



Research and
Development Center

寸辖制轮，事得其要

量测设备行业深度

2023年2月2日

证券研究报告

行业研究

行业深度研究

电子

投资评级 看好

上次评级 看好

莫文宇 电子行业首席分析师

执业编号: S1500522090001

联系电话: 13437172818

邮箱: mowenyu@cindasc.com

信达证券股份有限公司

CINDA SECURITIES CO., LTD

北京市西城区闹市口大街9号院1号楼

邮编: 100031

量测设备行业深度：寸辘制轮，事得其要

2023年2月2日

本期内容提要：

- **量测/检测设备行业是不可多得的好赛道：长期高回报、空间大机会足。**根据 Gartner 数据统计，KLA 在量测/检测设备行业市场占比超 50%，是名副其实的行业龙头，该公司通过大举并购实现以过程控制设备为核心、相关良率管理服务配套的完整产品结构。近年来随着晶圆制造的精细发展，良率的提升成为了制造商着重关注的部分，KLA 也随之在近几年取得长足收益，与其他海外半导体设备厂商相比，KLA 的整体表现已稳居前列，此类质量监测设备的高回报属性也在逐步显露。国内过程控制设备企业数量较少、产值较低，相较于其他晶圆生产设备，量测/检测设备难以实现有效产值匹配。以中芯国际为例，KLA 等欧美厂商是生产线上过程控制设备等主要提供方，量测/检测设备的国内发展空间仍旧很大。
- **量测/检测设备贯穿晶圆制造全过程，国产需求迫在眉睫。**量测/检测设备作为保证集成电路芯片生产线取得高成品率和高经济回报的关键性设备，在前后道工艺中均发挥了作用。在前道制造工艺中主要针对产品的关键参数进行测量，并发现其中存在的缺陷；在后道封装工艺中，针对芯片封装、圆片级封装和硅通孔等关键技术的缺损及其参数的检查及测量，相较而言过程控制对前道工艺的意义更加显著。放眼国内过程控制设备企业，由于整体起步较晚，很少有企业可以实现质量监督全覆盖，但近年来随着国内产线的不断升级需要加之国际形势的日益严峻，量测/检测设备的国产需求急剧增加，国内企业的进一步发展迫在眉睫。
- **依靠光学、电子束两大核心技术，赛道平台化前景广阔。**从技术层面来看，量测/检测设备的研发离不开光学与电子束的发展。其中光学技术的使用更加频繁，基本实现量测及检测设备的全面应用，电子束相对而言在检测设备及缺陷复查领域的应用更加广泛，二者由于各有优劣，在晶圆厂的良率管理上基本均有搭配使用。具体到国内各企业而言，不同企业的深耕范围有所差异，目前仍未形成直接广泛的竞争关系。国内，**精测电子**在光学量测设备、晶圆缺陷检测设备以及电子束设备方面均有布局，进展国内领先；**中科飞测**在集成电路、先进封装领域的光学检测、量测领域积累深厚；**上海睿励**主要从事光学技术层面的设备开发；**赛腾股份**通过收购日本 OPTIMA 进军半导体量测设备领域；**东方晶源**在电子束缺陷检测设备上造诣颇深。
- **建议关注：**精测电子、中科飞测、赛腾股份
- **风险因素：**技术研发进度不及预期；晶圆厂扩产进度不及预期；地缘政治风险。

目录

| | |
|------------------------------|----|
| 量测/检测设备行业：长期高回报、空间机会足 | 4 |
| 回顾 KLA 46 年发展历程，内生外延打造全球龙头 | 4 |
| 量测/检测设备行业空间广阔，行业发展潜力足 | 9 |
| 量测/检测设备贯穿晶圆制造全过程，国产需求迫在眉睫 | 10 |
| 各类检测/量测设备技术同源性、通用性强，龙头值得长期看好 | 13 |
| 突破封锁形势严峻，量测/检测设备国产化成为必经之路 | 18 |
| 国内量测/检测设备企业同步发力，国产化替代踏上征程 | 20 |
| 精测电子：基本实现量测设备全面布局，深耕技术自研 | 20 |
| 中科飞测：部分细分品类已达到国际水平，积极探索高端路线 | 22 |
| 赛腾股份：“全球技术+中国市场”，绑定优质客户群 | 23 |
| 风险因素 | 24 |

表目录

| | |
|-------------------------|----|
| 表 1: KLA 并购历程 | 4 |
| 表 2: KLA 主要产品介绍 | 5 |
| 表 3: 量测设备在晶圆制造过程的主要测试项目 | 10 |
| 表 4: 上海精测光学量测系列产品 | 14 |
| 表 5: 武汉颐光椭偏仪系列产品 | 15 |
| 表 6: 上海睿励光学量测系列产品 | 15 |
| 表 7: 中科飞测光学量测系列产品 | 16 |
| 表 8: 中科飞测光学检测系列产品 | 16 |
| 表 9: 上海睿励光学检测系列产品 | 16 |
| 表 10: 东方晶源电子束检测系列产品 | 17 |
| 表 11: 精测电子电子束检测系列产品 | 17 |

图目录

| | |
|---|----|
| 图 1: 海外半导体设备企业收入占比（亿美元） | 7 |
| 图 2: 2018-2022 海外半导体设备企业股价回报率，KLA 领跑（%） | 7 |
| 图 3: 海外半导体设备企业收入（亿美元） | 8 |
| 图 4: 海外半导体设备企业净利润（亿美元） | 8 |
| 图 5: 海外半导体设备企业毛利率变化情况（%） | 8 |
| 图 6: 海外半导体设备企业净利率情况（%） | 8 |
| 图 7: 2021-2024 全球晶圆厂前道设备市场规模及预测（亿美元） | 9 |
| 图 8: 2021 全球半导体设备市场规模占比（%） | 9 |
| 图 9: 椭圆偏振仪原理图 | 10 |
| 图 10: 表面形貌测试原理图 | 11 |
| 图 11: 常见的 CD-SEM 自动测量流程图 | 11 |
| 图 12: 确定套刻误差的示例 | 11 |
| 图 13: 暗场非图形圆片缺陷检测光学结构示意图 | 12 |
| 图 14: 电子束图形圆片缺陷检测设备结构示意图 | 12 |
| 图 15: 琼斯矩阵 vs 穆勒矩阵 | 13 |
| 图 16: 穆勒矩阵信息量测实例 | 13 |
| 图 17: 主要缺陷类型示例 | 14 |
| 图 18: 缺陷检测及缺陷复查流程图 | 17 |
| 图 19: 各类半导体前道量测/检测设备市场规模及国内企业布局情况 | 18 |
| 图 20: 2010-2022 KLA 在中国大陆营收及同比增速（亿美元，%） | 19 |
| 图 21: 精测电子公司整体架构 | 20 |
| 图 22: 精测电子营业收入及同比（亿元，%） | 21 |
| 图 23: 精测电子业绩、毛利率及净利率变化（亿元，%） | 21 |
| 图 24: 精测电子研发投入及研发费用率（亿元，%） | 21 |
| 图 25: 上海精测营业收入及净利润（万元） | 21 |
| 图 26: 中科飞测历史沿革 | 22 |
| 图 27: 中科飞测收入及净利润快速增长（亿元） | 22 |
| 图 28: 2021 年中科飞测收入拆分 | 22 |
| 图 29: OPTIMA 核心产品介绍 | 23 |

量测/检测设备行业：长期高回报、空间机会足

量测/检测设备作为晶圆制造工艺全过程的控制系统，此类设备不仅确保产品出货的稳定性和可预期性，同时有助于监控生产过程中各类生产设备（如光刻、刻蚀、沉积等）的参数性能，帮助工程师及时优化调整，继而提升整条生产线的运行效率。此类设备是保证生产线迅速进入量产阶段同时确保产品良率的重要工具。鉴于国内大力发展芯片制造产业，量测/检测设备行业同步迎来了发展窗口期。

回顾 KLA 46 年发展历程，内生外延打造全球龙头

KLA 成立于 1976 年，总部设在美国旧金山，公司主要提供先进的过程控制装备及使用过程解决方案的相关服务，旨在实现客户的生产率目标，包括良率管理及减少浪费。KLA 企业涵盖四大业务部门：半导体过程控制部门、半导体工艺部门、PCB、显示和元件检测部门以及其他部门。客户主要包含亚洲、美国和欧洲领先的半导体、半导体相关和电子设备制造商，其产品销往全球约 20 个国家和地区。截止 2022 年 6 月 30 日，公司共有约 14000 名员工，其中近半数从事研发及服务性工作。经过 20 年多年的发展，目前 KLA 已经成为全球最具规模的量测/检测设备生产企业。

纵观 KLA 的发展历程，并购模式是其主要发展战略。公司在 1976 年成立之际便敏锐识别芯片制造的检测需求，当时芯片制造普遍良率较低，在增加薄膜层数及种类后良率进一步下降，缺陷检测工作急需展开。KLA 的第一个产品是一台掩膜检测设备，该设备实现了机器检测零的突破，减少检测时长的同时提高覆盖范围，随后公司深耕晶圆检测设备开发，在稳定实现量产工艺后大举展开并购业务。在 1997 年公司与 Tencor 合并，Tencor 主要从事薄膜量测设备开发工作，与 KLA 一样致力于成品检测领域，由于双方的业务互补优势明显，与其竞争不如利用并购实现共赢，两家业界翘楚的合并有助于进一步完善 KLA-Tencor（科天）前道制程工艺的全覆盖，真正实现了 1+1>2 的效果。此后，公司开始了大举收购并进一步掌握丰富的先进技术。根据 KLA 官网并购信息梳理，KLA 共计完成并购 25 次，这些并购全部围绕检测、量测设备、相关零部件以及提供服务的软件展开，公司通过多次并购进一步巩固其垄断地位。并购战略的实施有助于 KLA 的业务互补与技术升级，借此机会引入大量科研人才，为加深其研发厚度打下坚实基础。在产品端进一步得到完善后，KLA 真正构建了以量测/检测设备为核心，良率服务为增值业务的完整结构。2019 年，KLA 察觉到半导体过程控制装备的业务发展已经接近饱和，便收购了以色列的光学检测企业 Orbotech，促使 KLA 继续朝着泛半导体业务的多元化道路继续发展

