

光刻机行业深度研究报告

光刻机：半导体设备价值之冠，国产替代迎来奇点时刻

- 光刻机是半导体设备中最复杂、价值量最高的环节，也是国产化进程中亟待攻克的高地。光刻作为晶圆制造的核心工序，承担电路图形转移的关键使命，单机价值量居半导体设备首位。根据观研天下数据中心，2024 年光刻机以约 24% 的市场份额在半导体设备中占比最高。
- 光刻机演进遵循瑞利判据 ($CD=k_1\lambda/NA$)，通过光源波长缩短、数值孔径提升及工艺因子优化，延续摩尔定律推动工艺节点突破。1) 汞灯到 DUV 再到 EUV，波长逐步缩短；2) 浸没式技术突破折射率瓶颈，使 NA 提升至 1.35；3) 工艺因子优化，离轴照明、OPC、相移掩模、多重曝光等系统性优化手段扩展工艺窗口；4) 曝光方式由接触式演进至步进扫描投影，确立现代主流架构。
- 光源系统、光学系统与工作台系统三大核心子系统构成，分别承载能量供给、图形成像与精准对位三大关键功能。光源系统通过不断缩短波长以提升分辨率，演进路径从汞灯、KrF、ArF 扩展至 EUV 激光等离子体光源；光学系统作为成像核心，DUV 时代以高 NA 折射透镜为主，EUV 时代则转向多层反射镜体系以适应光源波长极限，架构显著改变；而工作台系统则承担晶圆高速移动与高精度对准，在浸没式与 EUV 设备中演进至双工件台和磁悬浮结构，支撑高通量与纳米级精度协同。三大系统协同推进光刻精度提升、良率改善与产能释放，共同构筑整机壁垒。
- 他山之石可以攻玉，复盘光刻机产业五十年龙头更替史。美系厂商凭借半导体发源地优势率先起步，日系企业依托精密光学与政策扶持在 DUV 时代登顶；ASML 则通过三次代际跃升实现跨越反超：2000 年 TWINSCAN 双工件台提升产能效率，2004 年浸没式 ArF 突破光学极限，2007 年市占率超越尼康。此后，依托 EUV 光源独家攻关与客户联合投资，ASML 于 2017 年实现量产交付，奠定先进制程核心地位。与此同时，公司并购 Cymer、HMI、Berliner Glas 并深度绑定蔡司，形成覆盖光源、光学、检测的闭环壁垒。全球格局上，2024 年 ASML/Canon/Nikon 市占率分别为 61.2%/34.1%/4.7%，Canon 与 Nikon 聚焦 KrF 与 i-line 等成熟机型，而 ASML 在 ArFi 浸没式与 EUV 领域高度垄断。未来，随着 ASML High-NA 逐步量产，高端市场“一超”格局有望进一步稳固。
- 需求、政策与外部环境共振，国产替代迎来追赶窗口期。2024 年中国已成为全球最大光刻机采购市场，贡献 ASML 营收 41%。当前中国光刻机高端机型依赖进口，在美日荷联合封锁风险下，国产化进度势在必得。政策端“02 专项”体系化布局曝光光学、双工件台、浸液系统等核心环节，推动国产技术快速迭代，上海微电子、华卓精科等已在 90nm ArF 机型与双工件台实现突破。未来在政策、需求与验证三重驱动下，国产光刻机有望进入商业化加速阶段。
- 投资建议：国产整机与核心子系统加速突破，进入从验证向量产转化的关键阶段，建议关注具备核心环节能力的本土厂商茂莱光学、汇成真空、波长光电、福晶科技等。
- 风险提示：技术验证进度不及预期、下游扩产需求不及预期、原材料成本波动风险、竞争格局演变风险。

推荐（维持）

华创证券研究所

证券分析师：岳阳

邮箱：yueyang@hcyjs.com

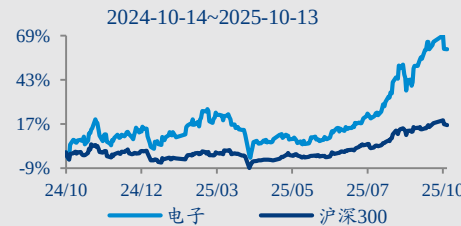
执业编号：S0360521120002

行业基本数据

		占比%
股票家数(只)	486	0.06
总市值(亿元)	133,316.42	11.28
流通市值(亿元)	107,933.15	11.30

相对指数表现

	%	1M	6M	12M
绝对表现		6.5%	51.8%	67.2%
相对表现		5.0%	29.3%	49.0%



相关研究报告

《半导体先进封装行业深度研究报告：AI 算力需求激增，先进封装产业加速成长》

2025-08-25

《半导体存储行业深度研究报告：供需双振驱动价格持续上扬，企业级存储国产化加速推进》

2025-07-01

《模拟芯片行业深度研究报告：需求回暖进行时，国产替代与并购整合共筑成长动能》

2025-06-30

投资主题

报告亮点

本报告系统梳理光刻机作为晶圆制造最核心环节的技术演进逻辑与全球产业格局。报告从瑞利判据出发，全面解析光源波长、数值孔径、工艺因子与曝光方式四条演进主线。在整机层面，报告拆解光源、光学、工作台三大核心子系统，揭示蔡司、Cymer 等全球核心供应商的技术壁垒与价值量分布。格局方面，报告复盘光刻机产业 50 年龙头更替史，梳理 ASML 凭借浸没式、双工件台与 EUV 三次代际突破完成反超，并通过并购整合实现“技术+产业链”闭环优势。最后，报告聚焦中国市场，强调在 AI 与高性能计算需求推动下，国内装机需求旺盛，而在美日荷管制背景下，国产替代紧迫性与政策驱动共振，正孕育整机及核心零部件的突破窗口。

投资逻辑

光刻机作为晶圆制造中技术门槛最高、价值量占比最大的核心装备，是先进制程放量与国产替代进程的重点之一。本篇报告围绕光刻机技术演进与全球格局变化展开，论证光刻机作为晶圆制造的核心环节，其价值量与战略地位持续提升，并在先进制程需求与国产替代共振下迎来新一轮机遇。

第一部分梳理光刻工艺演进路径，指出分辨率提升长期受瑞利判据约束，技术升级沿光源波长缩短、数值孔径提升、工艺因子优化与曝光方式升级四条主线展开。第二部分聚焦光刻整机架构，拆解光源、光学与工作台三大子系统，分别承担能量供给、图形成像与精准对位关键功能。第三部分复盘全球龙头更替路径，从美系范式奠定、日系工程化崛起，到 ASML 通过浸没式、EUV 等三次代际跃迁完成超车，并通过并购 Cymer、HMI、Berliner Glas 及绑定蔡司构建技术与供应链闭环，确立“高端唯一”的全球主导地位。第四部分回到中国大陆产业链，当前国产光刻机依赖进口程度高，受美日荷联合封锁与“02 专项”加码推动，国产整机与核心子系统加速突破，进入从验证向量产转化的关键阶段，建议关注具备核心环节能力的本土厂商茂莱光学、汇成真空、波长光电、福晶科技等。

目 录

一、光刻：晶圆制造核心工序，价值量最高的半导体设备环节	6
（一）光刻环节承载电路图图形化关键使命，价值量位居制造工艺环节前列	6
（二）光刻机五代升级持续提高分辨率，瑞利判据构成技术演进逻辑	7
1、光源波长（ λ ）不断缩短，从汞灯到 DUV 再到 EUV 演进	9
2、数值孔径（NA）持续提升，浸没式技术突破折射率物理瓶颈	11
3、工艺因子优化，光照与掩模优化协同推动制程极限延伸	12
4、曝光方式迭代升级，步进扫描投影奠定现代光刻主流	15
二、光源、光学与工作台三大环节构成整机核心，光学系统价值量最高	17
（一）光源系统：历经汞灯-DUV-EUV，Cymer 与 Gigaphoton 垄断全球市场	18
（二）光学系统：DUV 透镜复杂度攀升，EUV 多层膜反射镜构筑成像体系	20
（三）工作台：超精密运动控制核心，ASML 首创双工件台奠定竞争优势	23
三、全球龙头格局演进清晰，国产化迎追赶窗口	25
（一）海外发展复盘：美日企业先后崛起，ASML 通过代际跃升实现反超	25
（二）全球市场三分天下，ASML 凭借 EUV 设备龙头地位稳固	27
（三）需求、政策与外部环境共振三重驱动，国产光刻机迎来突破窗口期	29
四、相关标的	33
1、茂莱光学：深耕精密光学二十载，光刻光学器件加工与检测技术国内领先 ..	33
2、汇成真空：国内领先 PVD 镀膜设备厂商，卡位光刻掩模版镀膜新赛道	33
3、波长光电：深耕精密光学元件，直写光刻镜头切入国产替代新赛道	33
4、福晶科技：非线性光学晶体全球龙头，切入光刻光学元件环节	34
五、风险提示	34

图表目录

图表 1	半导体制作工艺流程	6
图表 2	硅晶圆表面光刻胶线条形成的光刻工艺流程	6
图表 3	光刻工艺实现原理	6
图表 4	ASML 浸没式扫描光刻机 TWINSCAN1980Di 及投影系统光路示意	7
图表 5	2024 年全球半导体设备价值量占比	7
图表 6	光刻机历经五次历史迭代	8
图表 7	曝光系统光路示意图	8
图表 8	光刻技术中波长 λ 、数值孔径 NA 和工艺因子 k 的发展历史	8
图表 9	光刻机分辨率发展历程	9
图表 10	光刻应用中使用的辐射光谱	9
图表 11	半导体光刻光源及工艺节点对应关系	10
图表 12	ASML 下一代 High NA 的工艺将突破 2nm 及以下节点	10
图表 13	不同数值孔径对同一掩模图形的成像效果	11
图表 14	介质折射率及光线入射角度决定数值孔径	11
图表 15	物镜直径与衍射角对光线接收的影响	11
图表 16	光线在玻璃、空气、水中的折射	12
图表 17	浸没式光刻系统示意	12
图表 18	干式光刻和水浸式光刻对比	12
图表 19	基于离轴照明的周期性线空图形光学分辨率增强基本原理	13
图表 20	典型投影光刻机标准照明形态	13
图表 21	基于规则的 OPC 示例	13
图表 22	基于模型的 OPC 的一般流程	13
图表 23	相移掩模技术类型	14
图表 24	相移掩模板 PSM 的实现原理	14
图表 25	LELE/LFLE/SADP 多重曝光多重成型技术工艺流程	14
图表 26	根据接触方式可细分为硬接触、软接触和真空接触	15
图表 27	接触式光刻示意图	15
图表 28	接近式光刻示意图	15
图表 29	投影光刻示意图	16
图表 30	步进重复光刻示意图	16
图表 31	步进扫描光刻示意图	16
图表 32	EUV 光刻机总体结构及主要组成系统	17
图表 33	光刻机内部工作结构	17

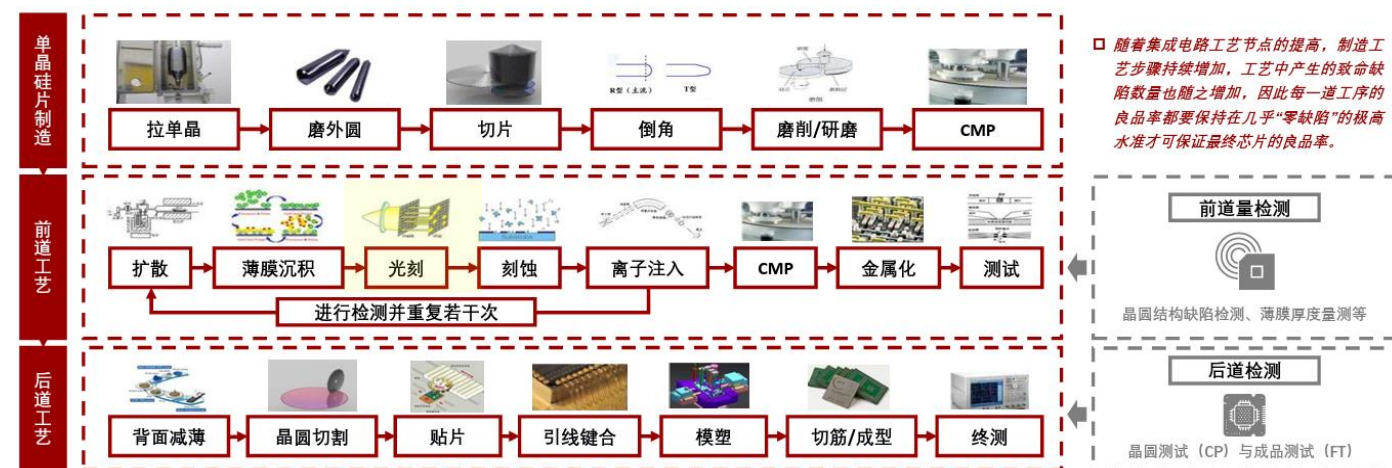
图表 34	光刻机核心组成部分	17
图表 35	2024 年 ASML 部分主要供应商、关系规模及成本占比	18
图表 36	放电等离子体（DPP）光源发生原理	19
图表 37	激光等离子体（LPP）光源发生原理	19
图表 38	LPP 光源系统架构示意图	19
图表 39	Cymer 激光等离子体（LPP）极紫外光源腔体结构	20
图表 40	光刻机光路示意图	20
图表 41	摄影镜头和显微镜头组合构成投影物镜雏形	21
图表 42	单腰系统物镜结构	21
图表 43	29 片镜片双腰系统物镜结构	21
图表 44	全球面物镜组与含非球面镜片物镜组对比	21
图表 45	折反式物镜组结构	22
图表 46	EUV 光刻的蔡司成像系统示意	22
图表 47	钼/硅多层膜叠层示意图	23
图表 48	带有保护膜的 EUV 掩模示意	23
图表 49	ASML 各代光刻机分辨率、生产效率与套刻精度的发展历程	24
图表 50	TWINSKAN 系统双工作台	24
图表 51	光刻机双工件台原理	24
图表 52	Perkin Elmer Micralign 投影掩模对准光刻机	25
图表 53	GCA Mann 4800 直接步进式光刻机	25
图表 54	ASML i 线/KrF/ArF/ArFi 产品路线图	26
图表 55	ASML 0.33NA/0.55NA EUV 光刻机产品路线图	27
图表 56	ASML 收并购历程及其战略意义	27
图表 57	2020-2025H1 全球光刻机出货量（台）	28
图表 58	2024 年全球光刻机市场份额（出货量口径）	28
图表 59	2024 年各类型光刻机各厂商出货量（台）	28
图表 60	2024 年各类型光刻机各厂商出货量份额	28
图表 61	ASML NA 高数值孔径 EUV 机台 TWINSKAN EXE:5200B	29
图表 62	2021-2025Q2 ASML 按地区划分营收结构	29
图表 63	2022 年中国主要半导体设备海内外品牌及国产化率	30
图表 64	近年来海外对华半导体政策出台一系列管制措施	30
图表 65	“02 专项”中光刻机整机及核心零部件实施单位	31
图表 66	中国光刻机发展历程	31
图表 67	上海微电子 SSX600 系列光刻机参数	32
图表 68	国内光刻机产业链相关公司情况	32

一、光刻：晶圆制造核心工序，价值量最高的半导体设备环节

（一）光刻环节承载电路图形化关键使命，价值量位居制造工艺环节前列

光刻环节位于晶圆制造流程的核心位置，是实现电路图案转移的起点环节。在前段工艺中，晶圆需经过反复的沉积、光刻、刻蚀与离子注入等步骤，光刻负责将电路设计图案精确投射到硅片表面，并通过后续刻蚀形成纳米级器件结构。作为贯穿各制程的关键工序，光刻需多次重复，直接决定了器件尺寸、线宽与集成度。

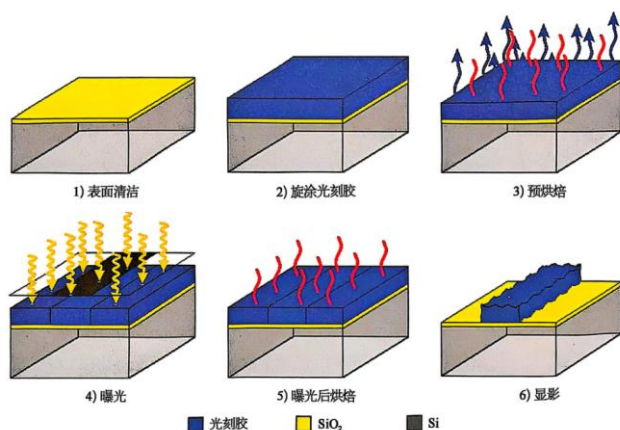
图表 1 半导体制作工艺流程



资料来源：头豹研究院 & 沙利文《2024 年中国晶圆检测设备行业研究报告：半导体工艺控制核心设备，国产化率持续提升》

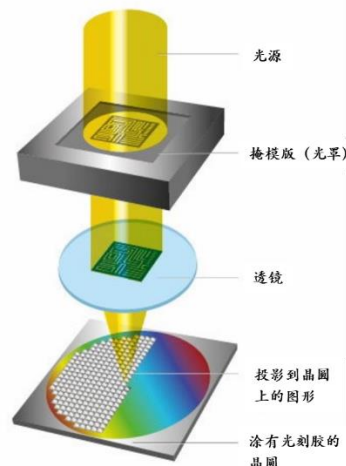
光刻是利用光化学反应原理，将掩模版上的电路图形转印到硅片衬底上的过程。该过程通常包括涂胶、曝光和显影三大环节：首先在硅片表面旋涂一层光刻胶，并经过预烘提高附着力；随后在光刻机内将掩模图案与晶圆对准，光源经投影光学系统聚焦到光刻胶层，使曝光区域发生光化学反应并改变其溶解性能；最后在显影液作用下去除指定区域的光刻胶，形成所需的图案轮廓。所得光刻胶结构将作为抗蚀层，用于指导后续刻蚀、离子注入等工序。

