. 后道测试设备：电性测试，新产线持续投入带动市场高速增长

半导体后道测试设备主要是用在晶圆加工之后、封装测试环节内，目的是检查芯片的性能是否符合要求，属于电性能的检测。如下图可见晶圆检测和成品测试为晶圆制造和封装测试的最终步骤：

图 50: 后道测试设备在集成电路流程中所处位置



资料来源：北京华峰测控招股书，天风证券研究所

晶圆检测环节：晶圆检测是指在晶圆完成后进行封装前，通过探针台和测试机的配合使用，

对晶圆上的裸芯片进行功能和电参数测试。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并采集输出信号，判断芯片功能和性能在不同工作条件下是否达到设计规范要求。测试结果通过通信接口传送给探针台，探针台据此对芯片进行打点标记，形成晶圆的 Map 图。该环节的目的在于确保在芯片封装前，尽可能地把无效芯片筛选出来以节约封装费用。

成品测试环节：成品测试是指芯片完成封装后，通过分选机和测试机的配合使用，对封装完成后的芯片进行功能和电参数测试。分选机将被测芯片逐个自动传送至测试工位，被测芯片的引脚通过测试工位上的基座、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，判断芯片功能和性能在不同工作条件下是否达到设计规范要求。测试结果通过通信接口传送给分选机，分选机据此对被测芯片进行标记、分选、收料或编带。该环节的目的在于保证出厂的每颗集成电路的功能和性能指标能够达到设计规范要求。

随着 2018-2020 年中国大陆多家晶圆厂陆续投建及量产，国内封测厂陆续投入新产线以实现产能的配套扩张，将持续带动国内半导体测试设备市场高速增长。

3.1. 分类：测试机、探针台、分选机，保障性能助力良率提升

主要测试设备简介：测试机（ATE）、探针台(Prober)、分选机（Handler）

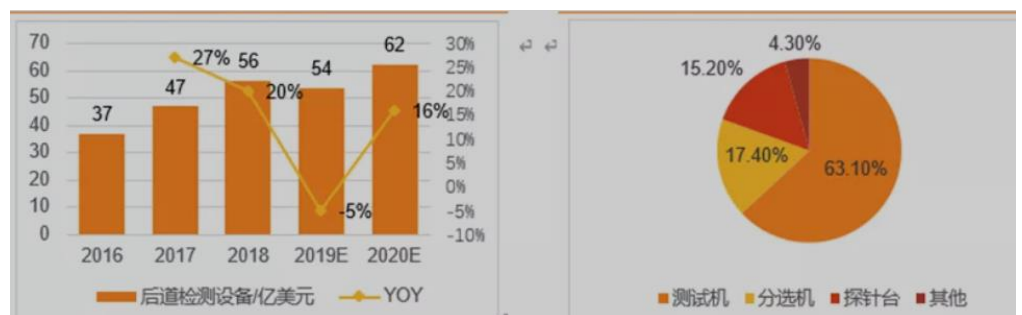
半导体测试处于晶圆制造、封装测试这两个工序里，核心设备涵盖了测试机、分选机、探针台 3 种，都是通过计算机控制进行测试检验的自动化设备。其中，测试机负责检测性能，后两者主要检测连接性；探针台与测试机配合于晶圆制造工序，分选机与测试机配合在封装测试工序。

3.2. 全球市场：测试机市场份额过半

测试机（ATE）是检测芯片功能和性能的专用设备，分选机和探针台是将芯片的引脚与测试机的功能模块连接起来的专用设备，与测试机共同实现批量自动化测试。

2020 年后道测试设备市场规模约 62 亿美元。根据 Gartner 数据，2016 年至 2018 年全球半导体后道测试设备市场规模为 37 亿、47 亿、56 亿美元，年复合增长率为 23%，2019 年根据 SEMI 发布全球半导体设备中后道设备占 9% 计算，主要受到全球半导体设备景气的影响下降至 54 亿美元。后道量测设备中测试机在 CP、FT 两个环节皆有应用，因此占比最大达到 63.1%，其他设备分选机占 17.4%、探针台占 15.2%。测试机占比大的原因：在设计验证和成品测试环节，测试机需要和分选机配合使用；在晶圆检测环节，测试机需要和探针台配合使用。

图 51：中国测试设备构成及市场规模（单位：%、亿美元）



资料来源：SEMI，前瞻经济学人，天风证券研究所

3.3. 测试机：测试器件电路功能及电性能参数，保驾护航贯穿始终

测试机（ATE）：

半导体测试机又称半导体自动化测试机，与半导体自动化测试系统同义。两者由于翻译的原因，以往将 Tester 翻译为测试机，诸多行业报告沿用这个说法，但现在越来越多的企业将该等产品称之为 ATE system，测试系统的说法开始流行，整体上无论是被称为 Tester

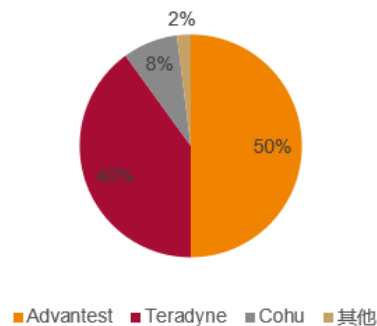
还是 ATE system，皆为软硬件一体。半导体测试机测试半导体器件的电路功能、电性能参数，具体涵盖直流参数（电压、电流）、交流参数（时间、占空比、总谐波失真、频率等）、功能测试等。集成电路测试贯穿了集成电路设计、生产过程的核心环节，具体如下：

第一、集成电路的设计流程需要芯片验证，即对晶圆样品和集成电路封装样品进行有效性验证；

第二、生产流程包括晶圆制造和封装测试，在这两个环节中可能由于设计不完善、制造工艺偏差、晶圆质量、环境污染等因素，造成集成电路功能失效、性能降低等缺陷，因此，分别需要完成**晶圆检测（CP, Circuit Probing）**和**成品测试（FT, Final Test）**，通过分析测试数据，能够确定具体失效原因，并改进设计及生产、封测工艺，以提高良率及产品质量。无论哪个环节，要测试芯片的各项功能指标均须完成两个步骤：一是将芯片的引脚与测试机的功能模块连接起来，二是通过测试机对芯片施加输入信号，并检测输出信号，判断芯片功能和性能是否达到设计要求。

