

2021年09月11日

其他专用机械

从 KLA 成长路径看半导体检测设备国产替代进程

■检测设备贯穿每一步骤的过程工艺控制，全球市场空间超百亿美元。半导体量检测设备又称过程工艺控制设备，主要对生产步骤的良率进行严格控制，几乎贯穿每一道生产步骤。其中半导体量测设备主要功能是对经过每一道工艺的晶圆进行定量测量，以保证工艺的关键物理参数满足工艺指标，如膜厚、关键尺寸（CD）、膜应力、折射率、参杂浓度、套准精度等；半导体检测设备主要用于检测晶圆上的物理缺陷（称为颗粒的异物）和图案缺陷，其细分品类可以分为明/暗场检测设备、电子束检测、光罩检测设备等。根据科磊及 Semi 统计，测试设备在设备投资中占比在 11%~13%，我们预测 2021 年全球半导体检测设备市场空间将达到 114.4 亿美元，国内量检测设备市场达 24.7 亿美元，约为 160.6 亿元人民币，其中量测类占比 34%、检测类占比 55%，其余则为工艺控制软件，占比 11%，且伴随国内如中芯国际、长江存储、长鑫存储等分别规划扩建或新建晶圆厂，未来国内设备采购需求有望大幅上修。

■科磊在量检测领域市占率高达 52%，是国产替代道路上的最大阻力之一。量检测设备领域，科磊是行业绝对龙头，市场占有率达 52%，尤其在晶圆形貌检测、无图形晶圆检测、有图形晶圆检测领域市占率分别达到 85%、78%、72%，具有绝对垄断优势。以长江存储招标信息来看，部分细分领域尽管已采用 Onto、日立高新替代，但科磊在部分领域的市占率仍较高，尤其在量测领域的电阻测量仪、晶圆应力测量系统、套刻对准系统以及检测系统的明暗场检测、光罩检测、无图形表面检测等领域几乎呈垄断地位。如果量检测设备不取得突破，我国半导体设备仍有被卡脖子之虞。国内各厂商已在各细分领域有所突破，如精测及睿励在集成式膜厚关键尺寸量测领域已获得重复订单，中科飞测在三维形貌量测设备领域及晶圆表面凹陷检测系统已获取该品类全部订单。预计在国产化需求紧迫、研发投入持续提升、下游 Fab 厂积极配合的大环境下，量检测领域有望加速实现国产替代。

■科磊发展路径对国内企业亦有借鉴。我们对科磊成长路径进行梳理，公司成长路径可分为三个阶段：1) 1977~1990 年，科磊在美国成立，顺应当时时代需求，迅速推出光罩检测系统及自动化晶圆检测系统，迅速进入市场；2) 1990~1997 年，科磊将其运营团队进一步细化，将公司重组为五个运营部门，营业收入由 1990 年的 1.61 亿元增长至 10.32 亿美元，CAGR 达 30.4%，净利润也大幅增长至 1.05 亿美元，属于快速发展阶段；3) 1997~2021 年，科磊与 Tencor 合并，成立 KLA-Tencor，结合两家公司优势，加深了量检测领域的覆盖面，同时凭借其现金流

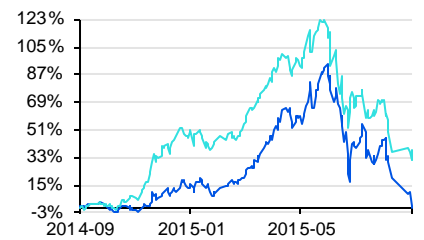
行业深度分析

证券研究报告

投资评级 **领先大市-A**
调高评级

首选股票	目标价	评级
300567 精测电子	77.35	增持-A

行业表现



资料来源：Wind 资讯

%	1M	3M	12M
相对收益	0.00	0.00	5.88
绝对收益	0.00	0.00	17.43

李哲

分析师

SAC 执业证书编号：S1450518040001
lizhe3@essence.com.cn

江磊

报告联系人

jianglei@essence.com.cn

相关报告

- 其他专用机械行业快报 2021-07-11
- 一周解一惑 (7)：光伏电池片金属化及银浆技术深度研究 2021-06-27
- 一周解一惑 (3)：检测检验认证认可为何如此重要？ 2021-05-30
- 一周解一惑：N 型光伏电池三条路线深度比较研究 2021-05-23
- 光伏、新能源车普及，吹响 SiC 材料、设备大发展号角 2020-12-21

优势，进行大规模的兼并购，自 1998 年至今共并购 24 家企业，分别对集成电路、PCB、FPC 等领域的关键量检测技术及细分领域产品进行了收购，进一步拓展了其在量测领域的产品线及核心技术，成为目前规模最大，产品品类最全的量检测设备龙头。对国内企业的借鉴意义可以进一步归纳为：目前我国量检测设备基本已实现从 0-1 的阶段，已吹响国产替代号角，有望步入国产替代的快车道。未来需要对已有产品进行进一步深入研发，对优势产品进行不断迭代升级；在有技术共通性的前提下拓展产品线，对难以攻克的技术可以选择并购海内外优质企业与技术团队；同时细化运营管理团队，提升团队研发运营效率。

■ **投资建议：**重点推荐半导体量测领域企业精测电子。

■ **风险提示：**研发不及预期；国产化替代需求不及预期；下游扩产不及预期。

内容目录

1. 检测设备贯穿每一步骤的过程工艺控制，全球市场空间超百亿美元	5
1.1. 半导体量测设备：对各环节工艺参数指标进行测量.....	5
1.2. 半导体检测设备：分为光学与电子束技术，对图形缺陷进行检查.....	8
1.3. 前道测试设备市场空间超百亿美元，未来采购需求有望大幅上修.....	10
2. 科磊市占率高达 52%，是国产替代路上的最大阻力之一	12
2.1. 科磊是全球量测领域龙头，产品贯穿前道工艺过程控制全流程.....	12
2.2. 国内量检测设备厂已逐步实现出货，细分领域吹响国产替代号角.....	17
2.2.1. 上海精测：量检测领域均有涉及，产品线覆盖面较广.....	17
2.2.2. 上海睿励：主要覆盖膜厚及 OCD 量测，逐渐向缺陷检测领域拓展.....	18
2.2.3. 中科飞测：产品已进入国内多条生产线.....	19
2.2.4. 东方晶源：EBI 和 CD-SEM 领域填补国内关键空缺.....	20
2.3. 部分细分领域国内厂商已实现突破，科磊仍占据垄断地位.....	21
3. 从科磊发展路径看对国内半导体检测设备企业的借鉴意义	22
3.1. 第一阶段（1977~1990）：挖掘市场需求，快速进入量测市场.....	22
3.2. 第二阶段（1990~1997）：运营进一步细化，产品放量加速.....	23
3.3. 第三阶段（1997~2021）：大幅进行并购，外延内生协同发展.....	23
4. 风险提示	24

图表目录

图 1：量测各环节测试的参数和主要的技术与设备.....	5
图 2：薄膜材料厚度.....	6
图 3：四探针台.....	6
图 4：椭圆偏振技术.....	6
图 5：关键尺寸示意图.....	7
图 6：CD-SEM 原理图.....	7
图 7：套刻误差对准示意图.....	7
图 8：缺陷检测图示.....	8
图 9：明/暗场图形缺陷检测原理图.....	9
图 10：明/暗场图形缺陷检测设备示意图.....	9
图 11：无图形表面检测系统原理图.....	9
图 12：KLA Surfscan 示意图.....	9
图 13：睿励 FSD 系列设备.....	10
图 14：宏观缺陷检测设备示意图.....	10
图 15：电子束缺陷检测原理图.....	10
图 16：电子束缺陷检测示意图.....	10
图 17：全球半导体设备市场规模及增速.....	11
图 18：中国大陆半导体设备市场规模及增速.....	11
图 19：前道量测设备中各类设备占比.....	11
图 20：前道测试设备中各类设备占比.....	11
图 21：KLA2017-2021 财年营业收入及增速.....	12
图 22：KLA2017-2021 财年归母净利润及增速.....	12
图 23：KLA2019-2021 财年收入按业务拆分.....	13
图 24：KLA2019-2021 财年各业务收入占比.....	13

图 25: 前道量测/检测设备全球市场竞争格局.....	14
图 26: KLA 在各个环节的市占率.....	14
表 1: 未来国内晶圆厂产能及规划.....	12
表 2: KLA 主要量测设备产品.....	13
表 3: 日立高新的半导体检测仪器.....	15
表 4: Onto Innovation 检测设备产品.....	16
表 5: 上海精测主要量测设备产品.....	17
表 6: 上海睿励主要量测设备产品.....	19
表 7: 中科飞测主要检测设备产品.....	20
表 8: 东方晶源主要测试设备产品.....	21
表 9: 长江存储采购主要量测设备统计.....	21
表 10: 长江存储主要采购检测设备统计.....	22
表 11: KLA 并购历史.....	23

1. 检测设备贯穿每一步骤的过程工艺控制，全球市场空间超百亿美元

半导体量检测设备主要用于在半导体制造过程中检测芯片性能与缺陷。几乎每一步主要工艺完成后都需要在整个生产过程中进行实时的监测，以确保产品质量的可控性，对保证产品质量起到关键性的作用。**前道量检测设备注重过程工艺监控，几乎运用在每一道制造工序中。**根据功能的不同分为两种设备：一是量测类，二是缺陷检测类。**1) 量测类设备：**主要用来测量透明薄膜厚度、不透明薄膜厚度、膜应力、掺杂浓度、关键尺寸、套准精度等指标，对应的设备分为椭偏仪、四探针、原子力显微镜、CD-SEM、OCD 设备、薄膜量测等。**2) 缺陷检测类设备：**用来检测晶圆表面的缺陷，分为明/暗场光学图形图片缺陷检测设备、无图形表面检测设备、宏观缺陷检测设备等。

1.1. 半导体量测设备：对各环节工艺参数指标进行测量

半导体量测设备主要功能：是在半导体生产过程中，对经过每一道工艺的晶圆进行定量测量，以保证工艺的关键物理参数满足工艺指标，如膜厚、关键尺寸（CD）、膜应力、折射率、掺杂浓度、套准精度等。

