

半导体前道量检测设备行业报告（二）： 先进制程关键设备，电子束检测正崛起

评级：推荐(维持)

姚健(证券分析师)
S0350522030001
yaoj@ghzq.com.cn

杜先康(证券分析师)
S0350523080003
duxk01@ghzq.com.cn

并购家 免费行业报告网

IPOIPO.CN 每日更新 不用注册会员 无广告 永久免费

最近一年走势



相关报告

《半导体前道量检测设备行业报告：重点产品持续突破，国产替代正在加速（推荐）*专用设备*杜先康，姚健》——2024-01-19

沪深300表现

表现	1M	3M	12M
专用设备	-9.3%	-12.6%	-18.9%
沪深300	-3.5%	-1.9%	-10.0%

重点关注公司及盈利预测

重点公司代码	股票名称	2024/06/24	EPS			PE			投资评级
		股价	2023	2024E	2025E	2023	2024E	2025E	
300567.SZ	精测电子	57.47	0.54	1.00	1.45	106.43	57.47	39.63	买入
688012.SH	中微公司	147.51	2.88	3.30	4.21	51.22	44.70	35.04	未评级
688361.SH	中科飞测	52.95	0.44	0.63	0.95	120.34	84.05	55.74	未评级
—	东方晶源	—	—	—	—	—	—	—	—

资料来源：iFinD资讯，国海证券研究所 未评级公司盈利预测取自iFinD一致预期

◆ 电子束检测是先进制程关键设备

- 随着集成电路工艺节点减小，缺陷尺寸减小、缺陷密度增加、漏检风险逐渐提升，受益加速电压下的波长优势，电子束检测技术精度较高，且对于电性缺陷具有独特的识别能力。先进制程及其配套产业链或将成为大基金三期的重点发力方向，半导体前道量检测设备目前国产化率仅个位数，电子束检测设备是先进制程芯片良率的关键保障，未来有望加速发展。

◆ 国内电子束检测设备市场有望快速发展

- 我们测算，2024/2025年全球半导体量检测设备市场空间分别为159/196亿美元，中国大陆半导体量检测设备市场空间分别为55/68亿美元，全球电子束量检测设备市场空间分别约为25/34亿美元，其中，电子束关键尺寸量测市场空间分别为11/15亿美元，电子束缺陷检测市场空间分别为6/8亿美元，电子束缺陷复查设备市场空间分别为8/10亿美元。

◆ 电子束检测设备国产替代空间广阔

- 根据VLSI数据统计，2023年全球半导体量检测设备行业CR5超过84%，主要供应商包括KLA、应用材料、日立等，其中柯磊半导体市占率高达55.8%。电子束检测设备方面，根据应用材料数据统计，2021年应用材料、日立、阿斯麦、KLA等企业的全球市占率分别为50%、28%、15%、6%，电子束检测设备国产供应商较为稀缺。

◆ 投资建议：关注本土设备商产品进展

- 电子束检测设备国产替代有望加速，维持半导体前道量检测设备行业“推荐”评级。建议关注精测电子、东方晶源（未上市）、中微公司、中科飞测。1）精测电子：半导体产品持续完善，明场检测持续发展，DR-SEM国内领先；2）东方晶源（未上市）：聚焦电子束检测、计算光刻等产品，CD-SEM应用广泛，积极布局DR-SEM；3）中微公司：刻蚀设备国内领跑者，加速布局量检测赛道，或将发力电子束检测市场；4）中科飞测：聚焦半导体量检测，产品种类持续丰富。

- ◆ **风险提示：**半导体设备国产替代不及预期；行业竞争加剧风险；市场空间测算偏差风险；重点关注公司业绩不及预期；研究报告使用的公开资料可能存在信息滞后或更新不及时的风险。

- 1、电子束检测是先进制程关键设备
- 2、国内电子束检测设备市场有望快速发展
- 3、电子束检测设备国产替代空间广阔
- 4、风险提示与投资建议

1、电子束检测是先进制程关键设备

◆ 根据不同工序，半导体检测分为前道量检测、后道检测及实验室检测，其中，前道量检测主要应用于晶圆加工环节，目前以厂内产线在线监控为主；后道检测主要应用于晶圆加工后的芯片电性测试及功能性测试，目前主要分为第三方测试和厂内产线在线监控；实验室检测主要针对失效样品进行缺陷定位和故障分析，目前主要分为第三方实验室检测和厂内自建实验室。

图表1：半导体检测分类（按工序）

半导体生产环节		前道量检测	后道检测	实验室检测
芯片设计	逻辑设计		可应用于测试设计阶段流片后产品的有效性	
	电路设计			
	图形设计			
晶圆制造	生长	针对生产过程中的晶圆进行检测与量测，包括晶圆结构缺陷检测、薄膜厚度量测等，主要为物理性测试		针对半导体各类型样品进行检测分析，包括失效分析（FA）、材料分析（MA）、可靠性分析（RA）等，该类检测分析贯穿半导体产业链
	切磨			
	外延			
	氧化			
	光刻			
	刻蚀			
	曝光			
芯片封装	清洗			
	切片		针对加工完的晶圆进行晶圆测试（CP），封装后的芯片进行成品测试（FT），主要为电性测试及功能性测试	
	装片			
	连线			
	封装			
原材料生产				
半导体设备				
终端产品				

资料来源：胜科纳米招股说明书，国海证券研究所

图表2：半导体检测对比（按工序）

半导体生产环节	前道量检测	后道检测	实验室检测
检测对象	加工中的晶圆	加工后的晶圆封装后的芯片	产业链任一环节的样品
检测项目	薄膜厚度量测、晶圆图形缺陷检测等	晶圆测试（CP）、成品测试（FT）等	失效分析（FA）、材料分析（MA）、可靠性分析（RA）等
检测方式	全检	全检	非全检，针对特定失效样品检测或针对完好样品的抽检
	非破坏性	非破坏性	破坏性、非破坏性
主要检测目的	控制生产工艺缺陷	监控前道工艺良率、保证出厂产品合格率	确定样品失效原因、测定材料结构与成分、验证产品可靠性
服务机构	厂内产线在线监控	厂内产线在线监控	厂内自建实验室
		第三方测试	第三方实验室检测

资料来源：胜科纳米招股说明书，国海证券研究所

◆ 前道量检测设备具有两大类功能，一是确保IC产线量产良率，二是定量监控生产设备，为设备验收、维保提供依据。按技术手段，前道量检测设备主要分为光学检测、电子束检测以及X光检测设备，本文旨在分析电子束检测设备的基本原理、发展趋势、供求状况。

图表3：前道量检测分类

分类标准	主要类型		工艺环节	检测内容
基本功能	量测		离子注入、扩散、抛光、刻蚀、曝光等环节	检测晶圆电路上的结构尺寸和材料特性，如薄膜厚度、关键尺寸、刻蚀深度、表面形貌等物理参数，以及套壳对准的偏差测量。
	检测		离子注入、扩散、抛光、刻蚀、曝光等环节	检测晶圆表面或电路结构是否出现异质情况，如颗粒污染、表面划伤、开短路等缺陷。
技术手段	接触式	探针等	多环节	通过触针与被测物体的表面近距离接触，将物体表面的形貌信息通过探针和传感器传送给计算机。
	非接触式	光学	各环节	基于光学原理，通过对光信号进行计算分析以获得检测结果。
		电子束	多环节(研发或先进制程较多)	通过聚焦电子束扫描样片表面产生样品图像以获得检测结果。
		X光	特定场景	基于X光的穿透力强及无损伤特性进行特定场景的测量。

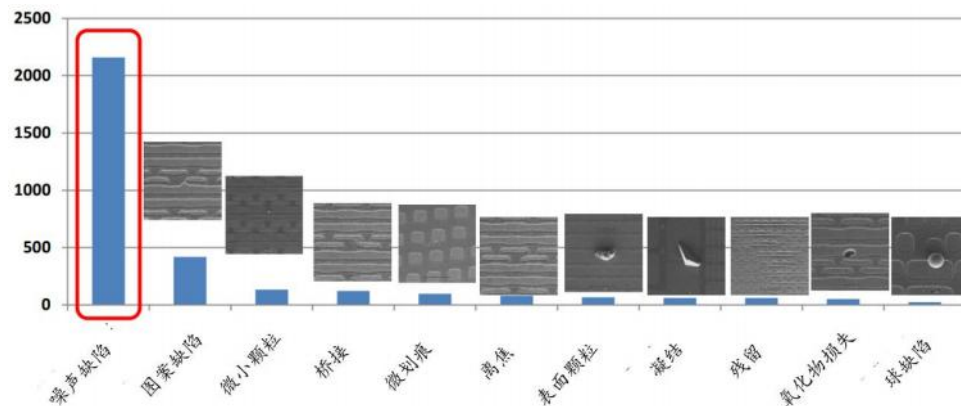
资料来源：中科飞测招股说明书，国海证券研究所

- ◆ **光学检测存在分辨率瓶颈。**分辨率是指仪器能够清晰分开两点间的最小距离，根据abbe公式，仪器分辨率的提升方式主要包括：1) 减小照明波长，2) 增大孔径角。入射波长是影响光学显微镜分辨率的主要因素，受可见光波长范围（400-760nm）的限制，光学显微镜的极限分辨率约为200nm。
- ◆ **先进制程对光学检测提出较大挑战。**光学检测目前是半导体质量控制的主要技术，具有速度快、无接触、易于在线集成等优势。为了提高检测精度，目前最先进的量检测设备所使用的光源波长已包含DUV波段，同时不再单纯依靠解析晶圆上的图案来捕捉缺陷，而是通过结合深度的图像信号处理软件和算法，在有限的信噪比图像中寻找微弱的异常信号，能够检测的制程水平进一步提升。然而随着工艺节点继续发展，相比真正的缺陷，噪声在检测结果中的比例显著提升，光学检测在先进节点应用中的可靠性降低。

图表4：分辨率计算公式（abbe公式）

$$\sigma = \frac{0.61\lambda}{n * \sin\alpha}$$

图表5：28nm明场检测缺陷分布



资料来源：《电显微镜技术与应用》徐柏森等，国海证券研究所
注： δ 是分辨率， λ 是照明波长， n 是镜头折射率， α 是物体与物镜间所成夹角（孔径角）的1/2

资料来源：《28 纳米关键工艺缺陷检测与良率提升》龙吟，国海证券研究所

◆ 电子束检测能够显著提升分辨率。电子在加速电压下运动，其波长可达可见光波长的十万分之一，使用电子波作为照明源能够显著提升仪器分辨率。电子显微镜是以电子束作为照明源，通过电磁透镜成像，并与机械、电子和高真空技术相结合而构成的综合性电子光学仪器，目前主要包括扫描电子显微镜（SEM）、透射电子显微镜（TEM）、扫描透射电镜（STEM）、原子力显微镜（AFM）、分析电镜、超高压电镜等。

图表6：不同加速电压下的电子波波长值

加速电压（V）	电子波波长（Å）	加速电压（V）	电子波波长（Å）
1	12.26	50000	0.0536
10	3.88	60000	0.0487
100	1.23	70000	0.0449
1000	0.388	80000	0.0418
10000	0.122	100k	0.037
30000	0.0698	200k	0.0251
40000	0.0601	1000k	0.00687

资料来源：《电显微镜技术与应用》徐柏森等，国海证券研究所
注：公式 $\lambda = h/(m \cdot v)$ ，其中，h是普朗克常数，m是电子静止质量，v是电子运动速度
注：可见光波长约为4000–7600Å，1Å=0.1nm