3.3.1. 全球市场及主要厂商：爱德万、泰瑞达寡头垄断，进口替代需求迫切

图 52：2019 年测试机主要设备公司及占比（%）



资料来源：SEMI, 微电子制造，半导体行业观察，天风证券研究所

后道测试设备三大寡头垄断，日本 Advantest、美国 Teradyne 和 Cohu 合计占比超 90%。其中，Advantest 在应用占比最大的 SOC 领域具备较大的优势；Teradyne 则是在应用占比第二大的存储领域具备优势。目前模拟、功率领域国产化替代初显，但在 SOC 与存储这两个领域是技术难度最高，也是国内后道测试设备厂商急需突破的领域。

1) 泰瑞达（Teradyne）

泰瑞达目前是全球最大的半导体测试设备公司，总部位于美国马萨诸塞州，于 1960 年成立，目前员工人数超过 4,900 人。泰瑞达已经在行业内深耕半个多世纪，主要产品包含半导体测试系统、国防/航空存储测试系统、无线测试系统以及协作机器人业务，其中半导体测试系统涵盖逻辑、射频、模拟、电源管理、混合信号和存储设备等多个方向。作为半导体测试设备的龙头企业，自上世纪 80 年代起，泰瑞达先后收购了 Zehnetel、Magatest 等多家公司，快速地扩展了自己的半导体测试设备业务，成为 SoC 类测试、数字\模拟信号类和电路板测试设备等细分领域的市场领导者。

2008 年，泰瑞达收购了服务于闪存测试市场的 Nextest 和模拟测试市场的领跑者 Eagle Test System（ETS）。至此，泰瑞达成为能够提供模拟、混合信号、存储器及超大规模集成电路测试设备的厂商，下游客户遍布整个半导体产业链。2018 年度，泰瑞达营业收入为 21.01 亿美元（约合人民币 144.18 亿元），净利润为 4.52 亿美元（约合人民币 31.01 亿元）。

图 53：泰瑞达测试机主要分类



数字/混合信号

泰瑞达的 UltraFlex 和 J750 产品系列可以提供所需的快速和精度，以及测试速度和覆盖率，以最佳的方式测试数字/混合信号半导体的各种测试需求。从包括最复杂的模拟信号在内的数字设备，到作为移动设备和物联网核心的混合信号片上系统设备，泰瑞达提供的测试设备都可满足市场需求。

[进一步了解泰瑞达的数字/混合信号测试解决方案](#)



无线测试

泰瑞达业内领先的无线测试设备可实现大规模生产，还将最新技术从实验室移植，直接地应用到大规模生产中。包括 LivePoint 测试设备系列产品在内的测试解决方案，适用于从半导体晶圆测试到最终产品测试的广泛范围内的各种无线技术测试。并能部署用于对无线设备进行校准及验证的物联网设备。

[进一步了解泰瑞达的无线测试解决方案](#)



系统级测试

泰瑞达的 Titan 平台可以降低测试成本，加快产品上市速度，大幅提高量产规模。多年以来，它一直广泛应用于移动应用程序处理器领域，并凭借可靠品质获得认可。泰瑞达一直在系统级测试行业变革与发展的前哨，也将坚持创新，推出更加经济、优质的产品，助力先进驾驶辅助系统 (ADAS)、信息娱乐器件、AI 及数据服务器、GPU 以及平板电脑等行业。

[进一步了解泰瑞达的系统级测试解决方案](#)



线性、电源、汽车

泰瑞达的线性电源控制器和移动设备电源管理芯片提供领先的性能和效率，因此需要与巨大的测试解决方案来轻松实现测试。泰瑞达的 alpha Test Flex 平台可以为线性、电源和汽车市场提供具有成本效益的线性测试解决方案。

[进一步了解泰瑞达的线性、电源、汽车测试解决方案](#)



半导体存储

存储设备分为两大类：DRAM 和 NVRAM。DRAM 用于计算设备和网络存储，而 NVRAM 用于移动设备和固态硬盘设备的存储介质。泰瑞达的 Magnum 测试系统可以测试各类存储设备，而且能实现最高的并行性和存储密度的测试成本。

[进一步了解泰瑞达的半导体存储测试解决方案](#)

资料来源：teradyne，半导体行业观察，天风证券研究所

2) 爱德万 (Advantest)

爱德万是存储器测试龙头企业，总部位于日本东京，于 1946 年创立，1972 年进入半导体测试系统行业，目前员工人数超过 4,500 人。业务涵盖 SoC 测试系统、存储器测试系统、分选机等领域以及其他新兴业务与服务领域。

20 世纪 70 年代初，爱德万应日本机械振兴协会的要求，研发日本第一台 10MHz IC 测试系统，正式进军半导体测试设备领域。80 年代，凭借对全球半导体产业需求变化敏锐的嗅觉，爱德万于 1976 年推出了全球首台 DRAM 测试机 T310/31，并在存储器测试机领域长期占据优势地位。2011 年，爱德万成功收购 惠瑞杰 (Verigy) 开始进军 SoC 测试市场。在 SoC 测试设备市场，其市场占有率仅次于泰瑞达，位居全球第二。六十多年来，爱德万测试已成为全球最大的集成电路自动测试设备供应商之一。2019 财年（截至 2019 年 3 月 31 日），爱德万营业收入为 2,824.56 亿日元（约合人民币 171.08 亿元），净利润为 569.93 亿日元（约合人民币 34.52 亿元）。

图 54：爱德万主要测试机分类

SoC Test Systems	Memory Test Systems	Test Handler
V93000	B6700 Series	M4841
T2000	H5620	M4872
T6391	T5503HS	M4171
T7912	T5503HS2	M6242
EVA100	T5511	
	T5830/T5830ES	
	T5833/T5833ES	
	T5851/T5851ES	
Device Interface	SEM Metrology / Review	SSD Test Systems
HIFIX	E3310	MPT3000ENV / MPT3000EV2
Change Kit	E5610	MPT3000ES / MPT3000ES2
Performance Board	E3620	MPT3000HVM / MPT3000HVM2
Application Modules	E3630	MPT3000HES / MPT3000HES2
	E3640	MPT3000ARC
	E3650	