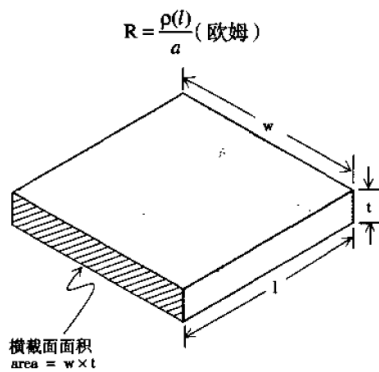
图 1：量测各环节测试的参数和主要的技术与设备

工艺过程	注入	扩散*	薄膜		抛光	刻蚀	曝光	主要技术和设备
			金属	电介质				
质量检测			膜厚					光学薄膜测量设备、XRF技术TRXRF技术、光声技术（金属薄层）
			方块电阻					四探针方块电阻测试仪
			膜应力					扫描激光束技术、分束激光束技术、X射线衍射光谱仪、薄膜应力测试设备
			折射率					干涉技术、椭圆偏振技术
			掺杂浓度					四探针法（高掺杂浓度）、热波系统（低剂量）、二次离子质谱仪(SIMS)
			无图形表面缺陷					明场光学检测光学显微镜、暗场光学检测光散射缺陷探测、无图形圆片表面检测系统、宏观缺陷检测设备、缺陷分析扫描电子显微镜
							有图形表面缺陷	明场光学图形图片缺陷检测设备、暗场光学圆片缺陷检测设备、宏观缺陷检测设备、电子束图形图片缺陷检测设备、缺陷分析扫描电子显微镜
							关键尺寸(CD)	关键尺寸扫描电子显微镜（CD-SEM）、光学关键尺寸测量设备（OCD）
							台阶覆盖	表面台阶仪
							套刻标记	自动套刻测量仪、套刻误差测量系统

资料来源：《半导体制造技术》，《半导体产业全书》，安信证券研究中心。注：扩散区工艺包括氧化、淀积、扩散、退火和合金

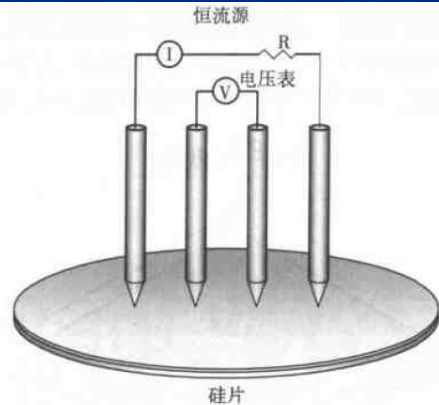
薄膜材料的厚度和物理常数量测设备：在半导体制造过程中，晶圆要进行多次各种材质的薄膜沉积，因此薄膜的厚度及其性质（如折射率和消光系数）需要准确地确定，以确保每一道工艺均满足设计规格。膜厚测量可以根据薄膜材料划分为两个基本类型，即不透明薄膜（金属类）和透明薄膜。测量不透明薄膜厚度的方法通常是通过测量方块电阻，通过其电阻与横截面积得到其膜厚，采用的设备一般为四探针台，将四根探针等距离放置，通过对最外两根探针施加电流，从而测量其电势差，计算被测薄膜的方块电阻。目前市场主要供应商为 KLA（Omni Map 系列）。

图 2：薄膜材料厚度



资料来源：《半导体制造技术》，安信证券研究中心

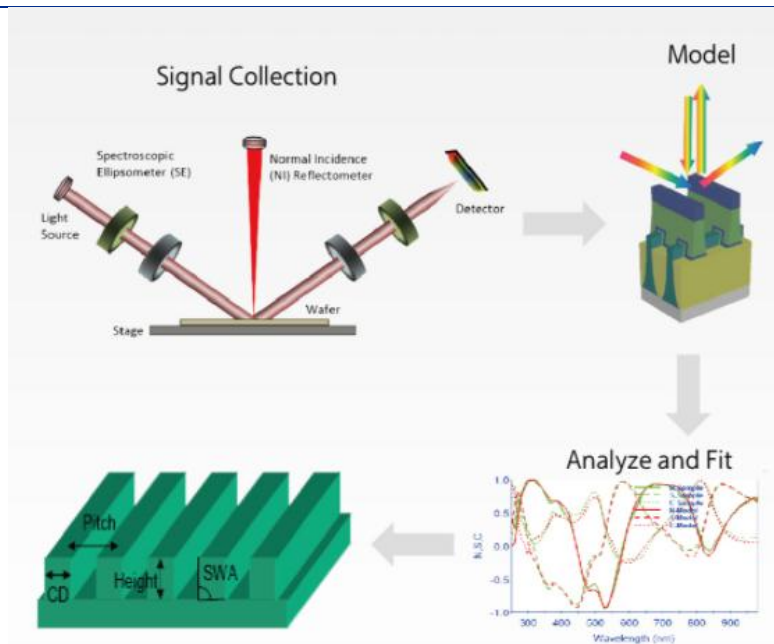
图 3：四探针台



资料来源：《半导体制造技术》，安信证券研究中心

而透明薄膜则通常基于椭圆偏振技术，对光谱范围内的偏振变化进行分析，各种薄膜层提供高精度薄膜测量，由于膜应力、折射率等物理性质同样需要椭圆偏振及干涉技术进行测量，因此目前主流的膜厚测量设备同时集成了应力测量、折射率测量等功能，目前该类设备市场主要供应商为 KLA (Aleris 系列、SpectraFilm 系列)、上海精测 (EFILM 系列)

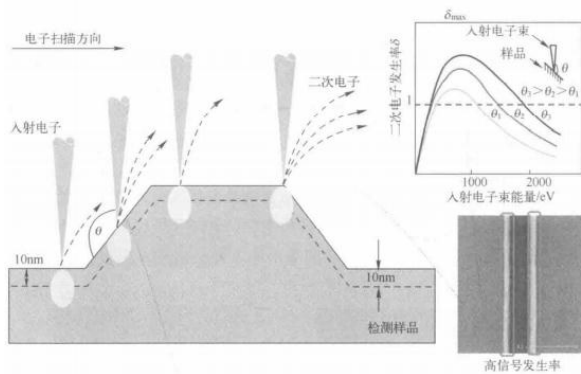
图 4：椭圆偏振技术



资料来源：《半导体制造技术》，安信证券研究中心

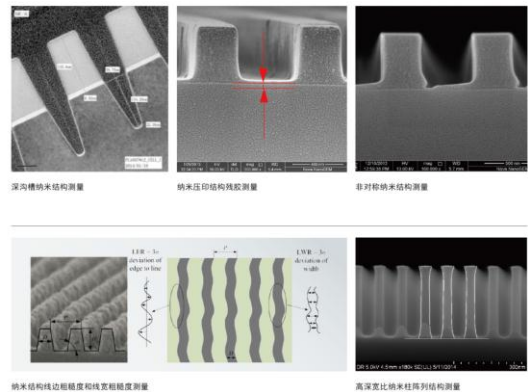
关键尺寸扫描电子显微镜 (CD-SEM)：关键尺寸即栅极线条宽度，通常是指我们所说的“线宽”，任何经过光刻后的光刻胶线条宽度或刻蚀后栅极线条宽度与设计尺寸的偏离都会直接影响最终器件的性能、成品率及可靠性，所以先进的工艺控制都需要对线条宽度进行在线测量。下图所示为 SEM 成像原理图，图左侧是待测量图形的剖面图，由于在斜坡处入射电子有效作用面积最大，二次电子产生率也相应最高转换为 SEM 图像时，图形边缘的亮度总是最高的，于是就可以据此计算线宽，即 CD 值。目前市场上的主要供应商为 Hitachi High-Tech 和应用材料 (VeritySEM5i)。

图 5：关键尺寸示意图



资料来源：《半导体制造技术》，安信证券研究中心

图 6：CD-SEM 原理图

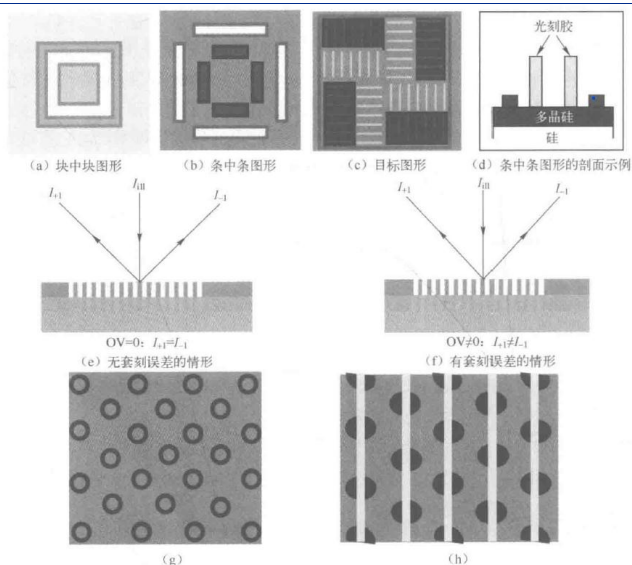


资料来源：《半导体制造技术》，安信证券研究中心

光学关键尺寸（OCD）测量设备：由于 CD-SEM 需要将待测晶圆置于真空，因此检测速度较慢，目前基于衍射光学原理的非成像光学关键尺寸（OCD）测量设备已成为先进半导体制造了艺中的主要工具，它可以实现对器件关键线条宽度及其他形貌尺寸的精确测量，并具有很好的重复性和长期稳定性通过 OCD 测量可以一次性获得诸多工艺尺寸参数，而在以前这些参数通常需要使用多种设备（如扫描电子显微镜、原子力显微镜、光学薄膜测量仪等）才能完成。主要应用于圆片在光刻胶曝光显影后、刻蚀后和 CMP 工艺后的关键尺寸和形貌结构的测量。市场上该类设备主要供应商为 KLA（Spectra Shape 系列）、NanoMetrics、上海睿励（TFX 3000）和上海精测（EPROFILE 300FD）

套刻误差对准测量：在半导体制造过程中，关键层的光学套刻对准直接影响了器件的性能、成品率及可靠性，随着芯片集成度的增加，线宽逐渐缩小以及多重光刻工艺的应用，套刻误差需要更严格地被控制，因此套刻误差测量也是过程工艺控制中最重要地步骤之一。其测量原理通常为通过光学显微成像系统获得两层刻套目标图形的数字化图像，然后基于数字图象算法，计算每一层的中心位置，从而获得套刻误差。目前市场上主流的供应商为 KLA（Archer 系列）和 ASML（Yield-Star 系列）。