表 1: KLA 并购历程

| 年份 | 被并购企业 | 新增业务 |
|------|-----------------------------------|---|
| 1997 | Tencor (合并) | 薄膜量测设备开发 |
| 1998 | Nanopro GmbH | 芯片测量的先进干涉技术 |
| 1998 | Amray | 扫描电子显微镜 |
| 1998 | VARS | 半导体设备图像存档和检索系统制造 |
| 1998 | DeviceWare Inc. | 晶圆检测相关软件 |
| 1998 | Uniphase'S Ultrapointe | 共聚焦激光观察站技术应用于硅片缺陷分析 |
| 1999 | Acme Systems, Inc. | 产量工程分析软件，将参数化电气测试和晶圆分类的成品率数据与在线加工和计量数据相关联 |
| 2000 | Object Space Inc.'s Fab Solutions | 过程控制软件，用于响应影响成品率的参数数据 |
| 2000 | FINLE Technologies, Inc | 光刻建模和数据分析软件，用于加快先进光刻工艺的开发 |
| 2001 | Phase Metrics | 数据存储行业检验/认证技术 |
| 2002 | QC Optics | 半导体、平板及电脑硬盘制造行业的激光检测系统 |
| 2004 | Candela Instruments | 表面检测系统 |

| | | |
|------|---------------------------------------|--------------------------------|
| 2004 | Inspex, Inc. | 晶圆检测系统业务 |
| 2004 | Blue29 Corporation | 化学金属沉积 |
| 2004 | Candela Instruments | 为数据存储行业优化的基于激光的表面检测系统 |
| 2006 | ADE Corp. | 半导体过程控制解决方案 |
| 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 |
| 2007 | Japan ADE, Ltd | ADE 在日本的分销商 |
| 2008 | ICOS Vision Systems Corporation NV | 封装和互连检测解决方案, 光伏太阳能技术和 LED 晶圆检测 |
| 2008 | Vistec Semiconductor Systems's MIE | 掩模关键尺寸测量工具和宏观缺陷检测系统 |
| 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 |
| 2019 | Filmetrics | 薄膜厚度测量系统 |
| 2019 | Capres A/S | 薄膜厚度测量系统 |
| 2019 | Orbotech | 全自动解决方案 |

资料来源: KLA 官网, KLA 年报, 信达证券研发中心

目前公司在工艺控制领域的相关业务主要由过程控制部门主导。KLA 的设备可为各类型的芯片提供质量检测, 包括 logic、DRAM、3D NAND、MEMS 等。设备包括膜厚量测及形貌系统 (SpectraFilm 系列、Aleris 系列、ATL 系列等)、图形晶圆缺陷检测系统 (29xx 宽光谱等离子、Puma 激光扫描、39xx 系列超分辨率宽光谱等离子、Surfscan 系列等)、套刻量测系统 (Archer750、ATL100 等) 等, 几乎实现前道制程的控制全覆盖。

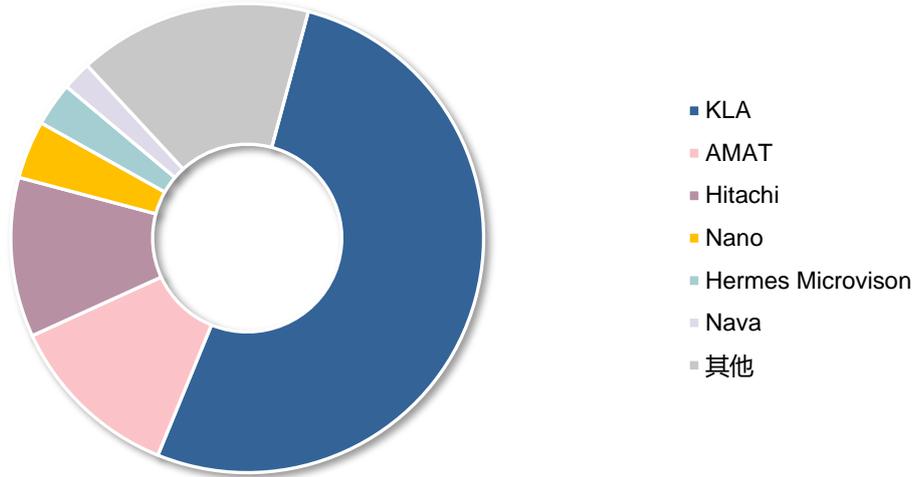
表 2: KLA 主要产品介绍

| 设备名称 | 设备用途 | 设备简介 |
|-----------------|-------------|---|
| Aleris series | 光谱椭偏仪-膜厚测量仪 | Aleris 系列薄膜量测设备利用宽带光谱椭偏仪(BBSE)技术可为 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。其中, Aleris 8330 用于金属间电介质、光阻、底部抗反射涂层、厚氧化物和氮化物以及后段层等非关键薄膜层。Aleris 8350 用于超薄扩散层、超薄栅极氧化物、先进光阻、193nm ARC 层、超薄多层堆叠以及 CVD 层。Aleris 8510 进一步覆盖到 High-k 金属栅极和超薄去耦等离子体氮化(DPN) 工艺层。 |
| SpectraFilm | 光谱椭偏仪-膜厚测量仪 | SpectraFilm: 设采用高亮度光源驱动光谱椭偏仪技术, 新的 FoG (光栅上的薄膜) 算法可以在类似器件的光栅结构上实现薄膜测量, 从而进一步提高测量值的准确性。该设备可为 16nm 及以下逻辑制程和高端存储器中的各种薄膜层, 提供可靠的高精度薄膜厚度、折射率和应力测量。 |
| Archer 系列 | 光学散射-套刻测量 | Archer600 凭借新型的成像测量技术和弹性的工艺目标设计, 能够对不同工艺层、器件类型、设计节点的多重结构(多层材料结构, 芯片内部结构)进行套刻测量。ATL: 基于散射测量的套刻测量系统, 可以支持 7 纳米及以下设计节点的高精度套刻测量。Archer 500: 基于双重成像和散射的测量模块, 可以为 2Xnm/1Xnm 设计节点的存储器进行高性能和低成本的套刻误差测量。 |
| SpectraShape 系列 | 关键尺寸和晶圆形貌测量 | SpectraShape10K: 可以对 1Xnm 及以下的 FinFET、多层叠堆 3D NAND 的关键尺寸(CD)和三维形貌进行测量和监控。设备采用各种光学技术和独特算法, 可以测量包括临界尺寸, 金属栅极凹槽, high-k 凹槽, 侧壁角度, 光阻高度, 硬光罩高度, 间距偏移在内的各种参数。SpectraShape 9000: 可以对 20 纳米及以下的集成电路进行光学 CD 测量和晶圆形貌测量。SpectraShape 8810/8660: 可以对 32 纳米及以下的集成电路进行光学 CD 测量和晶圆形貌测量。 |

| | | |
|-----------------|--------------|--|
| Archer 系列 | 光学散射-套刻测量 | Archer600 凭借新型的成像测量技术和弹性的工艺目标设计, 能够对不同工艺层、器件类型、设计节点的多种结构(多层材料结构, 芯片内部结构)进行套刻测量。ATL: 基于散射测量的套刻测量系统, 可以支持 7 纳米及以下设计节点的高精度套刻测量。Archer 500: 基于双重成像和散射的测量模块, 可以为 2Xnm/1Xnm 设计节点的存储器进行高性能和低成本的套刻误差测量。 |
| SpectraShape 系列 | 关键尺寸和晶圆形貌测量 | SpectraShape10K: 可以对 1Xnm 及以下的 FinFET、多层叠堆 3D NAND 的关键尺寸(CD)和三维形貌进行测量和监控。设备采用各种光学技术和独特算法, 可以测量包括临界尺寸, 金属栅极凹槽, high-k 凹槽, 侧壁角度, 光阻高度, 硬光罩高度, 间距偏移在内的各种参数。SpectraShape 9000: 可以对 20 纳米及以下的集成电路进行光学 CD 测量和晶圆形貌测量。SpectraShape 8810/8660: 可以对 32 纳米及以下的集成电路进行光学 CD 测量和晶圆形貌测量。 |
| Voyager 系列 | 激光-有图形明场缺陷检测 | Voyager1015 激光扫描检测系统适用于浸没式(193i) 和 EUV 光刻工艺的显影后检测(ADI), 因为这一工艺步骤下的晶圆仍可进行返工。针对先进制程的 ADI 层上间距紧密的图案, Voyager1015 采用 DUV 激光、新光学设计、高采集立体度, 提供了检测所需的高灵敏度。 |
| PWG 系列 | 光学-晶圆几何形貌测量 | PWG5: 具有高分辨率和高密度采样, 可以测量 3D NAND 多层叠堆结构中, 薄膜应力引起的晶圆曲翘等形状变化、晶圆厚度变化、晶圆正面和背面的形貌变化。设备具有高灵敏度, 可同时测量晶圆正面和背面与平面度的任何偏差, 在线测量速度和分辨率也可支持先进的 DRAM 和逻辑电路的生产。 |
| 3900 系列 | 有图形缺陷检测 | 392x 系列宽光带等离子缺陷检测系统, 配备深紫外(SR-DUV)波段光源、新型传感器、pixel-point 和 nano-cell 设计识别算法, 具有超分辨率。392x 型设备对特殊类型缺陷具有高灵敏度的捕获能力, 可以为≤7 纳米设计节点的逻辑电路及先进存储器制造, 提供晶圆级别的缺陷检测、良率改进、在线监测服务。392x 系列还配有先进的 pixel-point 和 nano-cell 设计识别算法, 能够在对良率关键的图案位置捕获缺陷并对其进行分类。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。 |
| PUMA 系列 | 激光-有图形暗场缺陷检测 | Puma 9980 激光扫描检测系统增强了多项灵敏度, 能实现对多重模板工艺图案等图案层缺陷的捕获。设备采用了 Nano-Poin 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、更高的缺陷定位精度。Puma9850: 为 2X/1Xnm 内存和逻辑器件提供全芯片缺陷检测(Die)区域的高灵敏度偏移监控。Puma9650: 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 C 财通电子研究移监控。 |
| eDR7000 系列 | 电子束-缺陷检查系统 | eDR7380 电子束缺陷检测系统设备内置多种电子光学元件和专用的镜头内探测器, 能实现对脆弱的 EUV 光刻层、高宽比沟槽层、电压对比层等各种结构中缺陷的高分辨率可视化, 采用的 Simu1-6 技术可以通过一次电子束检测生成完整 DOI (关注缺陷)柱状分部图, 从而精确定位缺陷根源并迅速检测工艺偏差。此外, 设备能与宽光谱图案检测仪或裸片晶圆检测仪进行数据连接与通信, 从而加速良率改进。 eDR7280: 采用第五代电子束浸没光学元件的电子束晶圆缺陷检测和分类系统, 适用于≤16nm 设计节点的 IC 开发和生产。 |