图表 2 硅晶圆表面光刻胶线条形成的光刻工艺流程



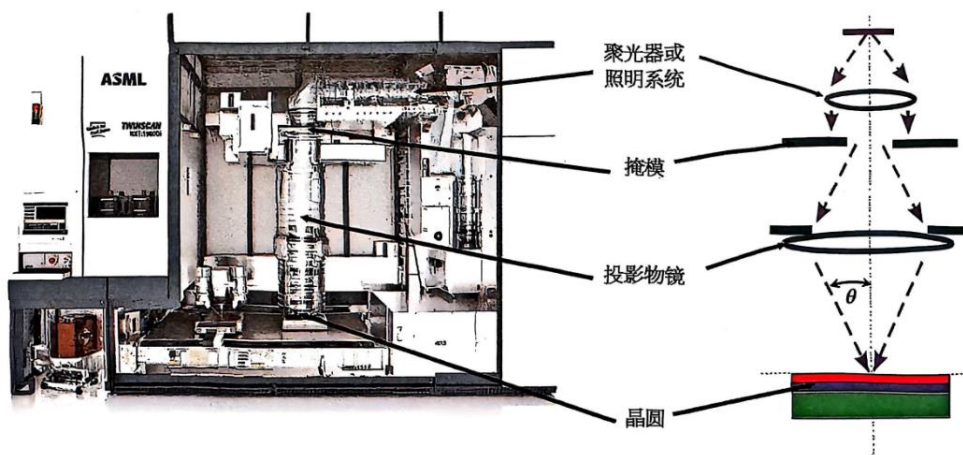
资料来源：Andreas Erdmann《光学光刻和极紫外光刻》

图表 3 光刻工艺实现原理



资料来源：bits-chips，转引自 computerhistory

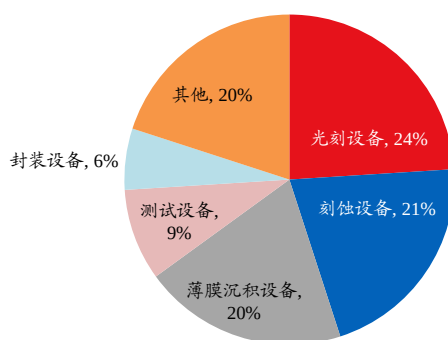
图表 4 ASML 浸没式扫描光刻机 TWINSCAN1980Di 及投影系统光路示意



资料来源：Andreas Erdmann 《光学光刻和极紫外光刻》

光刻机价值量极高，是半导体设备中市场占比最大的品类。根据头豹研究院数据，晶圆厂资本开支中约 20%–30% 用于厂房建设，其余 70%–80% 投向设备投资。观研天下援引 SEMI 数据显示，2024 年全球半导体设备销售额约 1090 亿美元，其中光刻、刻蚀与薄膜沉积为最核心的三类设备，光刻机以约 24% 的份额居首。受技术复杂性与交付难度驱动，光刻机单机价格远超其他设备：DUV 机型售价在 2000 万–5000 万美元区间，ASML EUV 机型单台可达 1.5 亿–2 亿美元，而最新 High-NA EUV 设备价格或高达 3.5 亿–4.1 亿美元。光刻设备因此成为晶圆厂资本开支中最重要的投资方向，且随着先进制程演进，对高分辨率与高精度光刻机的需求有望持续抬升整体占比。

图表 5 2024 年全球半导体设备价值量占比



资料来源：观研天下数据中心，华创证券

（二）光刻机五代升级持续提高分辨率，瑞利判据构成技术演进逻辑

光刻机技术历经五代演进推动工艺节点持续演进，为摩尔定律的延续提供了核心支撑。自 1970 年代起，光刻机以汞灯光源为起点，g 线（436nm）、i 线（365nm）逐步推动工艺节点由微米级缩小至亚微米水平；进入 1990 年代，深紫外（DUV）KrF（248nm）和 ArF（193nm）光源的应用，使工艺节点降至百纳米以下，并通过步进扫描和浸没式技术进一步突破至 7nm。2013 年，极紫外（EUV，13.5nm）光源实现产业化，成为 7nm 及以下先

进制程的关键方案。围绕分辨率与曝光方式的持续革新，光刻机得以不断刷新可制造的最小特征尺寸，实现晶体管密度与性能的跃升，为下一代半导体工艺奠定基础。

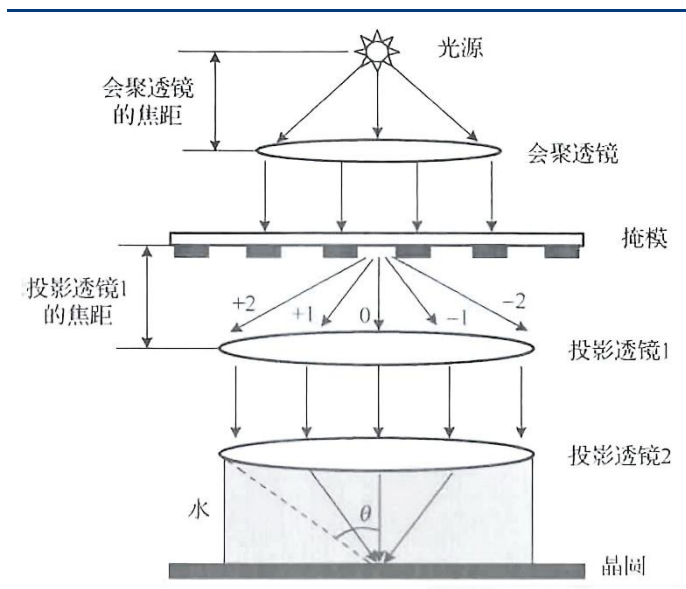
图表 6 光刻机历经五次历史迭代

代数	光源类型		首次应用时间	波长（nm）	最小工艺节点（nm）	工艺原理
第一代	汞灯光源	g-line	1978 年	436	800-250	接触式/接近式光刻机
		h-line	-	405	-	-
第二代		i-line	1988 年	365	800-250	接触式/接近式光刻机
第三代	DUV	KrF	1997 年	248	180-130	扫描投影式光刻机
第四代		ArF	2001 年	193	130-65	步进扫描投影光刻机
		F2	-	157	-	-
		ArF + 浸入式	2007 年	193（等效 134）	45-7	浸没式步进扫描投影式光刻机
第五代	EUV		2013 年	13.5	22-3	极紫外光刻

资料来源：中国科学院半导体研究所公众号，观研天下数据中心，萨科微半导体官网，华创证券

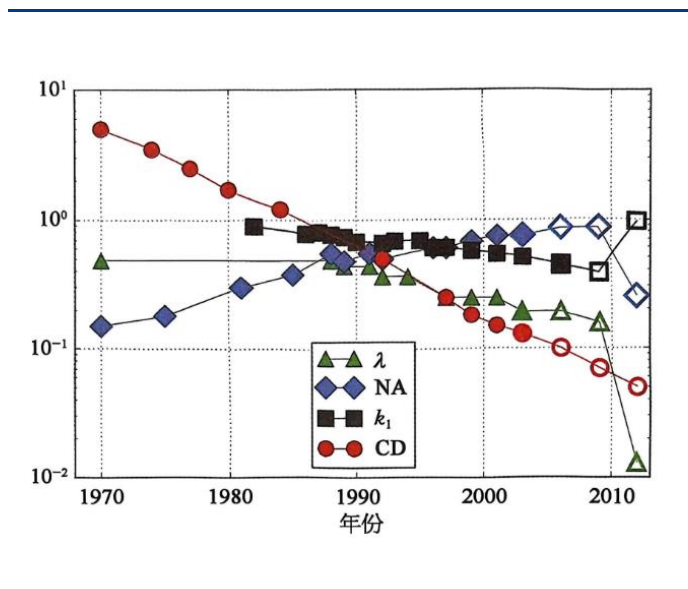
分辨率是衡量光刻机性能的核心指标，光源波长、物镜数值孔径和工艺共同决定其可支持的最小工艺节点。在半导体制造中，分辨率代表设备能够清晰转移至硅片表面的最小图形尺寸，与集成电路的关键尺寸（Critical Dimension, CD）直接对应。根据瑞利判据， $CD = k_1 \cdot \lambda / NA$ ，其中 λ 为曝光光源波长，NA 为投影物镜的数值孔径， k_1 则反映掩模设计与光刻胶性能等工艺条件。基于此公式，提升分辨率的路径主要包括缩短曝光波长、增大数值孔径以及优化工艺因子，三者共同构成光刻技术演进的根本逻辑。

图表 7 曝光系统光路示意图



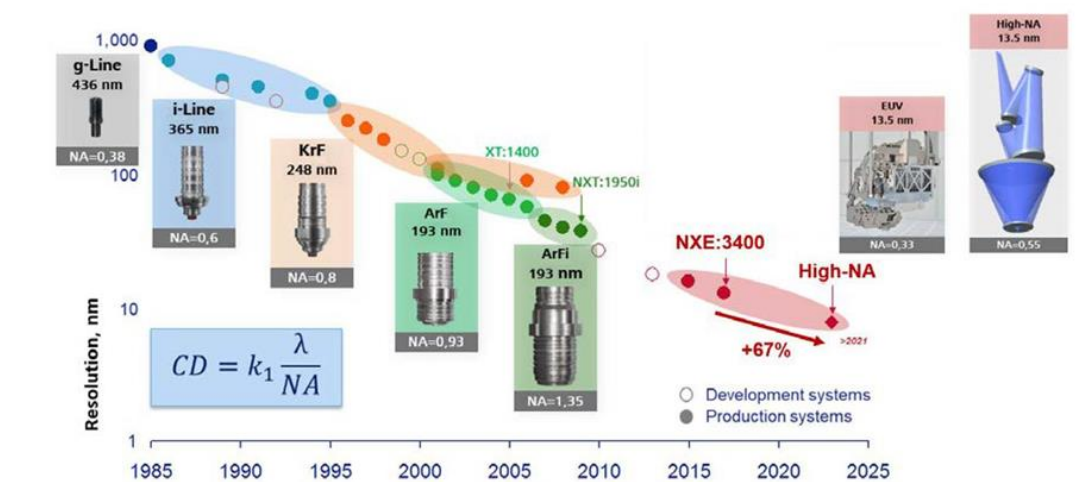
资料来源：韦亚一《超大规模集成电路先进光刻理论与应用》

图表 8 光刻技术中波长 λ 、数值孔径 NA 和工艺因子 k_1 的发展历史



资料来源：Andreas Erdmann《光学光刻和极紫外光刻》

图表 9 光刻机分辨率发展历程

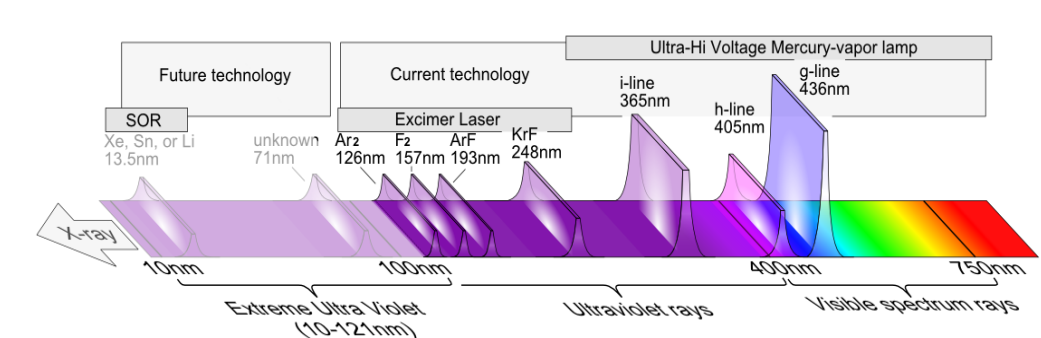


资料来源: Paul Graepner 等《EUV optics: status, outlook and future》, 转引自 SEMI《EUV Lithography patterning: status and challenges towards High NA》

1、光源波长 (λ) 不断缩短, 从汞灯到 DUV 再到 EUV 演进

光刻机光源波长的缩短构成分辨率提升的首要路径, 也是推动制程节点不断下探的关键因素。行业初期, 光刻机主要依赖汞灯光源, g 线 (波长 436nm)、h 线 (波长 405nm) 与 i 线 (波长 365nm) 相继推动工艺节点从微米级进入亚微米时代, 可满足 0.8–0.35 μ m 的制程需求。

图表 10 光刻应用中使用的辐射光谱



资料来源: allresist

- **深紫外 (DUV) 阶段实现了百纳米制程突破。** 1990 年代中期, KrF (248nm) 光源实现量产, 工艺节点推进至 180–130nm; 随后 ArF (193nm) 成为主流, 使极限尺寸降至 90–65nm 区间。此后由于 193nm 波长再度缩短难度较大, 行业进入光学极限的探索阶段。
- **业界曾探索两条路径:** 一是采用 F2 准分子激光 (波长 157nm), 虽然波长较 ArF 进一步降低, 但受制于透镜材料与光刻胶的兼容性与成本问题, 最终未能产业化; 另一条是由台积电提出、ASML 率先落地的浸没式光刻技术, 通过在投影透镜与晶圆之间填充折射率更高的去离子水, 将 193nm 光源的等效波长缩短至约 134nm, 配合数值孔径的提升, 分辨率显著增强。2004 年, ASML 推出首台商用浸没式光刻机, 支撑工艺节点向 32nm 及以下延伸, 并配合多重图形可实现 28nm 甚至 7nm 的量产。

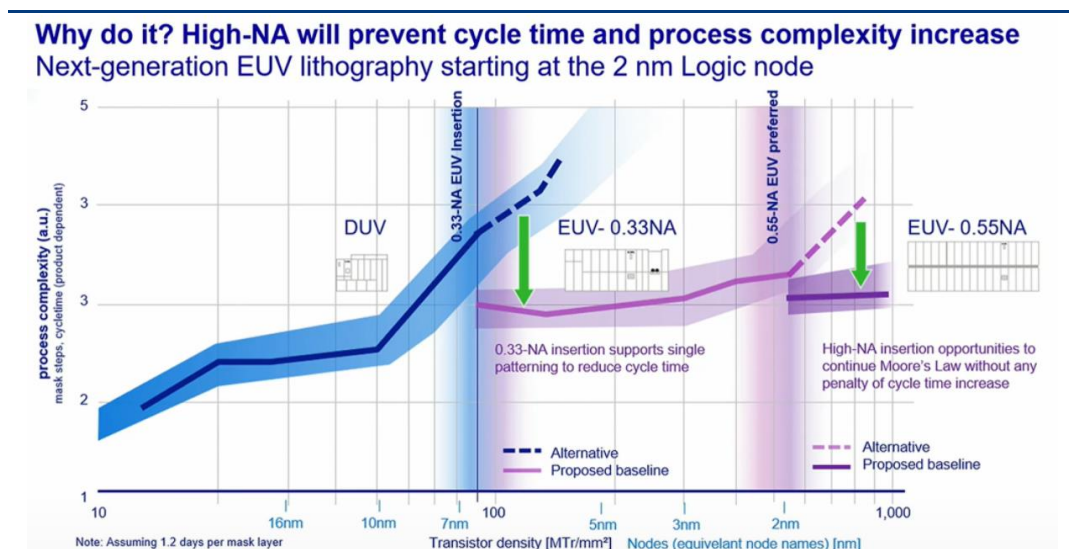
- 极紫外（EUV，13.5nm）开启先进制程新阶段，成为 7nm 及以下先进制程的核心方案。自 2010 年首台样机问世以来，ASML 先后推出 NXE:3100、NXE:3300B 至 NXE:3600D 机型，分辨率持续提升，支持制程推进至 3nm。当前 ASML 为全球唯一 EUV 供应商，并正研发数值孔径 0.55 NA 的 High-NA EUV，目标锁定 2nm 及以下节点。

图表 11 半导体光刻光源及工艺节点对应关系

节点	晶圆尺寸	对应光源及波长
0.5μm	200mm	g-line:436nm
0.35μm	200mm	i-line:365nm
0.25μm	200mm	KrF:248nm(步进式)
0.18μm	200mm	KrF:248nm(步进式及扫描式)
0.13μm	200/300mm	ArF:193nm
90nm	300mm	ArF:193nm
65/55nm	300mm	ArF:193nm
45/40nm	300mm	ArFi:193nm(134nm)
28nm	300mm	ArFi:193nm(134nm)
22/20nm	300mm	ArFi:193nm(134nm)
16/14nm	300mm	ArFi:193nm(134nm)
10nm	300mm	ArFi:193nm(134nm)
7nm	300mm	EUV:13.5nm/ArFi:193nm(134nm)
5nm	300mm	EUV:13.5nm
3nm	300mm	EUV:13.5nm