资料来源：advantest，半导体行业观察，天风证券研究所

3) 科休半导体 (Cohu)

科休半导体是全球测试分选机、半导体测试系统领先企业，总部位于美国特拉华州，于 1947 年成立，目前员工人数超过 3,500 人，主要业务包括半导体分选机、裸板 PCB 测试系统及接口产品、备件和套件等辅助设备。2018 年 10 月，科休半导体收购了国际知名的半导体测试设备厂商 Xcerra，成功进入半导体测试系统领域。

4) ASM PACIFIC (ASMPT)

ASMPT 于 1975 年在香港成立，集团是全球首个为半导体封装及电子产品生产的所有工艺步骤提供技术和解决方案的设备制造商，包括从半导体封装材料和后段(芯片集成、焊接、封装)到 SMT 工艺。全球并无其他设备供应商拥有类似的全面产品组合及对装嵌及 SMT 程序的广泛知识及经验。

半导体解决方案分部生产及提供半导体装嵌及封装设备，应用于微电子，半导体，光电子，及光电市场。其提供多元化产品如固晶系统，焊线系统，滴胶系统，切筋及成型系统及全方位生产线设备。SMT 解决方案业务负责为 SMT、半导体和太阳能市场开发和分销一流的 DEK 印刷机，以及一流的 SIPLACE SMT 贴装解决方案。ASMPT 总部位于新加坡，自 1989 年起在香港联交所上市。

在 ASMPT LED /光电产品应用解决方案以及先进封装解决方案中包含了晶圆测试，一站式测试及分类等测试设备。

图 55：ASMPT 光电产品应用解决方案及先进封装解决方案

LED /光电产品应用解决方案



先进封装解决方案

ASMPT 完整的晶圆级及面板级封装生产方案，包括高精度的大范围取放、塑封、锡膏印刷、锡球排放、器件分离、检查、测试及封装。



资料来源：ASMPT 官网，天风证券研究所

ASMPT 主要测试设备：

图 56：ASMPT 主要测试设备



资料来源：ASMPT 官网，天风证券研究所

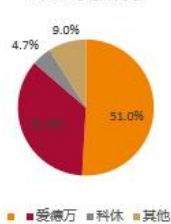
全球测试机主要细分领域占比：

细分领域中 SOC 测试机，泰瑞达占比 51%，爱德万占比 35.5%，科休占比 4.7%。存储器测试机爱德万占比 60%，泰瑞达占比 25%。

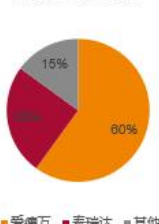
图 57：2019 测试机全球细分领域占比分类（%）

分类	单个设备市场规模	主要厂商	细分占比
SOC测试机	22亿美元	泰瑞达 (11亿美元)	51.0%
		爱德万 (7.7亿美元)	35.5%
		科休 (1.17亿美元)	4.7%
存储器测试机	7.9亿美元	爱德万 (4.7亿美元) 泰瑞达 (1.9亿美元)	60% 25%
RF (射频芯片) 测试机	5.1亿美元	泰瑞达、爱德万、科休	-
数字/模拟/数模混合测试机		-	-
分立器件测试机		-	-

SOC测试机



存储器测试机



资料来源：美兰创投，半导体行业观察，天风证券研究所

全球半导体测试机市场呈现高集中度的特点，2017 年市场占有率最高的前两家企业合计市场份额达近九成。在国内市场，以华峰测控为代表的少数国产测试设备厂商已进入国内外封测龙头企业的供应商体系，正通过不断的技术创新逐渐实现进口替代。

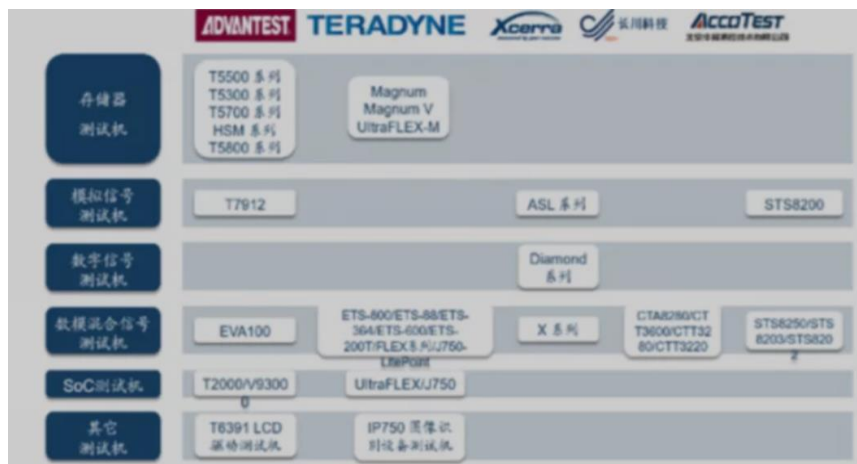
图 58：2019 测试机中国细分领域占比分类（%）



资料来源：美兰创投，天风证券研究所

国内外测试设备制造商在确定其技术路线和产品结构时均有所侧重，如泰瑞达(Teradyne)主要产品为测试机，爱德万(Advantest)主要产品为测试机和分选机，科利登(Xcerra)主要产品为测试机，东京电子(Tokyo Electron)主要产品为探针台，北京华峰主要产品为测试机，上海中艺主要产品为分选机。