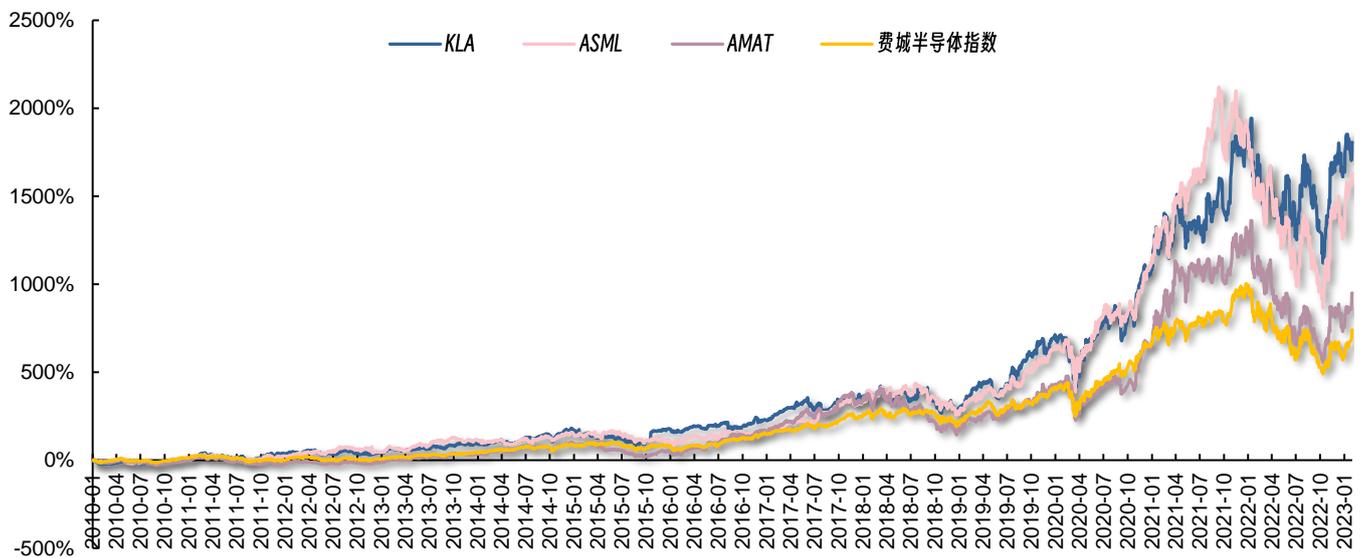
资料来源: KLA 官网, 信达证券研发中心

目前来看, 全球量测/检测设备行业以美国、日本发展最为先进, 包括 KLA、应用材料、日立等。在各企业的激烈竞争格局下, **KLA 以 52% 的市场占比稳居第一, 远超其他企业, 部分细分领域(晶圆形貌检测、无图形晶圆检测、有图形晶圆检测领域)甚至可实现垄断。**由此, 我们可通过 KLA 的业绩表现一定程度看出整个量测/检测设备行业的大致属性。

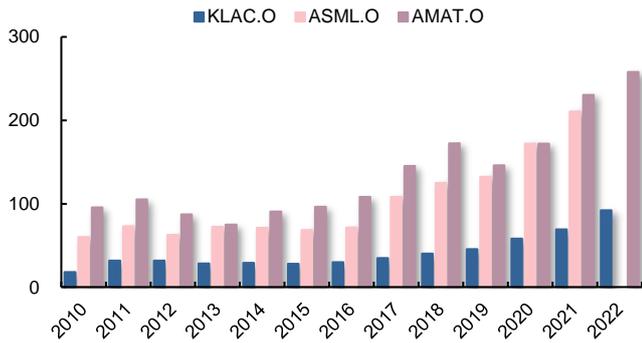
图 1：海外半导体设备企业收入占比（亿美元）


资料来源：华经产业研究院，信达证券研发中心

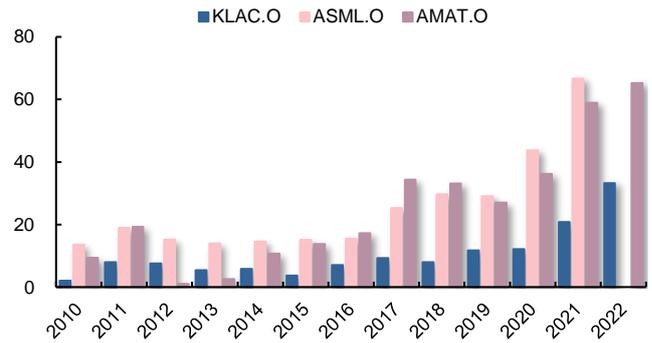
对比全球半导体设备领先厂商，长期来看 KLA 在整体股市表现相较于 ASML 与 AMAT 呈现更加稳定增长的态势；从基本面角度出发，2010 年-2022 年，KLA 总收入从 18.21 亿美元增长至 92.11 亿美元，CAGR 为 14.47%；净利润从 2.12 亿美元增长至 33.22 亿美元，CAGR 为 25.76%；2010 年-2021 年，ASML 收入从 59.94 亿美元增长至 210.75 亿美元，CAGR 为 12.11%；净利润从 13.59 亿美元增长至 66.62 亿美元，CAGR 为 15.55%；2010 年-2022 年，AMAT 收入从 95.49 亿美元增长至 257.85 亿美元，CAGR 为 8.63%；净利润从 9.38 亿美元增长至 65.25 亿美元，CAGR 为 17.54%。其中具体到各部门而言，过程控制业务对 KLA 总收入的贡献自 2019 年以来持续位列四大部门之首，收入占比稳定在公司总收入 80% 以上。

图 2：2018-2022 海外半导体设备企业股价回报率，KLA 领跑（%）


资料来源：Wind，信达证券研发中心（截至 2023 年 2 月 2 日）

图 3：海外半导体设备企业收入（亿美元）


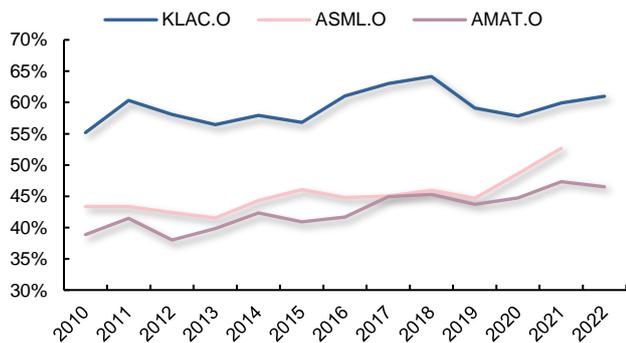
资料来源：wind，信达证券研发中心

图 4：海外半导体设备企业净利润（亿美元）


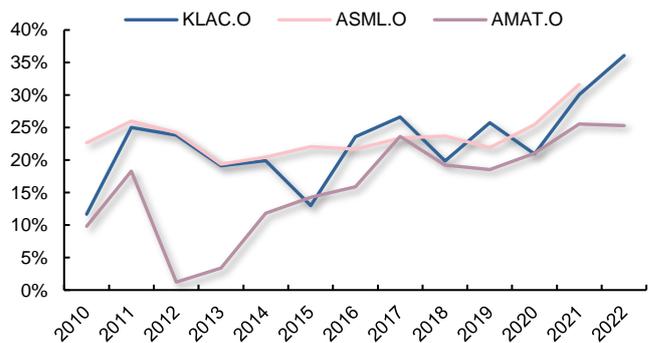
资料来源：wind，信达证券研发中心

无论是市场反应还是财务数据，KLA 对比同类半导体厂商都具有更明显的成长优势及高回报趋势。这一方面反映出近年来市场对于过程工艺控制设备及其相关服务的重视程度不断提升，同时也体现出量测/检测设备本身的优势所在。

从毛利率角度来看，KLA 的毛利率一直大幅高于 ASML、AMAT 等企业，其净利率也在近几年与主营光刻机业务的 ASML 持平。可见目前晶圆制造商对于量测/检测设备的需求旺盛，同时推断此类设备的综合盈利能力较高。

图 5：海外半导体设备企业毛利率变化情况（%）


资料来源：wind，信达证券研发中心

图 6：海外半导体设备企业净利率情况（%）


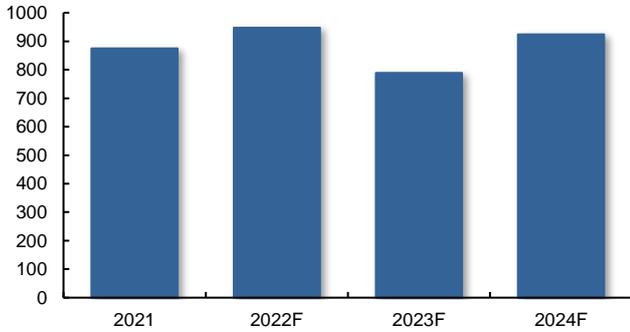
资料来源：wind，信达证券研发中心

KLA 在全球设立了许多分公司及分支机构从事销售、营销及相关服务业务，公司不仅利用设备分析晶圆制造过程中的缺陷及计量问题，同时可为客户提供信息及服务，帮助客户更好解读数据并分析生产线及制造工艺中的问题，这种良率管理的服务有助于进一步帮助企业形成规模优势，进一步构建更高的生态壁垒，此类提供产品加服务的商业模式更是坡长雪厚的优势赛道，有助于与客户建立深入的长期关系。这也为其他半导体设备厂商提供可借鉴思路，各企业不仅要在核心竞争产品的技术质量上进一步有所提升，同时需配备灵活的定制化服务，进一步稳定客户群体，提升粘性。

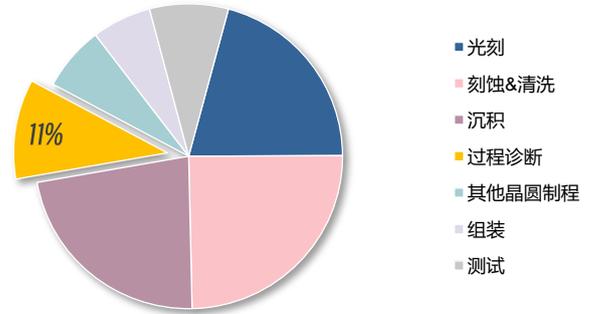
量测/检测设备行业空间广阔，行业发展潜力足

根据 2021 年 ASMI 对半导体设备细分市场占有率分析，过程诊断设备（检测/量测设备）市场占比 11%，略少于刻蚀&清洗、薄膜沉积类设备的一半。在行业增长与国产需求的双重驱动下，目前国内该行业仍存在较大需求缺口，市场规模具备较大成长空间。

图 7: 2021-2024 全球晶圆厂前道设备市场规模及预测(亿美元) 图 8: 2021 全球半导体设备市场规模占比 (%)



资料来源: SEMI, 信达证券研发中心



资料来源: ASMI, TechnInsight, 信达证券研发中心

量测/检测设备贯穿晶圆制造全过程，国产需求迫在眉睫

在集成电路芯片的制造过程中，几乎每一环节都需要工艺检测设备的加入。根据量测/检测设备的监控内容差异可将此类设备分为两大类：**Metrology 测量关键参数**：膜厚测量、套壳误差测量、关键尺寸测量、晶圆形貌测量；**Inspection 检测关键缺陷**：无图案检测、有图案检测、缺陷复检、光罩/掩模板检测。从实现手段出发，可将工艺控制设备分为：光学、电子束、电性、X光等，其中光学相关的设备市场份额占比为 75.2%。在集成电路芯片前道制造过程中，工艺检测设备需要对生产过程中每一环节的产出品均进行无损伤的定量测量及缺陷检测工序，以确保圆片在进入下一道工序前的各项参数及性能可以达到相关指标要求，对于后续可能出现缺陷的圆片进行分类同时剔除不合格的产品，确保制造过程的稳定性，有助于避免后续工艺的浪费。