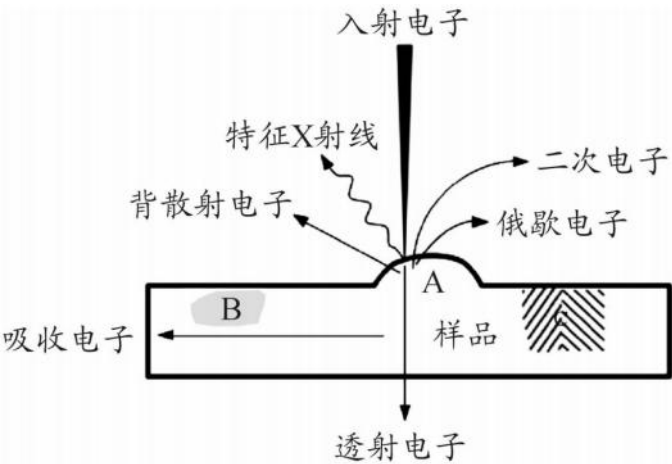
图表7：部分电子显微镜对比

	扫描电子显微镜（SEM）	透射电子显微镜（TEM）	原子力显微镜（AFM）
基本原理	电子束以扫描形式轰击在样品上，产生二次电子等信息，再将二次电子等信息收集起来放大成像	电子束投过样品直接放大成像	通过极细的悬臂接近样品，并检测出样品表面与悬臂之间作用力（原子力），用于观察样品表面形态。
加速电压	一般为1–30kV	一般为25–120kV	—
分辨率	高，一般为30–60Å	高，点分辨率约为1.5Å	极高，0.1Å
图像特征	景深长，图像层次丰富，立体感强，三维结构图像	视场小，一般为二维结构平面图像	观察视野小，可在大气或液体环境下，对样品表面的光洁度和磁力、摩擦力、静电力等各种力进行测量

资料来源：《电子显微技术与应用》徐柏森等，国海证券研究所

◆ 二次电子是扫描电子显微镜的主要成像信号。扫描电子显微镜（SEM）的基本原理是，利用电子枪发射电子束经聚焦后在试样表面作光栅状扫描，通过检测电子与试样相互作用产生的各类信号（二次电子、背散射电子、吸收电子、俄歇电子和特征X射线等），分析试样表面的成分、形貌及结构。在扫描电子显微镜（SEM）中，用于成像的信号主要是二次电子，其次是背散射电子和吸收电子，用于分析成分的信号主要是X射线和背散射电子。

图表8：入射电子与各类信号



资料来源：《扫描电子显微镜成像模式在金属材料研究中的选用》杨显等

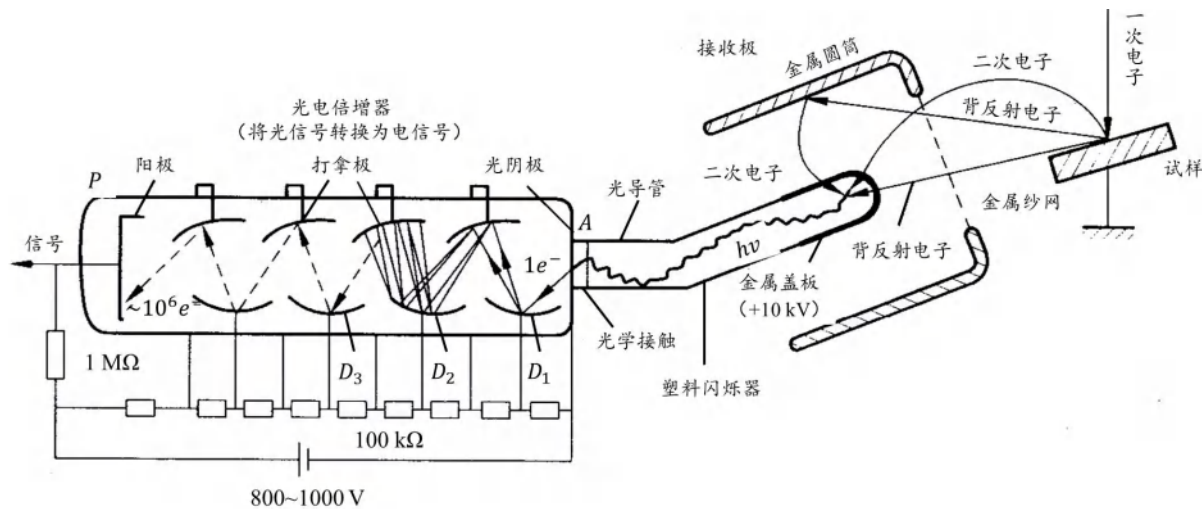
图表9：二次电子、背散射电子、特征X射线对比

电子信号	产生方式	主要用途	分析深度	分辨率
二次电子	被入射电子激发出来的试样原子中的外层电子	表面形貌分析	<10nm	一般3~6nm
背散射电子	入射电子在试样中经散射后再从表面射出来的电子	表面形貌分析、成分分析	0.1~1μm	一般50~200nm
特征X射线	入射电子将试样原子内层电子激发后，外层电子向内层电子跃迁时产生的具有特殊能量的电磁辐射	元素分析	0.5~5μm	较差

资料来源：《扫描电镜的基本原理及应用》余凌竹等，国海证券研究所

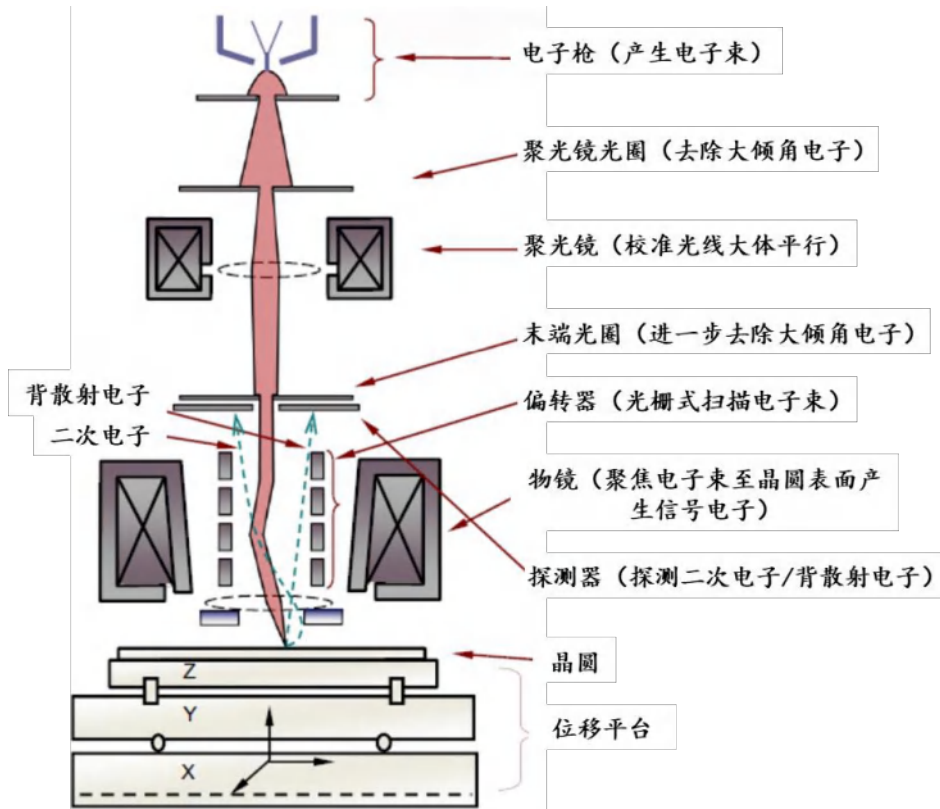
- ◆ **电子光学系统是扫描电子显微镜的核心部分。**扫描电子显微镜基本结构包括电子光学系统、信号收集处理系统、图像显示和记录系统、真空系统、电源及控制系统五个部分，其中，电子光学系统为核心部分。扫描电子显微镜的研制难点在于高质量电子光学系统生产困难、透镜内探测器设计难度较大以及低电压分辨率需要突破。
- **电子光学系统：**作用是产生束斑小、强度高的电子束流，由电子枪、聚光镜、扫描线圈、样品室等部件组成，其中，**电子枪（照明源）**是决定电镜性能的重要因素。
- **信号检测显示系统：**作用是收集二次电子、背散射电子等信号，并进行放大，由闪烁器、光电管、光电倍增管和前置放大器等部件组成。
- **图像显像管和记录装置：**作用是将调制信号通过显像转换成图像。
- **真空系统：**作用是减少电子的能量损失，减少电子光路的污染并提高灯丝的寿命。

图表10：二次电子和背反射电子收集器示意图



资料来源：《电子显微分析》章晓中

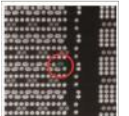
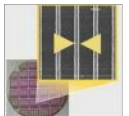
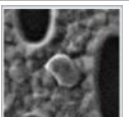
图表11：电子束检测设备的基本结构



资料来源：HMI

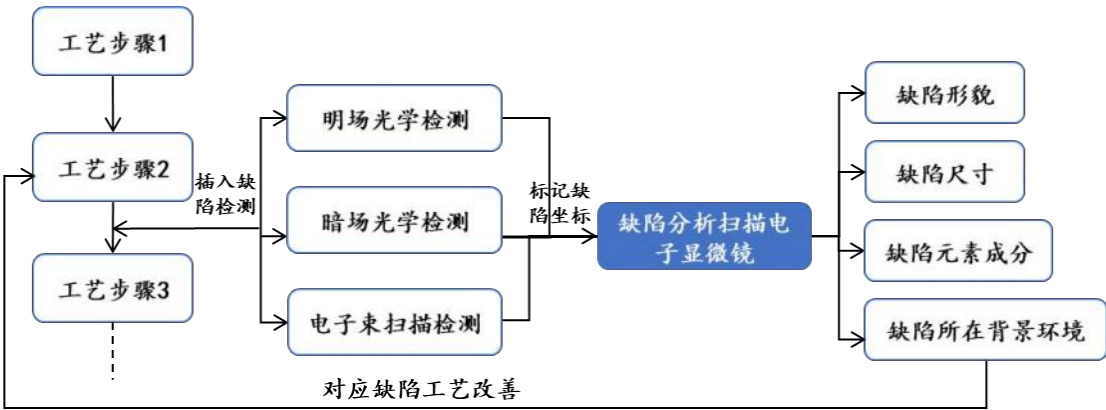
- ◆ 半导体前道量检测领域，常见电子束检测设备主要包括电子束缺陷检测设备（EBI）、电子束缺陷复查设备（DR-SEM）和电子束关键尺寸量测设备（CD-SEM）。
- 电子束缺陷检测设备（EBI）：相比普通光学检测设备，EBI对于物理缺陷具有更高分辨率，并能通过电压衬度检测隐藏缺陷。受限于检测速度，主要用于抽样检测。
- 电子束缺陷复查设备（DR-SEM）：根据光学检测或电子束检测设备提供的坐标，对缺陷进行复检分析。
- 电子束关键尺寸量测设备（CD-SEM）：用于测量图形关键尺寸，相比普通SEM，CD-SEM的一次电子束能量较低，注重高精度、高速度、自动化的尺寸测量。

图表12：电子束检测设备主要类型

设备类型	检测内容	检测图像
EBI	物理缺陷，如颗粒、凸出、桥接、空穴等	
	电性缺陷，如是否导通	
CD-SEM	光刻后器件图案关键尺寸，刻蚀工艺后接触孔、通路孔直径和线条宽度	
DR-SEM	根据光学检测或电子束检测设备提供的坐标，对缺陷进行复检分析	

资料来源：AMAT，日立高新，《基于晶圆栅格标准样片的特征尺寸扫描电子显微镜放大倍数在线校准》金红霞等，《用于集成电路制造中良率监控的国产化电子束缺陷检测设备》蒋俊海等，国海证券研究所