图 59：各公司测试机适用领域



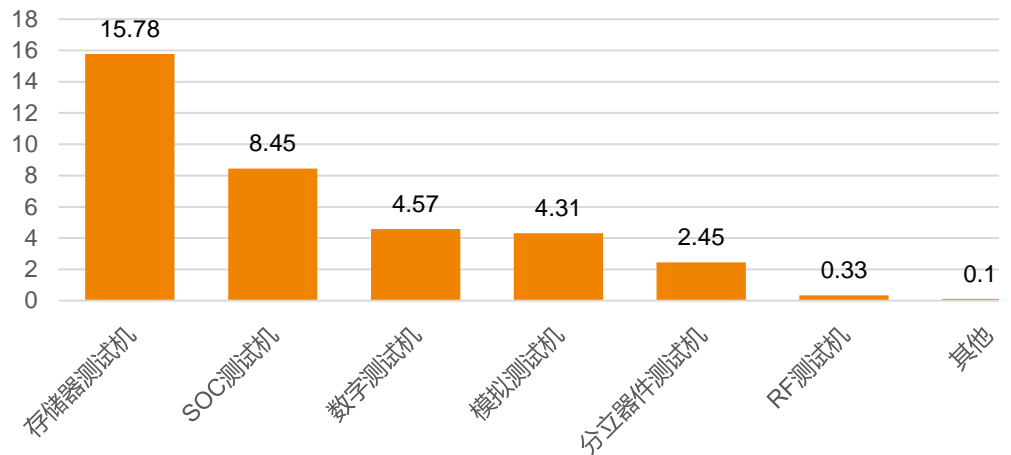
资料来源：美兰创投，天风证券研究所

3.3.2. 中国主要厂商：积极布局追赶，夯实国内，开拓海外

我国少数国产测试设备厂商已进入国内外封测龙头企业的供应商体系，正通过不断的技术创新逐渐实现进口替代

从测试机的产品结构来看，2018 年中国集成电路测试机中存储器测试机和 SoC 测试机所占份额位居前两位，分别为 43.8%和 23.5%；数字测试机、模拟测试机、分立器件测试机紧随其后，分别为 12.7%、12.0%以及 6.8%，RF 测试机为 0.9%。

图 60：2018 年中国集成电路测试机产品结构（单位：亿元）



资料来源：《中国集成电路测试设备市场概况及预测》，李丹，天风证券研究所

由上图可见存储器测试机需求量最大

图 61：存储器测试设备分类及占比 (%)

存储器测试设备分类	占比	2019中国大陆市场 (亿美元)	2020E 中国大陆市场 (亿美元)	主要厂商
Total	100%	5.9	7.32	Advantest Teradyne
CP Tester	57.69%	3.40	4.22	Advantest 50% Teradyne 34%
B/I Tester	22.11%	1.30	1.62	Advantest 90% JH,DI <10%
FT Tester	19.23%	1.13	1.41	Advantest 43% Teradyne 42%
SLT Tester	0.96%	0.06	0.07	Advantest 58% Teradyne 40%

资料来源：东西智库，天风证券研究所

国内测试设备主要公司：

1) 武汉精鸿（母公司精测电子 300567.SZ）

由上图可见目前存储器测试设备主要分为 CP Tester、B/I Tester、FT Tester 和 SLT Tester，其中 CP Tester 占 57.69%。

存储器测试设备是制约我国存储器制造业快速发展的“卡脖子”难题。存储器测试设备的加速升级是亟需解决的重点。**武汉精鸿正是在此背景下新成立，专注于存储器芯片测试设备的厂商。**目前武汉精鸿已经在存储测试设备领域的各个方面展开布局。武汉精鸿在 BI 测试、CP/FT 测试已经基本实现小批量产，短期内可实现规模量产。

武汉精鸿在 Burn-in 这个领域已经较靠前，相关产品已经实现量产，目前已交付长江存储，取得了很好的反馈。在其他相关技术所取的成就方面，武汉精鸿目前在并测数方面已经取得一定成果，比如最新开发的 CP 测试设备，相关指标已经超过对标产品，主要原因是单板设计方面做了很大的改良。在整机散热方面，通过实验室的仿真改良，也有机会在该领域有所斩获。而在信号互连方面，目前也在加大研发，争取在该领域有所突破。

2)长川科技 (300604.SZ)

长川科技成立于 2008 年，总部位于中国杭州市，主要从事集成电路专用设备的研发、生产和销售，是一家致力于提升我国集成电路专用测试技术水平、积极推动集成电路装备业升级的国家高新技术企业和软件企业，在职员工数量合计 452 人（截至 2018 年末）。长川科技的主要产品包括测试机、分选机及自动化生产线。

2018 年 5 月，长川科技公告计划收购新加坡集成电路封装测试设备制造公司 STI，系长新投资持有的核心资产。截至 2019 年 7 月 31 日，长川科技已经取得长新投资 100% 股权，相关工商变更登记手续已经办理完毕。

主要设备：

图 62：长川科技主要设备

CTM2100模块是开发用于功率器件的雷声测试的耐压测试仪。主要可测试二极管、三极管、NMOS管及IGBT等功率器件。		• CTM2100雪崩模块 了解更多...		• CTT3280F测试机 了解更多...	CTT3280F测试系统是以量产功率半导体分立器件为目标的高性能集成电路测试机。可适用于功率器件的芯片测试和成品测试。主要测试品种MOS、IGBT、二极管、三极管等三端器件。
CTT3600测试机是以测试功率器件为目标的高性能测试机。有1000V/50A、2000V/100A、等不同规格。主要可测试三极管、MOSFET、二极管、稳压管、IGBT等功率器件。		• CTT3600测试机 了解更多...		• CTA8290D测试机 了解更多...	CTA8290D测试机是一款采用全浮动V源架构的第三代数模混合测试机。
CTA8280F是一款在CTA8280基础上，解决最新测试需求测试的全浮动测试机。		• CTA8280F测试机 了解更多...		• CTA8280测试机 了解更多...	CTA8280是第二代数模混合测试机。最大电流10A，最高电压1000V，THU的测试精度进入了PSM。可用于AC-DC、DC-DC、运放、功放、马达驱动等各类模拟电路和PF级小电容的测试。

资料来源：长川科技官网，天风证券研究所

3)华峰测控 (688200.SH)

北京华峰测控公司主营业务为半导体自动化测试系统的研发、生产和销售，产品主要用于模拟及混合信号类集成电路的测试，产品销售区域覆盖中国大陆、中国台湾、美国、欧洲、日本、韩国等全球半导体产业发达的国家和地区。自成立以来，公司始终专注于半导体自动化测试系统领域，以其自主研发的产品实现了模拟及混合信号类集成电路自动化测试系统的进口替代。目前，公司已成长为国内最大的半导体测试系统本土供应商，也是为数不多进入国际封测市场供应商体系的中国半导体设备厂商。