资料来源：萨科微半导体官网，华创证券

图表 12 ASML 下一代 High NA 的工艺将突破 2nm 及以下节点



资料来源：ASML，转引自萨科微半导体官网

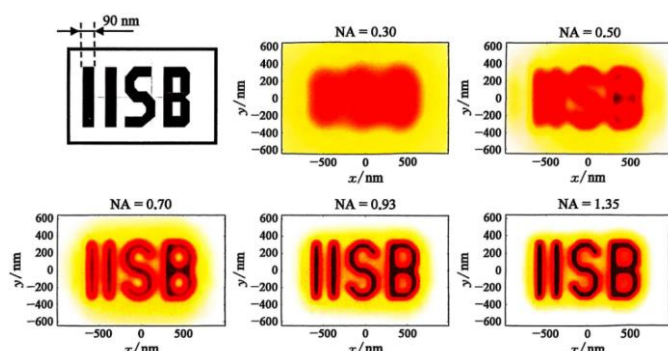
光源的波长越小分辨率越高，制造光源的难度也越高。从 KrF、ArF 准分子激光开始，光源需在稀有气体与卤素气体环境下实现高功率、窄线宽与高重复频率的稳定输出，以保

证图形精度和产率；进入 EUV 阶段，技术挑战进一步放大，13.5nm 激光等离子体光源需以高功率 CO₂激光精确击中每秒 5 万次喷射的锡滴，维持超过 250W 的稳定输出，同时兼顾高转换效率与极低噪声。

2、数值孔径（NA）持续提升，浸没式技术突破折射率物理瓶颈

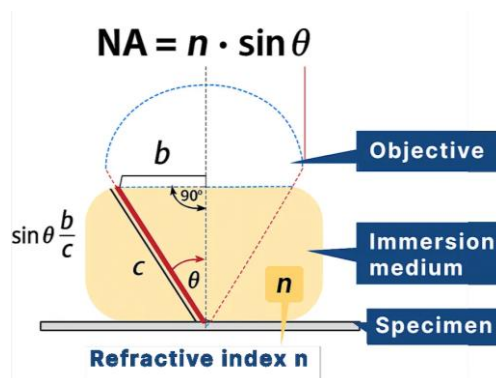
数值孔径（NA）直接决定光刻机物镜的成像能力，是提升分辨率的另一路径。NA 反映物镜收集光线和解析细节的能力，其公式为 $NA = n \cdot \sin\theta$ ，其中 n 为透镜与晶圆之间介质的折射率（空气为 1.0，其余介质更高）， θ 为光线进入镜头的半角。NA 数值越大，成像的分辨率与清晰度越高。提升 NA 通常依赖 2 种方式：增大透镜开口直径，或在物镜与晶圆之间引入折射率更高的介质。

图表 13 不同数值孔径对同一掩模图形的成像效果



资料来源：Andreas Erdmann 《光学光刻和极紫外光刻》

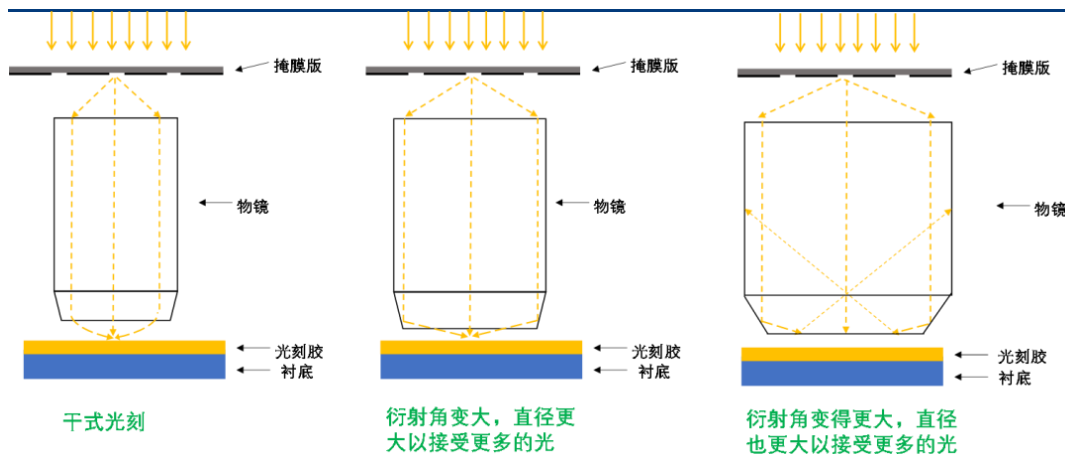
图表 14 介质折射率及光线入射角度决定数值孔径



资料来源：Basler 官网

物镜直径的放大是提升 NA 的直接方式，但其具有明确物理极限。在相同光源条件下，更大直径的透镜能够收集更宽的光束角度，从而增大 $\sin\theta$ 取值，提升成像分辨率。但随着透镜口径不断增大，光线在透镜内的折射角将逐渐接近水平，最终会因入射角过大产生全反射而无法成像。据《光学光刻和极紫外光刻》测算，系统张角 $\sin$ 值的极限约为 0.93，对应 ArF 扫描光刻机的分辨率下限在 65nm 左右。也就是说，当线宽小于 65nm 时，即便继续增加物镜直径，光束也无法有效通过透镜成像，尺寸扩大的收益不再显著。

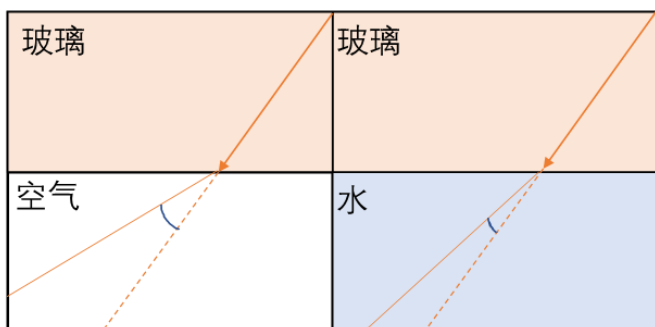
图表 15 物镜直径与衍射角对光线接收的影响



资料来源：萨科微半导体官网

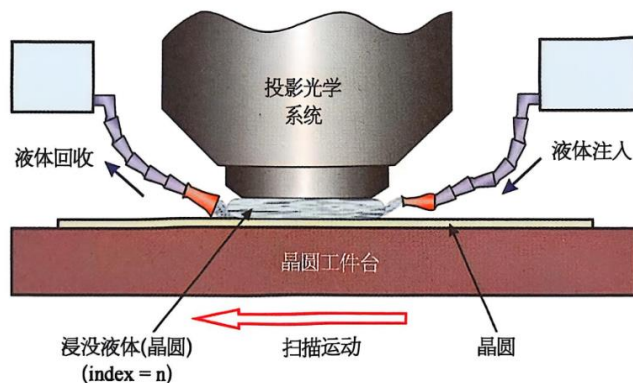
浸没式技术通过引入高折射率水介质突破 NA 限制，延长 ArF 光源机型的生命周期。以 193nm ArF 光源为例，空气折射率仅为 1.0，而超纯水在该波长下的折射率约为 1.44，接近投影透镜材料（约 1.5）。浸没式光刻在投影物镜最后一块透镜与硅片光刻胶之间填充水介质，使光线折射角度显著减小，避免因入射角过大产生的全反射，从而将 NA 提升至 1.35。在 ArF 光源发展停滞之际，业界一度转向 157nm 准分子激光，但 2000 年代初，时任台积电的林本坚教授提出“浸没式光刻”概念，并被 ASML 采纳并迅速实现产业化。2007 年，ASML 推出首台浸没式光刻机，使 193nm 光源的等效波长缩短至约 134nm（ $193\text{nm}/1.44 \approx 134\text{nm}$ ），将工艺节点推进至 65nm 以下，并在 10nm 及以上制程长期占据主流。

图表 16 光线在玻璃、空气、水中的折射



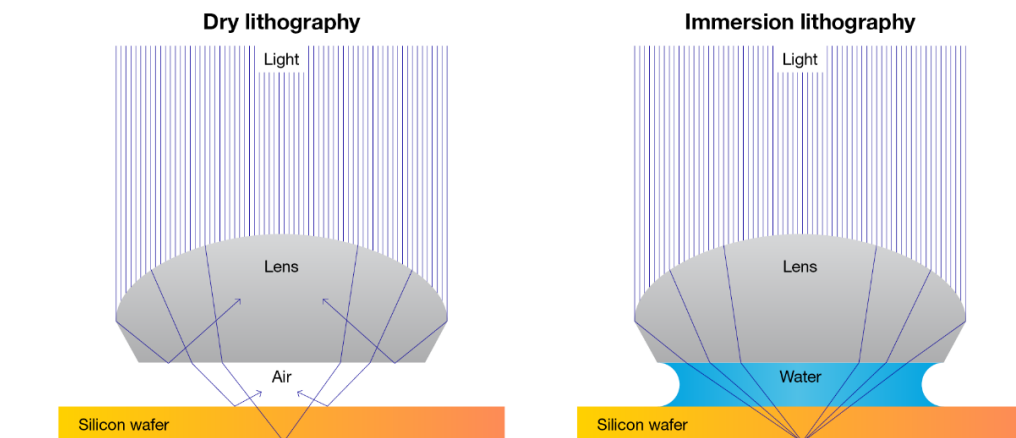
资料来源：萨科微半导体官网

图表 17 浸没式光刻系统示意



资料来源：Andreas Erdmann 《光学光刻和极紫外光刻》

图表 18 干式光刻和水浸式光刻对比



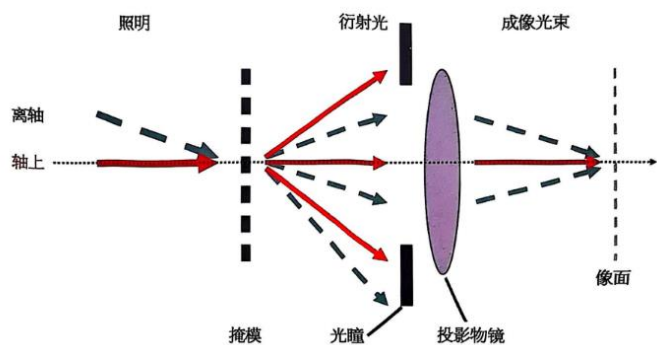
资料来源：ASML

3、工艺因子优化，光照与掩模优化协同推动制程极限延伸

除了光源波长与数值孔径之外，光刻系统的分辨率提升还依赖工艺因子的持续优化。k1 工艺因子综合反映了光照条件、掩模设计与光刻胶性能对成像质量的影响，其大小决定了工艺窗口的宽窄和制程控制的难易度。通常情况下，k1 值越高，工艺容错空间越大，良率也更易保障。随着工艺节点不断下探，k1 值持续压缩至 0.3 甚至更低，对成像窗口和制程稳定性提出极高要求，则需要分辨率增强技术（RET）对掩模和光照系统做改进，以增强在晶圆上成像的分辨率。

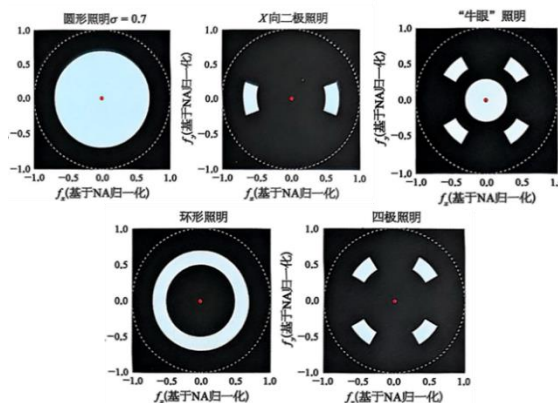
- **离轴照明 (Off-Axis Illumination, OAI)** 通过改变光源入射角度提升图形对比度与解析能力。相比传统垂直照明, OAI 通过调整光源位置, 使光线以倾斜角度入射掩模, 增强高频衍射光的收集效率, 从而改善高密度图形的成像质量。不同结构的离轴照明适配不同图形类型: 环形照明适用于 1D 密集线/空间图形, 如逻辑芯片的金属互连; 偶极照明可优化 2D 接触孔阵列, 常见于存储芯片电容器结构; EUV 系统中的四极照明则通过对称照明降低掩模三维效应干扰, 提高 16nm 节点的成像分辨率。

图表 19 基于离轴照明的周期性线空图形光学分辨率增强基本原理



资料来源: Andreas Erdmann 《光学光刻和极紫外光刻》

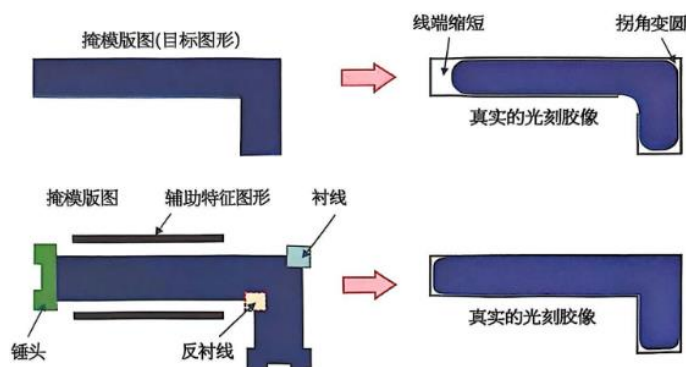
图表 20 典型投影光刻机标准照明形态



资料来源: Andreas Erdmann 《光学光刻和极紫外光刻》

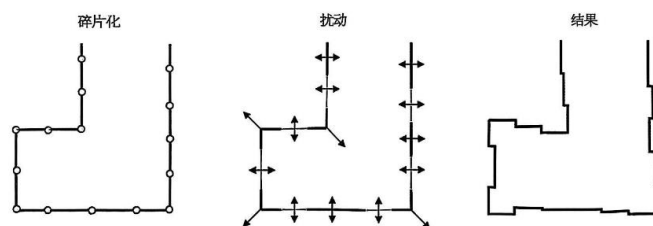
- **光学邻近效应校正 (Optical Proximity Correction, OPC)** 是降低图形失真的重要手段。由于衍射和成像畸变, 掩模图案与晶圆最终成像常存在偏差。通过在掩模上增加辅助结构或修正边缘形状, OPC 能提前补偿光学偏差, 使最终图形更接近设计目标。技术路径包括规则式 (Rule-Based) OPC, 在主图形周围添加微小辅助图形抵消干涉, 以及模型式 (Model-Based) OPC, 基于光刻仿真模型计算光强分布, 动态优化掩模边界。

图表 21 基于规则的 OPC 示例



资料来源: Andreas Erdmann 《光学光刻和极紫外光刻》

图表 22 基于模型的 OPC 的一般流程



资料来源: Andreas Erdmann 《光学光刻和极紫外光刻》

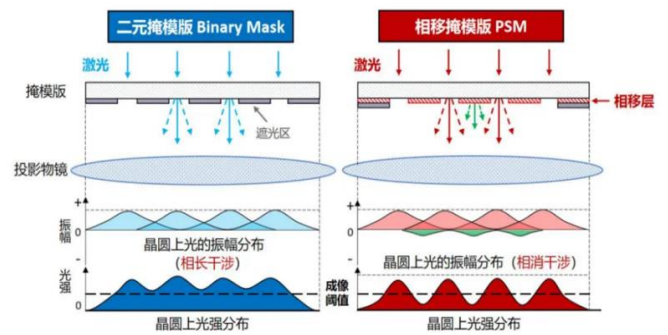
- **相移掩模 (Phase-Shifting Mask, PSM)** 通过引入相位差强化光波干涉, 提升图形边缘解析能力。相较于仅改变掩模图形形状的 OPC, PSM 在掩模透明区域引入 180° 相位差, 使邻近光波产生干涉效应, 显著提高图像对比度并解析更小线宽。

图表 23 相移掩模技术类型

类型	描述
衰减型PSM (Attenuated PSM)	在透光区引入部分吸收材料（如 MoSi），实现光强衰减与相位反转，适用于孤立图形
交替型PSM (Alternating PSM)	相邻透光区域交替引入180°相位差，增强线/空间图形成像效果
全透明PSM (All-Transparent PSM)	利用材料厚度差异产生相位差，强化图形边缘干涉分裂效果，适合复杂图形分辨