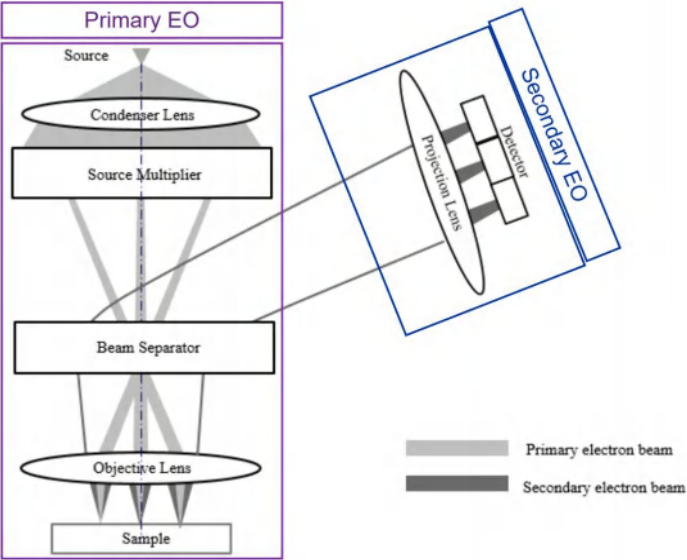
图表13：缺陷检测和缺陷分析流程



资料来源：《集成电路产业全书》王阳元，国海证券研究所

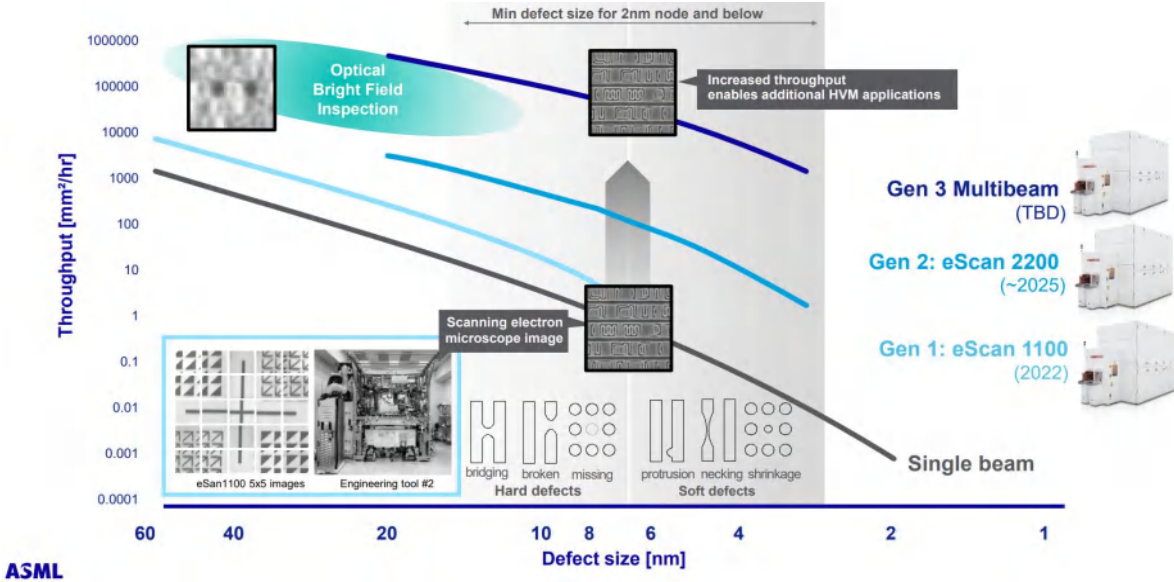
◆ 多电子束方案能够提升检测速度。传统SEM的最大成像速度始终受到库伦相互作用、探测器带宽的限制，可以通过多电子束方案提升检测效率，是电子束检测的重要方向；然而，根据《集成电路产业全书》，若要达到与光学检测相同的检测速度，需要实现数百甚至数千电子束的并行运行，设备成本将会大幅提升，研究热点是在系统复杂性、整机成本与检测效率之间取得平衡。

图表14：HMI多电子束系统结构



资料来源：ASML

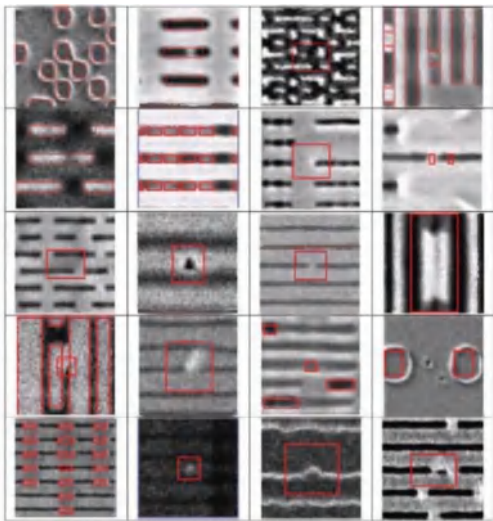
图表15：ASML多电子束系统持续迭代



资料来源：ASML

◆ 电子束检测市场有望快速增长。根据VLSI统计，2023年全球半导体前道量检测设备市场中，光学、电子束、X光技术占比分别为81.4%、14.2%、2.3%。相比光学检测技术，电子束技术速率较慢、设备成本较高，然而检测精度较高。根据MMR，2022年全球电子束检测市场中，1nm以下应用占比过半，随着集成电路工艺节点减小，缺陷尺寸减小、缺陷密度增加、漏检风险逐渐提升，电子束检测技术具有显著的分辨率优势，且对于电性缺陷具有独特的识别能力，2022-2029年全球电子束检测市场有望快速增长，CAGR预计为19.9%，2029年10nm以上应用将成为电子束技术的主要市场。

图表16：电子束可与光学检测技术互补



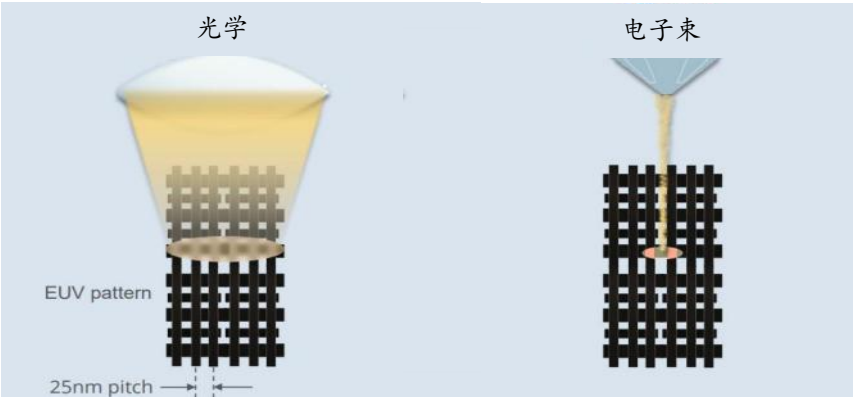
资料来源：《E-Beam Inspection and Metrology: Developments and Applications in Lithography》ASML
注：以上缺陷未被任何光学检测技术识别

图表17：对比光学检测技术和电子束检测技术（1）

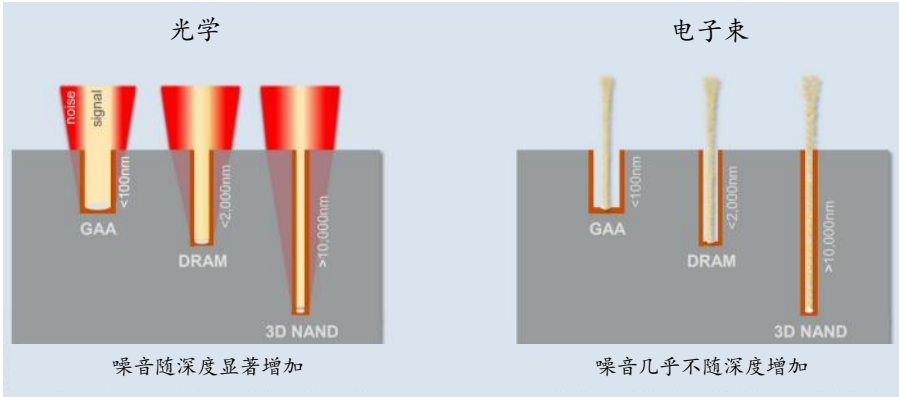
技术	代表设备	基本原理	优点	不足	发展方向
光学技术	成像式 光学显微镜	通过获得最佳焦平面处待测样品的成像信息，并结合相关图像处理算法以提取待测参数。	测量过程简单、直观	受光学衍射极限的限制，传统显微成像技术在可见光波段最小仅能分辨约200nm的样品特征。	提高光学分辨率，并结合图像信号处理算法，进一步提高检测精度。
	非成像式 反射仪	通过测量待测样品在不同波长或入射角下的反射率信息，并结合逆问题求解相关方法来提取待测参数。	不受光学衍射极限的限制，可用于亚波长和深亚波长纳米结构的测量。	通常涉及复杂的逆问题求解	
电子束技术	扫描电子显微镜（SEM）	电子束轰击晶圆表面，产生二次电子、背散射电子、X射线等，一般二次电子和背散射电子将被检测器收集并转换成晶圆表面灰度图像，交由计算机进行图像处理。	测量精度高，设备灵敏度高	测量速度慢、设备成本高、操作较复杂	提升检测速度、吞吐量，单一电子束向多通道电子束发展。