图 63：华峰测控主要设备

ATE事业部

模拟IC测试系统—STS8200	模拟/混合IC测试系统—STS8300	分立器件测试方案	功率模块测试方案

系统事业部

STS 8205 混合信号测试系统	STS 6100 数字集成电路测试系统	STS 8203S 半导体分立器件测...	STS 8204S 继电器综合测试...
STS 8207S 模拟器件测试系统	STS8208S 电压调整器测试系统		

资料来源：华峰测控官网，天风证券研究所

华峰测控，长川科技关键测试设备技术指标对比，国内公司有望达到国际一流水平，下图
中达到或超过世界一流公司的已打星表示

图 64：2020 主要测试机公司关键技术指标对比

关键技术指标	具体指标	★华峰测控 STS 8200 系列	★华峰测控 STS 8250/8300	泰瑞达 ETS 系列	★长川科技 CTA 系列	关键技术指标	具体指标	★华峰测控 STS 8200 系列	★华峰测控 STS 8250/8300	泰瑞达 ETS 系列	★长川科技 CTA 系列
1、测试功能模块	高精度浮动电压表	±100V, 18bit/1Msps 和 12bit/10Msps 每 通道	±100V, 18bit/1Msps 和 12bit/10Msps 每 通道	±200V, 16bit/200Ksps 和 12bit/10Msps 每 通道	未披露	4、应用程序定制化	软件开放性	开放架构，支持 CC++ 语言编程， 支持图形化的菜 单式编程	开放架构，支持 CC++ 语言编程， 支持图形化的菜 单式编程	开放架构，支持 CC++ 语言编程， 支持图形化的菜 单式编程	开放架构，支持 CC++ 语言编程， 支持图形化的菜 单式编程
	通用小功率浮动 VI 源	±40V/±1A	±40V/±1A	±30V/±0.2A	±50V/±1A	5、平台可延展性	平台化程度	同一技术平台， 可测试模拟器件 及分立器件	同一技术平台， 可测试模拟器件 、分立器件和 混合器件	ETS200/ETS300/ ETS200T/ETS364 ETS88 不同的型 号应对不同的测 试需求	CTA820F/CTA8 200/CTA8200D/C TA3280 不同的型 号应对不同的测 试需求
	通用中功率浮动 VI 源	★±100V/±10A	★±100V/±10A	±100V/±12A	★±50V/±10A		6、测试数据存 储、采集和分析	测试数据存储	自动保存测试数 据，数据格式支 持 ACCESS/EXCEL /CSV/SDF/TXT ，并可定制专用 数据格式	自动保存测试数 据，数据格式支 持 ACCESS/EXCEL /CSV/SDF/TXT ，并可定制专用 数据格式	自动保存测试数 据，支持多种数 据格式
	通用大功率浮动 VI 源	无	★±100V/±100A	±100V/±100A	未披露	测试数据分析和 分析		自带数据分析软 件工具，可进行 数据分析，统计， 同时具备标准接 口，可实现与第 三方数据分析软 件对接	自带数据分析软 件工具，可进行 数据分析，统计， 同时具备标准接 口，可实现与第 三方数据分析软 件对接	未披露	未披露
2、测试精度	通用高压 VI 源	±2000V/±10mA	±1000V/±10mA	±500V/±50mA	±1000V/±20mA						
	微小电容测试精 度	★<1pF	★<1pF	<1pF	★<1pF						
	微小电流测试精 度	★<1nA	★<1nA	<1nA	未披露						
	精密低失调运算 放大器失调电压 测试精度	★<10μV	★<10μV	<10μV	未披露						
3、响应速度	精密低失调运算 放大器失调电流 测试精度	★<10pA	★<10pA	<10pA	未披露						
	VI 源稳定时间	★<100us	★<100us	<100us	未披露						

资料来源：北京华峰测控招股书，天风证券研究所

3.4. 探针台：负责晶圆输送与探针定位，提升测试效率

探针台(Prober):

图 65：探针台

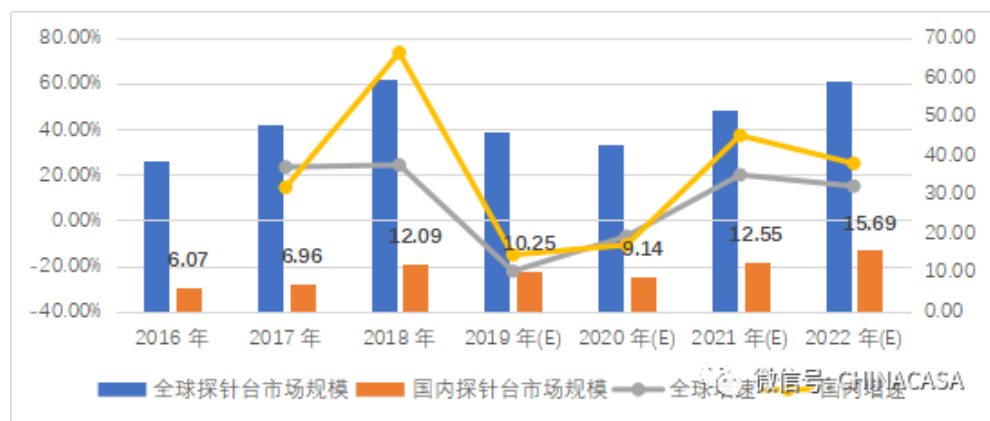
探针台	负责晶圆输送与定位，使晶粒依次与探针接触完成测试。提供晶圆的自动上下片、找中心、对准、定位以及按照设置的步距移动晶圆的功能，以使探针卡上的探针总是能对准硅片相应位置进行测试	2018年全球市场 约8-9亿美元	1. 晶圆需对准数百甚至更多探针；2. 精度要求1um级别；3. 重复操作100万次以上不能划伤晶圆
-----	----------------------------------------------------------------------------------------	----------------------	----------------------------------------------------

资料来源：美兰创投，天风证券研究所

3.4.1. 全球市场及主要厂商：东京精密、东京电子寡头垄断，中国增速加快

由下图可见我国探针台市场规模 2019 年约为 10.25 亿元，2022 年将增长到 15.69 亿元。可见 2020 年起国内（黄色线）半导体探针台市场增速有望大于全球（灰色线）。