图 7：套刻误差对准示意图

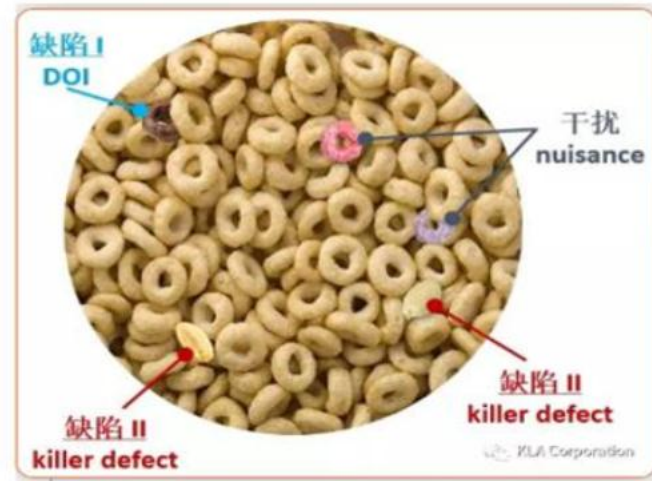


资料来源：《半导体制造技术》，安信证券研究中心

1.2. 半导体检测设备：分为光学与电子束技术，对图形缺陷进行检查

半导体检测设备主要用于检测晶圆上的物理缺陷（称为颗粒的异物）和图案缺陷，并获取缺陷的位置坐标（X, Y）。缺陷可分为随机缺陷和设备缺陷，**随机缺陷**主要是由附着在晶圆表面的颗粒引起的，因此无法预测其位置。晶圆缺陷检测设备的主要作用是检测晶圆上的缺陷并找出其位置（位置坐标）；**设备缺陷**则是由掩模和曝光工艺的条件引起的，往往在所有投射的管芯的电路图案上的相同位置发生。

图 8：缺陷检测图示



资料来源：KLA，安信证券研究中心

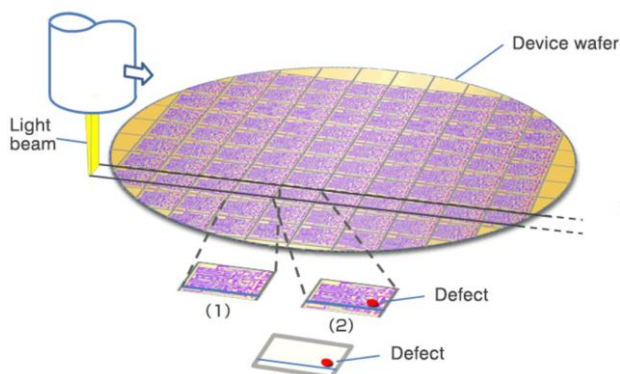
按照检测技术分类，晶圆缺陷检测技术分为光学和电子束技术。传统检测技术以光学检测为主，通过光学成像原理对相邻的晶圆进行比对，可以在短时间内进行大范围检测。但随着半导体制程不断缩减，光学检测在先进工艺技术的图像识别的灵敏度逐渐减弱，因此电子束检测技术在先进工艺中使用较多。电子束的原理为利用电子束扫描待测元件，得到二次电子成像的影像，通过对二次电子的收集，以呈现的图像来解析晶圆在制程中的异常处。

电子束检测的优势为可以不受某些表面物理性质的影响，且可以检测很小的表面缺陷，如栅极刻蚀残留物等，相较于光学检测技术，电子束检测技术灵敏度较高，但检测速度较慢，因此在针对先进制程芯片的生产流程时，会同时使用光学检测与电子束检两种技术互相辅助，进而快速找到晶圆生产的缺陷并控制和改善。

光学图形圆片缺陷检测设备采用高精度光学检测技术，对圆片上的 nm/ μm 尺度的缺陷和污染进行检测和识别，以便发现在不同生产节点中的圆片的产品质量问题，该设备可以进一步分为**明/暗场图形缺陷检测、无图形表面检测系统、宏观缺陷检测设备**。

明/暗场图形缺陷检测：该类检测是基于光学成像技术对图形化的晶圆进行检测，明场是指照明光角度和采集光角度完全相同或部分相同，在光电传感器上最终形成的图像是由照明光入射晶圆表面并反射回来的光形成的；而暗场则是指照明光角度和采集光角度完全不同，所以在光电传感器上最终形成的图像是由照明光入射晶圆表面并被图形表面的 3D 结构散射回来的光形成的。通俗来说，明场一般是指照明光路和采集光路在临近晶圆端共用同一个显微镜，而暗场是指照明光路和采集光路在物理空间上是完全分离的。其皆通过对晶圆上的图形进行成像后与相邻图像对比来检测缺陷并记录其位置坐标。

图 9：明/暗场图形缺陷检测原理图



资料来源：KLA，安信证券研究中心

图 10：明/暗场图形缺陷检测设备示意图

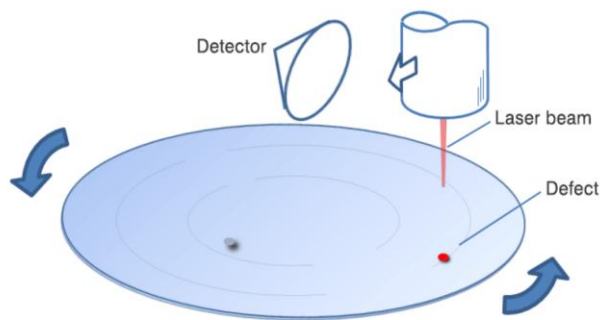


资料来源：KLA，安信证券研究中心

目前市场上明场光学图形缺陷检测设备的供应商主要为 KLA（39xx 系列及 29xx 系列）以及应用材料（UVision 系列），暗场光学图形缺陷检测设备的供应商主要为 KLA（Puma 系列）和 Hitachi High-Tech（IS 系列）。

无图形圆片表面检测系统：该设备是一种用于检测圆片表面品质和发现圆片表面缺陷的光学检测设备。由于晶圆尚未形成图案，因此无需图像比较即可直接检测缺陷。其工作原理是将激光照射在圆片表面，通过多通道采集散射光，经过表面背景噪声抑制后，通过算法提取和比较多通道的表面缺陷信号，最终获得缺陷的尺寸和分离。无图形圆片表面检测系统能够检测的缺陷类型包括颗粒污染、凹坑、水印、划伤、浅坑、外延堆垛（Epi Stacking）、CMP 突起（CMP Protrusion）等。

图 11：无图形表面检测系统原理图



资料来源：KLA，安信证券研究中心

图 12：KLA Surfscan 示意图



资料来源：KLA，安信证券研究中心

目前市场上主要供应商为 KLA（Surfscan 系列）和 Hitachi High-Tech（LS 系列）。

宏观缺陷检测设备：基于光学图像检测技术，结合多种光学量测方法，可以实现尺度大于 0.5 μm 的圆片缺陷检测。宏观缺陷检测设备采用的检测方式有两种，一种方式为全圆片表面成像，光学系统能够实现整个 300mm 圆片表面的一次性成像探测，检测速度较快；另一种方式为局部圆片表面成像，具有更高的空间分辨率，测试中通过对圆片表面的定位或连续扫描，拍摄圆片表面的完整图像信息，通过“Die-to-Die”比对等图像计算方法获得检测结果。

宏观缺陷检测设备一般用于光刻、CMP、刻蚀、薄膜沉积后的出货检验（OQC）以及入厂检验（IQC）中，包括正面检测、背面检测、边缘检测、晶圆几何形状检测等，可高速扫描硅片的全表面，自动存储硅片全景图像、缺陷分类，和输出缺陷检测结果。其主要供应商为

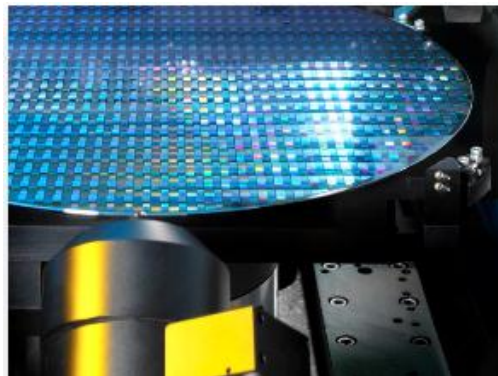
KLA (CIRCL 系列)、Nanometrics (Spark 系列)、Rudolph (NSX 系列)、上海睿励 (FSD 系列) 以及中科飞测 (SPRUCE)。

图 13: 睿励 FSD 系列设备



资料来源: 睿励官网, 安信证券研究中心

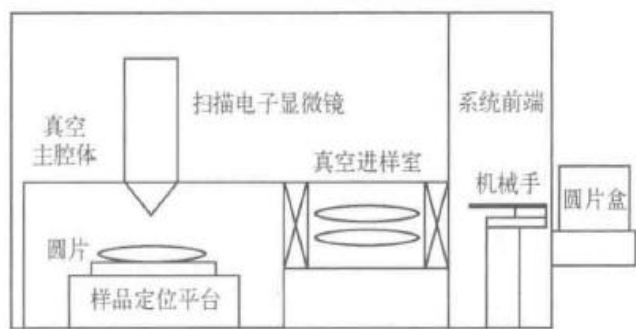
图 14: 宏观缺陷检测设备示意图



资料来源: KLA, 安信证券研究中心

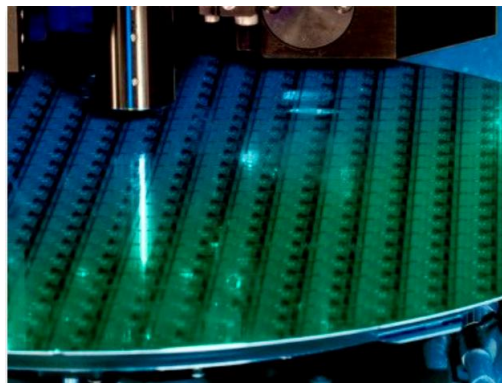
电子束图形圆片缺陷检测设备是一种利用扫描电子显微镜在前道工序中对半导体圆片上的刻蚀图形直接进行缺陷检测的工艺检测设备。其原理为通过聚焦电子束对圆片表面进行扫描, 接受反射回来的二次电子和背散射电子, 进而将其转换成对应的圆片表面形貌的灰度图像。通过对比圆片上不同芯片 (Die) 同一位置的图像, 或者通过图像和芯片设计图形的直接对比, 可以找出刻蚀或设计上的缺陷。目前市场上主要供应商为 KLA(eDR7XXX 系列、eSL10 系列) 和 AMAT (SEM VISION 系列)。