资料来源：《集成电路制造在线光学测量检测技术：现状、挑战与发展趋势》陈修国等，中科飞测招股说明书，国海证券研究所

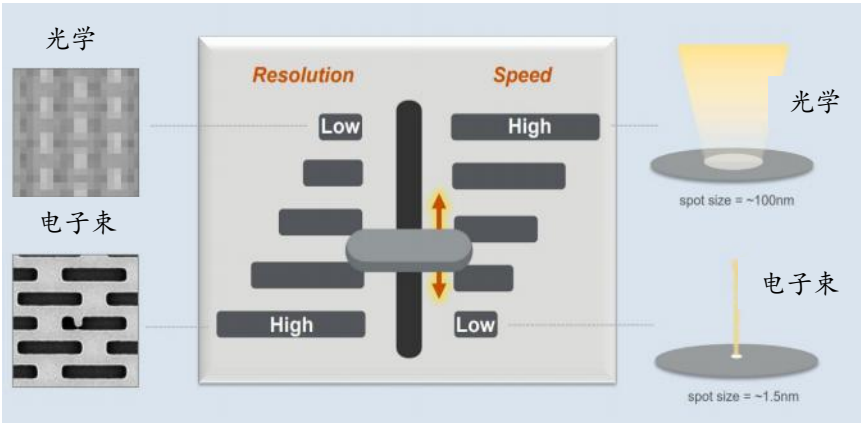
图表18：对比光学检测技术和电子束检测技术（2）



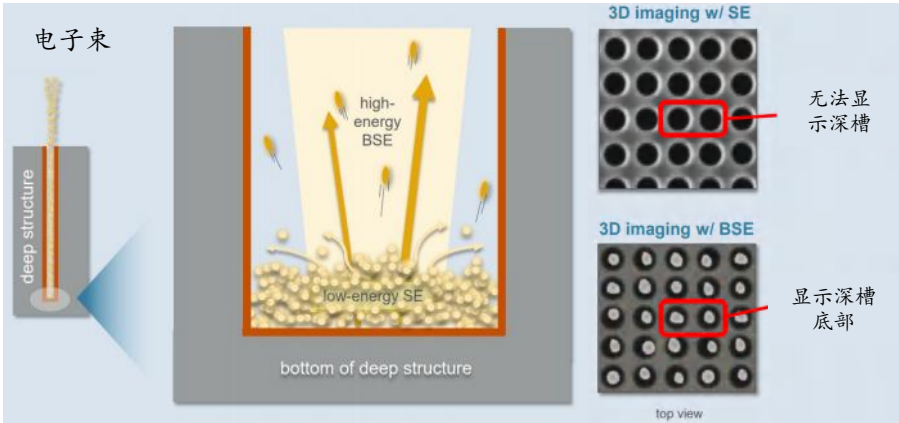
电子束设备能够检测EUV图案中的细小缺陷和关键尺寸



电子束的束斑直径较细能够检测3D结构和埋藏缺陷



电子束设备分辨率较高、速度较慢



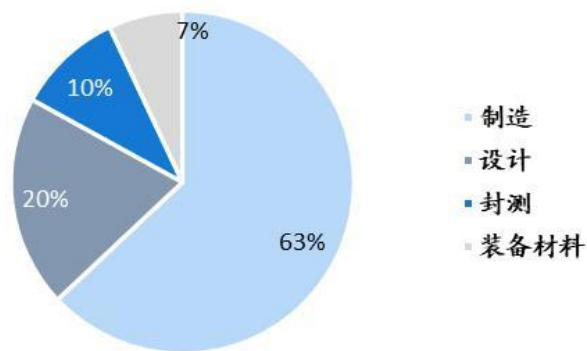
电子束设备通过背散射电子更好呈现3D结构

资料来源：AMAT

2、国内电子束检测设备市场有望快速发展

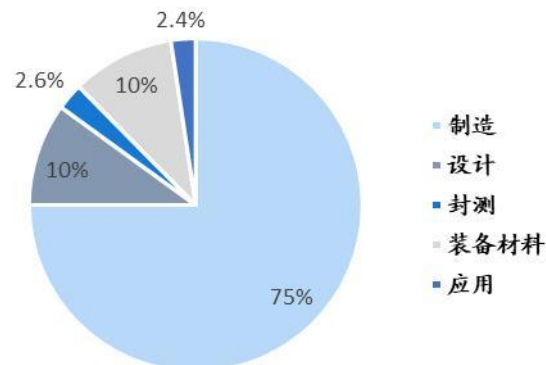
- ◆ 国家集成电路产业投资基金三期（简称“大基金三期”）于2024年5月24日正式成立，注册资本3440亿元，资金规模超过大基金一期（987.2亿元）、大基金二期（2041.5亿元）总和。
- 大基金一期：主要聚焦于集成电路制程环节，根据皮书数据库，截至2018年6月，制造、设计、封测和装备材料等领域投资占比分别为63%、20%、10%和7%。
- 大基金二期：在产业链上游设备、零部件及材料的投资力度加大，根据芯思想统计，截止2022年3月31日，晶圆制造、集成电路设计工具及芯片设计、封装测试、装备/零部件/材料、应用等领域投资占比分别为75%、10%、2.6%、10%和2.4%。
- 大基金三期：考虑我国在先进制程上的短板，以及配套的上游设备、零部件、材料、EDA及IP等供应链存在“卡脖子”问题，先进制程及其配套产业链或将成为大基金三期的重点发力方向。半导体前道量检测设备目前国产化率仅个位数，电子束检测设备是先进制程芯片良率的关键保障，未来有望加速发展。

图表19：大基金一期资金投向



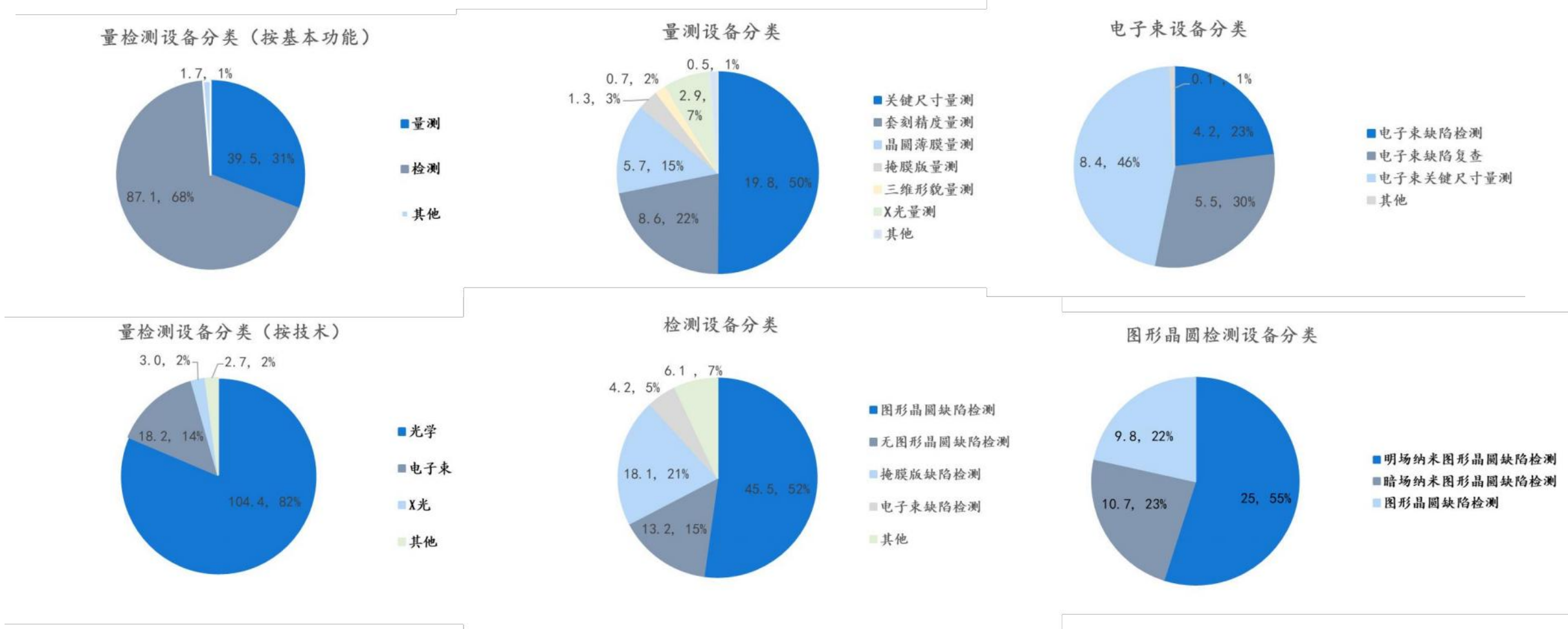
资料来源：皮书数据库，国海证券研究所
注：截至2018年6月

图表20：大基金二期资金投向



资料来源：芯思想，国海证券研究所
注：截至2022年3月31日

图表21：2023年全球半导体量检测市场结构（亿美元）



资料来源：VLSI，中科飞测公告，国海证券研究所
注：晶圆薄膜量测设备包含晶圆金属薄膜量测设备、晶圆介质薄膜量测设备，关键尺寸量测设备包含电子束关键尺寸量测设备，掩膜版量测设备是指掩膜版关键尺寸量测设备，图形晶圆缺陷检测设备包含明场纳米图形晶圆缺陷检测设备、暗场纳米图形晶圆缺陷检测设备。

- ◆ 根据VLSI统计，2020/2023年全球量检测设备市场空间为76.5/128.3亿美元，CAGR为18.8%；2023年全球半导体量测/检测设备市场空间分别为39.5/87.1亿美元，光学/电子束/X光检测设备市场空间分别为104.4/18.2/3.0亿美元。
- ◆ 我们测算，2024/2025年全球半导体量检测设备市场空间分别为159/196亿美元，中国大陆半导体量检测设备市场空间分别为55/68亿美元，全球电子束量检测设备市场空间分别约为25/34亿美元，其中，电子束关键尺寸量测市场空间分别为11/15亿美元，电子束缺陷检测市场空间分别为6/8亿美元，电子束缺陷复查设备市场空间分别为8/10亿美元。
- 假设1：2023年全球半导体设备市场中，半导体量检测设备的市场份额为12%，2024/2025年逐年+1%。
- 假设2：2024/2025年全球量测/检测设备的市场份额维持2023年30.8%/67.9%；量测设备中，关键尺寸/套刻精度/晶圆薄膜/掩膜版/三维形貌量测设备的市场份额维持2023年15.5%/6.7%/4.5%/1.1%/0.6%，其中，晶圆介质薄膜量测/晶圆金属薄膜量测设备的市场份额维持2023年3.9%/0.6%；检测设备中，图形晶圆/掩膜版缺陷检测/无图形晶圆缺陷检测设备的市场份额维持2023年35.6%/14.1%/10.3%，其中，明场纳米图形晶圆缺陷检测/暗场纳米图形晶圆缺陷检测/晶图形晶圆缺陷检测设备的市场份额维持2023年19.5%/8.4%/7.7%；
- 假设3：随着先进制程、复杂器件的持续发展，电子束检测技术优势愈发明显，2024/2025年电子束技术的市场份额相比2023年14.2%逐年+1.5pct，光学技术的市场份额相比2023年81.4%逐年-1.3pct，X光技术的市场份额相比2023年2.3%逐年-0.2pct；电子束技术中，2023年电子束关键尺寸量测/电子束缺陷检查/电子束缺陷复查设备设备的市场份额分别为6.6%/3.3%/4.3%，2024/2025年逐年+0.5pct/+0.5pct/+0.5pct。
- 假设4：2024/2025年中国大陆半导体设备的全球市场份额维持2023年的34.4%，量检测设备的全球市场份额与半导体设备一致。

2024年全球电子束量检测设备市场空间约25亿美元

图表22：2023-2025年全球/中国大陆半导体量检测设备市场空间（亿美元）

		2023	2024E	2025E	
全球	半导体设备		1063	1214	1396
	量检测设备		128	159	196
	占比		12%	13%	14%
	yoy			23.7%	23.8%
	分类1: 量/检测	量测设备	39.5	48.9	60.5
		占比	30.8%	30.8%	30.8%
		关键尺寸量测	19.8	24.6	30.4
		占比	15.5%	15.5%	15.5%
		套刻精度量测	8.6	10.6	13.2
		占比	6.7%	6.7%	6.7%
		晶圆薄膜量测	5.7	7.1	8.8
		占比	4.5%	4.5%	4.5%
		晶圆介质薄膜量测	5.0	6.2	7.7
		占比	3.9%	3.9%	3.9%
		晶圆金属薄膜量测	0.7	1.0	1.2
		占比	0.6%	0.6%	0.6%
		掩膜版量测	1.3	1.7	2.2
		占比	1.1%	1.1%	1.1%
		三维形貌量测	0.7	1.0	1.2
		占比	0.6%	0.6%	0.6%
		检测设备	87.1	107.7	133.4
		占比	67.9%	67.9%	67.9%
		图形晶圆缺陷检测	45.5	56.5	69.9
		占比	35.6%	35.6%	35.6%
		明场纳米图形晶圆缺陷检测	25.0	30.9	38.3
		占比	19.5%	19.5%	19.5%
		暗场纳米图形晶圆缺陷检测	10.7	13.3	16.5
		占比	8.4%	8.4%	8.4%
		晶图形晶圆缺陷检测	9.8	12.2	15.1
		占比	7.7%	7.7%	7.7%
		掩膜版缺陷检测	18.1	22.4	27.7
		占比	14.1%	14.1%	14.1%
		无图形晶圆缺陷检测	13.2	16.3	20.2
		占比	10.3%	10.3%	10.3%
		电子束缺陷检测	4.2	6.0	8.4
		占比	3.3%	3.8%	4.3%

				2023	2024E	2025E
全球	分类2: 技术方式	光学		104.4	127.1	154.8
		占比		81.4%	80.1%	78.8%
		电子束		18.2	24.9	33.8
		占比		14.2%	15.7%	17.2%
		电子束关键尺寸量测		8.4	11.3	14.9
		占比		6.6%	7.1%	7.6%
		电子束缺陷检测		4.2	6.0	8.4
		占比		3.3%	3.8%	4.3%
		电子束缺陷复查		5.5	7.6	10.4
		占比		4.3%	4.8%	5.3%
中国大陆		X光		3.0	3.3	3.7
		占比		2.3%	2.1%	1.9%
		半导体设备		366	418	481
		全球占比		34.4%	34.4%	34.4%
		量检测设备		44	55	68
		全球占比		34.4%	34.4%	34.4%
		yoy		23.7%	23.8%	

资料来源：SEMI，VLSI，QYResearch，中科飞测公告，国海证券研究所

3、电子束检测设备国产替代空间广阔

◆ 全球电子束检测设备市场集中度较高，欧美、日本企业处于垄断地位。根据VLSI数据统计，2023年全球半导体量检测设备行业CR5超过84%，主要包括KLA、应用材料、日立等，其中柯磊半导体市占率高达55.8%。电子束检测设备方面，根据应用材料统计，2021年应用材料、日立、阿斯麦、KLA等企业市占率分别为50%、28%、15%、6%。

