

证券研究报告

半导体行业系列专题（四） 光刻机：现代工业集大成者，亟待国产破局

半导体行业 强于大市（维持）

证券分析师

付强 投资咨询资格编号：S1060520070001

徐勇 投资咨询资格编号：S1060519090004

徐碧云 投资咨询资格编号：S1060523070002

研究助理

陈福栋 一般证券从业资格编号：S1060122100007

2024年2月28日

请务必阅读正文后免责条款

平安证券

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

投资要点

- **光刻是半导体核心工艺，开发难度大，性能指标要求高。**光刻机是半导体制造的核心设备，其性能直接决定了芯片的工艺水平，开发难度大，价值量高，市场规模可观，目前市场主流光刻设备有i-line、KrF、ArF、ArFi、EUV五大类；分辨率、套刻精度、产率是光刻机的核心指标，其中，分辨率直接决定制程，极致的分辨率水平是光刻机产业不懈的追求，是光刻机最重要的指标，而套刻精度影响良率，产率影响光刻机的产能及经济性，此外，多重曝光技术可在光刻机分辨率不变的情况下进一步提高芯片制程，应用较为广泛。
- **光刻机是现代工业的集大成者，核心为光源/照明/投影/双工作台四大子系统。**1) 光源系统经历了高压汞灯→DUV→EUV的发展历程，为追求更极致的分辨率，光源波长需要不断缩短，光源的演进历程很大程度上代表了光刻机的发展历程，DUV、EUV光刻机便是以光源命名的，其中DUV光源是准分子激光器，EUV光则是高能激光轰击金属锡滴产生；2) 照明系统是对光进行扩束、传输、整形、匀化、准直、汇聚后照射至掩膜，DUV采用反射式光路，EUV采用折射式光路；3) 投影系统是将掩膜图形按一定比例投射至晶圆，浸没式投影可增加光刻机NA值，进一步提升光刻机分辨率；4) 双工作台系统主要作用为提高产能，改善光刻机的经济性。
- **光刻机产业呈现强垄断特性，国产突破是唯一选择。**ASML、Nikon、Canon是全球光刻机产业三大龙头，占据绝大部分市场份额，其中ASML在高端浸没式DUV及EUV方面绝对领先，Nikon在浸没式DUV方面也有少量出货，Canon则聚焦中低端领域。国内来看，上海微电子是领航者，在“02专项”支持以及产业链公司的共同努力下，国产光刻机产业链不断完善：科益虹源已实现准分子激光光源的出货，炬光科技的光刻机用匀化器取得规模可观的营收，茂莱光学已掌握“光刻机曝光物镜超精密光学元件加工”核心技术且其精密光学器件已应用于国产光刻机中，华卓精科则在双工作台方面取得突破。在当前海外对华制裁的背景下，光刻机是被限制的重点，国产化是唯一选择，亟待突破。
- **投资建议：**光刻机是半导体产业的核心设备，直接决定芯片制程的先进程度，重要性不言而喻，在全球半导体产业持续扩张的趋势下，光刻机市场规模长期可观；此外，光刻机开发难度大，产业垄断性强，是海外对华半导体制裁的重灾区，直接影响国内半导体产业先进制程的发展，因此光刻机自主突破的重要性尤为凸显，光刻机国产产业链颇具潜力，建议关注炬光科技、茂莱光学、晶方科技、福晶科技、波长光电、腾景科技等。
- **风险提示：**（1）国内技术产品开发不及预期的风险。（2）海外制裁加剧的风险。（3）下游需求不及预期的风险。