资料来源：Semidance 公众号，华创证券

图表 24 相移掩模板 PSM 的实现原理



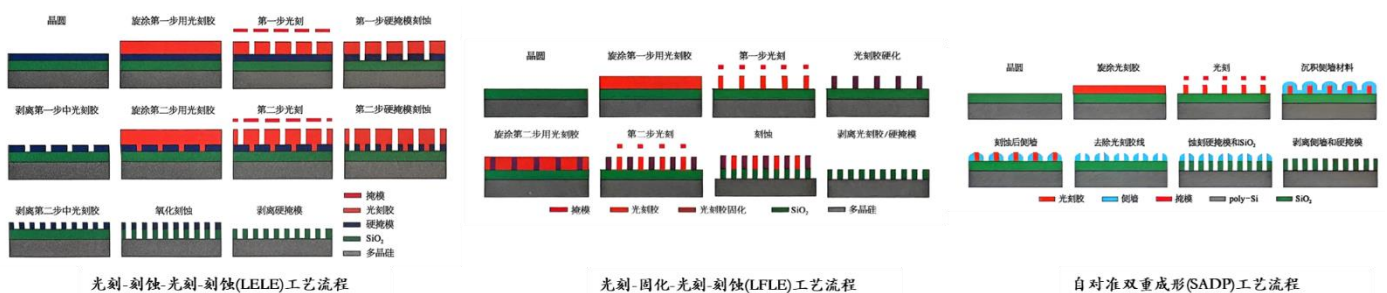
资料来源：龙图光罩官网

- **光瞳滤波 (Pupil Filtering)** 通过调控空间频率分量改善成像质量。在投影物镜光瞳平面引入滤波结构，可以选择性地增强高频分量、抑制低频噪声，使复杂图形的边缘更加清晰，从而有效降低线边粗糙度。
- **光源与掩模协同优化 (Source Mask Optimization, SMO)** 实现成像系统整体优化。SMO 将照明模式与掩模设计联合考虑，通过迭代算法找到最优组合，使系统在解析复杂二维结构时具备更高的分辨率和工艺窗口。

多重曝光多重成型技术通过图形分段转移与结构自对准，为 DUV 光刻突破 20nm 节点提供关键路径。

- **双重曝光双重刻蚀 (LELE)** 通过两次独立的光刻与刻蚀步骤对图形进行加密，适用于线性结构的线宽缩减。LFLE (Litho-Freeze-Litho-Etch) 在两次曝光之间引入固化步骤，提升结构稳定性的同时，减少一次刻蚀流程，降低整体成本。这类技术涉及两次曝光，通常对曝光的套刻精度要求较高。套刻精度指前后两道光刻工序之间彼此图形的对准精度(3 σ)，如果对准的偏差过大，就会直接影响产品的良率。
- 相比之下，自对准图形技术 (SADP/SAQP) 通过空间构造方式规避多次光刻误差，具备更强的一致性与尺寸控制能力。自对准双重图形 (SADP) 与自对准四重图形 (SAQP) 通过在主图形侧壁沉积间隔层，再利用其边界进行图形转移，实现线宽压缩且不依赖重复曝光的套刻精度。此外，多重成型与 EUV 技术的叠加使用也已被证明，有望持续延伸先进制程的极限空间。

图表 25 LELE/LFLE/SADP 多重曝光多重成型技术工艺流程



资料来源：Andreas Erdmann 《光学光刻和极紫外光刻》

4、曝光方式迭代升级，步进扫描投影奠定现代光刻主流

曝光方式承载着分辨率、良率与产能提升的多重需求，技术路径经历了接触式、接近式、投影式、步进式再到步进扫描式的演进。步进扫描投影凭借兼具高分辨率与大视场的优势，已成为现代光刻机的标准架构。

- **接触式光刻在 20 世纪 60 年代成为早期集成电路量产的主要工艺手段，适用于特征尺寸在 $5\mu\text{m}$ 以上的电路制造。**其成像原理基于近场菲涅尔衍射，掩模版与衬底光刻胶直接接触，图形以 1:1 比例整体转印至晶圆，可一次性完成整片晶圆曝光。然而掩模版与光刻胶直接接触容易导致掩模与晶圆表面划伤，并带来颗粒污染，显著降低良率并缩短掩模寿命，使其难以支撑更精细制程的量产需求。

图表 26 根据接触方式可细分为硬接触、软接触和真空接触

接触方式	描述	优点	缺点
硬接触	掩模版与晶圆上的光刻胶直接接触紧密贴合，没有任何间隙	分辨率极高	易污染掩模版导致寿命缩短；每次使用后需要清洁，增加了生产成本和工艺复杂度
软接触	掩模版轻轻放置在晶圆上，减少接触压力	保证高分辨率的同时降低掩模版和晶圆之间的损坏风险	需要小心操作以避免划伤或污染
真空接触	曝光前将掩模版与晶圆之间的空间抽至真空状态，利用气压差使掩模版紧贴晶圆	实现更加均匀、稳定的接触，有效提高曝光质量	设备复杂度和操作难度增加

资料来源：微纳研究院公众号，华创证券

- **为缓解直接接触带来的缺陷，20 世纪 70 年代引入接近式光刻。**该方式在掩模与晶圆之间保留 $2\text{--}3\mu\text{m}$ 的氮气间隙，通过气压控制间距以避免物理接触，从而减少掩模损伤风险、提升良率。其不足在于分辨率受限于间隙大小，空间分辨率极限约为 $2\mu\text{m}$ ，难以满足不断缩小的特征尺寸需求。

图表 27 接触式光刻示意图



资料来源：萨科微半导体官网

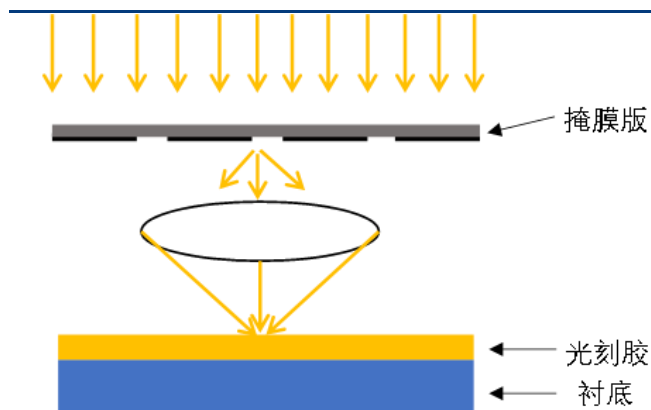
图表 28 接近式光刻示意图



资料来源：萨科微半导体官网

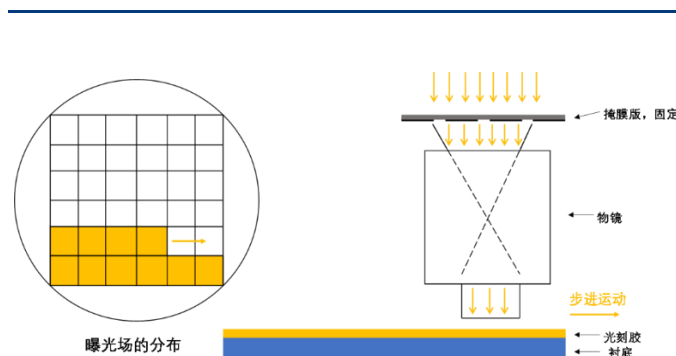
- **投影光刻引入物镜应用，显著提升分辨率和掩模寿命。**自 20 世纪 70 年代中后期开始替代接触/接近式光刻，基于远场傅里叶光学成像原理，在掩模版和光刻胶之间采用了具有缩小倍率的投影成像物镜，可以有效提高分辨率。早期投影光刻依旧采用 1:1 比例，但随着电路线宽缩小和晶圆尺寸放大，步进重复投影方式出现并取代了扫描方式。该技术以 $22\text{mm}\times 22\text{mm}$ 的典型静态曝光视场为基础，结合 4:1 或 5:1 的缩小倍率物镜，通过晶圆工作台逐步移动，实现全片曝光，广泛应用于 $0.25\mu\text{m}$ 以上制程及先进封装领域。

图表 29 投影光刻示意图



资料来源：萨科微半导体官网

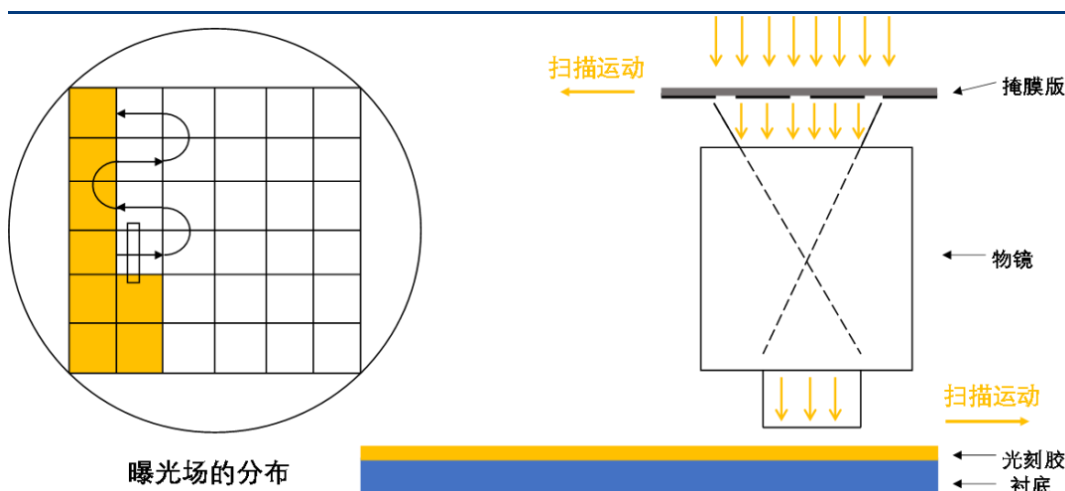
图表 30 步进重复光刻示意图



资料来源：萨科微半导体官网

- 工艺进入 $0.25\mu\text{m}$ 以下节点，步进扫描光刻凭借更大视场与更高均匀性优势确立主流地位。其原理是在单场曝光中，掩模台与晶圆台严格同步反向扫描，使动态条件下的投影物镜实现大面积均匀曝光。典型情况下物镜倍率为 4:1，掩模台扫描速度需达到晶圆台的四倍，并保持纳米级同步精度。在浸没式机型中，晶圆台扫描速度可达 0.8m/s ，对应掩模台高达 3.2m/s 。该方式在保持分辨率优势的同时，有效扩大了单次曝光视场，提高了整片晶圆的曝光效率，并依靠动态扫描降低了图形畸变，兼顾产能、良率与分辨率三大要素，成为先进制程光刻机的核心方案。

图表 31 步进扫描光刻示意图

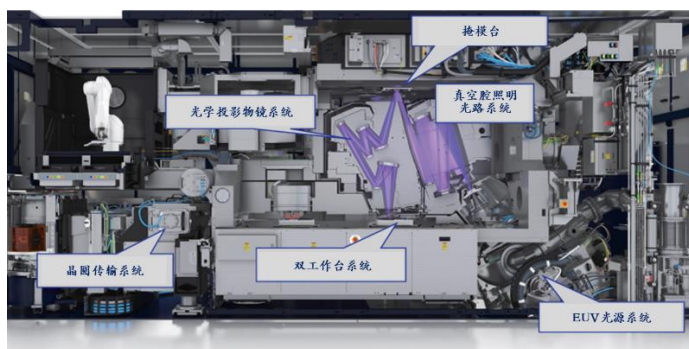


资料来源：萨科微半导体官网

二、光源、光学与工作台三大环节构成整机核心，光学系统价值量最高

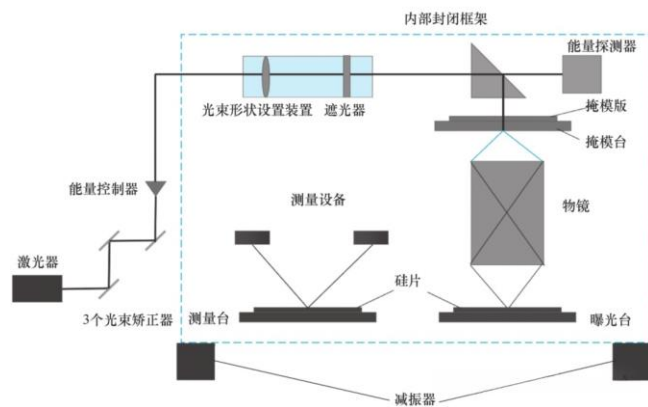
光刻机系统高度复杂，光源、光学与工件台三大部件构成性能与价值的核心。光刻机被誉为“超精密装备的珠穆朗玛峰”，整机由数十个子系统、数以万计零部件协同运作，包括自动对准、调焦调平、传输搬运、环境控制及整机控制等模块。其中，曝光光源系统、光学系统与工件台是整机性能的三大核心部件，直接决定分辨率、成像精度与产能水平。

图表 32 EUV 光刻机总体结构及主要组成系统



资料来源：胡楚雄等《集成电路装备光刻机发展前沿与未来挑战》，华创证券

图表 33 光刻机内部工作结构



资料来源：中国科学院半导体研究所公众号

图表 34 光刻机核心组成部分

核心组成部分		用途
光源系统		负责发出特定波长的光，以照射掩模并完成图案转移。光源是光刻机的“心脏”，其性能直接决定图案分辨率。目前主要有 DUV 和 EUV 两类光源
光学系统	照明系统	用于将光源发出的光均匀地照射到掩模上，确保图案转移的均匀性和一致性。它包括一系列透镜、反射镜和整形器件，可以控制光的角度、照度和相干性
	投影物镜系统	核心光学组件，用于将掩模图案按比例（如 4:1 或 5:1）缩小后精确投影到硅片上，通常由十几片超高精度镜片构成，对像差、光斑尺寸、焦深等参数要求极其严格
掩模台		用于固定光罩，并与投影物镜保持稳定的光学对位。掩模上刻有芯片的图案，是图案来源的模板。掩模台需具备亚纳米级的平移和倾斜调整能力，确保图案准确投影
晶圆台（工作台）		用于固定并移动硅片，使其每一块芯片区域逐个接受曝光。晶圆台的运行精度要控制在几纳米甚至亚纳米级，移动速度要与曝光节奏高度同步
对准系统		用于确保掩模图案与硅片已有图案精确叠加（Overlay）。这套系统一般通过激光干涉仪、干涉测量镜头等实现精准坐标定位和实时校正
控制系统与软件平台		系统由多个嵌入式控制器、工业计算机、图像识别模块和 AI 算法组成，软件平台适配不同制程要求，协调管理包括运动控制、光强调整、曝光时间设定、图像对焦、自动校准等任务
环境控制系统		确保洁净室洁净度达 10 级甚至更高，包括温湿度控制系统（温度稳定在 $\pm 0.01^{\circ}\text{C}$ ）；振动隔离系统（避免亚纳米级的机械干扰）；空气净化与正压保持系统（防止尘粒影响光学性能）；EUV 光刻中还需在真空环境下运行
其他辅助系统	自动上下片系统	负责实现硅片的自动加载与卸载
	成像检测系统	负责实时监控图像质量与曝光一致性
	故障检测与报警系统	负责确保高可靠性运行

资料来源：科汇华晟官网，华创证券

光学系统是光刻机最核心的价值环节。根据 Bloomberg 估算，蔡司是 ASML 最关键的供应商，负责提供光刻机 EUV 与 DUV 光刻机的投影物镜及反射镜系统，2024 年其供货在 ASML 采购成本中占比超过 28%，位居各子系统之首，是整机成本结构的核心环节。

图表 35 2024 年 ASML 部分主要供应商、关系规模及成本占比

供应商名称	总关系规模(百万美元)	成本%
Carl Zeiss SMT AG	3,946.50	28.23%
Ultra Clean 控股股份有限公司	200.97	1.19%
VAT 集团股份公司	165.41	1.16%
基准电子有限公司	148.29	1.04%
Entegris 股份有限公司	146.55	0.82%
相干公司	99.38	0.70%
MKS 股份有限公司	94.53	0.66%
尼康株式会社	66.53	2.96%
Enpro 股份有限公司	46.82	0.33%
Lumentum 控股股份有限公司	16.2	0.11%
信邦电子股份有限公司	13.21	0.09%
欧立腾集团	3.94	0.03%
家登精密工业股份有限公司	1.59	0.01%

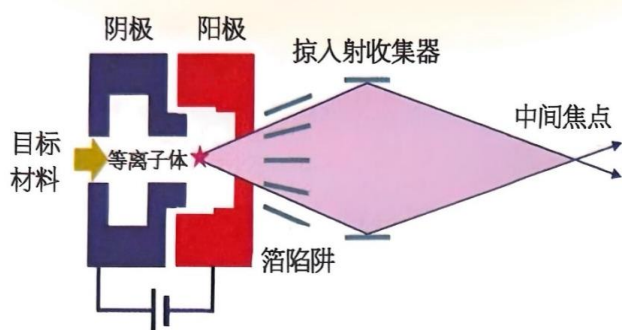
资料来源：Bloomberg，华创证券

（一）光源系统：历经汞灯-DUV-EUV，Cymer 与 Gigaphoton 垄断全球市场

曝光光源技术为光刻机提供特定波长、线宽与功率的光束，是实现光刻成像的起点。当前主要包括 UV 汞灯光源、DUV 准分子激光光源以及 EUV 光源。

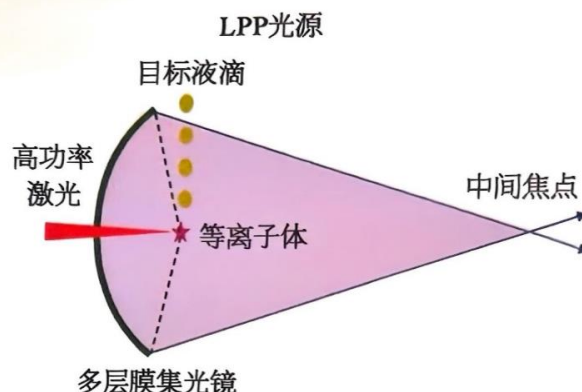
- **UV 汞灯光源**：光刻机最早采用高压汞灯产生紫外光，属于气体放电光源。汞蒸气受能量激发后，汞原子最外层电子跃迁，落回后放出光子，例如 g 线（波长 436nm）、i 线（波长 365nm）均广泛应用于早期光刻机。
- **DUV 准分子激光光源**：准分子激光以稀有气体和卤素气体为工作介质，辅以惰性气体作为缓冲剂。气体在放电激励下形成短暂存在的“准分子”，在受激辐射过程中释放紫外激光。应用于光刻机的主要包括 KrF（248nm）与 ArF（193nm）光源。浸没式光刻技术进一步将 193nm 光源的等效波长缩短至 134nm。该技术的难点在于实现高重复频率、高功率（影响性能）与窄线宽（保障成像精度并降低色差影响）。