图 15: 电子束缺陷检测原理图



资料来源: 《半导体制造技术》, 安信证券研究中心

图 16: 电子束缺陷检测示意图

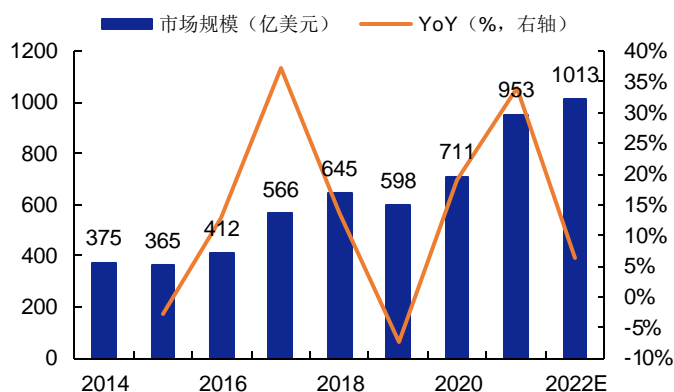


资料来源: KLA, 安信证券研究中心

1.3. 前道测试设备市场空间超百亿美元, 未来采购需求有望大幅上修

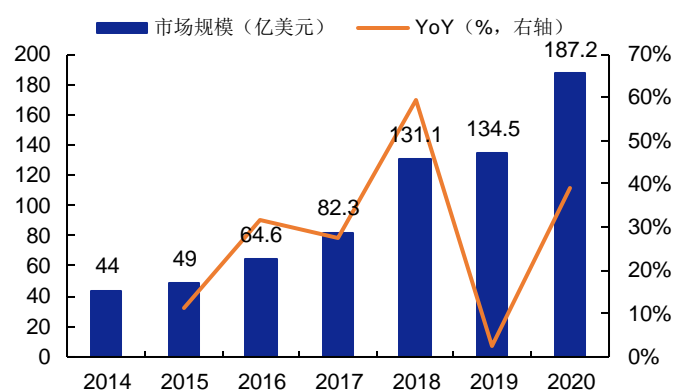
前道测试设备占半导体设备投资额的 11%~13%。根据科磊及 Semi 统计, 前道测试设备占比在 11%~13%, 我们取半导体前道测试设备占比 12%。1) 全球: 按照 Semi 最新预计 2021 年半导体设备总市场分别为 953 亿美元估算, 我们预测 2021 年全球半导体前道检测设备市场空间分别达到 114.4 亿美元。2) 国内: 根据 Semi 数据, 2020 年国内半导体设备市场规模达 187.2 亿美元, 2021 年约同比增长 10%, 测算 2021 年国内半导体前道检测设备市场分别达到 24.7 亿美元, 约为 160.6 亿元人民币。

图 17: 全球半导体设备市场规模及增速



资料来源: Semi, 安信证券研究中心

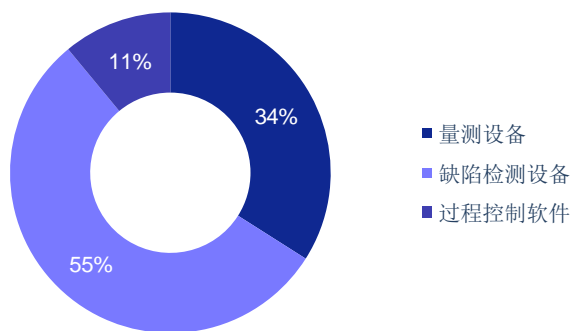
图 18: 中国大陆半导体设备市场规模及增速



资料来源: Semi, 安信证券研究中心

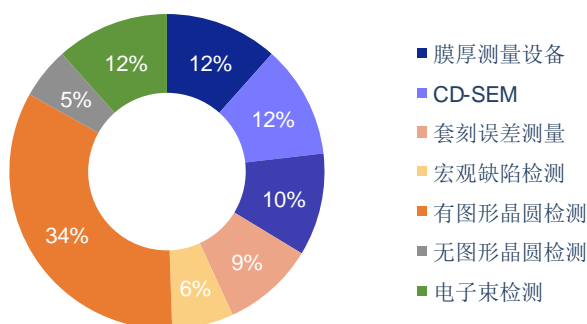
量测设备约占前道量测设备的 34%。前道量测设备进一步细分为量测设备、缺陷检测设备以及过程控制软件, 根据智研咨询数据, 其中缺陷检测设备约占前道检测设备的 55%, 量测设备占前道量测设备的 34%, 过程控制软件占 11%。进一步按产品细分, 膜厚测量占比约 12%、OCD 测量设备占比 10%、形貌测量占比约 6%、套刻误差测量占比 9%、CD-SEM 测量占比约 12%; 缺陷检测中有图形晶圆检测占比 32%、无图形晶圆检测占比 5%、电子束检测占比 11%、宏观缺陷检测占比 6%。

图 19: 前道量测设备中各类设备占比



资料来源: Semi, 安信证券研究中心

图 20: 前道测试设备中各类设备占比



资料来源: 智研咨询, 安信证券研究中心

同时根据中芯国际/长江存储/合肥长鑫规划, 今年中芯国际先后公告投资 76 亿美元于北京亦庄建设每月约 10 万片的 12 英寸晶圆产能、投资 23.5 亿美元于深圳建设每月约 4 万片的 12 英寸晶圆产能、投资 88.7 亿美元于上海临港建设每月约 10 万片的 12 英寸晶圆产能。合计规划产能 24 万片, 投资额超 1200 亿人民币, 同时加上合肥长鑫、长江存储规划未完工产能, 合计未扩建产能超 60 万片, 我们按照 1 万片 50 亿人民币投资额测算, 未来晶圆厂投资额将超 3000 亿元, 根据 Gartner 统计, 晶圆厂设备采购额占总投资额的 80%, 其中 11%~13% 为量测设备, 仅长江存储、中芯国际、合肥长鑫对量测设备的采购规模达 300 亿元, 分 3~4 年释放; 此外如华虹华力、士兰微、积塔半导体、华虹北京燕东、格科微等今年分别规划扩建或新建晶圆厂, 根据 Semi 统计, 2020 年中国大陆地区产能合计达 400 万片/月 (折合 8 寸晶圆), 今年将达到 460 万片/月, 2020 年至 2024 年全球将至少新增 38 座 12 英寸晶圆厂, 其中中国大陆贡献主要扩充动力, 未来国内设备采购需求有望大幅上修。

表 1: 未来国内晶圆厂产能及规划

项目名称	规划月产能(万片)	晶圆尺寸	工艺	芯片类型
中芯国际(天津)	预计扩产 4.5 万片	8 寸	65nm	晶圆代工
中芯北方	预计扩产 1 万片	12 寸	45~28nm	晶圆代工
中芯京城	一期规划 10 万片	12 寸	28nm 及以上	晶圆代工
中芯深圳	规划 4 万片	12 寸	28nm 及以上	晶圆代工
中芯临港	规划 10 万片	12 寸	28nm 及以上	晶圆代工
华虹半导体	规划 6.5 万片	12 寸	90-55/65nm	嵌入式非挥发性存储器; 功率半导体; 模拟及电源、逻辑与射频
上海华力	规划 4 万片	12 寸	28-14nm	逻辑芯片
长江存储	三期规划 30 万片	12 寸	32/64/128/192 层	3D NAND
合肥长鑫	三期规划 36 万片	12 寸	17nm	DRAM
广州粤芯二期	规划 4 万片	12 寸	65-90nm	高精度数模转换芯片、高端电源管理芯片、光学传感器、车载及生物传感芯片
士兰微集科一期	规划 4 万片	12 寸	90nm	MEMS、功率器件
上海积塔二期	规划 5 万片	12 寸	65nm	IGBT

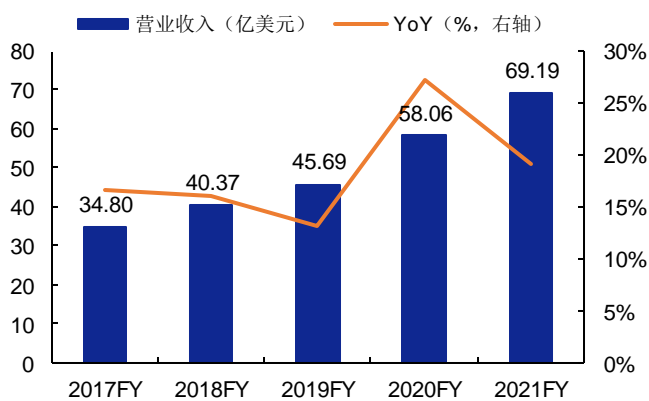
资料来源: 公司公告, 安信证券研究中心

2. 科磊市占率高达 52%，是国产替代路上的最大阻力之一

2.1. 科磊是全球量测领域龙头，产品贯穿前道工艺过程控制全流程

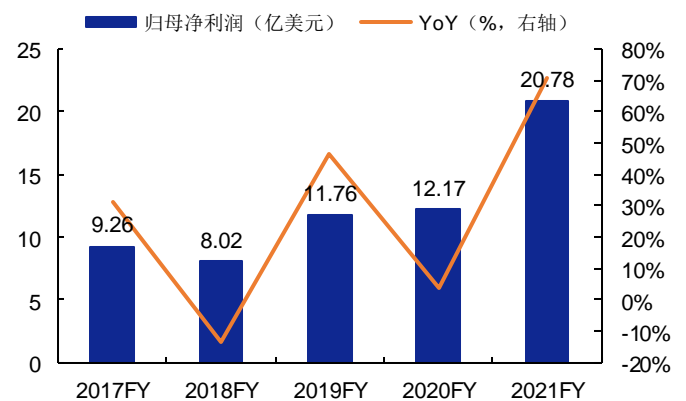
科磊是 IC 领域最大量检测公司，半导体工艺控制是最主要收入来源。通过 20 余年的发展，截止 2021 财年，KLA 的营收已达到 69.2 亿美元 (YoY+19.2%)，成为集成电路领域规模最大、覆盖面最广的量检测公司。按业务拆分，公司收入可以分为三部分：1) 半导体工艺控制：2021FY 收入 57.3 亿美元 (YoY+20.8%)，占比 82.9%，相较 2019FY 的 89.3% 有所下滑，然贡献率仍维持高位；2) 特殊半导体制造设备：2021FY 收入 3.7 亿美元 (YoY+12.0%)，占比 5.3%；3) PCB、面板和零部件检查：2021FY 收入 8.1 亿美元 (YoY+11.7%)，占比 11.7%。