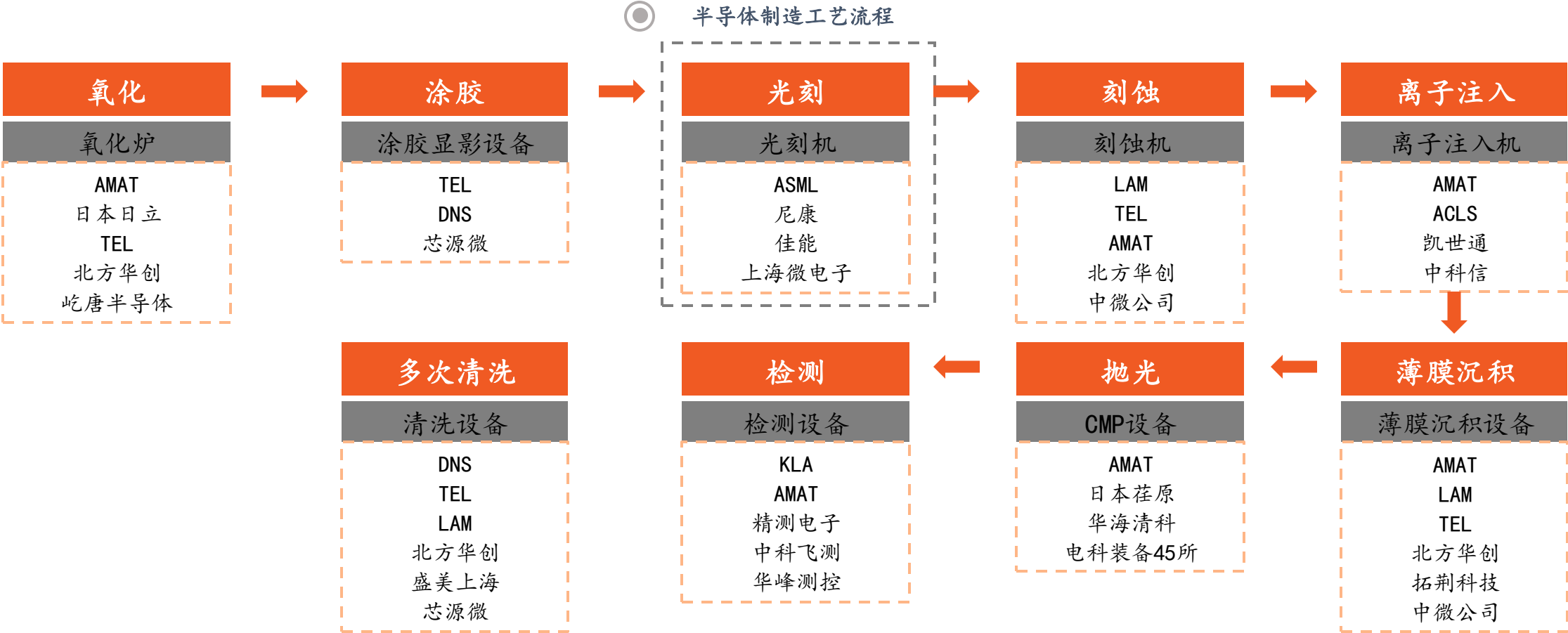


目录CONTENTS

- ① 一、光刻工艺：半导体产业链核心，决定制程水平
- ② 二、光刻机：四大核心子系统，现代工业集大成者
- ③ 三、光刻产业：垄断性强，国产突破是唯一选项
- ④ 四、投资建议与风险提示

1.1 光刻是半导体制造核心，设备市场价值量大

➤ 光刻机是半导体制造的核心设备，直接决定了半导体制程的先进程度。光刻、刻蚀、薄膜沉积被视为半导体制造的三大核心设备，其中，光刻是核心，集成电路更新迭代很大程度上直接依赖于光刻设备的进步；光刻机极为精密，对设备本身及各子系统的精密度要求极高，制造难度大，稀缺性极强。