图 66：全球及我国探针台市场规模（亿元，%）



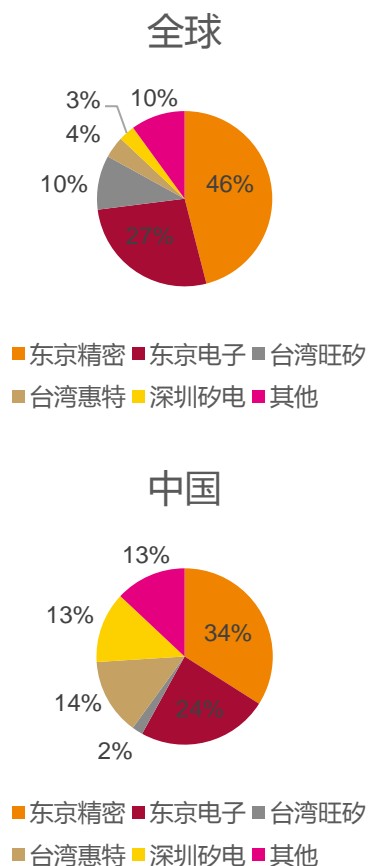
资料来源：SEMI，CSA Research，天风证券研究所

半导体探针台厂商的竞争格局：东京精密，东京电子较高垄断市场

半导体设备的技术壁垒高。随着半导体行业的迅速发展，半导体产品的加工面积成倍缩小，复杂程度与日俱增，生产半导体产品所需的制造设备需要综合运用光学、物理、化学等科学技术，具有技术壁垒高、制造难度大及研发投入高等特点。

国际企业占主导，国内企业在突破。从全球市场看，半导体探针台设备行业集中度较高，目前主要由国外厂商主导，行业呈现较高垄断的竞争格局。东京精密(Accretech)、东京电子(Tokyo Electron)两家公司占据全球约七成的市场份额。其次为中国台湾企业，如台湾惠特、台湾旺矽等也占有较大的市场份额，特别是在 LED 探针台领域具有优势。

图 67：2019 年全球及我国探针台市场 TOP 企业格局 (%)



资料来源：CSA Research，SEMI，上市公司财报，天风证券研究所

3.4.2. 中国主要厂商：抓住市场机遇，技术积累，蓄势待发

从国内市场看，东京精密(Accretech)市场占比最高；第二梯队为东京电子(Tokyo Electron)；而台湾惠特和深圳矽电相差不大，占比在 13%-15%。而中国本土企业中，深圳矽电是国内

规模最大的探针台生产企业，进展较快，近三年营业收入保持年均 20%以上的增速，并且在大陆市场的基础上，开始拓展中国台湾地区市场。

此外，国内长川科技、中国电子科技集团 45 所、西 700 厂等厂商值得关注。长川科技的主要产品为测试机和分选机，探针台处于研发阶段，尚未形成收入。中国电子科技集团 45 所的探针台在改革开放前曾一度是国内市场的主流机型，市场占有率高达 67%，近年来依托原有技术积淀发展较快，探针台产品包括手动探针测试台和自动探针测试台；西 700 厂主要侧重于研制 4 探针模式的手动探针台。

图 68：全球及我国探针台主要公司

公司	基本情况	主要产品类别	2018 年营业收入	台湾	大陆	其他
东京精密	成立于 1949 年，1964 年研发出第一台晶圆探针台设备，现占据全球探针台市场份额 60%；1994 年设立北京办事处，开始进入中国大陆，2002 年成立上海分公司，2010 年在上海成立测量仪器组装工厂；2018 年收入为 9.78 亿美元，其中探针台近 4 亿美元。	半导体晶圆片探针台	9.78 亿美元	成立于 1995 年 7 月，是全球专业的晶圆测试探针卡与 LED 测试相关设备厂商，一直专注于提供微电子产业微接触之晶圆技术，公司总部设立于台湾，在台湾上市。目前，主要的产品有应用于半导体组件晶圆阶段测试之晶圆探针卡及应用于 LED 产业之晶圆测试与封装相关设备，主要产品为晶圆探针卡(48%)、晶圆测试机(29%)，在晶圆探针卡部分，依 VLSI Research 市调机构显示矽砂目前是全球第五大半导体逻辑晶圆探针卡供应商，且与日本探针卡大厂 MJC(第三大厂商)联盟。	晶圆探针卡、晶圆测试机、晶圆探针台	1.78 亿美元
东京电子	成立于 1963 年，全球顶级半导体设备制造商；2002 年开始在中国大陆设立分公司，现有上海分公司 2 家，昆山分公司 1 家，根据东京电子 2019 年 4 月发布的财报，2018 年年度全球营收 859.08 亿元，中国大陆占比 17.7%，约为 152 亿元。	半导体晶圆片探针台	123.08 亿美元	成立于 2003 年，已成长为国内规模最大的探针台(点测机)生产企业，是中国大陆最早研制，批量生产全自动探针台、LED 点测机，专业从事研发、生产各种半导体设备的中国高新技术企业。	LED 探针台、晶圆探针台、二级管探针台、VCSEL 测试一体机	0.25 亿美元
台湾惠特	成立于 1994 年，全球最大的 LED 点测分选设备厂之一，于 2018 年宣传其已成为三家最大的中国 LED 设备制造商的 LED 晶圆和芯片探测和测试设备供应商，2019 年 10 月在中国台湾证券交易所上市，先后在苏州、厦门和深圳设立服务据点，在中国大陆，惠特的 LED 探测和测试设备的市场份额超过 70%，LED 芯片分选设备的市场份额约为 50%，2018 年全年销售收入为 32 亿新台币，其中七成的收入来自于大陆。	LED 晶圆片探针台	1.08 亿美元	主要产品有：8-12 英寸全自动探针台、4-8 英寸多款探针台、双圆探针台、LED 探针台、LED 全自动抽测探针台、焊卡台、全自动芯粒检测仪(AOI)等芯片测试相关设备及配件，在国内同行业处于领先地位，公司拟 IPO，已接受招商证券的辅导，并于 2019 年 12 月 31 日在深交所进行了辅导备案，公司 12 英寸全自动探针台(PT-912A)适用于 8-12 英寸大规模集成电路晶圆的全自动测试，国内首创、自主研发的 12 英寸高精度全自动探针台，可满足大规模集成电路对探针台多 PIN 及多芯的测试要求，测试高效、稳定、可靠，大幅提升生产效率。	CHIBACASA	
长川科技	成立于 2008 年，主要从事集成电路专用设备的研发、生产和销售，主要产品包括测试机、分选机及自动化生产线，公司于 2015 年上市，并在 7 月获得大基金入股，总部在杭州。	测试机、分选机	0.31 亿美元	长川科技生产的测试机包括大功率测试机、模拟/数模混合测试机、数字测试机等，分选机包括直下海式分选机、平移式分选机等自动化生产线，公司在测试机和分选机领域是目前国内的龙头企业，仅次于国外，探针台测试机目前仅在研发阶段，并未形成产品。		
北京半导体专用设备研究所(中电科 45 所)	创立于 1958 年，总部位于北京，原中电科四十五所，2010 年更名为北京半导体专用设备研究所，是国内专门从事电子元器件关键工艺设备技术、设备整机系统以及设备应用工艺研究开发和生产制造的国家重点科研生产单位，45 所以光学级微加工和精密机械与系统自动化为专业方向，服务于集成电路、光电元器件与组件、半导体照明和太阳能光伏电池四大行业。	半导体自动探针台、自动探针测试台、手动探针测试台	/	1997 年研制成功我国首台全自动探针测试台，目前的主要产品有 TZ-803A 自动探针台、TZ-603B 自动探针测试台、ST-103A 手动探针测试台。		