图 21: KLA2017-2021 财年营业收入及增速



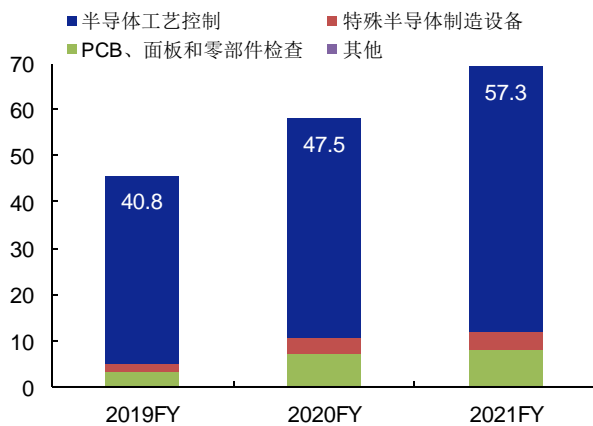
资料来源: 公司公告, 安信证券研究中心

图 22: KLA2017-2021 财年归母净利润及增速



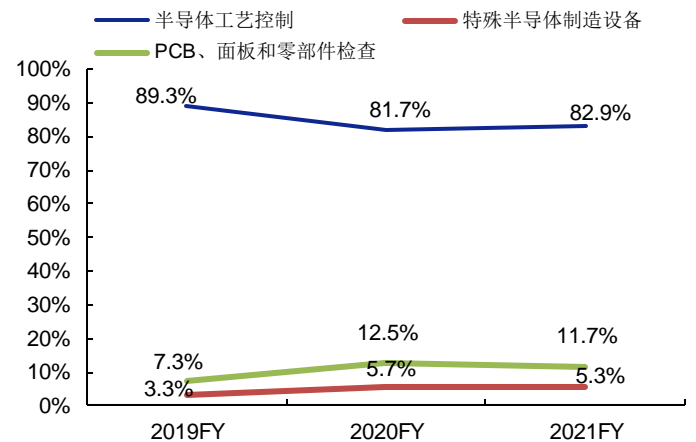
资料来源: 公司公告, 安信证券研究中心

图 23: KLA2019-2021 财年收入按业务拆分



资料来源: 公司公告, 安信证券研究中心

图 24: KLA2019-2021 财年各业务收入占比

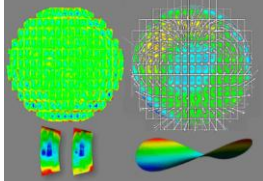


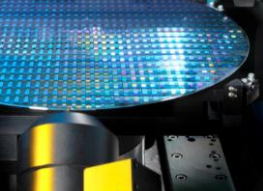
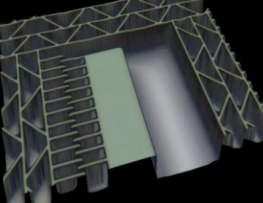


资料来源: 公司公告, 安信证券研究中心

科磊产品线贯穿前道工艺过程控制全流程。从产品线来看, 公司下游应用于晶圆、光罩制造、半导体、封装、PCB 和 LED 等工业技术领域, 产品贯穿前道工艺过程控制全流程, 包括 Surfscan 无图案晶圆缺陷检测系统、eDR7xxx 电子束晶圆缺陷检测系统、eSL10 图案晶圆检测、39xx 系列超分辨率宽光谱等离子图案晶圆缺陷检测系统、29xx 宽光谱等离子图案晶圆缺陷检测系统、Puma 激光扫描图案晶圆缺陷检测系统、Teron 光罩缺陷检测系统、Archer™ 套刻量测系统等, 并在缺陷检测领域市占率较高。

表 2: KLA 主要量测设备产品

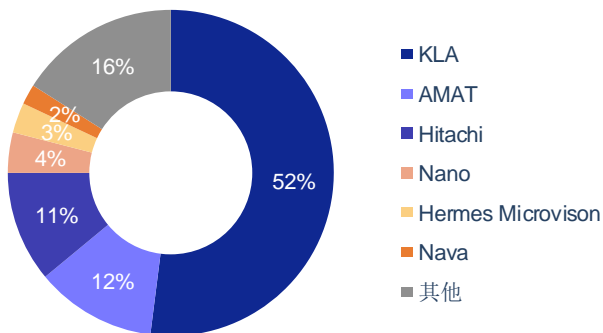
产品名称	系统类型	技术/性能	应用领域	示意图
Archer 750	套刻量测系统	基于成像技术, 具备可调节光源, 可对 $\leq 7\text{nm}$ 逻辑和高级存储器设计节点进行精确且稳定的套刻误差测量。	产品在线套刻控制, 在线监控, 光刻机认证, 图案控制。	
ATL 100	套刻量测系统	可为 $\leq 7\text{nm}$ 设计节点的开发和批量制造提供套刻控制, 结合分辨率为 1nm 的可调谐激光技术与实时 Homing™ 功能以确保在实际生产工艺发生变化时仍然保持高精度的套刻。	产品上套刻控制, 在线监控, 扫描仪认证, 图案化控制, 芯片内测量。	
SpectraShape 11k	光学临界尺寸 (CD) 和形状量测系统	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。	在线制程监测, 图形控制, 制程窗口扩展, 制程窗口控制, 高级制程控制 (APC), 工程分析。	
SpectraFilm F1	薄膜量测系统	可为各种薄膜层提供高精度薄膜测量, 从而在 7nm 以下的逻辑和领先内存设计节点上协助实现严格的工艺允许误差。	带隙监控, 工程分析, 在线工艺监控, 设备监控, 工艺设备匹配。	
Aleris	薄膜量测系统	可为 32nm 节点及以下节点提供可靠的、精确的薄膜厚度、折射率、应力以及成分测量。利用宽带光谱椭圆偏仪 (BBSE) 技术, 提供全面的薄膜厚度测量和量测解决方案, 帮助晶圆厂对各种薄膜层进行鉴定和监控。	工程分析, 在线工艺监控, 设备监控, 工艺设备匹配。	

<p>PWG 5</p>	<p>图案化的晶圆几何形貌 (PWG) 量测系统</p>	<p>为高级 3D NAND、DRAM 和逻辑器件产品制造商提供全面的晶圆平坦度和双面纳米级形貌数据，具有高分辨率和高密度采样。</p>	<p>制程监控，在线监控，光刻套刻控制。</p>	
<p>Therma-Probe 680XP</p>	<p>离子掺杂量测系统</p>	<p>可对 2Xnm/ 1Xnm 设计节点进行在线剂量监测。</p>	<p>剂量等关键工艺信息的在线监测。</p>	
<p>OmniMap RS-200</p>	<p>薄层电阻量测系统</p>	<p>采用了成熟的工业电阻率测绘标准，可为 45nm 及以下的测量提供准确可靠的薄层电阻测量。</p>	<p>工艺监控，设备监控。</p>	
<p>CIRCL5</p>	<p>全表面晶圆缺陷检测、量测和检视集群系统</p>	<p>包含四个模块可以检测所有晶圆表面并同步采集数据，从而实现高产量和高效率的工艺控制。</p>	<p>工艺监控，出厂质量控制 (OQC)，设备监控，背面监控，边缘良率监控。</p>	
<p>P-17</p>	<p>探针式与光学轮廓仪</p>	<p>支持半导体 IC、功率器件、LED、光子技术、MEMS、CPV 太阳能、HDD 和显示器制造的表面量测测量。</p>	<p>台阶高度、粗糙度、平面度、曲率、应力、薄膜厚度、缺陷检测等。</p>	

资料来源: KLA 官网, 安信证券研究中心

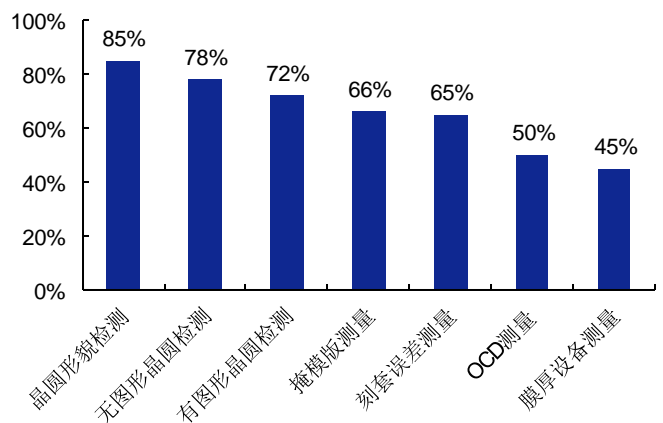
科磊的前道检测设备市占率达 52%，在部分细分领域具有绝对垄断优势。根据 Gartner 数据，前道检测设备领域，科磊独占 52% 的份额，应用材料、日立高新则分别占比 12%、11%，CR3 合计占比接近 80%，市场集中度较高，且基本被海外公司所垄断，国内企业市场份额不足 1%，其中科磊在检测设备领域市占率有绝对优势，在晶圆形貌检测、无图形晶圆检测、有图形晶圆检测领域市占率分别达到 85%、78%、72%，具有绝对垄断优势。

图 25: 前道量测/检测设备全球市场竞争格局



资料来源: Gartner, 安信证券研究中心

图 26: KLA 在各个环节的市占率



资料来源: Semi, 安信证券研究中心

科磊在量测设备领域的主要竞争对手。量测领域除科磊外其他竞争对手主要为应用材料、日立高新、Onto 等，分别占据 12%、11%及 4%，其中：1) 日立高新为日立集团下的子公司，主要布局半导体制造和检测、科学医疗系统、仪表系统和其他工业零部件，半导体测试领域产品为 CD-SEM、暗场检测设备、宏观检测设备、缺陷复查显微镜等，主要布局量测类设备；2) 应用材料为全球半导体设备龙头公司，其产品线贯穿半导体制造生产整个流程，其在半导体检测领域产品线主要为晶圆检测设备和 CD-SEM，主要布局量测类设备；3) Onto (Rudolph 与 Nanometrics 合并)，产品主要包括自动缺陷检测和量测系统，探针卡测试和分析系统。

表 3：日立高新的半导体检测仪器

产品名称	性能与规格	示意图
高解析度 FEB 测量装置 CG6300	<p>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。</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 晶圆尺寸：Φ300 mm (SEMI 标准规格 V notched wafer)； 2) 自动装片：3 FOUP*4 -compatible random access； 3) 电源：单相 AC200V、208V、230V、12kVA (50/60Hz)。 	
高分辨率 FEB 测长仪器 CG5000	<p>适用于 1Xnm 级开发以及 22nm 级量产流程。革新了运送类系统，并通过对电子光学技术及图像处理技术的改良，实现了有史以来最高的分辨率，处理能力，测长再现性，并且强化了自动校准功能，提供了长期稳定的运行率。</p>	
高解析度 FEB 测量装置 CS4800	<p>提供高解析度的 SEM 成像，更高的测量精度和快速自动化操作，将有助于提高客户现有生产线的生产力。此外用户可以通过简单的操作处理自动搬送两种不同尺寸的晶圆。</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 测量精度：1nm (3σ) (采用日立标准晶圆)； 2) 晶圆尺寸：直径 100mm, 150mm, 200mm； 3) 自动装片装置：2 个； 4) 设备尺寸 (主体)：1180 (宽) × 2500 (长) × 1990 (高) 毫米。 	
高速缺陷观测设备 CR6300	<p>运用 ADR 和高精度 ADC 来为提高良率做贡献的 Inline 缺陷观测 SEM。</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 高画质，高对此，高解析度 SEM 图像； 2) 高速缺陷摄像 (ADR)； 3) 人性化的 GUI。 	
基于设计数据的计量系统 RecipeDirector	<ol style="list-style-type: none"> 1) 可不使用晶片及测长 SEM，离线作成测量程式； 2) 可仅通过制定计测点及测长方法，自动作成测量程式； 3) 可不依赖于操作者的技术，作成统一质量的测量程式； 4) 采用服务器&客户端方式。 	

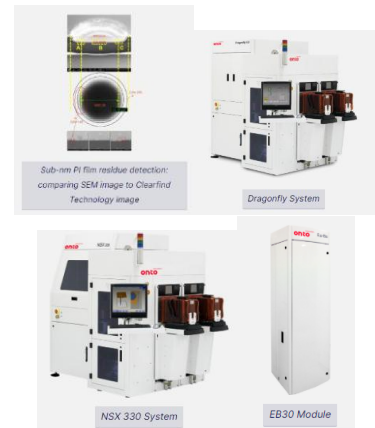
资料来源：日立高新官网，安信证券研究中心

表 4: Onto Innovation 检测设备产品

设备类别	产品分类	产品系列及主要机型	示意图
量测设备	OCD 量测	1) Aspect System; 2) Atlas Series: Atlas V System, Atlas III+ System, Atlas XP+ System; 3) IMPULSE Series: IMPULSE V System, IMPULSE+ System; 4) OCD Solutions; 5) NanoSpec II System.	
	薄膜量测	MetaPULSE G System	
	Overlay&CD 量测	I/S Series: I/S 220 System.	
缺陷检测	裸晶圆检测	1) NovusEdge System; 2) AWX FSI System.	
	前端晶圆制造检测	1) Firefly® Series; 2) F3 System; 3) EB3 Module.	