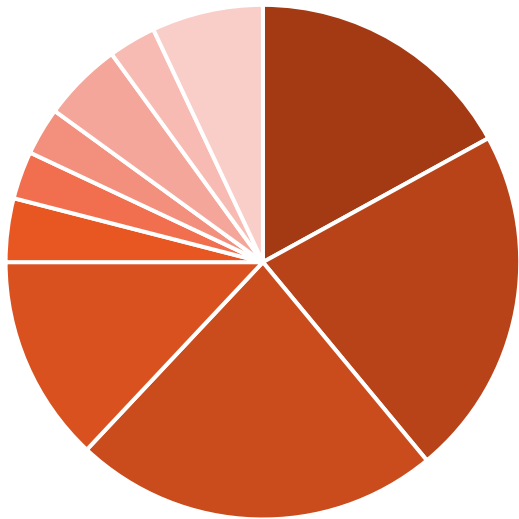
数据来源：各公司官网，平安证券研究所

1.1 光刻是半导体制造核心，设备市场价值量大

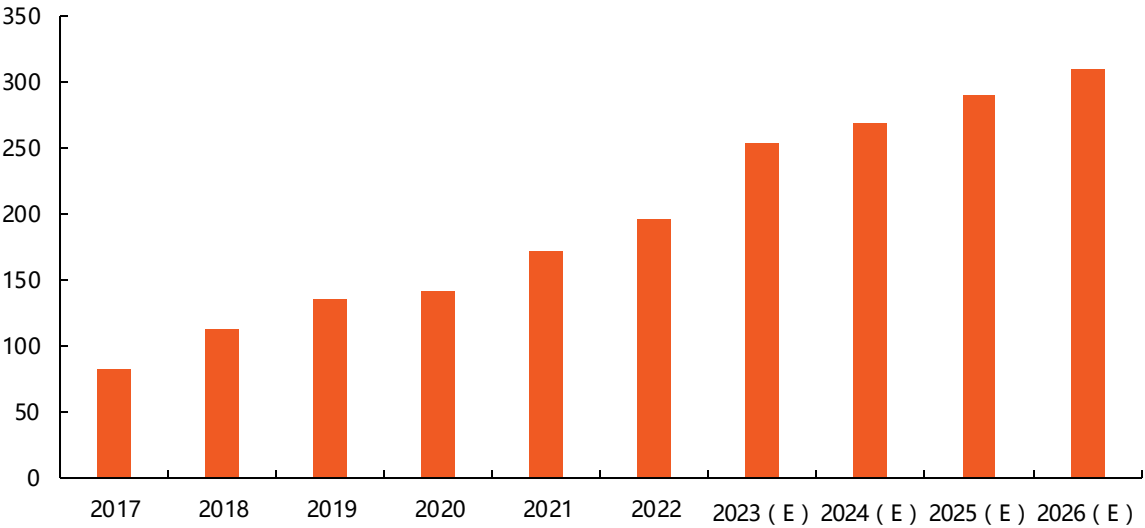
- 光刻设备是半导体设备市场的重要组成部分，2022年，光刻设备价值量占半导体前道设备价值总量的17%，市场地位举足轻重。
- 根据《半导体制造光刻机发展分析》数据预测，2017-2026年，全球光刻机市场规模将从约83亿美元增长到约310亿美元，总体呈现稳定的上升趋势，期间CAGR约为15.8%。

● 半导体前道设备价值量分布 (%) @2022年

■ 光刻 ■ 刻蚀 ■ 薄膜沉积 ■ 量测 ■ 涂胶显影 ■ 热处理 ■ 离子注入 ■ 清洗 ■ CMP ■ 其它



● 全球光刻机市场规模预测 (亿美元)