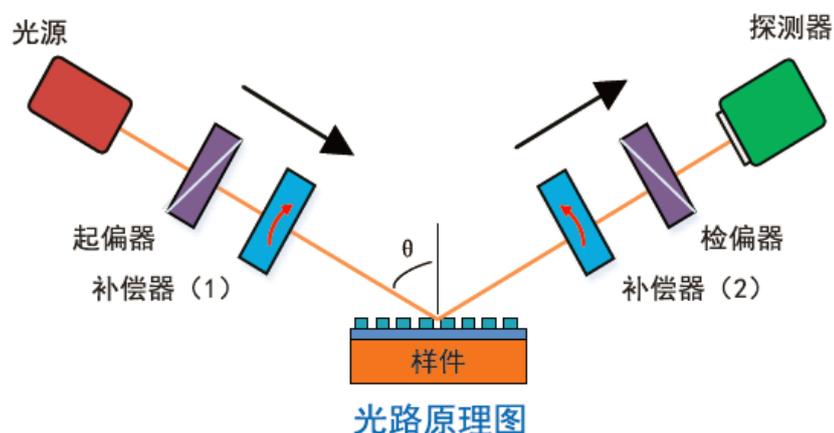
表 3：量测设备在晶圆制造过程的主要测试项目

| 项目 | 注入 | 扩散 | 金属薄膜 | 电解质薄膜 | 抛光 | 刻蚀 | 曝光 |
|----------|----|----|------|-------|----|----|----|
| 膜厚 | | √ | √ | √ | √ | √ | √ |
| 膜应力 | | √ | √ | √ | | | |
| 折射率 | | √ | | √ | | | |
| 参杂浓度 | √ | √ | | | | | |
| 关键尺寸(CD) | | | | | | √ | √ |
| 台阶覆盖 | | | | | √ | √ | |
| 套刻标记 | | | | | | | √ |
| 电容-电压特性 | | √ | | | | | |
| 接触角度 | | | | | | | √ |

资料来源：《半导体制造技术》，信达证券研发中心

膜厚及关键参数测量设备：晶圆片在制造过程中需要经历多次各种材料的薄膜沉积步骤，薄膜的厚度及均匀度会最终影响产品的性能，因此生产过程中需实时检测薄膜的厚度及其重要参数指标的情况，确保产品良率客观。目前基于多界面光学干涉原理的光学薄膜测量设备是最为常用的设备，通过对薄膜实测光谱的回归迭代最终得出薄膜厚度及光学常数。在实际操作过程中，对光谱的测量方式中最常用的是椭圆偏振技术，光源发出的光以一定角度入射圆片表面，最终接收端通过对反射光的分析得出最终结果，得益于较高的精确度与稳定性，可适应目前的复杂多层膜结构及超薄膜结构的测量。未来随着芯片制程精度的提升，芯片上的可监控范围不断缩小、薄膜种类进一步增多，对光学薄膜测量设备的要求逐渐向灵敏度更高、测量稳定性更好的方向发展。

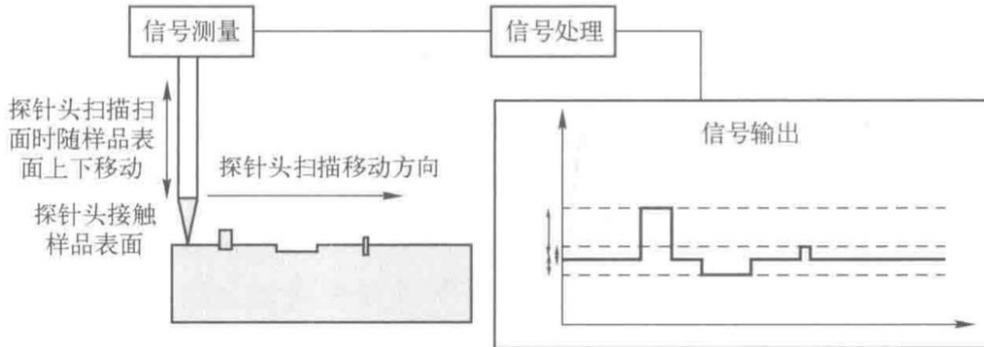
图 9：椭圆偏振仪原理图



资料来源：颐光科技官网，信达证券研发中心

表面形貌测量设备：目前的形貌测量主要通过接触式测量的方式对表面的圆片表面的形貌进行测试，通过仪器的探针在圆片表面划过，形貌的数据信号便可传递到终端设备，当遇到有起伏的表面时便可得到有起伏的信号输出结果。但此类设备未来需考虑如何减少探针头接触圆片带来的损伤问题以及探针头本身的损伤问题，同时由于探针头较为坚硬的，对于一些软质表面存在无法测量的问题。

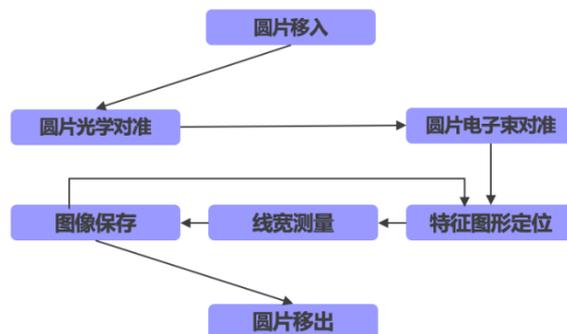
图 10: 表面形貌测试原理图



资料来源：《集成电路产业全书》（王阳元主编），信达证券研发中心

关键尺寸（CD）的测量设备：在集成电路芯片中，栅极的尺寸精确度尤为重要，在光刻和刻蚀工艺后要求栅极尺寸基本不发生变化，作为电路中最微小的结构，栅极的细微变化会对整体性能产生巨大影响，此时便需要对关键尺寸进行测量。该功能主要通过电子显微镜（CD-SEM）实现，该设备可利用电子束移动快速且精准的识别图形进而完成线宽的测量。在未来，集成电路芯片的关键尺寸将越来越小、图形也会逐渐趋向 3D 形态发展，量产扫描速度要求更快，这些趋势将给 CD-SEM 的升级提出的更多挑战。

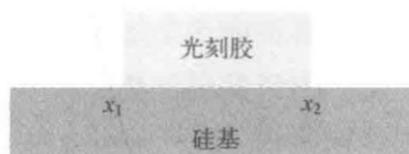
图 11: 常见的 CD-SEM 自动测量流程图



资料来源：《集成电路产业全书》（王阳元主编），信达证券研发中心

套刻误差测量设备：套刻误差用来测量不同步骤形成电路图形的平面距离并发现其差异，目前最常用的套刻误差测量系统是光学成像系统，其基本原理是利用光学显微成像技术获得目标图形的数字化图像，进而利用数字图像处理算法得出每一层套刻目标图形的边界位置，在得出中心位置后即可计算出圆片第 n 层与第 $n+1$ 层图形结构中心的平面距离，即套刻误差。由于套刻测量存在系列误差，例如由测量系统引发的图形位移、带测圆片引发的图形位移、总测量不确定度等，如何减少测量误差成为了后续研究的关键问题。

图 12: 确定套刻误差的示例

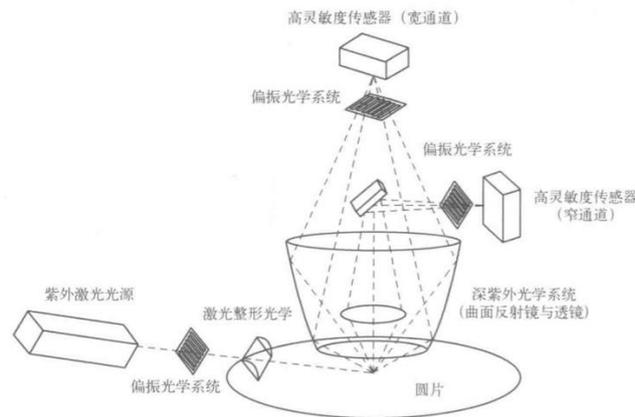


资料来源：《集成电路产业全书》（王阳元主编），信达证券研发中心

具体应用于前道芯片制造工艺中的缺陷检测设备主要是对圆片表面的颗粒及残留异物的检查，以及工艺过程中圆片存在的缺陷检查。包含无图形的表面缺陷检测及有图形的表面缺陷检测设备。

无图形表面缺陷检测设备：无图形缺陷检测主要用于检测制造过程中物料的品质问题、薄膜沉积与 CMP 的工艺控制以及晶圆背面污染情况等。该设备工作原理是，将激光光束照射到圆片表面，通过采集散射光或者反射光，再利用算法提取并比对表面是否存在缺陷问题。目前为配合采取更高的灵敏度检测，需要采用更短的光学波长，目前研发多采用深紫外和紫外波段的激光器作为照明光源。未来可进一步结合多光源照明与信息提取的算法优化提升检测速度与灵敏度，同时需优化采集通道的分布及其孔径大小，进一步优化采集信号。

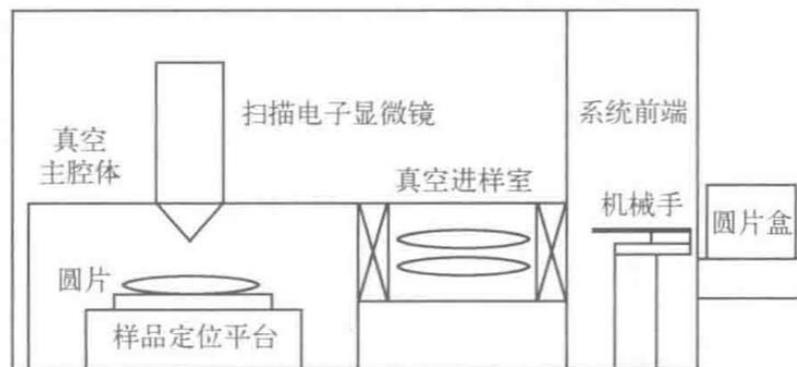
图 13：暗场非图形圆片缺陷检测光学结构示意图



资料来源：《集成电路产业全书》（王阳元主编），信达证券研发中心

有图形表面缺陷检测设备：有图形缺陷检测是对刻蚀图形直接进行缺陷检测的设备。当前的有图形检测设备大致分为光学检测和电子束检测两种主要技术的应用设备。其中光学检测的主要原理是将激光光束照在圆片上，通过圆片的转动实现全扫描，如果在扫描过程中遇到缺陷则会发出信号并最终记录下缺陷位置，利用算法进一步对缺陷进行分析及解构；电子束缺陷检测则是利用聚焦电子束对圆片表面进行扫描，通过接受反射的二次电子进而将其转换为图像，通过比对得出刻蚀或者曝光工艺后的缺陷问题。电子束设备相较于光学设备而言具有更高的分辨率，可以识别出更加微小的缺陷，但扫描速度更慢，整体二者各有优劣。未来，如何进一步提升电子束扫描的速度是重要的研究课题，目前大致方向包括提升电子束的电流密度以及实现电子束扫描和图像采集并行运行。