后端和先进封装
检查

- 1) Firefly Series;
- 2) Dragonfly G3 System;
- 3) NSX 330 System;
- 4) EB30 Module。



资料来源: Onto Innovation 官网, 安信证券研究中心

2.2. 国内量检测设备厂已逐步实现出货，细分领域吹响国产替代号角

国内量检测领域目前主要参与公司有上海精测、上海睿励、中科飞测、东方晶圆等，目前正在积极推出其产品线，推动国产量测设备发展。精测与睿励主要聚焦于膜厚及 OCD 量测，已获国内一线存储厂商重复订单，中科飞测产品以形貌测试为主，已进入国内多家生产线，如中芯国际、长江存储、士兰微等，东方晶源主要攻克 EBI 和 CD-SEM，目前产品也已实现交付，填补了我国空缺的关键领域。

2.2.1. 上海精测：量检测领域均有涉及，产品线覆盖面较广

公司现已形成了膜厚/OCD 量测设备、电子束量测设备、泛半导体设备三大产品系列。公司产品线包括 EFIM 系列膜厚测量机、EPROFILE 系列膜厚及 OCD 测量机、eView 系列电子束检测设备，量测领域覆盖了适用范围最广的膜厚及 OCD 测量设备，检测领域覆盖了电子束检测及缺陷复查设备，产品覆盖领域较为齐全。其中，上海精测膜厚产品（含独立式膜厚设备）已取得国内一线客户的批量重复订单，上半年公司实现首台 12 寸晶圆外观缺陷检测设备交付，首台独立式 OCD 设备与 Review SEM 出机。

表 5: 上海精测主要量测设备产品

产品名称	特点	示意图
EPROFILE 300FD (高性能膜厚及 OCD 测量机)	<ol style="list-style-type: none"> 1) 支持 200/300mm 硅片; 2) 无破坏及高速检测; 3) OCD 测量: 可进行显影后检查、刻蚀后检查等多工艺段的二维或三维样品的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、闪存等多样品; 4) 使用自主开发的最新一代穆勒矩阵式膜厚&OCD 测量头, 考虑被测对象的各向异性, 提供测量的灵敏度; 5) 支持 SECS/GEM 产线互联标准。 	
EFILM 300SS/DS (半导体单/双模块膜厚测量机)	<ol style="list-style-type: none"> 1) 支持 300/200mm 硅片; 2) 占地小, 使用灵活; 3) 专利的磁浮运动台, 无摩擦、高寿命; 4) 高可靠性: 双台备份设计; 5) 应用范围包括: 刻蚀、CVD、光刻、CMP 等工艺段测量; 6) 支持 SECS/GEM 产线互联标准。 	

EFILM 200FU

(国内领先 Micro OLED 全 N₂ 环境使用 倒置型膜厚测量机)

- 1) 倒置工作台设计, 防止颗粒污染, 和蒸镀工艺线无缝连接;
- 2) 能实现 TFE/ETL/EML/ITO 各制程的光学性能测试和 A 即膜厚测量;
- 3) 30um 微光斑, 高横向分辨率;
- 4) 对蒸镀过程中进行对位校准, 监控厚度均匀性;
- 5) 使自主开发的最新一代穆勒矩阵式膜厚&OCD 测量头, 满足检测 EML 工艺中多项异性膜厚检测, 提供测量的灵敏度;
- 6) 全 N₂ 环境使用, 杜绝水氧, 机台内部无污染气体释放。



EFILM 300IM

(集成式膜厚测量机)

- 1) 支持 300/200mm 硅片;
- 2) 业界独有的高精度微型化椭圆偏振膜厚测量技术, 实现薄膜高精度测量;
- 3) 设计为集成在半导体工艺制程设备上提供及时膜厚监控, 实现工艺和检测的闭环;
- 4) 专利的磁浮运动台, 无摩擦、高寿命;
- 5) 体积小巧: 标准 Load Port 尺寸和安装接口;
- 6) 应用范围包括刻蚀、CVD、光刻、CMP 等工艺段测量。



eView™

(全自动晶圆缺陷复查设备)

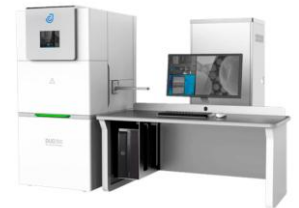
- 1) 全自动缺陷复查和分类
- 2) 领先的高分辨率电子束成像能力
- 3) 有图形和无图形晶圆检测
- 4) 超低电压 EDX 分析
- 5) Die-to-GDS 缺陷检测
- 6) 关键尺寸测量和热点分析
- 7) 光刻制程优化



AeroScan™ DUO

(FIB-SEM 双束系统)

- 1) 扫描电子显微镜 (scanning electron microscope, SEM) : 在真空环境下, 利用高能的电子束扫描样品表面进行成像的一种显微镜, 其分辨率能达到~1nm。
- 2) 聚焦离子束 (focused ion beam, FIB) : 通过把离子束聚焦成纳米级光束, 实现材料微纳加工的一种新技术。
- 3) FIB-SEM 双束系统: 集成 SEM 和 FIB 于一体, 结合 SEM 超高分辨率和 FIB 优异的微纳加工能力, 可以实现原位的微纳加工。其中, 半导体领域的 IC 芯片失效分析和修改为其最主要的应用之一。



资料来源: 上海精测官网, 安信证券研究中心

2.2.2. 上海睿励: 主要覆盖膜厚及 OCD 量测, 逐渐向缺陷检测领域拓展

公司产品深耕量测领域, 主要产品包括 TFX3000 系列膜厚量测设备, TFX3000 OCD 光学关键尺寸 (OCD) 和形貌测量系统, FSD300 自动宏观缺陷检测系统及 WSD200 光学缺陷检测设备。今年上半年, 公司新一代光学膜厚量测设备 (TFX4000i) 正式交付国内重要客户, 高精度光学缺陷检测设备 (WSD200) 也交付国内知名客户, 目前睿励自主研发的 12 英寸光学测量设备 TFX3000 系列产品, 已应用在 65/55/40/28 纳米芯片生产线并在进行了 14 纳米工艺验证, 在 3D 存储芯片产线支持 64 层 3DNAND 芯片的生产, 并正在验证 96 层 3DNAND 芯片的测量性能, 现正在开发下一代可支持更高阶芯片制程工艺的膜厚和 OCD 测量设备以及缺陷检测设备, 公司股东包括中微公司 (20.45%)、浦东科创 (15.04%)、张江科投 (11.13%)、国家大基金 (8.78%)、上海创投 (4.95%)、上海国盛 (3.35%) 等一众知名产业投资机构。

表 6: 上海睿励主要量测设备产品

产品类别	名称	特点	示意图
光学薄膜测量设备	TFX3000P	1) 低持有成本 (CoO)、稳定性好, 产能高; 2) 应用于 12 英寸集成电路前端生产线; 3) 应用范围: 各种透明或半透明介质薄膜, 半导体材料薄膜, 金属硅化物薄膜等薄膜厚度、光学常数的测量; 4) 性能强大、可靠的图像识别功能, 功能丰富、易用的软件和算法; 5) 高速运动平台及先进的运动控制算法使得设备具有极高的输出产能; 6) 全面支持工厂自动化要求	
	TFX3000	300mm 全自动光学膜厚测量系统。应用范围包括刻蚀、化学气相沉积 (CVD)、光刻和化学机械抛光 (CMP) 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)。	
	TFX3200	应用于 8 英寸大规模集成电路前端生产线, 具备与 12 英寸膜厚测量设备相同的测量性能和设备稳定性。与同类型其他设备相比, 产能领先 1 倍以上, 拥有极高的性价比。	
光学关键尺寸测量设备	TFX3000 OCD	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 (ADI)、刻蚀后检查 (AEI) 等多种工艺段的二维或三维样品的线宽、侧壁角度 (SWA)、高度/深度等关键尺寸 (CD) 特征或整体形貌测量。可测量二维多晶硅栅极刻蚀 (PO)、隔离槽 (STI)、隔离层 (Spacer)、双重曝光 (Double Patterning) 或三维连接孔 (VIA)、鳍式场效应晶体管 (FinFET)、闪存 (NAND) 等多种样品。具有高速、准确和非破坏性等特点。	

资料来源: 上海睿励官网, 安信证券研究中心

2.2.3. 中科飞测: 产品已进入国内多条生产线

公司产品涉及量检测领域, 具体分别为 SKYVERSE-900 三维封装量测系统、SPRUCE-600 晶圆表面缺陷检测系列和智能视觉检测系统, 其中公司的晶圆表面颗粒检测机成功进入中芯国际生产线, 智能视觉检测系统成功进入长江存储生产线, 椭圆膜厚度量测仪进入士兰微生产线。