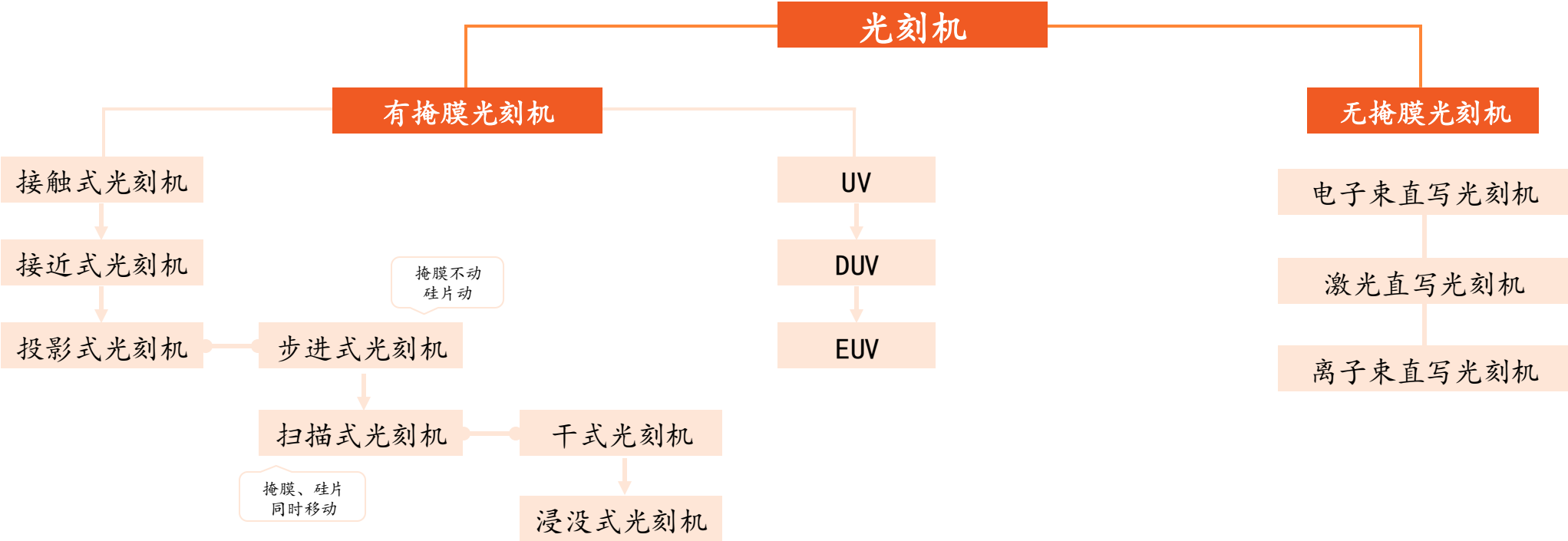


数据来源: Gartner, 《半导体制造光刻机发展分析》, 平安证券研究所

1.1 光刻是半导体制造核心，设备市场价值量大

- 光刻设备总体上可划分为有掩膜和无掩膜两种技术路径，目前绝大部分应用均为有掩膜光刻机，无掩膜光刻机在精细掩膜版制造、半导体封测等方面有所应用，本报告重心为有掩膜光刻机（后续简称为光刻机）。
- 按成像方式划分，有掩膜光刻机经历了接触式、接近式和投影式的发展路径，目前主流的光刻机为投影式光刻机；按照光源类型划分，光刻机经历了紫外、深紫外、极紫外的技术演进路径，半导体先进制程的快速发展很大程度上可归因于光源波长的不断缩短。

光刻机分类及演进历程



数据来源：华经产业研究院，平安证券研究所

1.2 光刻设备核心指标|分辨率

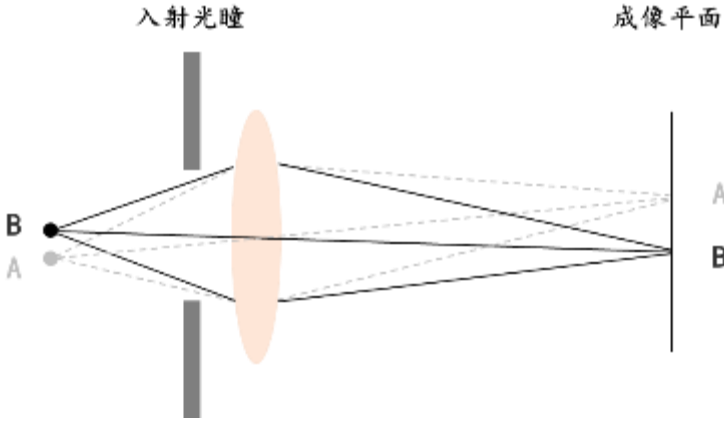
- **分辨率**是光刻机最重要的性能指标，其描述了光刻机对线宽的极限分辨能力，直接决定了半导体工艺制程的先进程度。
- 根据瑞利公式，光刻机的分辨率由 k_1 、 λ 、 NA 三参数决定，其中， k_1 为常数，受芯片制造工艺等诸多因素影响，被称为工艺因子， λ 为光源波长， NA 为数值孔径。高分辨率是光刻机发展历程中的核心诉求，缩短光源波长、提高数值孔径是主要的发展方向，UV→DUV→EUV、干式→浸没式的发展趋势便是通过改善光源波长和数值孔径的方式提高光刻机分辨率。