图 14：电子束图形圆片缺陷检测设备结构示意图



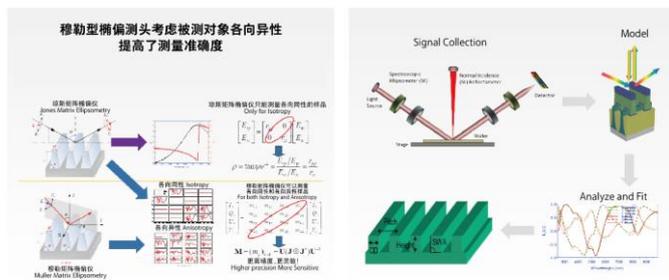
资料来源：《集成电路产业全书》（王阳元主编），信达证券研发中心

各类检测/量测设备技术同源性、通用性强，龙头值得长期看好

应用光学检测技术的设备占比具有领先优势，为 75.2%。光学设备依靠光学原理，通过对晶圆表面的非接触式的搜索最大程度降低对晶圆片的破坏，并利用得到的光信号进行处理分析，由于光学技术可以实现对晶圆快速、批量的检测，得以满足晶圆厂商对于量产过程的检测要求，目前应用范围十分广泛。在量测领域包括关键尺寸量测设备（CD）、晶圆介质薄膜量测设备、套刻精度量测设备、三维形貌量测设备等；在缺陷检测领域主要包括纳米图形晶圆缺陷检测设备、无图形晶圆缺陷检测设备、掩模板缺陷检测设备。根据 VLSI Research 和 QY Research 的报告，2020 年全球半导体检测和量测设备市场中，应用光学检测技术、电子束检测技术及 X 光量测技术的设备市场份额占比分别为 75.2%、18.7%及 2.2%。

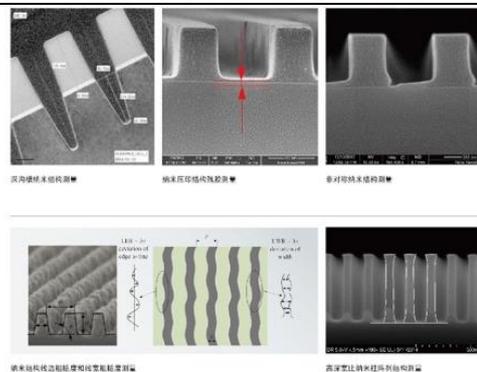
光学量测设备整体技术同源性较强，其中光学膜厚度量测设备、非成像关键尺寸量测设备（OCD）通常基于椭圆偏振技术。过去的椭圆偏振仪普遍采用琼斯矩阵，该方法可利用偏振分析器测量偏振态，但琼斯矩阵测量一次仅可得到 4 个变量值，测量面较窄，也就导致适用材料种类较少；同时当光学元件或样品具有去偏振效应的时候，琼斯矩阵无法准确表达这种去偏振效应，为了能对具有去偏振效应的系统进行计算，便升级引入了斯托克斯矢量来对光进行描述。而最新的椭圆偏振仪常采用穆勒矩阵的方式接受信息，该方法则基于斯托克斯偏振理论，可利用矩阵描述器件的偏振特性及偏振光的传输，进而推导出期间的偏振相关损耗。穆勒矩阵椭圆偏振仪是一种利用测量参数的关联性而集成数据处理方式，一次测量可以获得 16 个参数值，所以测量面更宽，可适用于各类各向同性/各向异性微纳薄膜、纳米光栅结构等测量对象的几何厚度、几何关键尺寸等形貌信息以及材料光学特性的信息提取。光源、椭圆偏振仪、光学系统是光学量测仪器的主体组成部分，其质量好坏可直接影响设备的性能。从光源的角度来看，光强的稳定性可影响设备可用性、寿命等指标，光源中所配置的稀有气体并不是越纯越好；椭圆偏振仪以及光学系统的设计也会对设备的稳定性、性能产生影响。

图 15: 琼斯矩阵 vs 穆勒矩阵



资料来源：上海精测官网，信达证券研发中心

图 16: 穆勒矩阵信息量测实例

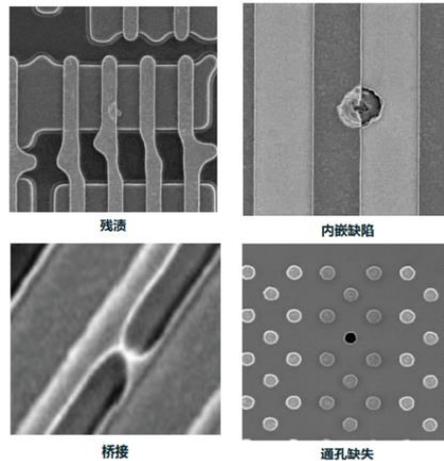


资料来源：上海精测官网，信达证券研发中心

光学检测设备能够在前段（FEOL）和后段（BEOL）工艺阶段发现良率缺陷，并且为光刻图案提供关键的工艺认证和系统性缺陷识别。目前光学检测设备主要分为明场检测及暗场检测两大类，整体来看二者的技术较为相似，明场是指照明光角度与采集光角度完全或部分相同，最终成像是通过反射光形成；而暗场是指照明光角度与采集光角度完全不同，最终的成像是通过被图形表面的结构散射得到。随着技术的发展，目前二者的差别更多体现在照明光路与采集光路的物理空间是否分离上。明场光学检测设备的发展进一步追求更亮的光学照明、更大的数值孔径、更大的成像视野等，使用光源包括氙灯、汞放电灯、激光持续放电灯。在针对不同类型圆片进行检测时，明场检测设备可利用不同的配置特征进行多种组合，当前设备已经可实现万种配置。暗场光学检测设备由于光路分离，在照明光上也有更多类型的选择，包括激光光源、环形光、光纤照明等，整体暗场检测追求更高的成像分辨率、检测扫描速度以及更高效的噪声控制。暗场光学检测对于具有周期排列特性的

图形表面检测效果更佳，由于周期性特质在暗场中可通过散射将激光打到若干确定的空间立体角，进而放置和衍射角度对应的矩形或者圆形光阑，便可实现有效遮挡从而最大程度压缩图像的背景噪声，得到更好的缺陷信号的信噪比。

图 17: 主要缺陷类型示例



资料来源: KLA 官网, 信达证券研发中心

目前国内量测/检测设备生产企业针对不同技术的设备突破有所差异，但整体而言精测电子、中科飞测、上海睿励等龙头企业在光学设备上优势更加明显。

在光学量测设备方面，上海精测以椭圆偏振技术为核心开发了适用于半导体工业应用的膜厚测量及光学关键尺寸量测系统的系列产品；光源方面以武汉颐光为代表，在与华中科技大学等国内顶尖高校合作开发后研制出各类椭偏仪，并广泛应用于量测设备中。

睿励光学薄膜测量设备 TFX1000 销售到 150mm 集成电路生产线并投入生产；2011 年，睿励推出自主研发的适用于 65nm 和 45nm 技术节点的 300mm 硅片全自动精密薄膜和线宽测量系统 (TFX3000)；2013 年，睿励适用于 28nm 要求的量测设备开始在 12 寸生产线销售。

中科飞测一直立足于高尖端光学检测设备的研发工作，在光源方面同样具备技术优势，企业聚集了大批具有光学和算法经验的工程师及专家。

表 4: 上海精测光学量测系列产品

| 设备名称 | 设备用途 | 设备简介 |
|----------------|----------------|---|
| EPROFILE 300FD | 高性能膜厚及 OCD 测量机 | 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板刻蚀、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 | 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 | 倒置型膜厚测量机 | <p>1)倒络工作台设计,防止颗粒污染,和蒸镀工艺线无缝连接;</p> <p>2)能实现 TFE/ETL/EMLITO 各制程的光学性能测试和 A 即膜厚测量;</p> <p>3) 30um 微光斑,高横向分辨率;</p> <p>4)对蒸镀过程中进行对位校准,监控厚度均匀性;</p> <p>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 EM 工艺中多项异性膜厚检测,提供测量的灵敏度;</p> <p>6)全 N2 环境使用,杜绝水氧,机台内部无污染气体释放。</p> |
| EFILM 300IM | 集成式膜厚测量机 | <p>1)支持 300/200mm 硅片;</p> <p>2)业界独有的高精度微型化椭圆偏式膜厚度测量技术,实现薄膜高精度测量;</p> <p>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;</p> <p>4)专利的磁浮运动台,无摩擦、高寿命;</p> <p>5)体积小:标准 Load Port 尺寸和安装接口;</p> <p>6)应用范围包括刻蚀、CVD、光刻、CMP 等工艺段测量</p> |

资料来源:上海精测官网,信达证券研发中心

表 5: 武汉颐光椭圆偏仪系列产品

| 设备名称 | 设备用途 | 设备简介 |
|---------------|--|--|
| SE-VE 光谱椭圆偏仪 | 可一键快速测量表征各式光学薄膜膜厚以及光学常数等信息。 | 采用高性能进口复合光源,光谱覆盖可见到近红外范围 (400-800nm); 高精度旋转补偿器调制、PCRSA 配置,实现 Psi/Delta 光谱数据高速采集; 数百种材料数据库、多种算法模型库,涵盖了目前绝大部分的光电材料; |
| ME-L 穆勒矩阵椭圆偏仪 | 可应用于各种各向同性/异性薄膜材料膜厚、光学纳米光栅常数以及一维/二维纳米光栅材料结构的表征分析,代表当今椭圆偏行业高精尖技术水平。 | 采用氙灯和卤素灯复合光源,光谱覆盖紫外到近红外范围 (193-2500nm); 可实现穆勒矩阵数据处理,测量信息量更大,测量速度快、数据更加精准; 基于双旋转补偿器配置,可一次测量获得全穆勒矩阵的 16 个元素,相对传统光谱椭圆偏仪可获取更加丰富全面测量信息; 颐光核心技术确保在宽光谱范围内,提供优质稳定的各波段光谱; 数百种材料数据库、多种算法模型库,涵盖了目前绝大部分的光电材料; 集成对纳米光栅的分析,可同时测量分析纳米结构周期、线宽、线高、侧壁角、粗糙度等几何形貌信息; |
| SE-m 光谱椭圆偏仪 | 可应用透明各类衬底上的减反膜、导电膜等薄膜的 n/k/d 测量,完美适用于微区图形的各种光学参数解析。 | 可定制光斑尺寸,最小可达 30um; 超快测量,单次测量时间小于 0.5 秒; 系列配置灵活,支持功能定制设计; 结构紧凑,更适应在线集成测量。 |

资料来源:颐光科技官网,信达证券研发中心

表 6: 上海睿励光学量测系列产品

| 设备名称 | 设备用途 | 设备简介 |
|----------|----------|--|
| TFX3000P | 光学膜测量设备 | TFX3000P 是应用于 12 英寸大规模集成电路前端生产线上的薄膜厚度测量设备,该产品已成功销售给国内和国外知名众多集成电路制造公司。该系列设备具有高精度,高产能,高性价比的特点,设备稳定可靠,性能与国外同类设备相当,甚至部分领先。 |
| TFX4000E | 光学膜测量设备 | 应用于 12 英寸大规模集成电路前端、化合物半导体生产线,可量测透明或半透明介质材料、金属硅化物、金属氧化物等半导体材料薄膜,提供薄膜可靠和精确的厚度、折射率、成分比率和应力测量,输出产能高,具有较高的性价比可量测范围更宽广,超薄膜和超薄膜量测能力更稳定,全新椭圆偏振光路设计,机械运动性能可靠,稳定性表现卓越,具有性能强大的图像识别功能,全面支持工厂自动化要求。 |
| TFX4000i | 光学薄膜测量设备 | 应用于 12 英寸大规模集成电路前端、化合物半导体生产线,可量测透明或半透明介质材料、金属硅化物、金属氧化物等半导体材料薄膜,提供薄膜可靠和精确的厚度、折射率、成分比率和应力测量,输出产能高,具有较高的性价比,可量测范围更宽广,超薄膜量测能力更稳定,机械运动性能可靠,稳定性表现卓越。 |

| | | |
|---------|----------|---|
| TFX3200 | 光学薄膜测量设备 | 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。 |
|---------|----------|---|