表 7: 中科飞测主要检测设备产品

产品名称	特点	示意图
Birch 智能视觉检测系统	<p>亚微米量级的二维图形缺陷和三维尺度测量的检测。</p> <p>产品特点:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 高速、高精度先进封装的二维缺陷检测系统和三维尺度测量系统; 2) 多模式的明暗场多角度的照明系统, 智能缺陷检测和分类的检测模式。 <p>应用领域:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 晶圆芯片上的图形缺陷检测; 2) 晶圆芯片上的三维尺度扫描。 	
spruce-600 晶圆表面缺陷检测系统	<p>应用领域: 主要包括 Bare_Si 晶圆、Poly_Si 晶圆、介质薄膜表面晶圆 (Oxide、Nitride)、CMP 研磨晶圆和金属表面晶圆。</p> <p>产品特点:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 自主研发的全晶圆表面的纳米量级的颗粒和污染检测技术; 2) 线阵相机扫描, 可配置裸硅片或图形片暗场扫描; 3) 最优空间分辨率: 10um; 4) 全自动化设备和 SEMI 标准通讯协议; 5) 200mm/300mm 可配置。 	
CYPRESS-900 三维封装量测系统	<ol style="list-style-type: none"> 1) 晶圆尺寸: 200mm & 300mm 兼容; 2) 自动送片、自动定位、自动聚焦; 3) 自主知识产权的高深宽比测量光路设计, 实现了三维结构的高精度尺度和膜厚检测; 4) 高精度: 特有的宽光谱信号接收光路和自适应分析算法。 	
TOTARA 系列 3D 轮廓量测系统	<ol style="list-style-type: none"> 1) 非接触式 3D 轮廓和厚度测量; 2) 适用于高反射率的玻璃和陶瓷等光滑表面; 3) 自动光量控制; 4) 高精度、高速度。 	

资料来源: 中科飞测官网, 安信证券研究中心

2.2.4. 东方晶源: EBI 和 CD-SEM 领域填补国内关键空缺

公司产品主要覆盖三大领域即 OPC (计算光刻产品)、EBI (电子束缺陷检测) 及 CD-SEM (关键尺寸量测), 目前公司已实现国内首台套 EBI 设备在客户主流制程的验证, 完成国内首台 CD-SEM 的研发并于今年交付中芯国际, 为目前 EBI 与 CD-SEM 领域填补关键空缺。

表 8: 东方晶源主要测试设备产品

产品名称	特点	示意图
电子束缺陷检测设备 (EBI)	1) 面向 300mm 工艺制程; 2) 高灵敏度电性缺陷检测; 3) 高分辨率物理缺陷检测; 4) 基于 DNA 数据库的高性能缺陷检测引擎; 5) 灵活多元的缺陷分类算法引擎; 6) 采集二次电子及背散射电子信号, 改善信噪比。	
关键尺寸量测设备 (CD-SEM)	1) 面向 200mm/300mm 工艺制程; 2) 高精度 Z 向高度定位功能, 辅助高速 SEM 聚焦补偿; 3) 根据设计数据离线自动生成量测 Recipe 文件; 4) 可选多探测器方案, 支持多样化量测应用; 5) 支持精确的 SEM, 凸显轮廓抽取功能。	

资料来源: 东方晶源官网, 安信证券研究中心

2.3. 部分细分领域国内厂商已实现突破, 科磊仍占据垄断地位

我们进一步对国内厂商招标数据进行了整理, 以长江存储 2017 年至今的招标数据为例, 量测设备中采购量较大的为集成式膜厚光学关键尺寸量测系统 (膜厚+OCD) 62 台, 其中用于浅槽隔离的 34 台, 全部采购自 Onto, 用于介质层如氧化硅、多晶硅等的 28 台, 其中 21 台采购于 Onto, 6 台采购自上海精测, 薄膜厚度测量仪采购共 24 台, 其中向 onto 采购 11 台, 向 KLA 采购 10 台, 光学特征尺寸量测系统 (OCD) 设备采购 21 台, 其中 KLA 占 3 台, Onto 采购 18 台, 由此可见国内厂商在采购 OCD 及膜厚设备时 Onto 的占比量最大; 在扫描电镜关键尺寸量测系统方面, 一共采购 40 台, 其中 AMAT 和日立高新各占 20 台, 而在电阻测量仪、晶圆应力测量系统、套刻对准等领域科磊几乎占据垄断地位; 值得一提的是, 在光学表面三维形貌量测设备领域, 5 台设备全部采购于中科飞测。

表 9: 长江存储采购主要量测设备统计

量测主要设备合计	总计	KLA	AMAT	Hitachi	Onto	株式会社理化学	SemiLAB	Park	ASML	精测	中科飞测	睿励
电阻测量仪	9	9										
晶圆应力测量系统	6	6										
光学表面三维形貌量测设备	5										5	
对准量测机	8	8										
扫描电镜曝光对准测量系统	4			2	2							
光学曝光对准和聚焦测量系统	2								2			
薄膜厚度测量仪	24	10			11	1						2
薄膜厚度和成分测量系统	4					2						
浅槽隔离集成式膜厚光学关键尺寸量测仪	34				34							
集成式膜厚光学关键尺寸量测仪 (氧化硅、多晶硅、钨、铜等)	28				21				1	6		
扫描电镜关键尺寸测量系统	40		20	20								
器件套刻误差直接量测机台	3								2			
光学特征尺寸量测系统	21	3			18							
套刻精度测量系统	4	4										
晶圆表面沾污测量系统	2					2						
晶圆表面翘曲测试机	1			1								
晶圆表面测量仪	2	1						1				
原子力显微镜	4							4				
膜厚及形貌红外测试仪	4						4					

资料来源: 中国招标网, 安信证券研究中心

检测领域，采购数量较大的为电子束缺陷扫描仪（EBI），合计 17 台，其中汉民微占 13 台，AMAT 及 Onto 各占 2 台，光学宏观缺陷扫描仪采购 14 台，其中 Onto 占 11 台，Nikon 占 2 台，KLA 1 台，聚焦离子束及透射电子显微镜领域共采购 15 台，其中赛默飞（FEI）占 14 台，而在明场及暗场缺陷检测设备共采购 12 台，其中 KLA 占 10 台，在光罩检查系统、晶圆微粒缺陷检测仪、无图形表面缺陷检测领域 KLA 几乎占垄断地位，而晶圆表面凹陷检测系统共采购 1 台，为中科飞测提供。

表 10：长江存储主要采购检测设备统计

检测主要设备合计	总计	KLA	AMAT	Hitachi	Onto	FEI	Nikon	汉民微	中科飞测
暗场缺陷检测设备	7	6							
明场缺陷检测设备	5	4				1			
无图形表面缺陷检测	8	8							
光学宏观缺陷扫描仪	14	1			11		2		
电子束缺陷扫描仪	17		2		2			13	
光罩检查系统	2	2							
晶圆表面凹陷检测系统	1								1
晶圆键合缺陷检测系统	1			1					
晶圆微粒缺陷检测仪	2	2							
缺陷分析检测系统	6	1	5						
聚焦离子束	8					8			
透射电子显微镜	7					6			
扫描电子显微镜	5			4		1			

资料来源：中国招标网，安信证券研究中心

根据上述长江存储招标信息来看，国内量检测市场部分细分领域尽管已采用 Onto、日立高新替代，但科磊在部分领域的市占率仍较高，尤其在量测领域的电阻测量仪、晶圆应力测量系统、套刻对准系统以及检测系统的明暗场检测、光罩检测、无图形表面检测等领域几乎呈垄断地位。如果量检测设备不取得突破，我国半导体设备仍有被卡脖子之虞。国内各厂商已在各细分领域有所突破，如精测及睿励在集成式膜厚关键尺寸量测领域已获得重复订单，中科飞测在三维形貌量测设备领域及晶圆表面凹陷检测系统已获取该品类全部订单。预计在国产化需求紧迫、研发投入持续提升、下游 Fab 厂积极配合的大环境下，量检测领域有望加速实现国产替代。

3. 从科磊发展路径看对国内半导体检测设备企业的借鉴意义

3.1. 第一阶段（1977~1990）：挖掘市场需求，快速进入量测市场

科磊半导体于 1977 年在美国加利福尼亚州成立。1970s 芯片制造工艺较为不成熟，芯片制造厂常用肉眼和相对低科技的视觉辅助工具对良率进行鉴定，导致生产良率较低，部分甚至良率不到 50%，极大地增加了晶圆厂的制造成本，限制了晶圆厂的产能，随着制程工艺的不断进步，这种现象将进一步被放大，科磊的成立将先进的光学技术与定制的高速数字电子技术和专有软件相结合，替代了传统的人工检测，使晶圆厂更容易的找到缺陷，在当时大幅度提高芯片生产的良率并节省了下游成本。1978 年科磊推出了第一款产品 KLA RAPID 100，该创新产品自动检测了定义集成电路制造图案层的光罩，利用先进的光学和图像处理技术测试用于在硅片上印刷电路设计的“模板”，由于有缺陷的光罩板可能导致数百万的芯片损坏，因此该系列推出后收到了市场的极大好评；1984 年公司推出第二个产品 KLA WISARD 2000 系列自动化晶圆检测系统，该系统针对于检测晶圆中存在的缺陷，并在光罩图案投影到晶圆

后发现电路错误。1980 年代末，公司推出了自动测试设备，该设备结合了晶圆探测系统和微光显微镜，用于在切割和封装之前对完成的芯片进行电气测试。受益于美国半导体市场的发展，科磊迅速成长，根据彭博数据，至 1990 年科磊营收已提升至 1.61 亿美元。

3.2. 第二阶段（1990~1997）：运营进一步细化，产品放量加速

1990 年代初期，由于对尖端半导体制造技术的重视，美国半导体产业开始加温，加上半导体变得越来越复杂，从而推动了对自动化、高科技设备的需求，以满足检测到最微小的缺陷。1990 年 10 月，KLA 发布了第二代晶圆检测系统 WISARD 2100 系列。新系统设计具有在线功能，对缺陷提供了更高的灵敏度，运行速度比第一代的 WISARD 2000 系列快 100 倍以上；1992 年，KLA 推出了新的在线光罩检测系统 RAPID 300 系列，该系列将光罩检测系统与计算机相结合，除了更新其核心 WISARD 和 RAPID 产品系列外，还改进了 KLA 5000 系列，用于提高集成电路器件的良率和性能。

此外，科磊还将其运营团队进一步细化，将公司重组为五个运营部门：WRING（包括 WISARD 和 RAPID 部门）、自动测试系统部门、Watcher 部门（包含利用先进光学字符识别技术的新图像处理系统）、计量部门和 SEMSpec 部门，同时成立了客户服务部门。科磊的营业收入也由 1990 年的 1.61 亿元增长至 10.32 亿美元，CAGR 达 30.4%，净利润也大幅增长至 1.05 亿美元。