◎ 瑞利公式

$$R = k_1 \frac{\lambda}{NA}$$

注释：
K1:工艺因子
 λ ：波长
NA：数值孔径

◎ 曝光分辨率示意图



◎ 光刻机光源波长减小和数值孔径增大的历史数据

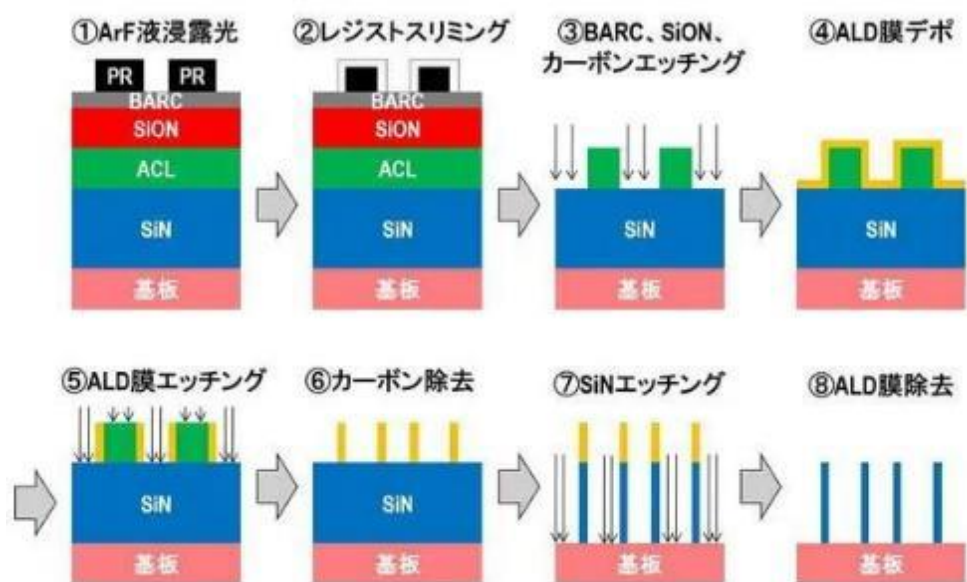
年份	分辨率/nm (hp)	波长/nm	数值孔径/NA
1986	1200	436	0.39
1988	800	436/365	0.44
1991	500	365	0.50
1994	350	365/248	0.56
1997	250	248	0.62
1999	180	248	0.67
2001	130	248	0.70
2003	90	248/193	0.75/0.85
2005	65	193	0.93
2007	45	193	1.20
2009	38	193	1.35
2010	27	13.5	0.25
2012	22	13.5	0.33
2013	16	13.5	0.33

数据来源：《超大规模集成电路先进光刻理论与应用》，平安证券研究所

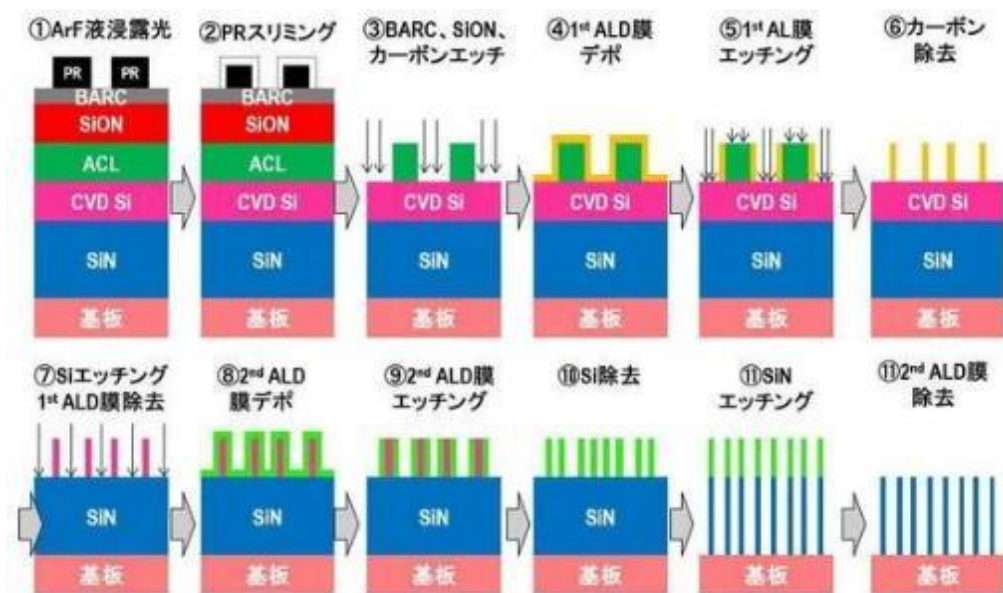
1.2 光刻设备核心指标|分辨率-多重曝光技术

- 多重曝光技术赋予低分辨率光刻机制造先进制程产品的能力。分辨率的提升通常意味着光刻机的一次重大迭代升级，周期长、难度大，如何在现有光刻机分辨率水平不变的情况下实现更窄的线宽、更高的晶体管密度备受关注，在此背景下，多重曝光技术应运而生，其可在低分辨率设备基础上实现更先进的制程，在先进制程中得到广泛应用。
- 多重曝光技术可实现晶体管密度翻倍或4倍效果。SADP和SAQP技术是目前常用的多重曝光技术，其中，SADP可实现晶体管密度双倍效果，SAQP可实现4倍效果。具体实现方式如下图所示，SADP技术利用心轴图案侧壁图形作为掩膜，图形密度实现翻倍效果，SAQP技术则是采用两次SADP技术，实现图形密度4倍效果。