资料来源：CSA Research, SEMI, 上市公司财报, 天风证券研究所

探针台市场趋势：长期看好

长期来看，国内的半导体整体产业及半导体制造业增长稳定，带动封测需求。随着联网设备的大规模成长，以及对数据处理、运算能力和数据存储的需求激增，驱动了物联网、人工智能与高效能运算等技术的逐渐成熟，人工智能及物联网等终端产品的应用，包括 5G 通讯、工业用智能制造、车用电子与智慧家居等需求即将量增。终端应用持续攀升将导致对半导体的需求日渐增长，刺激半导体封测技术、需求明显提升，催生 IC 封装从低阶封装技术，朝向高阶和先进封装技术等方向发展。对于仰仗半导体封测业的探针台产业而言，终端应用衍生的高阶封装需求激增，封测需求持续成长，加上半导体产业导入新材料所衍生的各种机会，都有望刺激探针卡市场需求持续增长。

技术趋势：向高、精、尖和自动化发展

晶圆尺寸持续增大，从 6" 到 8" 再到目前的 12"，而对应的探针台也从手动向半自动和全自动发展。在此过程中，涉及到晶圆尺寸、精度、分辨率以及测试原理等变化，未来的探针台将沿着以下几个方向改进。

(1)测试品种多。早期的探针台主要针对一些分立器件进行测试，测试精度要求不是很高，但是随着信息化的发展、晶圆片尺寸增加、封装尺寸的减小以及纳米工艺技术的成熟，对测试效率和稳定性提出很高的要求。其产品测试已经扩展到 SOC、霍尔元件等领域，因此，大直径晶圆片测试、全自动晶圆测试以及高性能晶圆片测试是未来的发展方向。

(2)微变形接触技术。Mirco Touch 微接触技术，它减少了测试易碎器件或者 pad 处于活动电测区域下的接触破坏，实现了对于垂直升降系统的精准的控制，大大降低了探针接触晶圆的冲击力，同时也提高了测试过程中探针的精准度，保证了良品率。因此，未来的探针台将会在微变形接触等技术上投入更大的成本。

(3)非接触测量技术。随着电磁波理论和 RFID(射频识别)技术的成熟，接触式测试将会因为更高的良率、更短的测试时间以及更低的产品成本等潜在优势越来越受到青睐。这种测试方法中，每个裸片内含集成天线，TESTER 通过电磁波与其通信，可以消除在标准测试过程

中偶然发生的测试盘被损时间，减低缺陷率。

目前，我国的半导体行业的国产化率仍然比较低，设备领域尤其明显，探针台市场领域，国产设备的在国内市场的份额不超过 20%，亟需发展和提高。随着以深圳矽电、长川科技、中电科 45 所为代表的国内产设备企业飞速发展，预计未来国产探针台在国内市场的占比将越来越高。国内半导体产业的逐步崛起，将给上游设备龙头公司带来较大的成长空间。

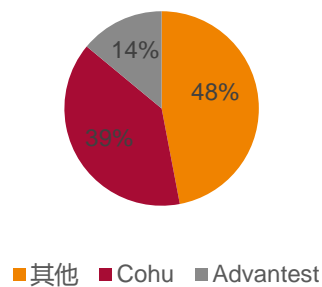
3.5. 分选机：高精度高兼容，负责产品的测试接触、拣选和传送

分选机 (Handler):

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。

3.5.1. 全球市场及主要厂商：壁垒多重，格局未定，中国有望取得话语权

图 69：全球分选机市场主要企业及占比 (%)



资料来源：SEMI，微电子制造，半导体行业观察，天风证券研究所

上图可见，分选机市场中 Advantest 和 Cohu 占了一半的市场份额，其余的一般有其他厂商分散占据，可以说格局相对分散，国内有望加速取得市场话语权。

国内主要公司：

1) 长川科技 (300604.SZ)

长川科技生产的集成电路测试机和分选机产品已获得长电科技、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

图 70：长川科技主要分选机设备

产品类别	图示	应用领域
重力下滑式分选机		采取管到管或管到管带进料方式，适用 SOP/TSOP/SSOP/HSSOP/SOP/DFP/TD 等封装形式集成电路的自动分选。
平移式分选机		采取直到底或到底带进料方式，适用 QFP/QFN/LQFP/PLCC/SOP/TSOP/BGA/PGA/LGA 等封装形式集成电路的自动分选。