图表 36 放电等离子体（DPP）光源发生原理



资料来源：Andreas Erdmann 《光学光刻和极紫外光刻》

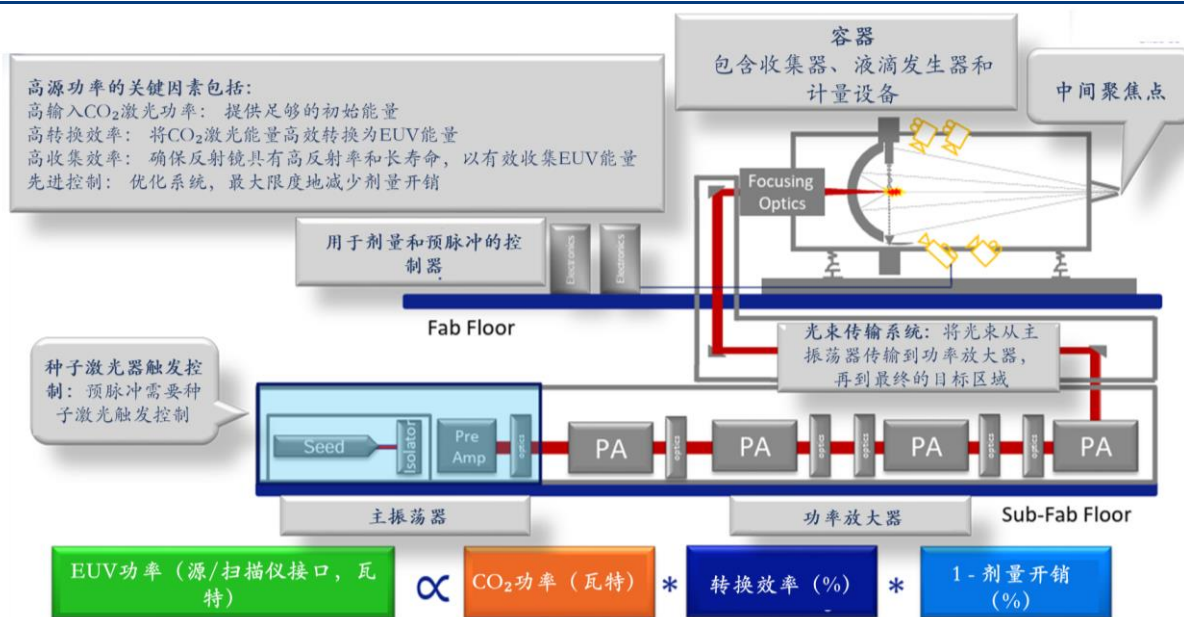
图表 37 激光等离子体（LPP）光源发生原理



资料来源：Andreas Erdmann 《光学光刻和极紫外光刻》

- **EUV 光源：**EUV 光源基于激光等离子体（Laser Produced Plasma, LPP）原理，通过高能 CO₂激光轰击直径 20–30 μm 的锡液滴产生 13.5nm 极紫外光。锡滴以每秒约 5 万次的频率喷射，激光击中锡液后瞬间使其汽化并形成等离子体，电子能级跃迁释放出 13.5nm 波长的高能光子。由于 EUV 光子吸收强、穿透性弱，整个系统必须在真空环境下运行，并依赖多层布拉格反射镜进行收集与传输。为实现稳定曝光，光源需达到 250W 以上功率，同时保持极低噪声与高转换效率。一套 EUV 光源系统包含约 45 万个零部件，重量超过 17 吨，光路总长逾 500 米，对能量传输、热管理与精密控制提出极高要求。

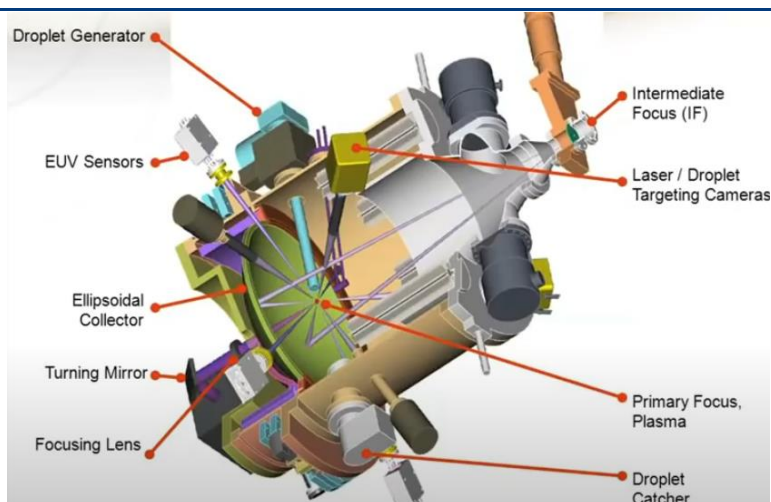
图表 38 LPP 光源系统架构示意图



资料来源：ASML 《EUV Source for Lithography in HVM: performance and prospects》，华创证券

光源供应商格局高度集中，Cymer 与 Gigaphoton 形成双寡头垄断。目前，全球光刻机光源市场几乎由 Cymer 与日本 Gigaphoton 两家企业垄断，其中 Cymer 在 2013 年被 ASML 全资收购，系其内部核心供应平台，也是目前唯一实现 EUV 光源量产的厂商。Gigaphoton 则凭借与日本设备厂及晶圆厂的长期合作，稳固了其在 KrF 与 ArF 光源的市场份额，在 DUV 领域与 Cymer 形成均势，同时已研发出可应用于检测系统的 EUV 光源，在 EUV 光源领域加速追赶。

图表 39 Cymer 激光等离子体（LPP）极紫外光源腔体结构

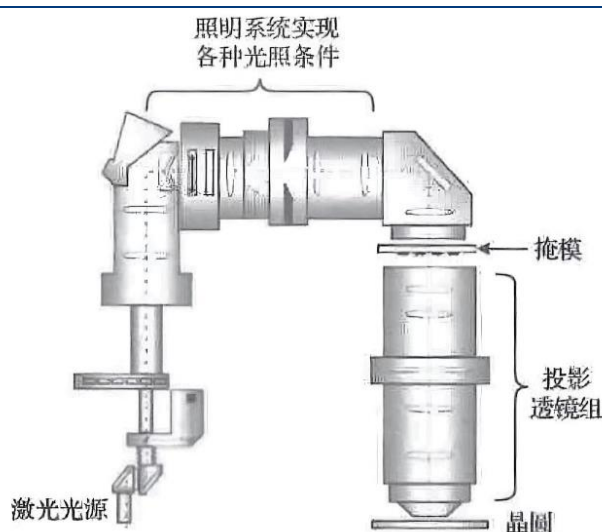


资料来源: Cymer

（二）光学系统：DUV 透镜复杂度攀升，EUV 多层膜反射镜构筑成像体系

光学系统是光刻机最关键且最复杂的部分之一，由照明与投影物镜两大核心环节组成。

图表 40 光刻机光路示意图



资料来源: 韦亚一《超大规模集成电路先进光刻理论与应用》

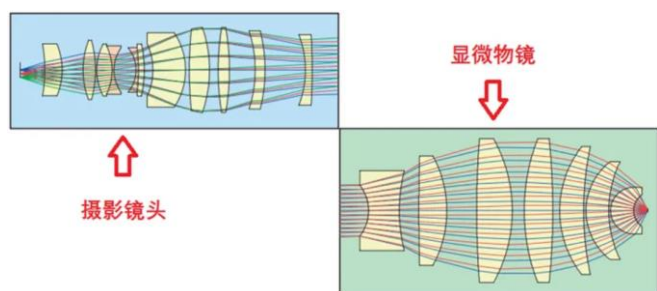
照明系统负责光场整形与曝光控制，是实现均匀照明和扩大工艺窗口的关键环节。照明系统位于光源与投影物镜之间，涵盖光束处理、光瞳整形、能量探测、光场匀化、中继成像与偏振控制等单元。其技术难点在于提升光均匀度、稳定扫描条形光的开合以及灵活调节光形状，以应对微米以下节点衍射效应带来的挑战。随着线宽不断缩小，计算光刻技术（OPC、SMO、逆向光刻等）被广泛应用，通过光源—掩模协同优化补偿干涉和衍射导致的图形畸变，从而提升分辨率、加大焦深并扩大工艺窗口。如何在保证图像一致性的同时提升算法效率，仍是照明系统发展的核心难题。

投影物镜承担掩模图形的精确缩小成像，是实现精准成像的关键部件。在高分辨率条件下，单一透镜难以兼顾大口径与成像精度，通常需要由几十片透镜组成的复杂光学系统来共同校正像差。

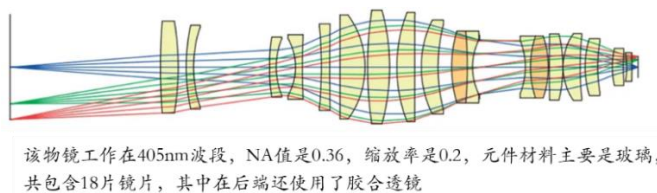
1. 汞灯及 DUV 激光系统透镜物镜系统

早期投影物镜以摄影镜头与显微镜头组合为雏形，奠定了光刻成像的基础结构。在该架构下，掩模端采用摄影镜头以保证足够大的视场，而晶圆端则配备显微镜头以提升数值孔径 (NA)，确保解析度。由于晶圆表面为平面，物镜设计中需重点校正 Petzval 场曲，通常通过在镜头“腰部”加入负光焦度透镜、在镜头加粗处配置正光焦度透镜来实现，形成典型的葫芦形光学系统，并衍生出单腰、双腰和多腰结构。早期系统以 g 线 (436nm)、h 线 (405nm)、i 线 (365nm) 光源为主，镜片材料多为常规光学玻璃，数量有限且以球面透镜为主，NA 较低，以单腰系统最为常见。

图表 41 摄影镜头和显微镜头组合构成投影物镜雏形



图表 42 单腰系统物镜结构

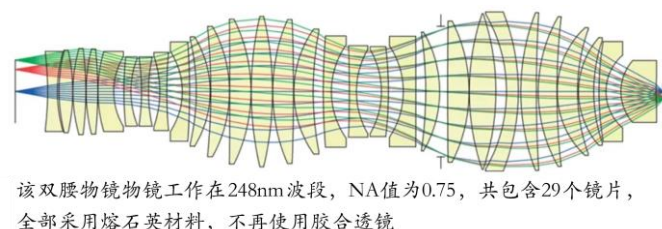


资料来源：摩高光学

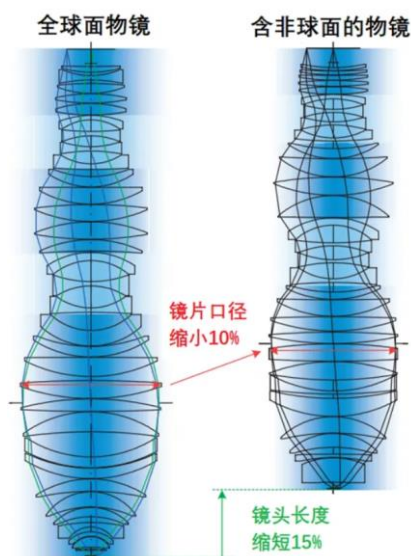
资料来源：摩高光学

DUV 波段引入多腰结构与非球面透镜，实现像差校正与体积优化。随着工艺线宽不断缩小，单腰系统无法满足分辨率需求，逐步演进为双腰与多腰结构。为实现光线平滑折转并抑制高阶像差，物镜镜片数显著增加，部分系统需配置达近 30 片球面透镜，然而这带来镜头体积和重量的大幅提升（直径 60–80cm，长度逾 1m，重量数百公斤），设计与制造成本显著上升。非球面透镜的应用成为突破口，一方面显著提升像差校正能力，另一方面可效缩减镜头体积。相较传统球面透镜系统，引入非球面后镜片最大口径可缩小 10%，镜头长度缩短 15%，整体体积下降约 40%，成为 DUV 波段的主流物镜形式。

图表 43 29 片镜片双腰系统物镜结构



图表 44 全球面物镜组与含非球面镜片物镜组对比

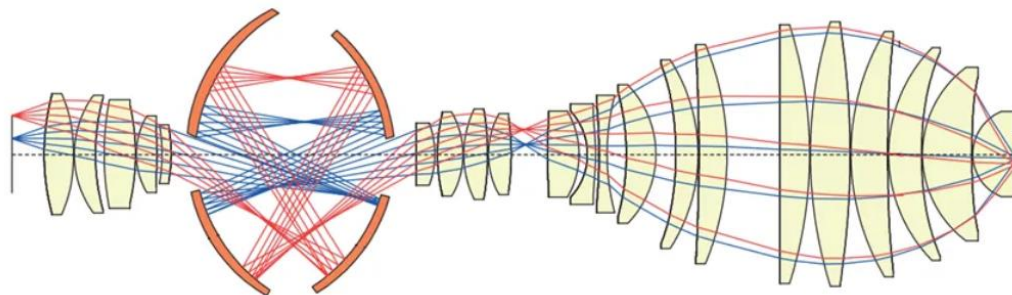


资料来源：摩高光学

资料来源：摩高光学

折射/反射混合结构的应用进一步提升 NA，并突破材料与色差限制。在 193nm 干法光刻下，纯折射物镜的 NA 可达 0.95；配合浸没式工艺，NA 最高可提升至 1.1。但高 NA 导致镜片口径巨大，材料均匀性和像差校正难度均显著增加。为此，物镜组引入折反式混合结构，通过反射镜参与成像，不仅有助于 Petzval 场曲校正，也能控制体积与重量，且进一步将 NA 可提升至 1.35。

图表 45 折反式物镜组结构



资料来源：摩高光学

2. EUV 激光系统反射镜物镜系统

EUV 光刻机必须采用纯反射式物镜结构，以克服极紫外光的强吸收特性。由于 13.5nm 波长的 EUV 光几乎无法透过任何光学材料，传统折射式与折反式物镜均不适用。因此，EUV 光刻机投影物镜系统完全依赖高精度反射镜来实现成像，这一转变不仅改变了光学设计范式，也对反射镜表面精度、镀膜均匀性与污染控制提出了前所未有的挑战。

图表 46 EUV 光刻的蔡司成像系统示意

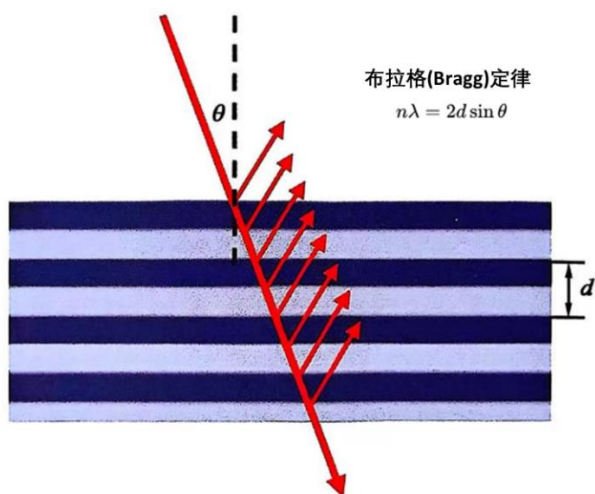


资料来源：Andreas Erdmann 《光学光刻和极紫外光刻》

钼硅多层镀膜反射镜是 EUV 物镜系统的核心元件。EUV 极易发生衍射，因此在基底表面交替沉积 40 对厚度仅为数个原子层钼 (Mo) 和硅 (Si) 膜层，形成 Mo/Si 多层膜结构构建布拉格反射器。钼和硅双层膜两种材料之间的折射率差异较大，而吸收率则都相对较小，当这些层精确叠加时，光会被放大可在 13.5nm 波长和 0-12° 入射角下实现约 70% 的理论反射率。但该结构对界面缺陷极为敏感——钼硅之间的原子扩散易形成混合层，从

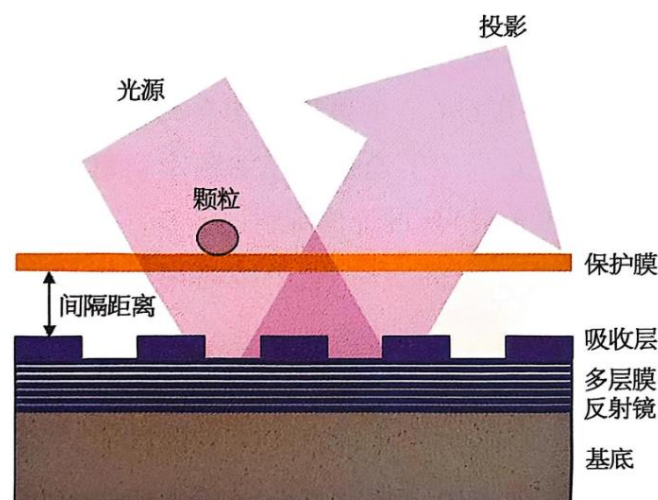
而损耗反射率；氧化和微粒沉积也会破坏多层膜的干涉结构。因此，业界普遍在最外层增加一层钌（Ru）以实现防氧化保护，并提升膜层稳定性。