图表23：全球主要电子束检测设备供应商（亿美元）

公司	注册地	营收			净利润			毛利率			电子束检测设备（2021）			量检测设备（2020）		
		2022	2021	2020	2022	2021	2020	2022	2021	2020	收入	收入占比	市占率	收入	收入占比	市占率
应用材料	美国	257.9	230.6	172.0	65.3	58.9	36.2	47%	47%	45%	10.8	5%	50%	8.8	5%	12%
日立	日本	818.5	840.2	791.1	48.8	47.8	45.5	25%	25%	25%	6.0	1%	28%	6.8	1%	9%
阿斯麦	荷兰	225.7	210.8	171.9	59.9	66.6	43.7	51%	53%	49%	3.2	2%	15%	4.0	2%	5%
KLA	美国	92.1	69.2	58.1	33.2	20.8	12.2	61%	60%	58%	1.4	2%	6%	38.9	67%	51%

资料来源：wind，中科飞测招股书，AMAT，国海证券研究所
注：各公司营收、净利润、毛利率均为财年数据，量检测设备收入及全球市占率为2020年数据

图表24：应用材料发展历程

时间	事件
1967	公司成立
1972	美国纳斯达克上市
1979	日本分公司成立，正式进军亚洲
1980	收购英国Lintott Engineering, Ltd.（离子注入）
1984	首家进入中国的外资半导体设备供应商
1985	发布Precision Implant 9000（首台全自动离子注入机）
1992	超越TEL成为全球最大的半导体设备制造商
1997	收购Opal Technologies（CD-SEM）、Orbot Instruments（成品率提高系统）
1998	收购Consilium（MES系统）
1999	收购Obsidian Inc.（CMP技术）
2000	收购Etec Systems（掩膜板制造）
2001	收购Schlumberger（电子束晶圆检测）、Oramir（半导体晶片激光清洗技术）
2004	收购Metron Technology N.V.（提供原料管理、厂房清洁、专业设备和厂房维护等服务）
2005	收购SCP Global Technologies的湿法工艺和硅片清洗部门
2006	收购Applied Films，进入太阳能设备市场
2007	收购Brooks Software（半导体和平板显示工厂管理和控制软件）
2009	收购Semitool（晶圆级封装和存储器铜互连工艺）
2011	收购Varian（离子注入）
2013	拟收购东京电子（2015年取消合并）
2019	拟收购国际电气（2021年终止合作）
2022	收购Picosun（ALD）

资料来源：iFinD，电子工程专辑，光纤在线，电子信息产业网，老古网，应用材料官网，techweb，芯智讯，国际电子商情，国海证券研究所

图表25：ASML发展历程

时间	事件
1984	公司成立；推出PAS 2000步进光刻机（油压）
1986	推出首台步进设备PAS 2500，与卡尔蔡司达成战略合作
1988	光刻机进入亚洲市场
1989	推出PAS 5000（分辨率500nm/套准精度100nm）
1991	推出PAS 5500系统（至今仍是公司最长青型号，分辨率400nm-90nm，套准精度100nm-12nm）
1995	纳斯达克与阿姆斯特丹交易所上市
1998	HMI成立
1999	收购MicroUnity Systems Engineering Inc.业务部门MaskTools（改善光刻机的扫描和成像能力）
2001	收购SVG（投影掩罩瞄准技术、扫描技术）
2003	推出TWINSCAN AT:1150i（浸入式技术）
2003	首台电子束检测系统eScan300成功开发
2004	HMI将总部搬到台湾新竹
2006	发布TWINSCAN XT:1700i（首台量产的浸入式设备）
2007	收购BRION（光刻解决方案提供商）的计算光刻技术；推出首台浸液式设备TWINSCAN XT:1900i
2008	首台YieldStar（250D）系统出货
2010	交付首台EUV设备NXE:3100，开启EUV光刻新时代
2012	收购Wijdevan Motion（晶圆和光罩平台制造组件）
2013	收购Cymer（光刻激光器制造），对量产EUV起决定性作用；交付第二代EUV光刻机NXE:3300
2015	交付第三代EUV光刻机NXE:3350
2016	收购HMI（电子束检测设备）；收购卡尔蔡司SMT的24.9%股权，发展下一代EUV微影系统
2017	HMI开发出电子束模式保真量测系统ePfm5
2020	收购Berliner Glas（光学制造和晶圆卡盘技术）；EUV光刻机进入量产阶段，累计交付100台
2024	下一代高数值孔径（0.55）EUV平台的EXE系统交付给英特尔，TWINSCAN EXE:5000分辨率从EUV的13nm提升到8nm。

资料来源：芯智讯，电子工程专辑，快科技，第一财经，激光制造网，国海证券研究所

图表26：KLA发展历程

年份	事件
1977	Tencor推出首款产品Alpha-Step，显著改善了台阶高度测量
1984	Tencor推出Surfscan产品，提高基于激光扫描技术的颗粒和污染检测的标准
1997	KLA-Tencor成立，由KLA仪器和Tencor仪器合并而成
1998	收购Nanopro GmbH(使用先进干涉测量技术进行晶圆形状和厚度测量的公司)、Amray, Inc(扫描电子显微镜系统供应商)、收购VARS(图像存档和检索系统开发商)、Keithley Instruments(测量和仪器公司)Quantox氧化物监测产品系列
1999	收购Uniphase Corp. (生产用于分析硅片缺陷)、Acme Systems, Inc. (良率分析软件的领先供应商)
2000	收购Finle Technologies, Inc. (光刻建模和分析软件开发商)、Fab Solutions(先进过程控制软件开发商)
2001	收购Phase Metrics, Inc(产量管理和过程控制公司)
2004	收购Candela Instruments, Inc.、Inspex, Inc. (均为表面检测系统制造商)晶圆检测系统业务
2006	收购ADE公司(硅片计量及相关齿轮供应商)
2007	收购OnWafer Technologies(光刻和等离子蚀刻产品制造商)、SensArray Corporation (温度监测公司)、Therma-Wave Corporation(过程控制和计量公司)
2008	收购ICOS Vision Systems Corporation NV (测试和测量公司)、Vistec Semiconductor Systems, Inc. 的微电子检测设备 (MIE) 业务部门
2010	收购Ambios technology, Inc(技术硬件公司)
2014	收购Luminescent Technologies, Inc(计算光刻和检测公司)
2017	收购Zeta Technologies Co. Ltd. (光学轮廓和检测公司)
2018	从Keysight Technologies收购纳米压头产品线，收购Orbotech(以色列自动光学检测设备供应商)
2019	更名为KLA Corporation；宣布完成对Orbotech的收购
2021	推出新的汽车芯片检测产品

资料来源：KLA官网，洛杉矶时报，半导体在线，电子工程专辑，photonicsonline，electronicsweekly，vision-system，marketscreener，merge，IPIRA，electronicdesign，国海证券研究所

图表27：应用材料电子束检测设备

型号	性能与特征	图示
PROVision™ 3E	1、检测范围包括3nm晶圆代工逻辑芯片、全环绕栅极（GAA）晶体管以及下一代 DRAM和3D NAND。 2、具备当下可实现的最高电子密度，能够以1000万次/h的准确与可行的测量速度、对1nm的分辨率进行精细成像。 3、公司独特的Elluminate™技术能够捕获95%的背散射电子，以便同时快速测量多个层面上的关键尺寸和边缘布局。 4、电子束能级分布广泛，包括用于快速测量数百纳米深度的高能模式，以及用于无损测量各种脆性材料和结构（包括EUV光刻胶）的低能模式。	
PrimeVision™ 10	1、将新型冷场发射（CFE）技术与业界一流的背散射电子（BSE）检测相结合，成像速度和灵敏度大幅提升，可检测各类型缺陷：叠层中的隐藏缺陷、深沟槽缺陷、纳米级图案偏差和电气缺陷。 2、高电流密度结合新型高功率激光器，能以更高的灵敏度、更快的电势差成像速度来检测短路、断路和漏电流。 3、基于图形数据系统（GDS）的分档方案，将每项缺陷与其 GDS 位置相匹配，进一步提高灵敏度，改善分类准确性。	
SEMVision™ G10 (缺陷复查)	1、集成冷场发射（CFE）技术，提供亚纳米级分辨率（是实现在减少10倍eBeam电子束剂量下进行EUV光刻胶复查的关键）。 2、无图案晶圆缺陷检测方面，G10利用增强的光源和新型光学元件，可对13nm以下的缺陷进行光学检测。 3、Purity™ ADC（自动缺陷分类）引擎具备先进机器学习能力，可以过滤掉干扰性的虚假缺陷，还可以就影响良率的缺陷提供高质量与全分类的帕累托图。	
VeritySEM™ 10 (CD-SEM)	1、专用于测量EUV和高数值孔径EUV图形化所形成特征的关键尺寸，采用亚纳米级电子束分辨率，可快速捕获晶圆上介于13-36 个精确CD的测量值。 2、采用较低能量的电子束，最大限度减少与EUV和高数值孔径EUV更薄、更易损的光刻胶发生相互作用，以保持图案的保真度。 3、采用背散射电子（BSE）技术，配备全新的探测器架构，用于3D和GAA极高深宽比特征的量测，将匹配紧密度提高达50%，并能实现更高分辨率电子偏折（eTilt）成像。	
VeritySEM™ 5i (CD-SEM)	1、具备独特的内嵌三维功能，可对1x nm及以下的逻辑和存储器件进行量产规模的测量。 2、配备最先进的高分辨率SEM镜柱，可测量小至6nm的尺寸，柱内倾斜波束可实现 3D FinFET测量。 3、离线工艺参数生成器（ORG）通过外部服务器提供工作参数编辑功能，支持多个用户利用离线计算机辅助设计来建立工作参数，大幅提高使用率。 4、配有OPC CheckMax，可自动完成光学邻近效应修正（OPC）掩膜鉴定过程。	
VeritySEM™ 6C (CD-SEM)	1、作为VeritySEM 6i系统的扩展，面向SiC、GaN和GaAs等化合物半导体制造。 2、自动晶圆处理系统可自行调整，以支持具有不同电气和物理特性，如晶圆厚度和翘曲的6英寸、8英寸和12英寸直径的晶圆。 3、精确度高，能够进行许多器件结构（包括功率器件中的垂直晶体管）所需的先进3D和高纵横比（HAR）图案测量。	
VeritySEM™ 6D (CD-SEM)	1、作为VeritySEM 6i系统的扩展，能够对介电材料（包括玻璃和蓝宝石）以及化合物半导体和传统硅进行先进的计量和过程控制。 2、自动晶圆处理系统可自行调整，以支持具有不同电气和物理特性，如晶圆厚度和翘曲的6英寸、8英寸和12英寸直径的晶圆。 3、精确度高，能够进行许多器件结构（包括功率器件中的垂直晶体管）所需的先进3D和高纵横比（HAR）图案测量。	
Reveal™ 系统	1、Reveal Ga配置双SEM和镓FIB柱，Reveal Xe配置双SEM和氦等离子FIB柱，Reveal TR（倾斜和旋转）配置单SEM柱；在所有配置中，SEM柱可倾斜0/15/45度，平台可旋转，倾斜和旋转功能对于FIB横截面成像、缺陷或特定结构表征的详细形貌成像至关重要。 2、可提供来自多个探测器的多视角图像，顶部探测器强调材料对比度，侧面探测器强调地形信息，能量过滤器用于背散射电子成像，EDX探测器用于材料分析。 3、Reveal Ga和Reveal Xe提供基于配方的在线铣削功能，在线FIB铣削功能和自动SEM审查功能可将分析时间缩短至数小时。	