资料来源：长川科技官网，天风证券研究所

2) 上海中艺

上海中艺成立于 2001 年，主要从事集成电路自动化设备的研发、制造、销售，主要产品包括集成电路分选机、编带机等。

图 71：上海中艺主要分选机设备



资料来源：上海中艺官网，天风证券研究所

4. 风险提示

半导体行业周期性

半导体行业与宏观经济形势密切相关，具有周期性特征。如果全球及中国宏观经济增长大幅放缓，或行业景气度下滑，半导体厂商的资本性支出可能延缓或减少，对半导体测试系统的需求亦可能延缓或减少，将给测试公司的短期业绩带来一定的压力。

产业配套环境有待进一步改善

半导体测试系统横跨高精密的自动化装备和新一代信息技术，研发和生产均需使用高精度元器件，行业整体水平的提升既需要厂商自身具备较强的研发及制造能力，也需要相关基础配套行业提供有力支撑。我国与此相关的产业较国外而言相对落后，可供选择的高精度国产元器件较少，与部分国外竞争对手相比，国产系统生产商无法享受到同等成熟程度的产业配套，可能会制约集成电路专用设备制造业的发展。

高端技术人才相对缺乏

近年来，国家对半导体测试系统行业给予鼓励和支持，但该行业属于技术密集型产业，经验积累和技术创新至关重要，人才的培养需要一定时间和相应的环境，对比发达国家和地区，我国半导体行业发展历程相对较短，现有半导体产业及其专用设备制造业的人才和技术水平难以满足行业内日益增长的人才需求，这是造成半导体研发及设备制造技术基础相对薄弱的主要原因之一，尽管近年来我国人员培训力度逐步加大，专业人员的供给量也在逐年上升，教育部多次出台政策加大人才培养支持，扩大半导体相关学科专业人才培养规模，但高端人才相对匮乏的情况依然存在。

国内企业规模较小、品牌影响力不足

目前我国集成电路测试行业整体发展的期限较短，和国外大型测试企业相比，国内的测试企业在规模上还有一定的差距。此外，由于国际知名集成电路测试公司在国内设立测试基地占据了一定的市场份额，与国际知名集成电路测试公司相比，国内测试企业的品牌影响力和知名度仍有一定差距。如何进一步提高品牌影响力，是国内集成电路测试企业能否扩大市场占有率的关键。

分析师声明

本报告署名分析师在此声明：我们具有中国证券业协会授予的证券投资咨询执业资格或相当的专业胜任能力，本报告所表述的所有观点均准确地反映了我们对标的证券和发行人的个人看法。我们所得报酬的任何部分不曾与，不与，也将不会与本报告中的具体投资建议或观点有直接或间接联系。

一般声明

除非另有规定，本报告中的所有材料版权均属天风证券股份有限公司（已获中国证监会许可的证券投资咨询业务资格）及其附属机构（以下统称“天风证券”）。未经天风证券事先书面授权，不得以任何方式修改、发送或者复制本报告及其所包含的材料、内容。所有本报告中使用的商标、服务标识及标记均为天风证券的商标、服务标识及标记。

本报告是机密的，仅供我们的客户使用，天风证券不因收件人收到本报告而视其为天风证券的客户。本报告中的信息均来源于我们认为可靠的已公开资料，但天风证券对这些信息的准确性及完整性不作任何保证。本报告中的信息、意见等均仅供客户参考，不构成所述证券买卖的出价或征价邀请或要约。该等信息、意见并未考虑到获取本报告人员的具体投资目的、财务状况以及特定需求，在任何时候均不构成对任何人的个人推荐。客户应当对本报告中的信息和意见进行独立评估，并应同时考量各自的投资目的、财务状况和特定需求，必要时就法律、商业、财务、税收等方面咨询专家的意见。对依据或者使用本报告所造成的一切后果，天风证券及/或其关联人员均不承担任何法律责任。

本报告所载的意见、评估及预测仅为本报告出具日的观点和判断。该等意见、评估及预测无需通知即可随时更改。过往的表现亦不应作为日后表现的预示和担保。在不同时期，天风证券可能会发出与本报告所载意见、评估及预测不一致的研究报告。天风证券的销售人员、交易人员以及其他专业人士可能会依据不同假设和标准、采用不同的分析方法而口头或书面发表与本报告意见及建议不一致的市场评论和/或交易观点。天风证券没有将此意见及建议向报告所有接收者进行更新的义务。天风证券的资产管理部门、自营部门以及其他投资业务部门可能独立做出与本报告中的意见或建议不一致的投资决策。

特别声明

在法律许可的情况下，天风证券可能会持有本报告中提及公司所发行的证券并进行交易，也可能为这些公司提供或争取提供投资银行、财务顾问和金融产品等各种金融服务。因此，投资者应当考虑到天风证券及/或其相关人员可能存在影响本报告观点客观性的潜在利益冲突，投资者请勿将本报告视为投资或其他决定的唯一参考依据。

投资评级声明

类别	说明	评级	体系
股票投资评级	自报告日后的 6 个月内，相对同期沪深 300 指数的涨跌幅	买入	预期股价相对收益 20%以上
		增持	预期股价相对收益 10%-20%
		持有	预期股价相对收益 -10%-10%
		卖出	预期股价相对收益 -10%以下
行业投资评级	自报告日后的 6 个月内，相对同期沪深 300 指数的涨跌幅	强于大市	预期行业指数涨幅 5%以上
		中性	预期行业指数涨幅 -5%-5%
		弱于大市	预期行业指数涨幅 -5%以下

天风证券研究

北京	武汉	上海	深圳
北京市西城区佟麟阁路 36 号 邮编：100031 邮箱：research@tfzq.com	湖北武汉市武昌区中南路 99 号保利广场 A 座 37 楼 邮编：430071 电话：(8627)-87618889 传真：(8627)-87618863 邮箱：research@tfzq.com	上海市浦东新区兰花路 333 号 333 世纪大厦 20 楼 邮编：201204 电话：(8621)-68815388 传真：(8621)-68812910 邮箱：research@tfzq.com	深圳市福田区益田路 5033 号平安金融中心 71 楼 邮编：518000 电话：(86755)-23915663 传真：(86755)-82571995 邮箱：research@tfzq.com