图表 47 钼/硅多层膜叠层示意图



资料来源：Andreas Erdmann 《光学光刻和极紫外光刻》

图表 48 带有保护膜 EUV 掩模示意



资料来源：Andreas Erdmann 《光学光刻和极紫外光刻》

蔡司掌握 EUV 反射镜独家供应能力，是 ASML 光学系统的关键战略伙伴。EUV 反射镜头技术壁垒极高，作为 ASML EUV 投影反射镜唯一供应商，蔡司的反射镜制造能力已成为全球 EUV 设备交付能力的核心瓶颈之一。蔡司半导体技术公司（Carl Zeiss SMT）与 ASML 已合作约 40 年，共同推动了 EUV 光学研发和量产。

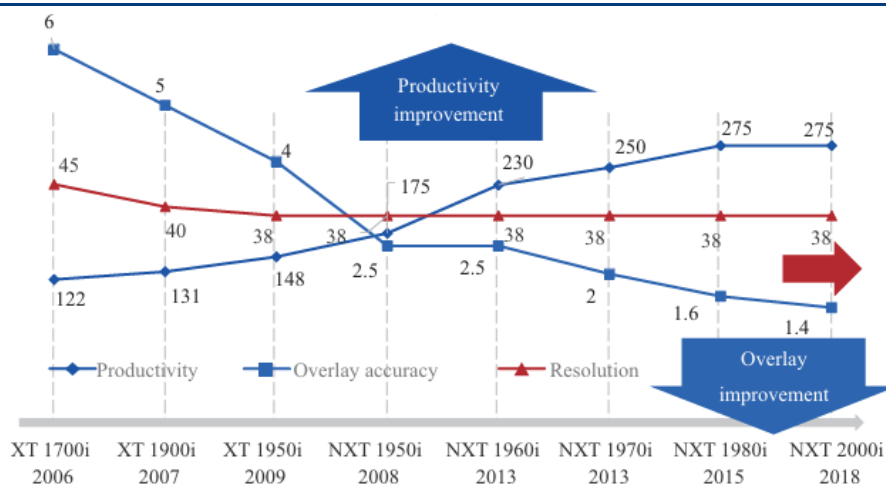
（三）工作台：超精密运动控制核心，ASML 首创双工件台奠定竞争优势

工作台涉及超精密机械设计、测量与运动控制等多项关键技术，直接决定光刻机的良率与产能。光刻机三大核心指标中，分辨率主要取决于光源与光学系统，而套刻精度与产能效率则高度依赖于工作台。工件台承担硅片与掩模在曝光光学系统下的超精密运动与定位。当光源波长与光学系统的改进逐渐逼近物理极限时，工作台在运动控制与套刻精度上的持续突破，成为过去二十年推动光刻机良率与产能提升的关键动力。

气浮与磁浮技术迭代推动工件台精度提升，分别为 DUV 与 EUV 时代主流方案。早期工件台依赖机械式导轨，但受摩擦与非线性误差影响，精度仅能维持在亚微米水平。随着气浮技术引入，摩擦力大幅降低，工件台运动精度跃升至纳米级，成为 DUV 光刻机的主流配置。对于 EUV 光刻机，由于极紫外光无法穿透空气，气浮结构不再适用，磁浮平面电机取而代之，成为其实现高精度运动控制的关键。

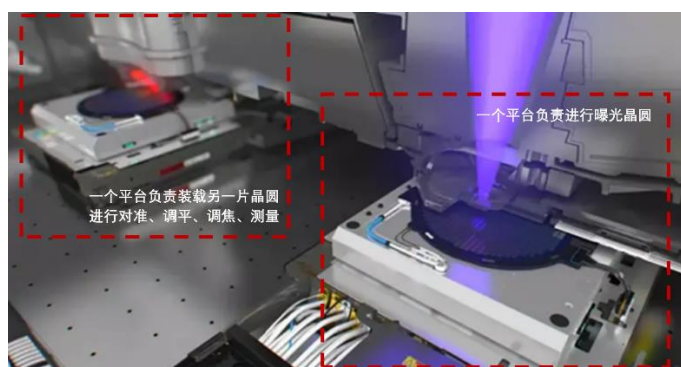
双工件台架构通过并行作业显著提升产能效率，已成为 ASML 先进机型的标配。2000 年 ASML 率先推出 TWINSCAN 双工件台系统，在一台晶圆曝光的同时，另一台可同步完成对准、调平和调焦，曝光完成后快速切换，大幅减少待机时间，使光刻机整体产能提升约 35%。目前 ASML TWINSCAN NXT:2050i/2100i 光刻机每小时可生产 295 片晶圆。双工件台系统依托气浮与磁浮平面电机驱动，实现大行程、高速、高加速度下的纳米/亚纳米级精度运动。例如，在 38nm 节点工艺中，光刻机要求工件台的移动平均偏差小于 1nm，移动标准差小于 7nm，已成为 ASML 先进机型的标配。

图表 49 ASML 各代光刻机分辨率、生产效率与套刻精度的发展历程



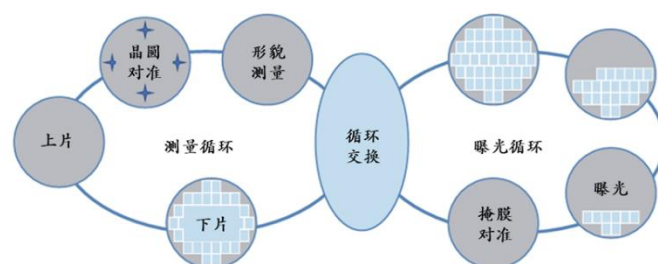
资料来源：胡楚雄等《集成电路装备光刻机发展前沿与未来挑战》

图表 50 TWINSKAN 系统双工作台



资料来源：半导体前沿、转引自芯语，华创证券

图表 51 光刻机双工件台原理



资料来源：胡楚雄等《集成电路装备光刻机发展前沿与未来挑战》，华创证券

三、全球龙头格局演进清晰，国产化迎追赶窗口

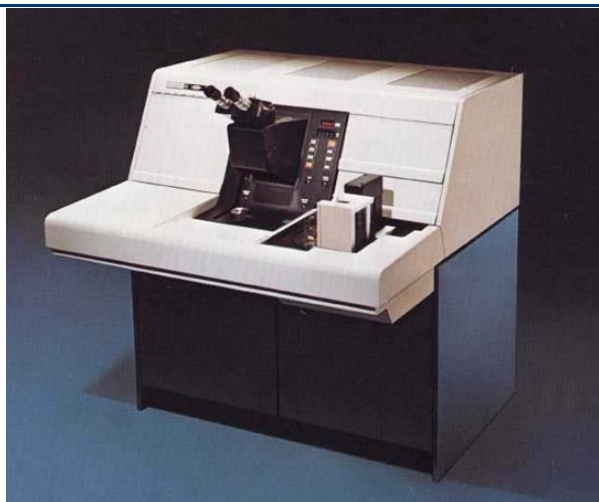
（一）海外发展复盘：美日企业先后崛起，ASML 通过代际跃升实现反超

高端“一超”、成熟“两强”，格局随代际更替不断重构。回顾行业 50 余年演进历程，光刻机主导权依次从“美系（方法学/范式）→日系（工程化/量产）→ASML（平台化/代际整合）”迁移。其背后是三条技术主线的阶段性突破：美系率先开创“投影+步进”范式，日系依靠步进扫描与 DUV 工程化登顶，而 ASML 则通过 TWINS CAN、浸没式及 EUV（并演进至 High-NA）实现跨代反超，并凭借供应链纵向整合固化龙头优势。

1. 美系起步：从接触/接近式到投影/步进式，Perkin-Elmer 与 GCA 率先奠定现代光刻范式。

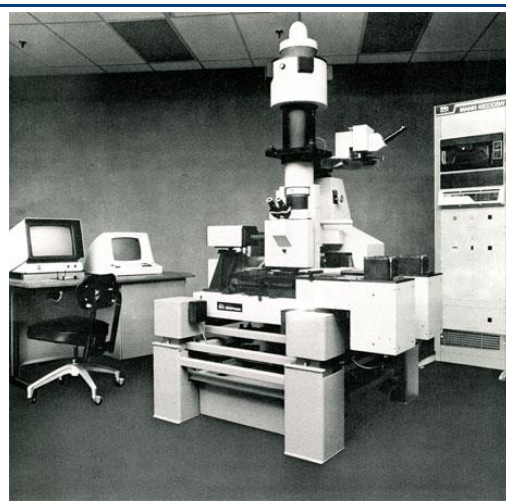
20 世纪 60-70 年代，作为半导体产业的发源地，美国厂商率先切入光刻机研发并确立主导地位。早期设备仍以接触式与接近式为主，分辨率有限且良率偏低。1973 年，获得美国军方投资的 Perkin-Elmer 推出 Micralign 投影对准机，首次采用投影光学系统，有效避免掩模与硅片直接接触导致的颗粒与缺陷，大幅改善良率，被视为现代光刻的开端。1978 年，GCA 又推出自动化步进投影式光刻机，通过“缩小投影 + 晶圆步进”架构解决了掩模尺寸与晶圆不断放大的矛盾，兼顾分辨率与产能，成为此后数十年光刻系统的标准路线。凭借在工作台与投影光学的先发突破，美国厂商在光刻机早期市场形成压倒性优势，奠定了全球产业格局的基础。

图表 52 Perkin Elmer Micralign 投影掩模对准光刻机



资料来源：Chiphistory

图表 53 GCA Mann 4800 直接步进式光刻机



资料来源：Chiphistory

2. 日系赶超：政策扶持叠加光学镜头突破，Nikon 与 Canon 实现反超。

进入 1980 年代，随着投影与步进式工艺路线逐步成熟，竞争焦点转向投影物镜精度与量产能力。日本政府将半导体列为国家战略，通过 VLSI 计划集中资金与科研资源，推动设备和工艺能力跃升。在此背景下，Nikon 与 Canon 借助在精密光学与成像系统的深厚积累，实现光刻机产业化突破。

Nikon 于 1980 年代初推出 NSR 系列步进式光刻机，率先实现商用量产，凭借高精度对准与稳定产能迅速崛起。Canon 则依托在相机与精密镜头的工艺积累，强化投影物镜制造，并在 i-line 与 KrF 机型形成差异化竞争。两家公司既受益于本土 DRAM 龙头的旺盛需求，也依托与日本材料、零部件厂商的紧密协作，构建起完整的光刻产业链。到 1980

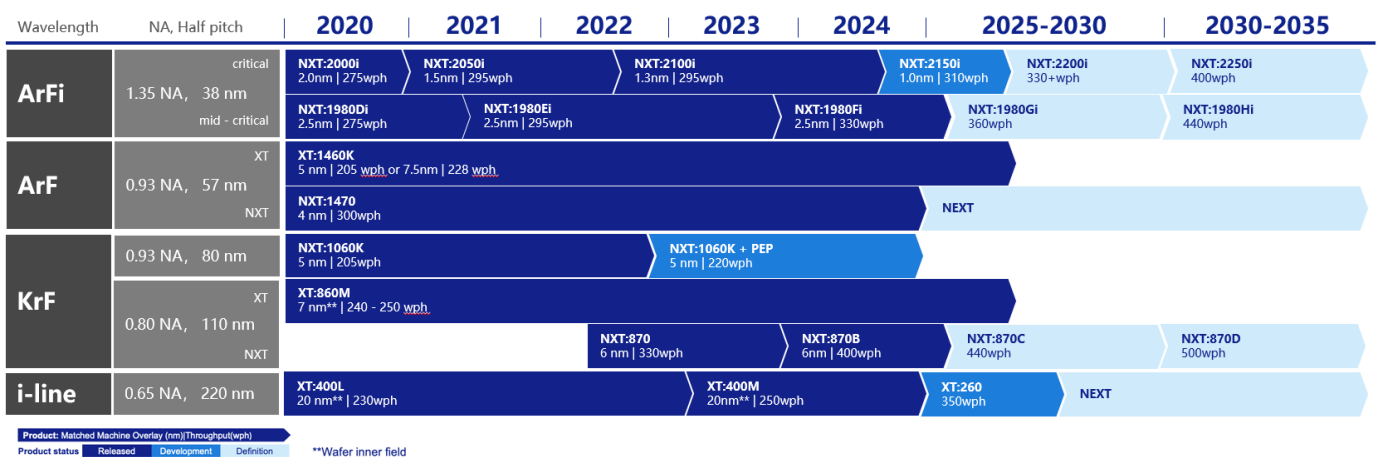
年代末，Nikon 与 Canon 已在全球市场份额上全面超越美系厂商，尤其在 KrF 与 i-line 等关键 DUV 机型占据超过 70% 的市场份额，成为全球扩产潮的最大赢家，奠定了日系设备长达 20 年的黄金时代。

3. ASML 弯道超车：三次代际创新与产业链协同，跃升全球唯一龙头地位。

ASML 脱胎于飞利浦光刻设备研发小组。1971 年，飞利浦在此前显影透镜设备的基础上研发出透镜式非接触光刻机，但市场反响有限。进入 21 世纪后，ASML 依托与台积电等客户的深度协同，通过连续三次代际创新实现弯道超车，逐步奠定全球绝对龙头地位。

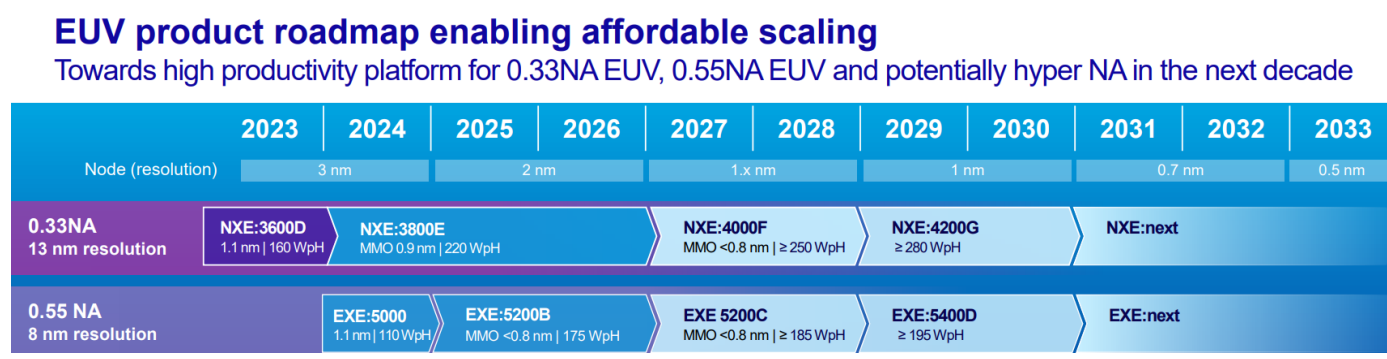
- 1) TWINSKAN 双工作台系统:** 2000 年，ASML 首次推出双平台结构的 TWINSKAN 系统，大幅提升生产效率，彻底革新了芯片生产的经济成本。2008 年升级的 NXT TWINSKAN 平台进一步在速度与精度上实现突破，采用轻量化材料与磁悬浮驱动，运动更快、定位更精准，奠定其在高产能光刻机市场的优势。
- 2) 浸没式 ArF 机台:** 2001 年 ArF 光刻机推出后，193nm 工艺逐渐成为业界主流，摩尔定律的持续推进使分辨率突破成为核心难题。彼时，尼康与硅谷集团主张在既有路径上演进，采用 157nm F2 光源；而台积电林本坚提出以水作为折射介质，将 193nm 等效缩短至 134nm 的浸没式方案。尚处于追赶地位的 ASML 果断押注浸没式技术，2004 年，其与台积电联合推出首台浸没式设备 TWINSKAN XT:1250i，2007 年进一步发布首台商用浸没式机型 TWINSKAN XT:1900i，加速了工艺演进。依托该突破，ASML 在 2007 年超越尼康登顶市场第一，并在 2009 年市场份额提升至 70%。
- 3) EUV 光刻机:** 随着制程演进至 5 纳米节点，极紫外光刻（EUV）成为业界竞争焦点。ASML 作为唯一的光刻设备生产商加入 EUV LLC 联盟，与美国政府及科研机构协同攻关，逐步突破光源、抗蚀剂及防护膜三大难题，并于 2006 年推出首台 EUV 原型机。2012 年，Intel、TSMC 与 Samsung 通过“客户共同投资计划”合计入股 ASML 约 23%，并在五年内向 ASML 的 EUV 光刻机及 450mm 研发共计投入 13.8 亿欧元。至 2016 年，支持 5nm 及以下工艺第四代 EUV 机型 NXE:3400B 问世，并于 2017 年开始量产交付。ASML 在 EUV 领域的独家供应地位，并在高端光刻市场市占率超 90%。