资料来源：上海睿励官网，信达证券研发中心

表 7：中科飞测光学量测系列产品

| 设备名称 | 设备简介 |
|-----------|---|
| 3D 轮廓量测系统 | 主要应用于 3D 曲面玻璃等构件的轮廓、弧高、厚度、尺寸测量，采用光谱共焦技术，实现高精度、高速度的非接触式测量。搭载可配置的全自动测量软件工具和完整的测试及结果分析界面 |
| 三维封装量测系统 | 主要应用于晶圆上的纳米级三维形貌测量、双/多层薄膜厚度测量、关键尺寸和偏移量测量，配合图形晶圆智能化特征识别和流程控制、晶圆碎片和数据通讯等自动化平台 |

资料来源：中科飞测招股说明书，信达证券研发中心

在光学检测开发方面，目前国内中科飞测、上海睿励等公司在明/暗场光学缺陷检测方面均有设备批量出货；针对 28nm 的纳米图形晶圆缺陷检测设备均处于研发状态，中科飞测、上海精积微（精测电子孙公司）目前已公布了相应的研发计划，相应产品研发成功后在扩充公司产品线同时将进一步完善国内检测设备供应布局。

表 8：中科飞测光学检测系列产品

| 设备名称 | 设备用途 | 设备简介 |
|------------|------------|---|
| spruce-600 | 晶圆表面缺陷检测系统 | 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： 1) 非图形晶圆表面的缺陷类型及空间分布 2) 污染颗粒和异常微观表面分类（突起、凹坑、晶格缺陷、划伤等） 产品特点： •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 •线阵相机扫描，可配置裸硅片或图形片暗场扫描 •最优空间分辨率：10um •全自动化设备和 SEMI 标准通讯协议 •200mm/300mm 可配置 |

资料来源：半导体商城，信达证券研发中心

表 9：上海睿励光学检测系列产品

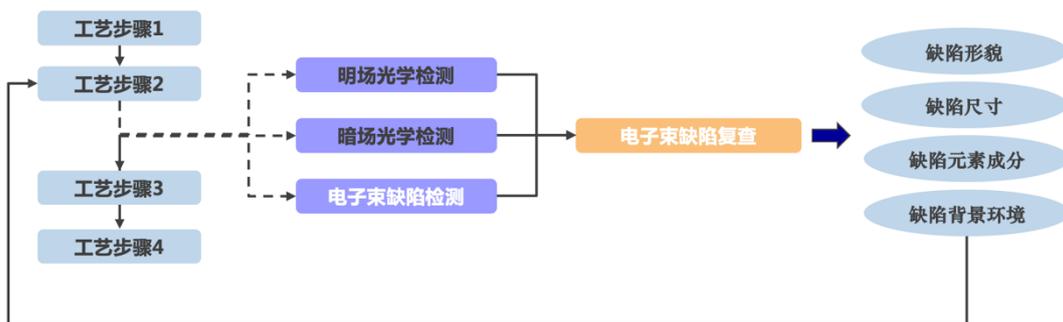
| 设备名称 | 设备用途 | 设备简介 |
|-------------------|--------|--|
| FSD100c & 150c | 缺陷检测设备 | FSD100c & 150c 是睿励科学仪器(上海)有限公司专为 LED、化合物半导体以及光通讯领域中的有图形晶圆(COW)的外观缺陷检测开发的 AOI 设备，该系统具有高分辨率、高速、高性价比的特点，可按照客户的晶圆尺寸，可定制适用于 2 寸、3 寸、4 寸、5 寸及 6 寸有图形晶圆(Chip On Wafer) 缺陷检测。为客户全面控制产品的出货品质控制及生产过程中良率改善。 |
| FSD150s | 缺陷检测设备 | FSD150s 是睿励科学仪器(上海)有限公司专为 LED 衬底抛光片外观缺陷检测开发生产的全自动光学检测设备(AOI)，适用于蓝宝石衬底片(抛光片)表面缺陷检测。为 LED 衬底片厂家全面控制产品的出货品质及改善生产过程中良率。 |
| FSD150e & FSD150i | 缺陷检测设备 | FSD150e & FSD150i 是睿励科学仪器(上海)有限公司专为 LED 市场开发生产的全自动光学检测设备(AOI)，适用于蓝宝石图形衬底(PSS)晶圆生产工艺中的表面缺陷检测以及外延片检测。该系统具有高分辨率、高速、高性价比的特点，并能根据检测结果进行自动分拣。既能为 LED 生产厂商提高生产效率，又可为全面良率管理提供数据。FSD150e:& FSD150i 在国内市场已销售至数家客户并获得肯定和好评。 |
| FSD100e | 缺陷检测设备 | 适用于蓝宝石衬底、图形衬底、外延片和芯片等各种工艺。该系统具有高分辨率、高速、高性价比的特点，并能根据检测结果进行自动分拣，既能为 I F 生产日商提高生产效率，又可为进行全面良率管理提供数据。 |

资料来源：仪器信息网，信达证券研发中心

电子束相关设备在量测方面主要应用在关键尺寸量测，在检测领域则用于电子束缺陷检测、电子束缺陷复查。对栅极关键尺寸的把握可使用光学与电子束两种技术进行测量，但二者的功能有着较为明显的差异，基于衍射光学的关键尺寸（OCD）测量设备可以一次性获得诸多工艺尺寸参数，便利性较强，但存在一定的测量误差；而电子束关键尺寸量测设备利用扫描电子显微镜（CD-SEM）有助于进一步提升测量精度，但 CD-SEM 的测量速度较慢且不利于集成，因此更多时候作为关键的辅助性设备进行使用。

在检测方面主要包括两种类型：电子束缺陷检测设备及电子束缺陷复查设备，二者关系密切，在检测流程中分步使用。

图 18：缺陷检测及缺陷复查流程图



资料来源：《集成电路产业全书》（王阳元主编），信达证券研发中心

电子束缺陷检测设备主要配合集成电路先进制程节点工艺使用，与明/暗场光学检测设备相比对于图形的物理缺陷（颗粒、突起、桥接、空穴）等有更高的分辨率，对于电压衬度、开路、短路、电阻过大等缺陷也会有更高的识别度，但因为其扫描方式为逐点扫描，整体进度过慢，难以满足厂商对生产吞吐量的需求，因而无法全面铺开使用。国内外的主要设备是东方晶源生产的 EBI 系列，该产品经过多次升级优化目前已达到较为成熟的水平。电子束缺陷复查设备同样是一种扫描电子显微镜，可通过高倍率观察缺陷的形貌特征、尺寸、缺陷所在位置的背景环境并进行分析，从而判断缺陷产生的原因和对应的工艺步骤，并对此进行针对性的缺陷改善。国内领先企业是精测电子，其生产的 Review-SEM 系列产品对光学检测结果具有较高分辨率的复查、分析、分类功能，目前已交付中芯国际。

表 10：东方晶源电子束检测系列产品

| 设备名称 | 设备用途 | 设备简介 |
|------|-----------|--|
| EBI | 电子束缺陷检测设备 | 1)面向 300mm 工艺制程； 2)高灵敏度电性缺陷检测； 3)高分辨度物理缺陷检测； 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。 |

资料来源：东方晶源官网，信达证券研发中心

表 11：精测电子电子束检测系列产品

| 设备名称 | 设备用途 | 设备简介 |
|------------|-----------|--|
| Review-SEM | 电子束缺陷复查设备 | 12 寸全自动电子束晶圆缺陷复查设备（Review SEM）机台配备了基于深度学习的高准确率智能化自动缺陷检测与分类算法，将进一步帮助客户提升缺陷复查分析的效率并显著提升设备使用的便捷性。 |

资料来源：精测电子公众号，信达证券研发中心

突破封锁形势严峻，量测/检测设备国产化成为必经之路

国内目前正在大力推进芯片制造产能的进一步扩张，极力提升芯片国产化率，鉴于量测/检测设备对于提升良率的重要意义，整体晶圆厂产线的国产化会大幅提升国内对于量测/检测设备的需要。当晶圆厂在开辟新产线时，生产类设备在刚刚进厂时，其参数往往无法满足产线的需求，因为产线的每一道工序都有其特殊需要，此时量测/检测设备的介入有助于完善生产类设备的运行参数，使得产线迅速匹配相应需要并快速实现量产。当前的芯片国产化仍基于成熟工艺开展，而在先进工艺阶段推进缓慢，对于高端芯片的制造仍存在许多需要攻克的问题。14nm 及以下的先进生产线研发、旧产线引入新设备时，均需要量测/检测设备进行过程工艺控制，来提升产品良率，同时进一步提高生产设备的匹配程度。随着近年来各晶圆厂工艺、产能的不断迭代，检测/量测设备市场呈现快速增长的态势。

但目前来看，国内量测/检测设备的生产厂家无法实现过程工艺的全覆盖，各企业覆盖范围存在一定差异。根据企业布局，国内厂商在纳米图形晶圆缺陷检测设备的市场规模最大，可达 18.9 亿美元，目前精测电子已实现量产，同时中科飞测也在研发阶段；关键尺寸量测设备仅精测电子一家可投入使用，目前设备市场规模可达 7.8 亿美元；套刻精度量测设备仅中科飞测实现产业化验证阶段；晶圆介质薄膜量测设备方面，虽然精测电子、中科飞测、上海睿励均实现量产，但整体市场放量不足，仅有 2.3 亿美元的市场规模。整个过程控制设备领域仍呈现高度依赖进口的现状。