资料来源：应用材料官网，国海证券研究所

图表28：日立高新电子束检测设备

型号	性能与特征	图示
CT1000 (DR-SEM)	1、5轴载物台，可对缺陷和图案形状进行3D观察 2、集成EDS*，可识别缺陷元素（EDS：能量色散X射线分析系统） 3、支持 $\phi 100\text{mm}$ 、 $\phi 150\text{mm}$ 、 $\phi 200\text{mm}$ 晶圆 4、分辨率 7nm@1kV ；最大样品倾斜角 55° ；观测场尺寸 $0.675\sim 135\mu\text{m}$ ；元素分析（选项）能量色散X射线光谱仪	
CR7300 (DR-SEM)	1、增强SEM图像分辨率，用于尖端器件开发和批量生产 2、全新的现场良率控制解决方案，可量化并显示半导体工艺中的电特性（R/C） 3、与旧型号相比，产量提高2倍 4、通过对无图案晶圆的高级缺陷审查和分析功能，为N3代器件开发做出贡献 5、通过采用基于AI的ADC（自动缺陷分类），显著提高缺陷分类性能和准确性	
GT2000	1、100V超低加速电压、超高速多点测量功能，适用于大数值孔径EUV工艺 2、用于三维器件结构的高灵敏度检测系统	
CG7300	1、实现EUV光刻时代半导体大规模生产时的可靠量检测 2、将机器差异误差缩小到原子级别，可靠性较高 3、实现抗冲击高速扫描，图像分辨率高 4、扫描性能提升，适用于高精度CD、CD一致性等多类检测	
CS4800	1、自动光轴对准，减少操作误差 2、高吞吐量，操作自动化，图像匹配功能强大 3、多种晶圆尺寸可选 4、测量精度为 $1\text{nm}(3\sigma)$ （使用日立标准晶圆）；晶圆尺寸为直径 $100/150/200\text{mm}$ ；设备尺寸（主体） 1180mm （宽） $\times 2500\text{mm}$ （深） $\times 1990\text{mm}$ （高）	
CV6300	1、先进的在线测量系统，加速电压 45kV 2、相比之前型号，吞吐量提高约25% 3、套刻精度测量准确度提升	
GS1000	1、将高速广域扫描技术与大电流电子束相结合 2、计划开发集成AI技术的高速、先进工艺良率管理系统	

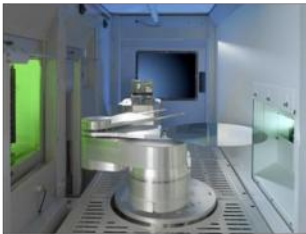
资料来源：日立高新官网，国海证券研究所

图表29：ASML电子束检测设备

型号	性能与特征	图示
HMI eScan 1100	1、第一代在线多电子束晶圆检测系统，25个光束 2、面向3nm节点及更高水平，可用于大规模量产 3、吞吐量：受益多光束技术、高速晶圆平台和先进算法，相比单电子束检测设备，吞吐量最多提高15倍 4、关键技术：相比eScan1000，eScan1100的电子光学系统已改进，能以更高分辨率产生并控制25个主电子束，收集和处理二次电子，最大限度减少束间串扰，成像质量一致；配备高速平台，提高系统吞吐量；配备高速计算架构，实时处理多个电子束的数据流 5、多模式操作：eScan1100可用于电压对比缺陷检测、物理缺陷检测，可检测电气缺陷（开路、短路和漏电等）、7nm节点的图案缺陷	
HMI eScan 1000	1、全球首款多电子束晶圆检测系统，采用3x3阵列的9个电子束，扫描速度更快，并将电子束之间干扰降到最低 2、面向3nm节点的研发 3、吞吐量：相比之前电子束晶圆检测工具快600% 4、多模式操作：eScan1000可用于电压对比缺陷检测、物理缺陷检测，可检测电气缺陷（开路、短路和漏电等）、10nm节点的图案缺陷	
HMI eScan 600	1、高度灵活，多种运行模式，单一系统便可检测各类缺陷类型，叠加高产能和超精细分辨率，有助于降低芯片研发和量产成本 2、可用于物理缺陷检测、电压对比缺陷检测和背散射电子（BSE）模式下的材料对比缺陷检测，因此，一套系统即可检测图案缺陷、电气缺陷（开路、短路和漏电缺陷）和材料对比缺陷 3、灵敏度：缺陷检测分辨率极高，可检测几nm的物理缺陷 4、生产能力：连续扫描模式可对电压对比度、较大物理缺陷进行高速检测，是SkyScan模式可在数小时内扫描数百万个指定位置的可疑图案	
HMI eP5	1、公司目前分辨率最高的电子束系统，能够快速实现CD量测、缺陷检测 2、适用于工厂、研发实验室等多类场景 3、精度：像素尺寸1nm，能够检测小至5nm的缺陷，并以0.05nm的测量灵敏度实现<0.1nm的CD精度，业界领先的自动缺陷分类(ADC) 4、吞吐量：大视场（12000x12000像素）实现高扫描吞吐量，可同时进行CD量测和晶圆检测，最大限度提高效率	

资料来源：ASML官网，国海证券研究所

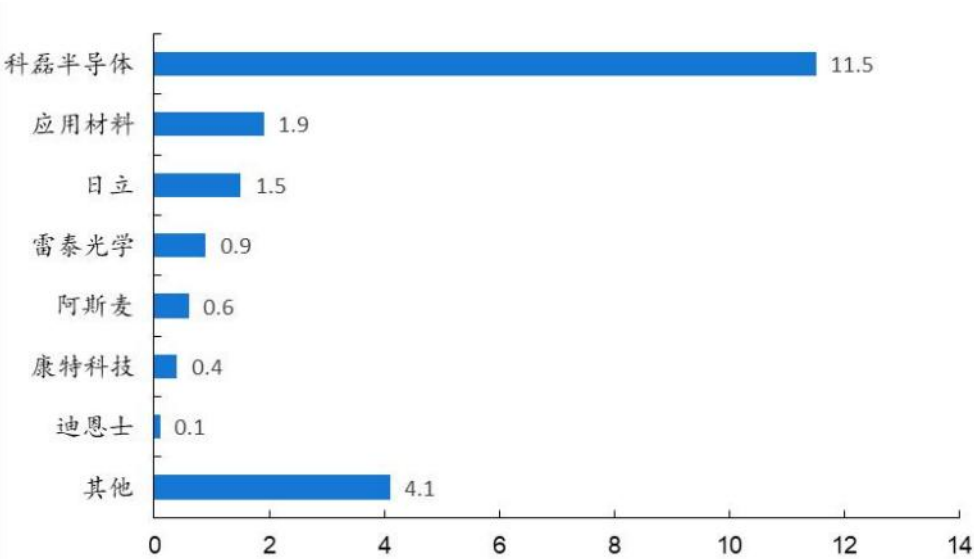
图表30：KLA电子束检测设备

型号	性能与特征	图示
eSL10™ (图案晶圆检测)	1、有效着陆电压较高、分辨率较高，可应用于高级逻辑、DRAM和3D NAND器件研发及制造。 2、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。 3、独特的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，减少完整收集各种类型缺陷信息所需的时间。 4、采用SMARTs™深度学习演算法，能够将关键缺陷的信号与图案本身和制程带来的噪声信号区分开。 5、主要应用：高分辨率缺陷捕捉、缺陷检测、开发流程除错、工程分析、坡道与线路监控。	
eDR7xxx™ (DR-SEM)	1、内置多种电子光学元件和专用的镜头内探测器，对包括脆弱的EUV光刻层、高宽比沟槽层和电压对比层等各类制程步骤提供缺陷可视化支持。 2、独特的Simul-6™技术，可以通过一次测试生成完整的关键缺陷柱状分部图，从而精确定位缺陷根源并迅速检测制程偏移。 3、通过如宽光谱图案晶圆检测仪上的IAS™，以及裸片晶圆检测仪上的OptiSens™等连通功能，可为KLA检测设备提供了独特连接，以便在IC和晶圆制造制程中加速良率改进。 4、主要应用：缺陷影像、自动在线缺陷检测分类与成效管理、裸晶圆进出厂质量控制、晶圆处置、热点检测、缺陷检测、极紫外光检查、制程窗口检测、制程窗口质量验证、晶圆边缘侧边复检。 5、相关产品：eDR7280，采用第五代浸润式电子光束，适用于≤16nm集成电路的开发及生产。	

资料来源：KLA官网，PR Newswire，国海证券研究所

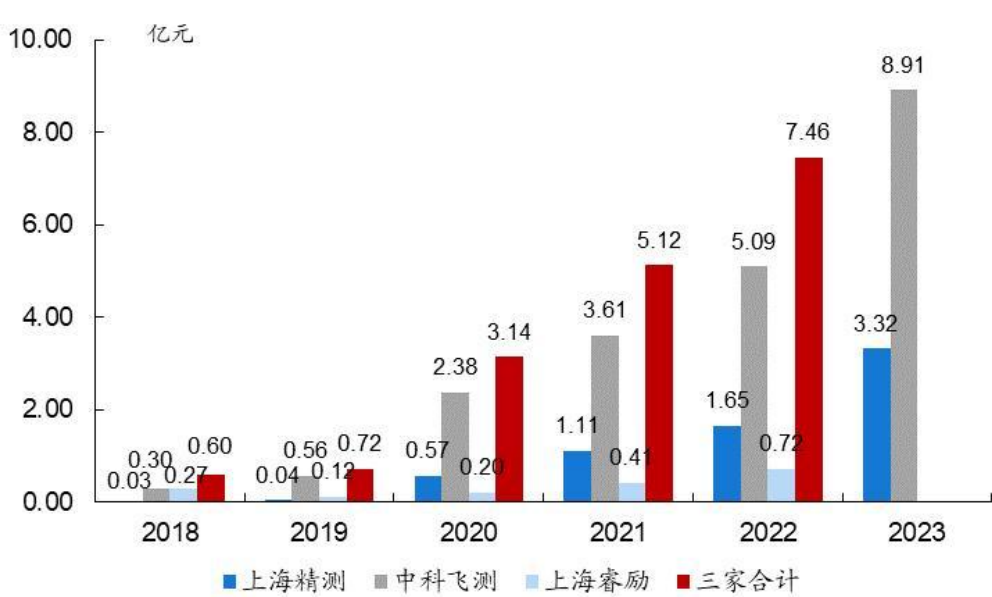
◆ **电子束检测设备国产供应商稀缺。**中国大陆半导体量检测市场中，设备国产化率较低，国际巨头处于市场主导地位，根据VLSI数据统计，2023年KLA市占率达55.8%。国产半导体量检测设备供应商主要包括上海精测、中科飞测、上海睿励等，2023年上海精测、中科飞测收入分别为3.32亿元、8.91亿元，国内市占率分别为1.06%、2.84%。电子束检测设备领域，目前国内主要供应商包括上海精测、东方晶源。