图表 54 ASML i 线/KrF/ArF/ArFi 产品路线图



资料来源: ASML, baldengineering, 华创证券

图表 55 ASML 0.33NA/0.55NA EUV 光刻机产品路线图



资料来源：ASML

技术迭代的同时，ASML 通过产业链纵向整合构筑系统性壁垒。2002 年，公司收购美国硅谷光刻集团（SVG），深化与美国本土的产业联系，为后续融资与市场拓展奠定基础；2007 年收购 Brion，补强计算光刻与检测解决方案；2013 年并购 Cymer，掌握唯一可量产的 EUV 光源技术；2016 年收购 HMI，补强电子束检测与计量能力；2017 年以 24.8% 股权参股卡尔蔡司，稳固其在 EUV 投影光学上的核心竞争力；2019 年收购 Mapper Lithography 知识产权与研发团队，扩展多束电子束计量技术；2020 年收购 Berliner Glas Group，扩充高端光学与模块制造产能，强化 EUV 产能爬坡的关键瓶颈环节。通过一系列收购整合，ASML 实现了从光源、光学、检测到整机的全链路覆盖，在“技术+产业链”的闭环优势中建立了高度不可替代的系统能力。

图表 56 ASML 收并购历程及其战略意义

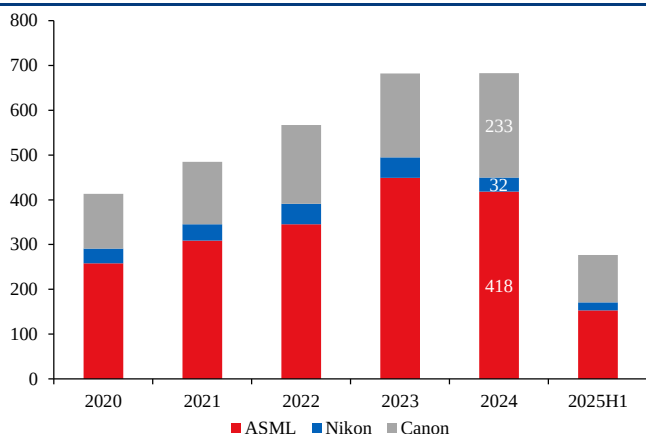
年份	并购对象	领域/环节	战略意义
2002	Silicon Valley Group (SVG)	光刻机制造	扩大美国市场与客户基础，强化本土联系
2007	Brion Technologies	计算光刻/检测软件	补强计算光刻与工艺优化能力
2013	Cymer	EUV/DUV 光源	掌握唯一可量产的 EUV 光源，加速 EUV 商用化
2016	Hermes Microvision (HMI)	电子束检测	补齐电子束检测与计量环节
2017	Carl Zeiss (24.8%股权)	光学镜头	稳固 EUV 核心光学供应链
2019	Mapper Lithography (IP /团队)	多束电子束量测	收购知识产权与团队，扩展量测技术
2020	Berliner Glas Group	高端光学/模块制造	扩充光学与模块能力，缓解 EUV 产能瓶颈

资料来源：ASML，半导体行业观察，转引自智通财经网，华创证券

（二）全球市场三分天下，ASML 凭借 EUV 设备龙头地位稳固

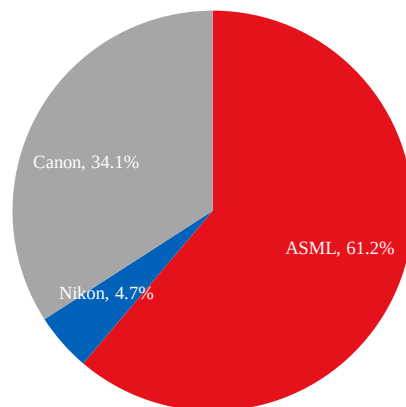
全球光刻机市场格局稳定，三巨头长期寡头主导。ASML、Canon 与 Nikon 长期分列全球市场份额 1 至 3 名。2024 年全球集成电路用光刻机合计出货约 683 台，其中 ASML/Canon/Nikon 分别为 418/233/32 台，对应市占率约 61.2%/34.1%/4.7%。

图表 57 2020-2025H1 全球光刻机出货量（台）



资料来源: Bloomberg, 华创证券

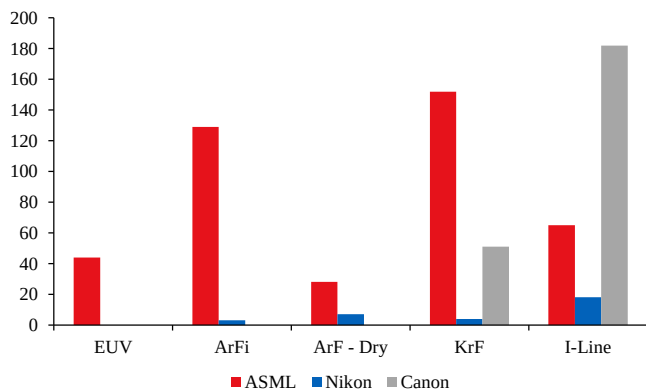
图表 58 2024 年全球光刻机市场份额（出货量口径）



资料来源: Bloomberg, 华创证券

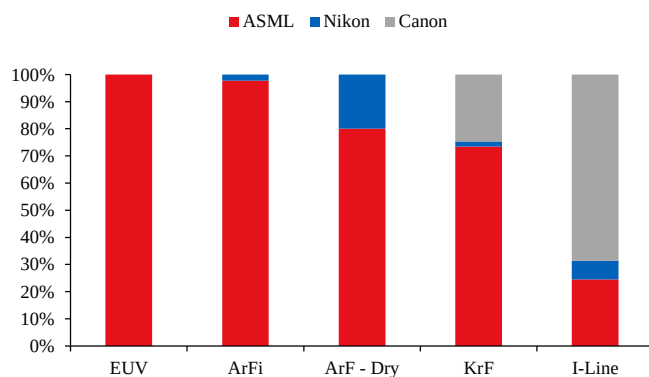
高端 EUV 机型由 ASML 垄断, Nikon 与 Canon 主要布局成熟 DUV。分机型看, ASML 在高端领域具备绝对垄断地位。2024 年, ASML 交付 EUV 光刻机 44 台, 是全球唯一能够量产 EUV 设备的厂商; 在 ArFi 浸没式机型中出货 129 台, 占比高达 97.7%, Nikon 仅约 3 台。ArFi 和 EUV 两类先进机型合计占据 ASML 光刻机销售收入的六成以上。相比之下, Nikon 业务重心在 ArF、KrF 等成熟 DUV 机型, Canon 则主要聚焦 KrF 与 i-line, 满足成熟制程及特色工艺需求。

图表 59 2024 年各类型光刻机各厂商出货量（台）



资料来源: Bloomberg, 华创证券

图表 60 2024 年各类型光刻机各厂商出货量份额



资料来源: Bloomberg, 华创证券

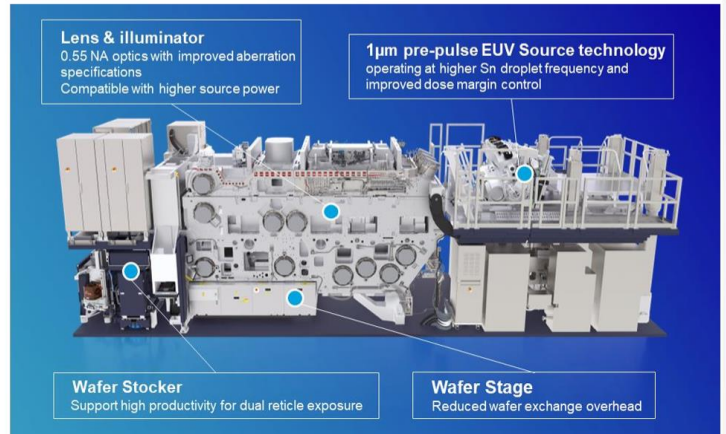
High-NA EUV 继续前移技术边界, 带动 ASML 在高端形成实质性垄断。2024 年 ASML 交付 EUV 约 44 台, 营收占比约 29.4%。受 NXE:3800E 等新一代机型拉动, 2024 年单台均价超过 2.05 亿美元, 同比提升约 10%。自 2011 年首台 EUV 设备交付以来, 截至 2025 年上半年累计出货已达 305 台, 并在 2025 年 Q2 实现首台 0.55 NA 高数值孔径 EUV 机台 TWINSCAN EXE:5200B 出货。未来随着 High-NA 的装机与产能爬坡, ASML 将在既有优势基础上继续拉开代际差距, 进一步巩固其在超高端市场的定价权与话语权。

图表 61 ASML NA 高数值孔径 EUV 机台 TWINSCAN EXE:5200B

Shipped 1st EXE:5200B system

Driving cost of technology improvement by increased productivity at better overlay performance

EXE:5200B product specifications	
Throughput at 50mJ/cm ²	≥175 WpH
Resolution	8 nm
Full wafer CDU & Focus	
• 10nm dense horizontal L/S	≤0.6 nm
• 14nm dense contact holes	≤1.0 nm
• Focus control budget	35 nm
On-product Overlay	
• Dedicated Chuck Overlay	≤0.7 nm
• Matched Machine Overlay	≤0.8 nm

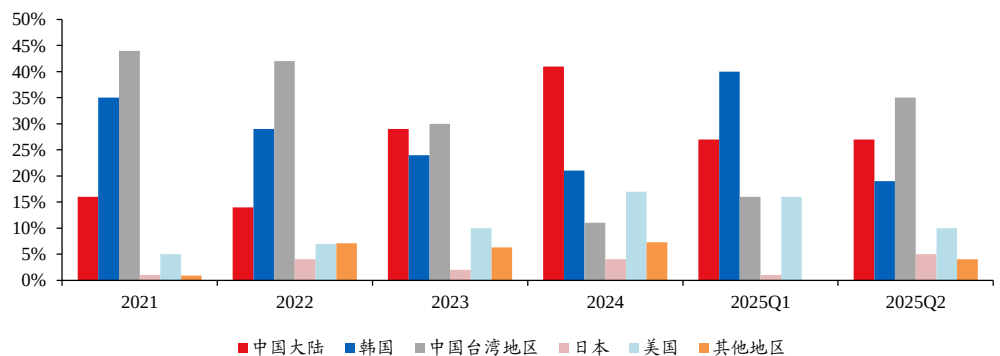


资料来源: ASML

(三) 需求、政策与外部环境共振三重驱动，国产光刻机迎来突破窗口期

中国市场需求旺盛，2024 年为 ASML 光刻机最大客户。芯语援引 SEMI 数据显示，中国大陆是全球产能扩张最积极的地区之一，2024 年产能同比增长 15%至月产 885 万片晶圆，增量主要来自 18 座新建晶圆厂投产，单一地区贡献了当年全球 6%的产能扩张。据芯语援引 Yole Group 数据，2024 年中国大陆晶圆代工产能占全球比重达 21%，已成为全球第二大晶圆制造基地。受此拉动，2024 年中国大陆成为全球 ASML 光刻机最大采购方，大陆客户收入占比已从 2021 年的 16%增长至 2024 年的 41%，单一市场地位日益突出。尽管 2025 年上半年受出口限制影响，该占比一度回落至 27%，但中长期来看，中国需求韧性犹存。Yole Group 预测，到 2030 年中国大陆将超越中国台湾地区，占据全球 30%的晶圆制造产能，长期旺盛的扩产需求将继续驱动光刻机采购规模保持全球领先。

图表 62 2021-2025Q2 ASML 按地区划分营收结构



资料来源: ASML, 华创证券

目前中国大陆光刻机高度依赖进口，国产化替代空间广阔。据头豹研究院数据，2022 年光刻机国产化率不足 1%，是半导体设备国产化程度最低的环节。

图表 63 2022 年中国主要半导体设备海内外品牌及国产化率

类别	外资品牌	国产品牌	国产化率
去胶设备	日立先端（日）、拉姆研究（美）等	屹唐半导体、浙江宇谦、上海稷以等	≥80%
清洗设备	迪恩士、TEL（日）、拉姆研究（美）等	北方华创、中国电科、盛美上海、至纯科技、芯源微等	50%-60%
刻蚀设备	应用材料（美）、拉姆研究（美）、TEL（日）等	中微公司、北方华创、嘉芯半导体、屹唐半导体、中国电科、嘉芯闵扬等	55%-65%
热处理设备	ASM 国际（荷兰）、应用材料（美）、拉姆研究（美）、TEL（日）等	北方华创、盛美上海、嘉芯半导体、嘉芯闵扬等	30%-40%
PVD 设备	ASM 国际（荷兰）、应用材料（美）、拉姆研究（美）、TEL（日）等	北方华创、嘉芯半导体等	10%-20%
CVD\ALD 设备	ASM 国际（荷兰）、应用材料（美）、拉姆研究（美）、TEL（日）等	北方华创、晶盛机电、中微公司、盛美上海、拓荆科技、嘉芯半导体等	5%-10%
CMP 设备	DuPont（美）、Thomas West（美）、JSR（日）等	盛美上海、华海清科、中国电科、鼎龙控股、烁科精微等	30%-40%
涂胶显影设备	Dow（美）、JSR（日）、TOK America（美）等	盛美上海、芯源微等	5%-10%
离子注入设备	应用材料（美）、Axcelis（美）等	凯世通、中国电科、烁科中科信等	10%-20%
量测设备	KLA（美）、圣德科控股（日）等	上海微电子、中科飞测、精测电子等	1%-10%
光刻机	ASML（荷兰）、Canon（日）、Nikon（日）等	上海微电子、中国电科等	0%-1%

资料来源：头豹研究院&沙利文《2024 年中国晶圆检测设备行业研究报告：半导体工艺控制核心设备，国产化率持续提升》，trendforce，华创证券

美日荷出口管制持续升级，先进光刻机国产替代需求环节。全球高端半导体设备长期由美、日、荷企业垄断，光刻机市场几乎完全被 ASML、Nikon 与 Canon 三家巨头掌控。由于国内光刻机研发进度仍然相对滞后，高端设备高度依赖进口，而美国自 2018 年起即对中国半导体设备出口实施限制，随后陆续出台“1007 新规”等政策，进一步收紧先进制程设备的出口管制。与此同时，美国联合日本与荷兰，分别在 DUV 及 EUV 机台等关键领域制定针对性条例，共同对中国进行产业封锁。在管制范围不断延伸的背景下，以光刻机为代表的“卡脖子”装备国产化替代需求日益迫切，国内厂商亟需加快技术迭代和产业化验证。

图表 64 近年来海外对华半导体政策出台一系列管制措施

时间	国家	具体管制情况
2022 年 4 月	美国	美国政府提议与韩国、日本、中国台湾地区建立“芯片四方联盟”(CHIP4)，试图将中国大陆排除在全球半导体供应链联盟之外。

2022 年 7 月	美国	美国商务部禁止 ASML、应用材料等企业向中国出口 14nm 及以下先进制程设备，并限制美国公民参与中国芯片研发。
2023 年 1 月	美日荷	美日荷秘密达成三方协议，限制向中国出口 DUV 光刻机及零部件。荷兰 ASML 随后停止向中国出口部分 DUV 设备。
2023 年 1 月	日本	日本宣布自 2023 年 7 月起，对 23 种先进半导体制造设备实施出口管制，包括光掩模镀膜设备、光掩模检测设备、光刻步进器以及符合氟化物（ArF）DUV 性能标准或更高水平的扫描仪设备等。
2024 年 9 月	美国	美国商务部更新量子计算与半导体出口管制，限制中国获取先进光刻机。
2025 年 1 月	美国	发布“全球 AI 管控新规”，将全球国家分为三级管控区，中国被列为最高风险等级，全面禁止 AI 芯片和模型对华出口。

资料来源：观研天下数据中心，华创证券

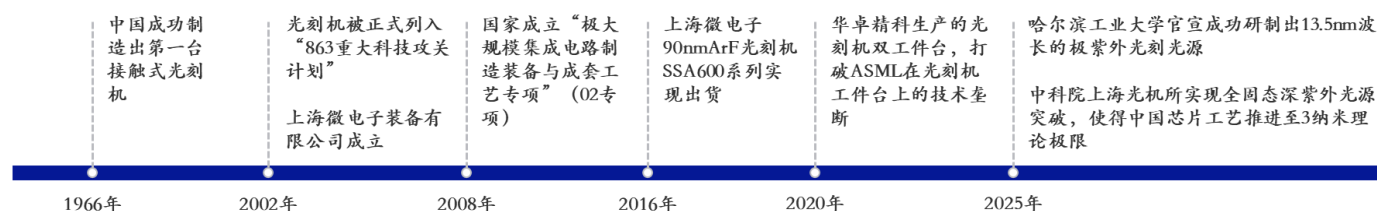
政策支持全面加码，02 专项奠定国产光刻机研发体系。中国光刻机研发最早可追溯至 1966 年第一台接触式设备的诞生，但 90 年代初期产业一度停滞，市场高度依赖进口。2002 年，光刻机被纳入“863 重大科技攻关计划”，同年上海微电子成立，2007 年研制出 90nm 分布式投影光刻机，为后续发展奠定基础。2008 年启动的“极大规模集成电路制造装备与成套工艺专项”（02 专项），通过体系化布局曝光光学系统、双工件台、光刻胶等关键环节，其中由上海微电子负责光刻机整体的系统设计和系统集成，由长光所牵头负责物镜系统的研发，上光所负责照明系统的研发，两者一起组成光刻机的曝光光学系统；清华大学牵头负责光刻机双工件台设计；浙江大学牵头负责研发光刻机浸液系统。