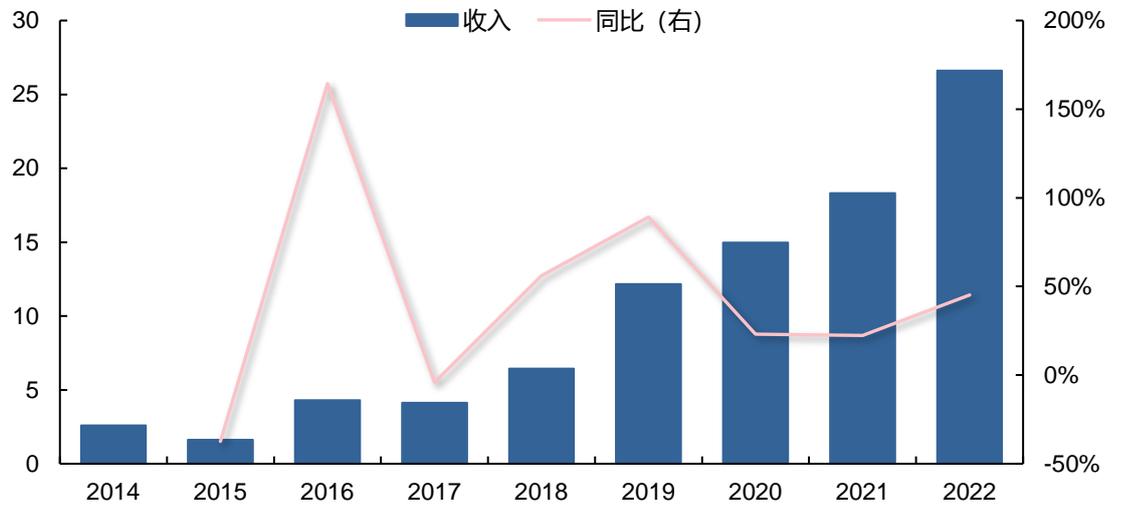
图 19：各类半导体前道量测/检测设备市场规模及国内企业布局情况

| 类型 | 市场规模(亿美元) | 精测电子 | 赛腾股份 | 中科飞测 | 上海睿励 | 东方晶源 |
|--------------|-----------|---------|------|---------|------|------|
| 纳米图形晶圆缺陷检测设备 | 18.9 | (上海精测微) | | (设计阶段) | | |
| 掩模版缺陷检测设备 | 8.6 | | | | | |
| 关键尺寸量测设备 | 7.8 | √ | | | | |
| 无图形晶圆缺陷检测设备 | 7.4 | | | (产业化验证) | | |
| 电子束关键尺寸量测设备 | 6.2 | | | | | √ |
| 套刻精度量测设备 | 5.6 | | | (产业化验证) | | |
| 图形晶圆缺陷检测设备 | 4.8 | | | √ | √ | |
| 电子束缺陷检测设备 | 4.4 | | | | | √ |
| 电子束缺陷复查设备 | 3.8 | √ | | | | |
| 晶圆介质薄膜量测设备 | 2.3 | √ | | (产业化验证) | √ | |
| X光量测设备 | 1.7 | | | | | |
| 掩模版关键尺寸量测设备 | 1 | | | | | |
| 三维形貌量测设备 | 0.7 | | √ | (产业化验证) | | |
| 晶圆金属薄膜量测设备 | 0.4 | | | | | |
| 其他 | 2.9 | | | | | |

资料来源：QYResearch，，精测电子官网，精测电子官方公众号，赛腾股份官网，中科飞测招股说明书，上海睿励官网，东方晶源官网等，信达证券研发中心整理（注：上述信息为不完全整理，可能存在偏差，进度可能落后最新情况）

目前国内晶圆厂主要依赖进口 KLA 相关量测/检测设备完成良率的提升，可以说 KLA 在中国的客户几乎包含了所有晶圆厂。不论是本土的中芯国际、华虹宏利，抑或是合资企业如三星、Intel 等。伴随着国内强大需求，中国市场也成为 KLA 最大的海外市场，从财务数据来看，KLA 在大陆的营收自 2017 年以来呈现高速增长的态势。

图 20: 2010-2022 KLA 在中国大陆营收及同比增速 (亿美元, %)



资料来源: KLA2014-2021 年报, 信达证券研发中心

国内量测/检测设备企业同步发力，国产化替代踏上征程

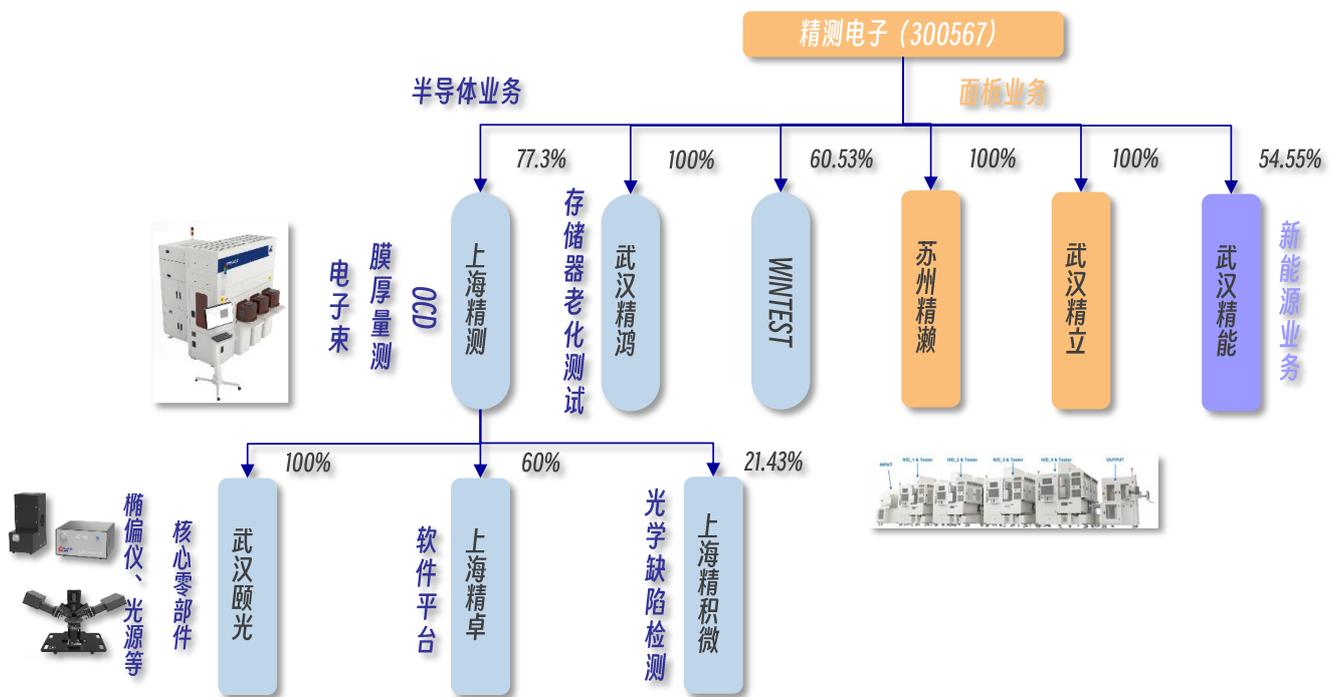
目前来看，国内在量测/检测设备领域的代表企业有精测电子、中科飞测、赛腾股份等。各企业的产品侧重整体差异较大，其中精测电子已在膜厚设备获得重复订单；中科飞测主要布局无图形晶圆缺陷检测设备、图形晶圆缺陷检测设备以及三维形貌量测设备等；赛腾股份深耕晶圆检测装备领域，公司拥有 SUMCO、三星、协鑫、奕斯伟、中环半导体、金瑞泓等优质客户。

精测电子：基本实现量测设备全面布局，深耕技术自研

精测电子于 2006 年成立于武汉，经过一系列拓展目前已经发展成为集半导体、面板、新能源一体的高新技术企业。受面板投资周期性影响，公司在 2018 年大力拓展业务，以子公司上海精测为切入点进军半导体市场，目前已成为前道过程工艺控制的国内领军企业。

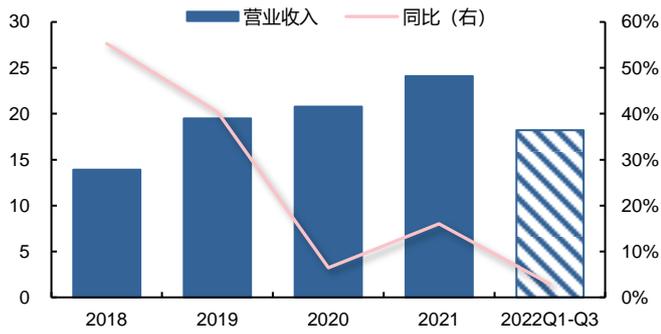
在具体业务方面，公司在技术及功能层面基本实现前道制程的量测/检测设备全覆盖。其中代表产品包括上海精测的膜厚量测设备、OCD 关键尺寸量测设备、电子束缺陷复查设备；精积微的光学缺陷检测设备。

图 21：精测电子公司整体架构



资料来源：Wind，信达证券研发中心

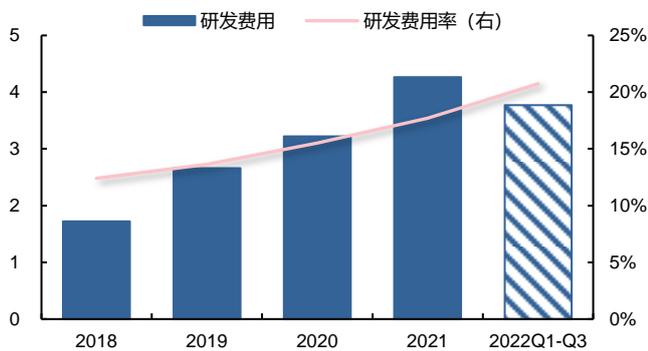
公司深耕半导体板块的技术研发。自 2018 年上海精测成立以来，公司研发费用逐年增加，高薪引进大批技术人员，其中不乏硕士、博士。由于上海精测的半导体业务基本是从 0 开始，前期高强度的研发投入也在一定程度影响了精测电子的整体业绩，该公司目前净利润依旧为负值，但整体呈上涨趋势。

图 22: 精测电子营业收入及同比 (亿元, %)


资料来源: Wind, 信达证券研发中心

图 23: 精测电子业绩、毛利率及净利率变化 (亿元, %)


资料来源: Wind, 信达证券研发中心

图 24: 精测电子研发投入及研发费用率 (亿元, %)


资料来源: wind, 信达证券研发中心

图 25: 上海精测营业收入及净利润 (万元)


资料来源: wind, 信达证券研发中心

经过前期的研发投入，精测近几年在业务层面实现突破，不仅实现了核心零部件的深度自研，同时在系列产品上得到实质性进展，上海精测已成为国内覆盖面较广、进度领先的半导体量测/检测设备供应商。具体而言，公司目前在电子束设备上已经实现订单突破；主打设备明场光学缺陷检测系统已取得突破性订单，目前已经出机；OCD 关键尺寸量测设备已顺利通过多家客户验证；电子束设备方面，公司 Review-SEM 产品及 CD-SEM 已经完成出货。

中科飞测：部分细分品类已达到国际水平，积极探索高端路线

中科飞测以深圳总部为据点，主要集中研发有无图形缺陷检测及形貌量测设备的精密控制，研发成本虽逐年提升，但由于公司整体已形成规模，研发费用率已经稳定在较低水平。无图形缺陷检测设备系列、三维形貌设备系列等目前可成熟运用在 28nm 及以上制程的产线当中，公司于 2020 年实现净利润正增长，目前已进入业绩增长长期。

图 26：中科飞测历史沿革



资料来源：中科飞测招股说明书，信达证券研发中心

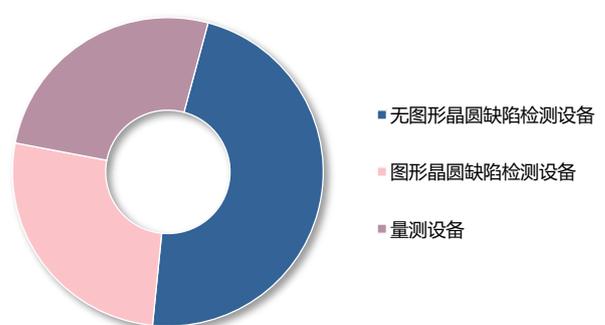
公司长期致力于高端半导体质量控制设备的产业化发展，其核心三大产品均实现比肩国际水准：无图形缺陷检测设备在集成电路领域可实现的最小灵敏度分别为 60nm 和 23nm，与 KLA 在同类产品实现一致的性能参数；图形缺陷检测设备主要应用于先进封装领域，目前设备精度已实现亚微米量级，目前设备的灵敏度和吞吐量灵活性较高，可满足不同客户需求，公司设备与创新科技等国际竞品性能相当，已在华天科技等知名封装厂商产线上实现无差别应用，公司目前仍在积极研发设计纳米级图形晶圆缺陷检测设备；三维形貌量测设备可用于集成电路前道制程，设备目前可达到 0.1nm 的重复精度，可以支持 2Xnm 及以上制程工艺的三维形貌测量。