3.3. 第三阶段（1997~2021）：大幅进行并购，外延内生协同发展

1997 年 KLA 与 Tencor 进行合并，成为 KLA-Tencor（科天半导体），从产品领域来看，Tencor 主要负责半导体量测领域产品研发，其代表产品为测量膜层厚度参数的 Alpha-Step、激光扫描技术的粒子和污染物检测系统 Surfscan 以及缺陷检查 and 数据分析工具，而 KLA 聚焦缺陷检测领域产品，如高端自动光学晶圆检测、光罩检测和其他良率工具，两者的结合进一步完善了对半导体前道工艺控制的产品线，成为了当时为数不多的量检测全领域覆盖的公司，合并后的 KLA-Tencor 凭借其良好的现金流以及较大的规模对当时量检测领域的小公司进行收购，扩充其在量检测领域的产品覆盖面，进一步巩固公司的龙头地位。

表 11：KLA 并购历史

时间	公司	产品/业务
1998	Nanopro GmbH	芯片测量的先进干涉技术
1998	Amray	扫描电子显微镜
1998	VARIS	半导体设备图像存档和检索系统制造
1999	Uniphase'S Ultrapointe	硅片缺陷分析工具
1999	Acme Systems, Inc.	产量分析软件
2000	Object Space Inc.'s Fab Solutions	过程控制软件
2000	FINLE Technologies, Inc.	光刻建模和分析软件
2001	Phase Metrics	数据存储行业检验/认证技术
2004	Candela Instruments	表面检测系统
2004	Inspex, Inc.	晶圆检测系统业务
2006	ADE Corp.	硅晶圆检测设备
2007	OnWafer Technologies	等离子刻蚀产品
2007	SensArray	即时温度量测技术
2007	Therma-Wave	计量设备服务
2008	ICOS Vision Systems Corporation NV	封装和互连检测解决方案
2008	Vistec Semiconductor Systems's MIE	微电子检测设备

2010	Ambios Technology	光学轮廓仪
2014	Luminescent Technologies	发光器
2017	Zeta Technologies	非接触式探查器
2018	Keysight Technologies's Nano Indenter	力学测试系统产品线
2018	Orbotech Ltd	自动光学检测
2019	Filmetrics	薄膜厚度测量系统
2019	Capres A/S	电阻率测量技术

资料来源：KLA 官网，安信证券研究中心

根据芯思想统计及半导体行业观察网，KLA 自 1998 年至今共并购 24 家企业，分别对集成电路、PCB、FPC 等领域的关键量检测技术及细分领域产品进行了收购，进一步拓展了其在量测领域的产品线及核心技术，并通过 20 余年的发展，成为集成电路领域规模最大、覆盖面最广的量检测公司。

科磊发展的三个阶段可以归纳为从 **0~1 阶段**：顺应市场需求快速推出产品；从 **1~10 阶段**：运营进一步细化，产品加速放量；从 **10~N 阶段**：不断兼并收购，外延内生发展，对国内量检测设备有以下借鉴意义：

- 1) 目前我国量检测设备普遍处于第一阶段，现阶段市场需求为尽早实现国产化替代，尽管已有部分厂商实现工艺上的突破，但离正真在下游量产仍有一定距离，因此各设备厂商应该将研发重心放在其核心产品线上，对已实现突破的产品进行工艺上的调试、改进，进一步缩小与科磊的差距，把该品类的设备做专做精；
- 2) 由于量检测领域涉及到的设备品类较多，设备厂可以在各自领域小幅拓展产品品类，如部分厂商若已实现光学量测领域产品的研发，则其可以选择在有技术共通性的产品领域上进行进一步拓展，如其他光学量检测设备，对部分难以攻克的产品与技术可以选择并购海内外优质企业或技术团队；
- 3) 进一步细化运营管理团队，将每个产品线的研发及销售团队进行细化并独立管理，进一步加强运营管理体系，同时也有利于对已有产品的改进和数据收集，提升整体研发效率。

目前我国量检测设备基本已实现从 **0-1** 的阶段，已吹响国产替代号角，有望步入国产替代的快车道。因此，未来需要加强对已有产品进行进一步深入研发，对优势产品进行不断迭代升级；在有技术共通性的前提下拓展产品线，对难以攻克的技术可以选择并购海内外优质企业与技术团队；同时细化运营管理团队，提升团队研发运营效率。

4. 风险提示

研发不及预期；国产化替代需求不及预期；下游扩产不及预期。

■ 行业评级体系

收益评级:

领先大市 — 未来 6 个月的投资收益率领先沪深 300 指数 10%以上;

同步大市 — 未来 6 个月的投资收益率与沪深 300 指数的变动幅度相差-10%至 10%;

落后大市 — 未来 6 个月的投资收益率落后沪深 300 指数 10%以上;

风险评级:

A — 正常风险, 未来 6 个月投资收益率的波动小于等于沪深 300 指数波动;

B — 较高风险, 未来 6 个月投资收益率的波动大于沪深 300 指数波动;

■ 分析师声明

李哲声明, 本人具有中国证券业协会授予的证券投资咨询执业资格, 勤勉尽责、诚实守信。本人对本报告的内容和观点负责, 保证信息来源合法合规、研究方法专业审慎、研究观点独立公正、分析结论具有合理依据, 特此声明。

■ 本公司具备证券投资咨询业务资格的说明

安信证券股份有限公司(以下简称“本公司”)经中国证券监督管理委员会核准, 取得证券投资咨询业务许可。本公司及其投资咨询人员可以为证券投资人或客户提供证券投资分析、预测或者建议等直接或间接的有偿咨询服务。发布证券研究报告, 是证券投资咨询业务的一种基本形式, 本公司可以对证券及证券相关产品的价值、市场走势或者相关影响因素进行分析, 形成证券估值、投资评级等投资分析意见, 制作证券研究报告, 并向本公司的客户发布。

■ 免责声明

本报告仅供安信证券股份有限公司(以下简称“本公司”)的客户使用。本公司不会因为任何机构或个人接收到本报告而视其为本公司的当然客户。

本报告基于已公开的资料或信息撰写, 但本公司不保证该等信息及资料的完整性、准确性。本报告所载的信息、资料、建议及推测仅反映本公司于本报告发布当日的判断, 本报告中的证券或投资标的价格、价值及投资带来的收入可能会波动。在不同时期, 本公司可能撰写并发布与本报告所载资料、建议及推测不一致的报告。本公司不保证本报告所含信息及资料保持在最新状态, 本公司将随时补充、更新和修订有关信息及资料, 但不保证及时公开发布。同时, 本公司有权对本报告所含信息在不发出通知的情形下做出修改, 投资者应当自行关注相应的更新或修改。任何有关本报告的摘要或节选都不代表本报告正式完整的观点, 一切须以本公司向客户发布的本报告完整版本为准, 如有需要, 客户可以向本公司投资顾问进一步咨询。

在法律许可的情况下, 本公司及所属关联机构可能会持有报告中提到的公司所发行的证券或期权并进行证券或期权交易, 也可能为这些公司提供或者争取提供投资银行、财务顾问或者金融产品等相关服务, 提请客户充分注意。客户不应将本报告为作出其投资决策的惟一参考因素, 亦不应认为本报告可以取代客户自身的投资判断与决策。在任何情况下, 本报告中的信息或所表述的意见均不构成对任何人的投资建议, 无论是否已经明示或暗示, 本报告不能作为道义的、责任的和法律的依据或者凭证。在任何情况下, 本公司亦不对任何人因使用本报告中的任何内容所引致的任何损失负任何责任。

本报告版权仅为本公司所有, 未经事先书面许可, 任何机构和个人不得以任何形式翻版、复制、发表、转发或引用本报告的任何部分。如征得本公司同意进行引用、刊发的, 需在允许的范围内使用, 并注明出处为“安信证券股份有限公司研究中心”, 且不得对本报告进行任何有悖原意的引用、删节和修改。

本报告的估值结果和分析结论是基于所预定的假设, 并采用适当的估值方法和模型得出的, 由于假设、估值方法和模型均存在一定的局限性, 估值结果和分析结论也存在局限性, 请谨慎使用。

安信证券股份有限公司对本声明条款具有惟一修改权和最终解释权。

■ 销售联系人

上海联系人	潘艳	上海区域销售负责人	18930060852	panyan@essence.com.cn
	侯海霞	上海区域销售总监	13391113930	houhx@essence.com.cn
	朱贤	上海区域销售总监	13901836709	zhuxian@essence.com.cn
	李栋	上海区域高级销售副总监	13917882257	lidong1@essence.com.cn
	刘恭懿	上海区域销售副总监	13916816630	liugy@essence.com.cn
	钟玲	上海区域销售副总监	15900782242	zhongling@essence.com.cn
	苏梦	上海区域销售经理	13162829753	sumeng@essence.com.cn
	秦紫涵	上海区域销售经理	15801869965	qinzh1@essence.com.cn
	陈盈怡	上海区域销售经理	13817674050	chenyy6@essence.com.cn
	徐逸岑	上海区域销售经理	18019221980	xuyc@essence.com.cn
北京联系人	赵丽萍	北京区域公募基金销售负责人	15901273188	zhaolp@essence.com.cn
	张莹	北京区域社保保险销售负责人	13901255777	zhangying1@essence.com.cn
深圳联系人	张杨	北京区域销售副总监	15801879050	zhangyang4@essence.com.cn
	温鹏	北京区域销售副总监	13811978042	wenpeng@essence.com.cn
	刘晓莹	北京区域销售副总监	18511841987	liuxx1@essence.com.cn
	王帅	北京区域销售经理	13581778515	wangshuai1@essence.com.cn
	侯宇彤	北京区域销售经理	18210869281	houyt1@essence.com.cn
	游倬源	北京区域销售经理	010-83321501	youzy1@essence.com.cn
	张秀红	深圳区域销售负责人	0755-82798036	zhangxh1@essence.com.cn
	胡珍	深圳区域高级销售副总监	13631620111	huzhen@essence.com.cn
	范洪群	深圳区域销售副总监	18926033448	fanhq@essence.com.cn
	马田田	深圳区域销售经理	18318054097	matt@essence.com.cn
广州联系人	聂欣	深圳区域销售经理	13540211209	niexin1@essence.com.cn
	杨萍	深圳区域销售经理	0755-82544825	yangping1@essence.com.cn
	黄秋琪	深圳区域销售经理	13699750501	huangqq@essence.com.cn
	喻聪	深圳区域销售经理	0755-88914832	yucong@essence.com.cn
	毛云开	广州区域销售负责人	13560176423	maoyk@essence.com.cn
	赵晓燕	广州区域销售经理	15521251382	zhaoxy@essence.com.cn

安信证券研究中心

深圳市

地址：深圳市福田区深南大道 2008 号中国凤凰大厦 1 栋 7 层

邮编：518026

上海市

地址：上海市虹口区东大名路 638 号国投大厦 3 层

邮编：200080

北京市

地址：北京市西城区阜成门北大街 2 号楼国投金融大厦 15 层

邮编：100034