图表 65 “02 专项”中光刻机整机及核心零部件实施单位



资料来源：北京产权交易所，华创证券

图表 66 中国光刻机发展历程



资料来源：观研天下数据中心，快科技，半导体芯科技，华创证券

国产光刻机技术突破持续涌现，验证与应用进程加速。在 02 专项支持和政策引导下，国内光刻机及零部件企业不断取得进展。2016 年，上海微电子 90nm ArF 光刻机 SSA600 系列实现出货，成为国产光刻机商业化的重要标志；2020 年，华卓精科自主研发的双工件台实现量产应用，打破 ASML 在工件台上的长期垄断；2025 年，哈尔滨工业大学官宣成功研制 13.5nm 波长 EUV 光源，中科院上海光机所亦实现全固态深紫外光源突破，使国内芯片工艺验证能力推进至 3nm 理论极限。众多成果标志着国产光刻机在整机与核心零部件环节的迭代正在加速，未来在政策支持与市场应用拉动下，国产产业链整体能力有望持续提升。

图表 67 上海微电子 SSX600 系列光刻机参数

	型号	SSA600/20	SSC600/10	SSB600/10
	分辨率	90nm	110nm	280nm
	曝光光源	ArF excimer laser	KrF excimer laser	i-line mercury lamp
	镜头倍率	1:4	1:4	1:4
	硅片尺寸	200mm 或 300mm	200mm 或 300mm	200mm 或 300mm

资料来源：有数 DataVision，华创证券

图表 68 国内光刻机产业链相关公司情况

公司	产品领域	描述
福晶科技	光学	激光晶体、非线性光学晶体，用于光刻机激光器和光学模块
茂莱光学	光学	高精度光学透镜与光学系统，应用于光刻机投影物镜/对准模块
波长光电	光学	激光直写光刻系统照明镜头与成像镜头及 UV LED 平行光源系统
炬光科技	光源	光场匀化器产品供应世界顶级光学企业 A 公司，应用于全球高端光刻机生产商的核心设备
凯美特气	特气	国内通过 ASML 认证的 KrF/ArF 光刻气供应商，稀有气体纯化技术填补国内空白
华特气体	特气	国内同时通过 ASML 和日本 GIGAPHOTON 认证的气体企业，覆盖 EUV 光刻所需的全系混合气
汇成真空	真空系统	真空镀膜设备，应用于掩模版镀膜及光刻机腔体相关环节
美埃科技	洁净室	为上海微电子装备开发国内首台 28 纳米光刻设备工艺制程所需的机台内国际最高洁净等级标准（ISO Class 1 级）洁净环境提供 EFU（超薄型设备端自带风机过滤机组）及 ULPA（超高效过滤器）等产品

资料来源：公司公告，新浪财经，财联社，证券时报网，华创证券

四、相关标的

1、茂莱光学：深耕精密光学二十载，光刻光学器件加工与检测技术国内领先

精密光学综合解决方案提供商，研发体系与产业化能力完备。公司深耕光学行业二十余年，持续引进高端光学制造与检测设备，构建了完善的研发与制造体系，能够为客户提供定制化、差异化的光学产品与服务。目前，公司已掌握 3D 数字化光学模块设计、高通量集成电路测试设备光学技术、高分辨率荧光显微系统、人眼仿生光学、星载航天光学、光刻机曝光物镜超精密光学元件加工等九大关键技术，并均已实现产业化，技术布局较为全面。

光刻应用领域加工与检测技术持续突破，DUV 国产化趋势下迎来成长新机遇。公司具备自主光学镜头与系统设计能力，产品已应用于半导体前、后道测量设备及光刻机等领域已成功进入上海微电子的供应体系。受益于 DUV 国产化，公司积极布局光刻前道缺陷光学量测技术，重点开发 193nm~365nm 谱段的显微、投影、照明等光学系统及配套高精度光学器件加工与检测能力。目前，紫外检测系统样机已完成研发并实现交付，进入小批量量产阶段，技术水平达到国内领先。同时，公司持续推进 248nm 照明系统光学器件的加工与检测能力，已完成 KrF 光刻机照明系统高精度光学器件工艺设计与样品制备，并交付客户验证。随着国内半导体设备国产化进程加快，公司在光刻应用领域的光学技术积累有望进一步打开市场空间。

2、汇成真空：国内领先 PVD 镀膜设备厂商，卡位光刻掩模版镀膜新赛道

真空镀膜设备业务稳健发展，多元应用积累深厚。公司成立于 2006 年，2024 年 6 月在深交所上市，长期深耕溅射、蒸发、离子及柔性卷绕镀膜技术，广泛应用于消费电子、家居建材、航空航天、半导体、工模具等多个领域，下游覆盖智能手机、摄像头、屏幕显示、汽车配件、半导体传感器、精密光学元器件等产品。主要客户包括苹果、三星电子、比亚迪、富士康、信濠光电、麦格纳及多所科研院校，形成了丰富的工艺与应用积累。公司持续加大研发投入，产品在精度、效率和稳定性方面不断优化，并通过多元化技术方案和定制化服务，进一步提升市场份额与盈利能力。

前瞻布局光刻掩模版镀膜设备，国产化趋势下成长空间可期。公司已具备光刻掩模版镀膜设备生产能力，采用自下而上的磁控溅射技术，可在超大规格玻璃或石英基板上沉积金属铬及其氧化物、氮化物，产品用于光刻掩模版制作。随着国内光刻机设备国产突破加速，公司在光刻掩模版镀膜领域形成了良好的卡位优势，有望实现订单快速转化与放量，助推公司迈上新一轮成长。

3、波长光电：深耕精密光学元件，直写光刻镜头切入国产替代新赛道

推行“光学+”的发展战略，研发体系与应用场景拓展持续完善。公司长期专注于工业激光加工、红外热成像与消费级光学领域，提供涵盖设计、制造与检测的整体解决方案，核心产品包括激光与红外光学元件、组件，已形成技术积累与研发体系。公司设立先进制造工艺中心、半导体与微纳光学实验室，并聚集行业优秀技术人才，具备攻坚光学前沿的能力。客户群体覆盖华工科技、大族激光、高德红外、大立科技及 IPG、FLIR 等国际龙头，市场布局国际国内齐头并进。2025H1，公司实现营业收入 2.23 亿元，同比上涨 17.79%，其中，激光光学领域收入 1.37 亿元，PCB 精密激光微加工镜头实现进口替代，订单金额同比大幅提升；半导体及泛半导体实现收入约 3,477 万元，较上年同期增长 99.44%，产品覆盖高端显示、PCB 微加工、半导体检测等多类光学系统。

积极切入光刻机领域应用，直写光刻镜头与平行光源系统加速国产替代。公司长期布局激光直写光刻系统，已面向直写光刻系统开发出不同倍率的照明镜头与成像镜头，其直写光刻照明镜头可承受 200W 以上高强度激光，光学均匀性达 98% 以上，利用率超 96%；成像镜头在全视场下解析度优于爱里斑半径，具备低畸变平场特性，均支持定制化开发。公司还推出 UV LED 平行光源系统，以 365nm 波长 LED 为光源，经过光学镜片整形后输出均匀平行光束，可应用于接近式掩模光刻设备。随着国内光刻机设备国产化需求迫切，公司在光刻专用光学镜头和光源系统的研发成果有望加速产业化，打开更大成长空间。

4、福晶科技：非线性光学晶体全球龙头，切入光刻光学元件环节

非线性光学晶体全球龙头，具备完整晶体+光学元件+激光器件一体化能力。公司大股东为中科院福建物质结构研究所，核心产品覆盖非线性光学晶体、激光晶体及精密光学元件，是业内极少数能够为激光客户提供“晶体+光学元件+激光器件”一站式光电服务的供应商。公司 LBO、BBO 晶体产能与出货规模居全球第一，广泛应用于高端激光加工、光通讯及科研领域；公司精密光学产品业务规模和全球影响力稳步提升，并已实现高速光网络动态调控模块所需棱镜光栅的批量供货，并在声光、磁光等核心器件上加快突破，逐步打破国外垄断。

光刻光学领域具备核心卡位价值，DUV 光源晶体国产化优势凸显。公司产品体系已切入光刻元件研发与供应，曾通过欧洲代理向 ASML 少量供货，显示其已具备进入全球高端光刻供应链体系的能力。LBO 与 BBO 晶体是 DUV 光刻机 193nm 与 221nm 准分子激光器的核心材料，公司作为全球规模最大晶体厂商，在该领域具备稀缺优势。同时，公司子公司至期光子研发的超精密光学元组件及高精度物镜与成像镜组已成功应用于国内重大技术装备的关键系统。未来，公司有望依托晶体与元器件的协同优势，把握国产光刻机及高端光学装备替代加速的战略机遇。

五、风险提示

- 1、技术验证进度不及预期：**光刻机零部件对精度、稳定性及寿命要求极高，导入周期通常较长。若国产厂商在光学镜头、反射镜、靶材等关键环节的性能指标未能达到需求水平，可能导致客户验证延后，影响市场空间释放。
- 2、下游扩产需求不及预期：**零部件需求高度依赖光刻机整机装机量和出货节奏，若全球晶圆厂资本开支收缩、先进制程扩产放缓，或国产光刻机研发与量产进度推迟，可能导致相关零部件采购需求低于预期。
- 3、原材料成本波动风险：**光学晶体、超高纯金属及稀有材料在零部件成本中占比较高，若大宗商品或关键原材料价格出现大幅波动，或将推升整体成本，压缩厂商盈利能力。
- 4、竞争格局演变风险：**光刻机零部件各子环节壁垒差异显著，随着本土厂商在政策与资本推动下加快扩产，若在进入门槛相对较低的环节出现产能同质化，可能引发价格竞争，从而削弱行业盈利能力。

电子组团队介绍

副所长、前沿科技研究中心负责人：耿琛

美国新墨西哥大学计算机硕士。曾任新加坡国立大计算机学院研究员，中投证券、中泰证券研究所电子分析师。2019 年带领团队获得新财富电子行业第五名，2016 年新财富电子行业第五名团队核心成员，2017 年加入华创证券研究所。

联席首席研究员：岳阳

上海交通大学硕士。2019 年加入华创证券研究所。

高级分析师：熊翊宇

复旦大学金融学硕士，3 年买方研究经验，曾任西南证券电子行业研究员，2020 年加入华创证券研究所。

研究员：吴鑫

复旦大学资产评估硕士，1 年买方研究经验。2022 年加入华创证券研究所。

研究员：高远

西南财经大学硕士。2022 年加入华创证券研究所。

研究员：姚德昌

同济大学硕士。2021 年加入华创证券研究所。

助理研究员：张文瑶

哈尔滨工业大学硕士。2023 年加入华创证券研究所。

助理研究员：蔡坤

香港浸会大学硕士。2023 年加入华创证券研究所。

助理研究员：卢依雯

北京大学金融硕士。2024 年加入华创证券研究所。

助理研究员：张雅轩

美国康奈尔大学硕士。2024 年加入华创证券研究所。

研究员：董邦宜

北京交通大学计算机硕士，3 年 AI 算法开发经验，曾任开源证券电子行业研究员。2024 年加入华创证券研究所。

华创证券机构销售通讯录

地区	姓名	职务	办公电话	企业邮箱
北京机构销售部	张昱洁	副总经理、北京机构销售总监	010-63214682	zhangyujie@hcyjs.com
	张菲菲	北京机构副总监	010-63214682	zhangfeifei@hcyjs.com
	张婷	华北机构销售副总监		zhangting3@hcyjs.com
	刘懿	副总监	010-63214682	liuyi@hcyjs.com
	侯春钰	资深销售经理	010-63214682	houchunyu@hcyjs.com
	顾翎蓝	资深销售经理	010-63214682	gulinglan@hcyjs.com
	刘颖	资深销售经理	010-66500821	liuying5@hcyjs.com
	阎星宇	销售经理		yanxingyu@hcyjs.com
	车一哲	销售经理		cheyizhe@hcyjs.com
	吴昱颖	销售经理		wuyuying@hcyjs.com
深圳机构销售部	张娟	副总经理、深圳机构销售总监	0755-82828570	zhangjuan@hcyjs.com
	张嘉慧	高级销售经理	0755-82756804	zhangjiahui1@hcyjs.com
	王春丽	高级销售经理	0755-82871425	wangchunli@hcyjs.com
	王越	高级销售经理		wangyue5@hcyjs.com
	汪丽燕	销售经理	0755-83715428	wangliyan@hcyjs.com
	温雅迪	销售经理		wenyadi@hcyjs.com
	胡丁琳	销售助理		hudinglin@hcyjs.com
	付雅琦	销售助理		fuyaqi@hcyjs.com
	许馨匀	销售助理		xuxinyun@hcyjs.com
上海机构销售部	许彩霞	总经理助理、上海机构销售总监	021-20572536	xucaixia@hcyjs.com
	官逸超	上海机构销售副总监	021-20572555	guanyichao@hcyjs.com
	祁继春	副总监		qijichun@hcyjs.com
	黄畅	上海机构销售副总监	021-20572257-2552	huangchang@hcyjs.com
	吴俊	资深销售经理	021-20572506	wujun1@hcyjs.com
	张佳妮	资深销售经理	021-20572585	zhangjiani@hcyjs.com
	郭静怡	高级销售经理		guojingyi@hcyjs.com
	蒋瑜	高级销售经理	021-20572509	jiangyu@hcyjs.com
	吴菲阳	高级销售经理		wufeiyang@hcyjs.com
	朱涨雨	高级销售经理	021-20572573	zhuzhangyu@hcyjs.com
	李凯月	高级销售经理		likaiyue@hcyjs.com
	张豫蜀	销售经理	15301633144	zhangyushu@hcyjs.com
	张玉恒	销售经理		zhangyuheng@hcyjs.com
	章依若	销售经理		zhangyiruo@hcyjs.com
广州机构销售部	段佳音	广州机构销售总监	0755-82756805	duanjiayin@hcyjs.com
	王世韬	销售经理		wangshitao1@hcyjs.com
私募销售组	潘亚琪	总监	021-20572559	panyaqi@hcyjs.com
	汪子阳	副总监	021-20572559	wangziyang@hcyjs.com
	江赛专	副总监	0755-82756805	jiangsaizhuan@hcyjs.com
	汪戈	高级销售经理	021-20572559	wangge@hcyjs.com
	宋丹珩	销售经理	021-25072549	songdanyu@hcyjs.com
	赵毅	销售经理		zhaoyi@hcyjs.com

华创行业公司投资评级体系

基准指数说明:

A 股市场基准为沪深 300 指数, 香港市场基准为恒生指数, 美国市场基准为标普 500/纳斯达克指数。

公司投资评级说明:

强推: 预期未来 6 个月内超越基准指数 20%以上;

推荐: 预期未来 6 个月内超越基准指数 10% - 20%;

中性: 预期未来 6 个月内相对基准指数变动幅度在-10% - 10%之间;

回避: 预期未来 6 个月内相对基准指数跌幅在 10% - 20%之间。

行业投资评级说明:

推荐: 预期未来 3-6 个月内该行业指数涨幅超过基准指数 5%以上;

中性: 预期未来 3-6 个月内该行业指数变动幅度相对基准指数-5% - 5%;

回避: 预期未来 3-6 个月内该行业指数跌幅超过基准指数 5%以上。

分析师声明

每位负责撰写本研究报告全部或部分内容的分析师在此作以下声明:

分析师在本报告中对所提及的证券或发行人发表的任何建议和观点均准确地反映了其个人对该证券或发行人的看法和判断; 分析师对任何其他券商发布的所有可能存在雷同的研究报告不负有任何直接或者间接的可能责任。

免责声明

本报告仅供华创证券有限责任公司(以下简称“本公司”)的客户使用。本公司不会因接收人收到本报告而视其为客户。

本报告所载资料的来源被认为是可靠的, 但本公司不保证其准确性或完整性。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。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。本公司在知晓范围内履行披露义务。

报告中的内容和意见仅供参考, 并不构成本公司对具体证券买卖的出价或询价。本报告所载信息不构成对所涉及证券的个人投资建议, 也未考虑到个别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, 自主作出投资决策并自行承担投资风险, 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。本报告中提及的投资价格和价值以及这些投资带来的预期收入可能会波动。

本报告版权仅为本公司所有, 本公司对本报告保留一切权利。未经本公司事先书面许可, 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。如征得本公司许可进行引用、刊发的, 需在允许的范围内使用, 并注明出处为“华创证券研究”, 且不得对本报告进行任何有悖原意的引用、删节和修改。

证券市场是一个风险无时不在的市场, 请您务必对盈亏风险有清醒的认识, 认真考虑是否进行证券交易。市场有风险, 投资需谨慎。

华创证券研究所

北京总部	广深分部	上海分部
地址: 北京市西城区锦什坊街 26 号 恒奥中心 C 座 3A 邮编: 100033 传真: 010-66500801 会议室: 010-66500900	地址: 深圳市福田区香梅路 1061 号 中投国际商务中心 A 座 19 楼 邮编: 518034 传真: 0755-82027731 会议室: 0755-82828562	地址: 上海市浦东新区花园石桥路 33 号 花旗大厦 12 层 邮编: 200120 传真: 021-20572500 会议室: 021-20572522