图表31：2020年中国半导体量检测设备市场格局（亿美元）



资料来源：中科飞测招股书，国海证券研究所

图表32：2018-2023年国内半导体量检测设备供应商收入



资料来源：wind，中科飞测招股说明书，国海证券研究所

图表33：近年国内部分半导体电子束检测设备中标项目

中标公告时间	项目编号	招标人	招标设备	中标人
2024/5/21	0617-244091HY0880	光电子先导院	CD测量仪	东方晶源
2023/10/8	0610-23401H011144	燕东微	线宽（CD-SEM）测试设备	东方晶源
2023/8/15	0623-2340J1110157	宜兴中车时代	CD-SEM（金属后）	东方晶源
2023/8/15	0623-2340J1110159	宜兴中车时代	CD-SEM	盛吉盛
2023/8/15	0623-2340J1110145	宜兴中车时代	SEM review	应用材料
2023/4/21	0705-234006088005	上海芯物	全自动电子束晶圆缺陷复查设备	上海精测
2022/8/8	4197-2140JH1CG001/53	福建晋华	12吋扫描式电子显微镜	上海精测
2022/8/2	4197-2140SHJT0001/134	积塔半导体	线宽量测显微镜	东方晶源
2022/4/26	4197-2140JH1CG001/39	福建晋华	12吋扫描式电子显微镜	上海精测
2022/3/16	0705-224106022063/01	华虹半导体	线宽测量扫描电镜	日立高新
2022/3/16	0705-224106022063/02	华虹半导体	线宽测量扫描电镜（后段）	日立高新
2022/3/1	0705-224106022066	华虹半导体	缺陷检查扫描电镜	应用材料
2021/12/20	4197-2140JH1CG001/13	福建晋华	关键尺寸量测扫描电子显微镜	东方晶源
2021/1/6	0705-204018602252	华虹半导体	线宽测量扫描电镜	日立高新
2021/1/6	0705-204018602251/01	华虹半导体	缺陷检查扫描电镜	应用材料
2021/1/6	0705-204018602251/02	华虹半导体	缺陷检查扫描电镜	应用材料
2020/8/4	0613-204022082357	上海华力	晶圆线宽测量扫描电镜	应用材料
2020/7/27	0613-204022082158	上海华力	线宽测量扫描电镜	应用材料
2020/5/14	0613-204022190447	华虹半导体	缺陷检查扫描电镜	应用材料
2020/4/16	0613-204022190239	华虹半导体	线宽测量扫描电镜	日立高新
2020/1/10	0862-194HNZJC0022	株洲中车时代	CD-SEM	科磊
2019/10/18	0705-194019601146	上海华力	线宽测量扫描电镜	应用材料
2019/10/17	0705-194019601148/01	上海华力	缺陷检查扫描电镜设备	应用材料
2019/10/11	0705-194019601145	上海华力	线宽测量扫描电镜	日立高新
2019/1/14	0705-184018602216/02	华虹半导体	线宽测量扫描电镜	日立高新

资料来源：中国招标网，必联网，国海证券研究所

- ◆ 面板、半导体、新能源三大主业。精测电子成立于2006年，主要有显示面板检测、半导体检测和新能源检测三大业务，其中半导体检测业务主要由子公司上海精测、武汉精测负责。
- ◆ 半导体产品持续完善。上海精测设立于2018年7月，主要聚焦半导体前道检测设备领域，其膜厚系列产品、OCD设备、电子束设备已取得国内多家客户的批量订单，半导体硅片应力测量设备已取得客户重复订单，明场光学检测缺陷检测设备已完成首台套交付，且已取得更先进制程订单，有图形暗场缺陷检测设备等其他设备目前正处于研发、认证及拓展过程中。

图表34：精测电子前道量检测产品布局



资料来源：精测电子公司公告，国海证券研究所

◆ 先进制程DR-SEM实力领先。电子束检测方面，公司是国内极少数拥有完全自主知识产权的扫描电子显微镜企业，开发和突破了超高分辨率扫描电子显微镜技术，适用于1x nm先进集成电路的工艺缺陷的自动检测。公司电子束设备已取得国内一线客户的批量订单，电子束缺陷复查设备已取得先进制程重复性订单。

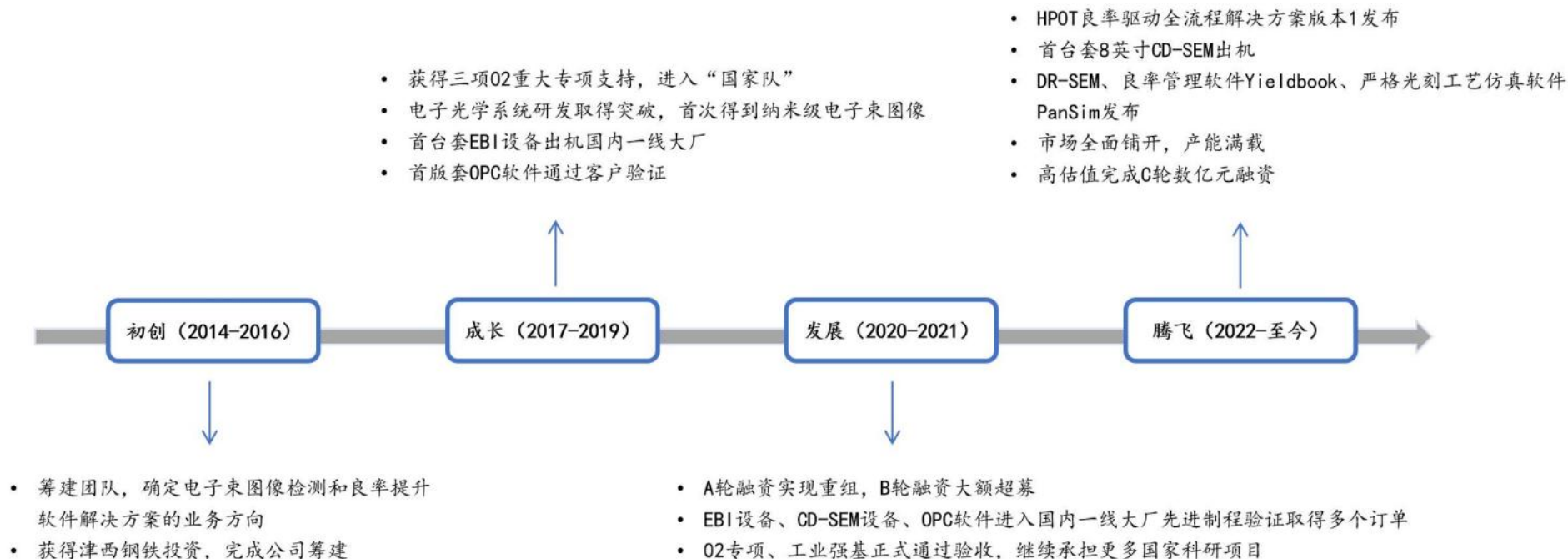
图表35：精测电子部分电子束检测设备型号

型号	性能与特征	图示
AeroScan™ Duo (FIB SEM双束系统)	1、基本特征：集成SEM（扫描电子显微镜）和FIB（聚焦离子束）于一体，结合SEM超高分辨率和FIB优异的微纳加工能力，可实现原位的微纳加工，IC失效分析和修改是其最主要应用领域之一。 2、SEM-TFE肖特基电子源：分辨率，0.8 nm@30 keV，1.5 nm@1 keV；电子能量，100 eV -30 keV；束流，1 pA-20 nA；扫描速率，100 MPPS；视场 FOV，2.5 mm@双束相交点。 2、FIB-Ga液态金属离子源：分辨率，5 nm@30 kV在双束相交点；离子能量，500 V-30 kV；视场 FOV，1 mm@双束相交点；束流，1 pA-50 nA。 3、探测器：多类型探测器，包括多视角In-lens二次电子探测器、侧视角二次电子探测器、背散射电子探测器、EDS能谱探测器、EBSD探测器。 4、样品台：5轴全自动马达；X、Y行程150 mm，压电陶瓷马达；Z行程50mm；温度，-10° -70° ；360° 连续可调。	
eView™ (Review SEM)	1、可对光学缺陷检测设备的结果进行超高分辨率复查、分析和分类，适用于10x nm及以下制程的工艺缺陷自动检测。 2、突破常规的基于机器学习的分类算法，利用自主开发的基于深度神经网络（DNN）的AI算法，进行缺陷自动识别与分类，极大提高晶圆缺陷分类的准确度。 3、采用全新的超低电压EDSX射线探测技术，突破常规设备EDS使用电压的限制，实现轻量元素的高分辨率解析能力。 4、2020年12月，上海精测宣布推出首款半导体电子束检测设备eView™（全自动晶圆缺陷复查设备），并正式交付国内客户。	

资料来源：精测电子官网，国海证券研究所

- ◆ 聚焦电子束检测、计算光刻等产品。东方晶源成立于2014年，聚焦集成电路良率管理，主要产品为纳米级电子束缺陷检测装备（EBI）、关键尺寸量测装备（CD-SEM）、计算光刻产品（OPC）以及微电子设计与制造智能良率优化平台（HPOTM），积极布局电子束缺陷复检设备（DR-SEM）。

图表36：东方晶源发展历程



资料来源：东方晶源官网，国海证券研究所

- ◆ **CD-SEM产品丰富、应用广泛。**自2021年起，东方晶源先后推出12英寸CD-SEM、6&8英寸兼容CD-SEM，CD-SEM产品已广泛应用于多个制程领域，包括12英寸 $\geq 28\text{nm}$ 逻辑制程、3D-NAND制程、DRAM制程，以及8英寸Si、MEMS制程和6英寸第三代半导体SiC、GaN、GaAs等化合物制程。
- ◆ **积极布局DR-SEM。**东方晶源EBI、CD-SEM均已通过产线验证并进入Fab量产，同时获得多家客户重复订单，DR-SEM已经进入头部客户端验证，图像质量，算法（D2D）和CR（ $>95\%$ ）等技术指标的验证结果符合量产需求。

图表37：东方晶源部分电子束检测设备型号

型号	性能与特征	图示
SEpA-c300 (CD-SEM)	1、适用200mm硅片，结构紧凑，高产能 2、高精度Z向高度定位功能辅助高速SEM聚焦补偿，根据设计数据离线自动生成量测Recipe文件，可选多探测器方案支持更多样化量测应用，支持精确的SEM凸显轮廓抽取功能	
SEpA-c400 (CD-SEM)	1、适用300mm硅片，结构紧凑，高产能 2、高精度Z向高度定位功能辅助高速SEM聚焦补偿，根据设计数据离线自动生成量测Recipe文件，可选多探测器方案支持更多样化量测应用，支持精确的SEM凸显轮廓抽取功能	
SEpA-c410 (CD-SEM)	1、适用300mm硅片 2、量测结果和重复性可达国际主流设备的容差范围，已解决28nm/40nm制程中线宽大于90nm的图形量测需求，设备可靠性达93%，更小线宽量测已通过测试验证	
SEpA-c430 (CD-SEM)	1、适用300mm硅片，量测性能和速度实现全面提升 2、量测重复精度达到0.25nm，满足28nm产线需求 3、通过提升电子束扫描和信号检测，产能提高30% 4、新推出的晶圆表面电荷补偿功能，可提高ADI layer量测能力	
SEpA-i515 (EBI)	1、可解决28nm及以上制程的缺陷检测问题，量产可靠性达到90%以上，使用率达到80%以上，适用对象包括但不限于逻辑芯片、闪存存储芯片制造等 2、面向300mm硅片，具备该系列产品惯有的高灵敏度电性和物理缺陷检测、有效解决28nm及以上良率问题、自主创新的高性能缺陷检测引擎（DNA数据库）、基于深度学习的缺陷自动分类（ADC）算法等产品特点 3、相比上一代产品，具有更高的TPT和更优的平台设计，设备运行效率、性能指标均有大幅提升	
SEpA-i525 (EBI)	1、面向300mm硅片，采用连续扫描模式，丰富Negative mode检测方式，提高最大束流至40nA，新增Flooding Gun等功能 2、相比上一代机型，产能提升3倍以上，应用领域从逻辑Fab拓展至Memory Fab，新产品已进入国内多个头部客户Fab验证	
SEpA-r600 (DR-SEM)	1、可满足28nm及以上逻辑、3D-NAND、DRAM制程的缺陷复检需求 2、具备全自动Review、结构透视和元素分析能力，D2D算法的加持令设备具有优秀的捕获率 3、目前已出机到客户端进行产线验证，获得多个订单	