图 27：中科飞测收入及净利润快速增长（亿元）



资料来源：Wind，信达证券研发中心

图 28：2021 年中科飞测收入拆分



资料来源：Wind，信达证券研发中心

赛腾股份：“全球技术+中国市场”，绑定优质客户群

赛腾股份原主营消费电子智能装备产业，在 2019 年收购全球领先晶圆检测设备供应商—日本 OPTIMA 后加速晶圆检测装备领域的布局，进一步开拓企业高端半导体设备产品线。

图 29: OPTIMA 核心产品介绍

| | |
|---|--|
|  | <p>Wafer Edge Inspection System (晶圆边缘检测系统)</p> <p>硅片或器件制造过程中对晶圆边缘缺陷进行检测和分类、测量器件的关键尺寸</p> <p>工艺: 边缘研磨/单面研磨/双面抛光/清洁/干燥/主晶圆最终检查/外延/沉积/光刻/CMP/修边/粘贴/减薄</p> |
|  | <p>Backside Macro Wafer Inspection System (晶圆背面宏观检测系统)</p> <p>对晶圆背面的缺陷/污染进行高灵敏度检测，并对器件制造过程中提取的缺陷进行三维清晰测量的检测设备。</p> <p>工艺: 沉积/光刻/蚀刻/CMP</p> |
|  | <p>Edge and Front / Back Surface Inspection Equipment (边缘、正/背面检测设备)</p> <p>检测硅晶圆制造(抛光/外延)过程中出现的各种晶圆边缘/双面缺陷的检测设备。</p> <p>工艺: 边缘打磨/单面打磨/双面抛光/清洁/干燥/主晶圆最终检查/外延</p> |
|  | <p>Pinhole Defect Inspection Equipment (针孔缺陷检测设备)</p> <p>使用红外线检测Si晶体生长过程中产生的内部或背面针孔缺陷的自动检测设备。</p> <p>工艺: 晶体生长/切片/单面研磨/双面抛光/主晶圆最终检查</p> |

资料来源: OPTIMA 官网, 信达证券研发中心

OPTIMA 着重开发缺陷检测设备，其中边缘检测系统主要用于对晶圆边缘缺陷进行检测和分类；背面宏观监测系统主要对晶圆背面的缺陷/污染进行高灵敏度检测，并对器件制造过程中提取的缺陷进行三维清晰测量；边缘、正/背面检测设备则是用于检测晶圆制造(抛光/外延)过程中出现的各种晶圆边缘/双面缺陷；针孔缺陷检测设备利用红外线技术检测晶体生长过程中产生的内部或背面针孔缺陷。

赛腾以“全球技术+中国市场”的战略部署迅速拓展国内市场，受到国产替代性的紧迫需求，赛腾目前拥有较多稳定的优质客户，未来业绩有望进一步增长。

风险因素

技术研发进度不及预期：半导体设备企业的核心竞争力高度依靠新产品的研发，若研发进度低于预期，可能给股价带来下行风险。

晶圆厂扩产进度不及预期：行业市场规模来自晶圆厂扩产，若晶圆厂扩产进度减缓，将影响行业整理市场空间。

地缘政治风险。

参考文献：《集成电路产业全书》，王阳元主编，电子工业出版社

研究团队简介

莫文字，毕业于美国佛罗里达大学，电子工程硕士，2012-2022 年就职于长江证券研究所，2022 年入职信达证券研发中心，任副所长、电子行业首席分析师。

郭一江，电子行业研究员。本科兰州大学，研究生就读于北京大学化学专业。2020 年 8 月入职华创证券电子组，后于 2022 年 11 月加入信达证券电子组，研究方向为光学、消费电子、汽车电子等。

韩宇杰，电子行业研究员。华中科技大学计算机科学与技术学士、香港中文大学硕士。研究方向为半导体设备、半导体材料、集成电路设计。

机构销售联系

| | | | |
|----------|-----|-------------|--|
| 全国销售总监 | 韩秋月 | 13911026534 | hanqiuyue@cindasc.com |
| 华北区销售总监 | 陈明真 | 15601850398 | chenmingzhen@cindasc.com |
| 华北区销售副总监 | 阙嘉程 | 18506960410 | quejiacheng@cindasc.com |
| 华北区销售 | 祁丽媛 | 13051504933 | qiliyuan@cindasc.com |
| 华北区销售 | 陆禹舟 | 17687659919 | luyuzhou@cindasc.com |
| 华北区销售 | 魏冲 | 18340820155 | weichong@cindasc.com |
| 华北区销售 | 樊荣 | 15501091225 | fanrong@cindasc.com |
| 华北区销售 | 秘侨 | 18513322185 | miqiao@cindasc.com |
| 华北区销售 | 李佳 | 13552992413 | lijia1@cindasc.com |
| 华东区销售总监 | 杨兴 | 13718803208 | yangxing@cindasc.com |
| 华东区销售副总监 | 吴国 | 15800476582 | wuguo@cindasc.com |
| 华东区销售 | 国鹏程 | 15618358383 | guopengcheng@cindasc.com |
| 华东区销售 | 李若琳 | 13122616887 | liruolin@cindasc.com |
| 华东区销售 | 朱尧 | 18702173656 | zhuyao@cindasc.com |
| 华东区销售 | 戴剑箫 | 13524484975 | daijianxiao@cindasc.com |
| 华东区销售 | 方威 | 18721118359 | fangwei@cindasc.com |
| 华东区销售 | 俞晓 | 18717938223 | yuxiao@cindasc.com |
| 华东区销售 | 李贤哲 | 15026867872 | lixianzhe@cindasc.com |
| 华东区销售 | 孙僮 | 18610826885 | suntong@cindasc.com |
| 华东区销售 | 贾力 | 15957705777 | jiali@cindasc.com |
| 华东区销售 | 石明杰 | 15261855608 | shimingjie@cindasc.com |
| 华东区销售 | 曹亦兴 | 13337798928 | caoyixing@cindasc.com |
| 华南区销售总监 | 王留阳 | 13530830620 | wangliuyang@cindasc.com |
| 华南区销售副总监 | 陈晨 | 15986679987 | chenchen3@cindasc.com |
| 华南区销售副总监 | 王雨霏 | 17727821880 | wangyufei@cindasc.com |
| 华南区销售 | 刘韵 | 13620005606 | liuyun@cindasc.com |
| 华南区销售 | 胡洁颖 | 13794480158 | hujieying@cindasc.com |
| 华南区销售 | 郑庆庆 | 13570594204 | zhengqingqing@cindasc.com |
| 华南区销售 | 刘莹 | 15152283256 | liuying1@cindasc.com |
| 华南区销售 | 蔡静 | 18300030194 | cailing1@cindasc.com |
| 华南区销售 | 聂振坤 | 15521067883 | niezhenkun@cindasc.com |

分析师声明

负责本报告全部或部分内容的每一位分析师在此申明，本人具有证券投资咨询执业资格，并在中国证券业协会注册登记为证券分析师，以勤勉的职业态度，独立、客观地出具本报告；本报告所表述的所有观点准确反映了分析师本人的研究观点；本人薪酬的任何组成部分不曾与，不与，也将不会与本报告中的具体分析意见或观点直接或间接相关。

免责声明

信达证券股份有限公司（以下简称“信达证券”）具有中国证监会批复的证券投资咨询业务资格。本报告由信达证券制作并发布。

本报告是针对与信达证券签署服务协议的签约客户的专属研究产品，为该类客户进行投资决策时提供辅助和参考，双方对权利与义务均有严格约定。本报告仅提供给上述特定客户，并不面向公众发布。信达证券不会因接收人收到本报告而视其为本公司的当然客户。客户应当认识到有关本报告的电话、短信、邮件提示仅为研究观点的简要沟通，对本报告的参考使用须以本报告的完整版本为准。

本报告是基于信达证券认为可靠的已公开信息编制，但信达证券不保证所载信息的准确性和完整性。本报告所载的意见、评估及预测仅为本报告最初出具日的观点和判断，本报告所指的证券或投资标的的价格、价值及投资收入可能会出现不同程度的波动，涉及证券或投资标的的历史表现不应作为日后表现的保证。在不同时期，或因使用不同假设和标准，采用不同观点和分析方法，致使信达证券发出与本报告所载意见、评估及预测不一致的研究报告，对此信达证券可不发出特别通知。

在任何情况下，本报告中的信息或所表述的意见并不构成对任何人的投资建议，也没有考虑到客户特殊的投资目标、财务状况或需求。客户应考虑本报告中的任何意见或建议是否符合其特定状况，若有必要应寻求专家意见。本报告所载的资料、工具、意见及推测仅供参考，并非作为或被视为出售或购买证券或其他投资标的的邀请或向人做出邀请。

在法律允许的情况下，信达证券或其关联机构可能会持有报告中涉及的公司所发行的证券并进行交易，并可能会为这些公司正在提供或争取提供投资银行业务服务。

本报告版权仅为信达证券所有。未经信达证券书面同意，任何机构和个人不得以任何形式翻版、复制、发布、转发或引用本报告的任何部分。若信达证券以外的机构向其客户发放本报告，则由该机构独自为此发送行为负责，信达证券对此等行为不承担任何责任。本报告同时不构成信达证券向发送本报告的机构之客户提供的投资建议。

如未经信达证券授权，私自转载或者转发本报告，所引起的一切后果及法律责任由私自转载或转发者承担。信达证券将保留随时追究其法律责任的权利。

评级说明

| 投资建议的比较标准 | 股票投资评级 | 行业投资评级 |
|---|-----------------------------|-------------------------|
| 本报告采用的基准指数：沪深 300 指数（以下简称基准）； 时间段：报告发布之日起 6 个月内。 | 买入 ：股价相对强于基准 20% 以上； | 看好 ：行业指数超越基准； |
| | 增持 ：股价相对强于基准 5%~20%； | 中性 ：行业指数与基准基本持平； |
| | 持有 ：股价相对基准波动在±5% 之间； | 看淡 ：行业指数弱于基准。 |
| | 卖出 ：股价相对弱于基准 5% 以下。 | |

风险提示

证券市场是一个风险无时不在的市场。投资者在进行证券交易时存在赢利的可能，也存在亏损的风险。建议投资者应当充分深入地了解证券市场蕴含的各项风险并谨慎行事。

本报告中所述证券不一定能在所有的国家和地区向所有类型的投资者销售，投资者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、税收等方面咨询专业顾问的意见。在任何情况下，信达证券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，投资者需自行承担风险。