资料来源：东方晶源官网，国海证券研究所

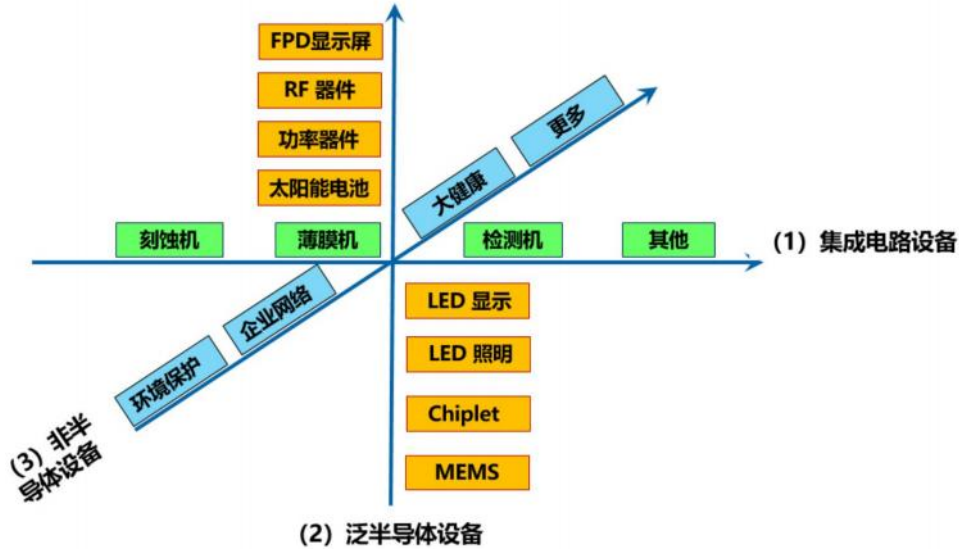
◆ 持续丰富关键设备品类，或将发力电子束检测市场。中微公司成立于2004年，主营产品包括刻蚀设备、MOCVD设备、薄膜沉积设备及VOC设备等，据科创板日报，未来5-10年公司计划覆盖50%-60%的集成电路关键设备。中微公司通过投资睿励仪器布局量检测赛道，未来会考虑涉足电子束检测设备市场。

图表38：中微公司对睿励仪器多次增资

时间	事件
2019年8月	中微公司拟向上海睿励投资1375万元，投资完成后持股比例为10.41%。
2020年10月	中微公司拟将对上海睿励的投资额由1375万元调整为500万元，以500万元的债权向上海睿励出资。
2020年12月	中微公司拟以现金方式对上海睿励增资1亿元，投资完成持股比例增至20.45%
2022年3月	中微公司拟以现金方式对上海睿励增资1.08亿元，投资完成后持股比例增至29.36%。
2022年	中微公司以0.43亿元的对价受让上海睿励老股东转让的部分股权。
2023年5月	中微公司以挂牌价取得国家集成电路产业投资基金持有的上海睿励6.76%股权，挂牌价为5790万元。

资料来源：中微公司公告，wind，国海证券研究所

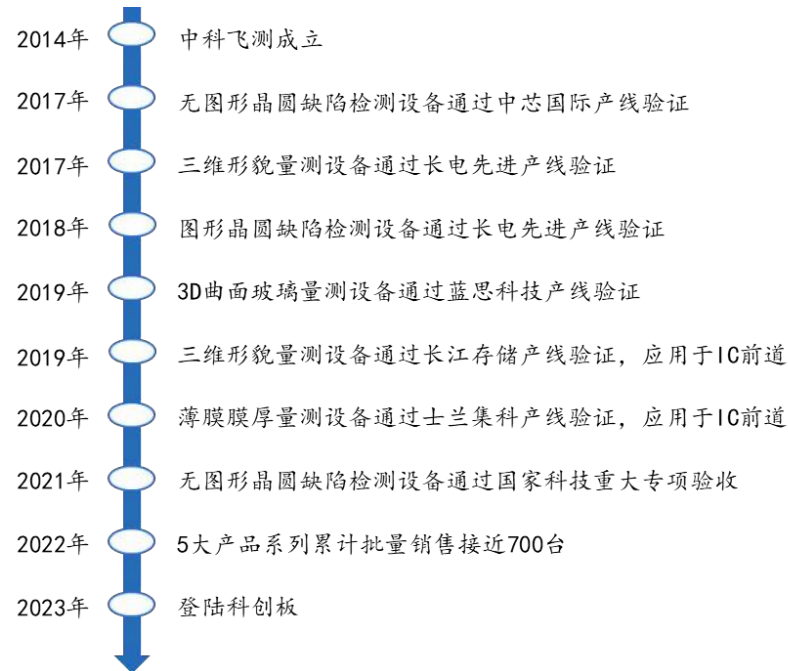
图表39：中微公司发展战略



资料来源：中微公司公告

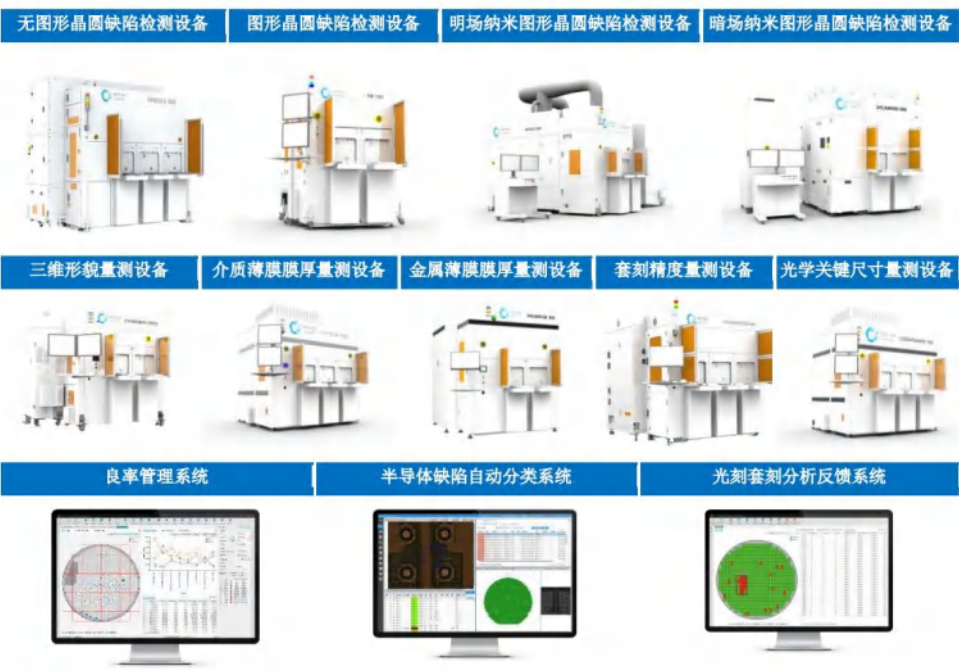
◆ 聚焦量检测设备近十年，产品种类持续丰富。中科飞测成立于2014年12月，成立至今始终专注于半导体检测和量测设备研发、生产和销售，公司九大系列设备和三大系列软件产品组合构成了全方位的良率管理解决方案。根据中科飞测2023年报，公司九大系列设备面向全部种类集成电路客户需求，其中六大系列设备已经在国内头部客户批量量产应用，另外三大系列设备已完成样机研发，其中明场纳米图形晶圆缺陷检测设备、光学关键尺寸量测设备已出货客户开展产线工艺验证和应用开发，暗场纳米图形晶圆缺陷检测设备正在进行客户样品的工艺验证和应用开发，并于多家国内头部客户达成客户现场评估意向；三大系列智能软件已全部应用在国内头部客户。

图表40：中科飞测发展历程



资料来源：中科飞测招股说明书，中科飞测官网，国海证券研究所

图表41：中科飞测九大系列设备和三大系列软件



资料来源：中科飞测公告

◆ 电子束检测是先进制程关键设备

- 先进制程发展背景下，电子束检测技术优势愈发明显。先进制程及其配套产业链或将成为大基金三期的重点发力方向，半导体前道量检测设备目前国产化率仅个位数，电子束检测设备是先进制程芯片良率的关键保障，未来有望加速发展。

◆ 关注本土设备商产品进展

- 电子束检测设备国产供应商稀缺，国产替代空间广阔，维持半导体前道量检测设备行业“推荐”评级。建议关注精测电子、东方晶源（未上市）、中微公司、中科飞测。1）精测电子：半导体产品持续完善，明场检测持续发展，DR-SEM国内领先；2）东方晶源（未上市）：聚焦电子束检测、计算光刻等产品，CD-SEM应用广泛，积极布局DR-SEM；3）中微公司：刻蚀设备国内领跑者，加速布局量检测赛道，或将发力电子束检测市场；4）中科飞测：聚焦半导体量检测，产品种类持续丰富。

- ◆ 1、半导体设备国产替代不及预期。目前半导体设备国产化率较低，国内设备商在原材料自主化、先进制程产品研发、客户渗透率等方面均落后国际巨头，设备是半导体产品稳定生产的重要基础，晶圆、封测等终端客户对于设备商的选择较为谨慎，半导体设备国产替代速度存在不及预期风险。
- ◆ 2、行业竞争加剧风险。电子束检测设备处于国产替代初期，国内仅少数设备商能够具备主要产品的研发能力，潜在竞争者或将通过自研、收购等方式加速布局电子束检测设备赛道，存在行业竞争加剧风险。
- ◆ 3、市场空间测算偏差风险。文中各类量检测设备市场规模测算，存在较多假设，部分数据并非引用最新年度，市场空间测算存在偏差风险。
- ◆ 4、重点关注公司业绩不及预期。
- ◆ 5、研究报告使用的公开资料可能存在信息滞后或更新不及时的风险。

免责声明

本报告的风险等级定级为R3，仅供符合国海证券股份有限公司（简称“本公司”）投资者适当性管理要求的客户（简称“客户”）使用。本公司不会因接收人收到本报告而视其为客户。客户及/或投资者应当认识到有关本报告的短信提示、电话推荐等只是研究观点的简要沟通，需以本公司的完整报告为准，本公司接受客户的后续问询。

本公司具有中国证监会许可的证券投资咨询业务资格。本报告中的信息均来源于公开资料及合法获得的相关内部外部报告资料，本公司对这些信息的准确性及完整性不作任何保证，也不保证其中的信息已做最新变更，也不保证相关的建议不会发生任何变更。本报告所载的资料、意见及推测仅反映本公司于发布本报告当日的判断，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波动。在不同时期，本公司可发出与本报告所载资料、意见及推测不一致的报告。报告中的内容和意见仅供参考，在任何情况下，本报告中所表达的意见并不构成对所述证券买卖的出价和征价。本公司及其本公司员工对使用本报告及其内容所引发的任何直接或间接损失概不负责。本公司或关联机构可能会持有报告中所提到的公司所发行的证券头寸并进行交易，还可能为这些公司提供或争取提供投资银行、财务顾问或者金融产品等服务。本公司在知晓范围内依法合规地履行披露义务。

风险提示

市场有风险，投资需谨慎。投资者不应将本报告为作出投资决策的唯一参考因素，亦不应认为本报告可以取代自己的判断。在决定投资前，如有需要，投资者务必向本公司或其他专业人士咨询并谨慎决策。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。投资者务必注意，其据此做出的任何投资决策与本公司、本公司员工或者关联机构无关。

若本公司以外的其他机构（以下简称“该机构”）发送本报告，则由该机构独自为此发送行为负责。通过此途径获得本报告的投资者应自行联系该机构以要求获悉更详细信息。本报告不构成本公司向该机构之客户提供的投资建议。

任何形式的分享证券投资收益或者分担证券投资损失的书面或口头承诺均为无效。本公司、本公司员工或者关联机构亦不为该机构之客户因使用本报告或报告所载内容引起的任何损失承担任何责任。

郑重声明

本报告版权归国海证券所有。未经本公司的明确书面特别授权或协议约定，除法律规定的情况外，任何人不得对本报告的任何内容进行发布、复制、编辑、改编、转载、播放、展示或以其他方式非法使用本报告的部分或者全部内容，否则均构成对本公司版权的侵害，本公司有权依法追究其法律责任。

国海证券 · 研究所 · 机械研究团队

心怀家国，洞悉四海



国海研究上海

上海市黄浦区绿地外滩中心C1栋
国海证券大厦

邮编：200023

电话：021-61981300

国海研究深圳

深圳市福田区竹子林四路光大银
行大厦28F

邮编：518041

电话：0755-83706353

国海研究北京

北京市海淀区西直门外大街168
号腾达大厦25F

邮编：100044

电话：010-88576597