◎ SADP技术示意图



◎ SAQP技术示意图

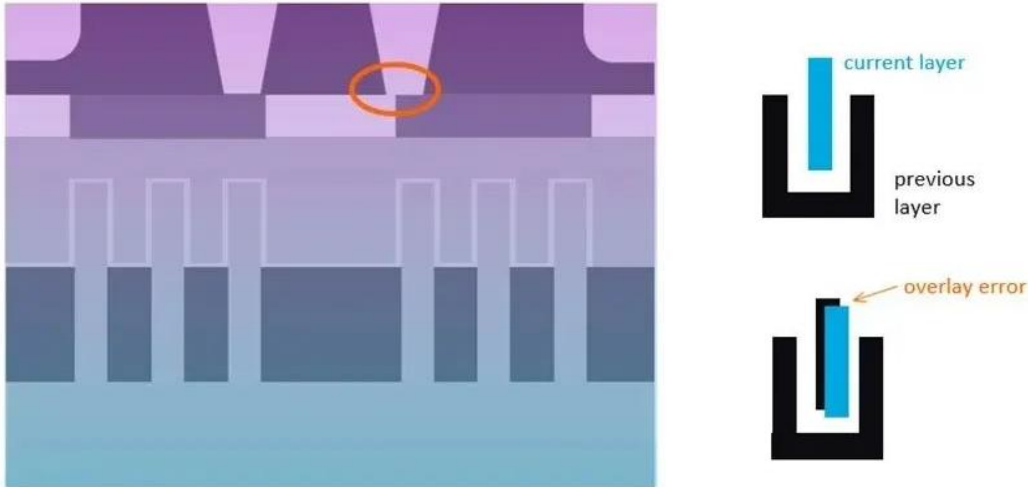


数据来源：芯片公众号，平安证券研究所

1.2 光刻设备核心指标|套刻误差

- 套刻误差（Overlay）描述的是光刻上一层图案与下一层图案之间的对齐精度，对晶体管性能、集成电路良率等具有重大影响。半导体制造是数十上百层薄膜堆叠的过程，需要多次光刻实现不同层的图案化，因此每一层的光刻都需要与其前一层进行精准的对齐，以保证上下层薄膜图案的相对位置与设计位置相吻合，套刻精度就是描述光刻设备这一性能的参数指标。
- 制程越先进，对套刻精度的要求越高。随着特征尺寸越来越小，所允许的套刻误差也将随之缩小，以保证良好的相对对齐精度；此外，随着制程越发先进，薄膜层数也随之提升，套刻误差累计更加严重，对套刻精度的要求更高。

● 半导体制造中套刻误差示意图



● 国际半导体技术路线图对套刻误差的要求

(计划)量产的年份	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
DRAM 器件半周期/nm	36	32	28	25	23	20	18	16	14	13	11	10	8.9	8	7.1	6.3
套刻误差 (3σ)/nm	7.1	6.4	5.7	5.1	4.5	4	3.6	3.2	2.8	2.5	2.3	2	1.8	1.6	1.4	1.3
Flash 器件半周期/nm	22	20	18	17	15	14.2	13	11.9	10.9	10	8.9	8	8	8	8	8
套刻误差 (3σ)/nm	7.2	6.6	6.1	5.6	5.1	4.7	4.3	3.8	3.6	3.3	2.9	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6
逻辑器件 M1 半周期/nm	38	32	27	24	21	18.9	16.9	15	13.4	11.9	10.6	9.5	8.4	7.5	7.5	7.5
套刻误差 (3σ)/nm	7.6	6.4	5.4	4.8	4.2	3.8	3.4	3	2.7	2.4	2.1	1.9	1.7	1.5	1.5	1.5

数据来源：Tom聊芯片智造公众号，《超大规模集成电路先进光刻理论与应用》，国际半导体技术路线图，平安证券研究所

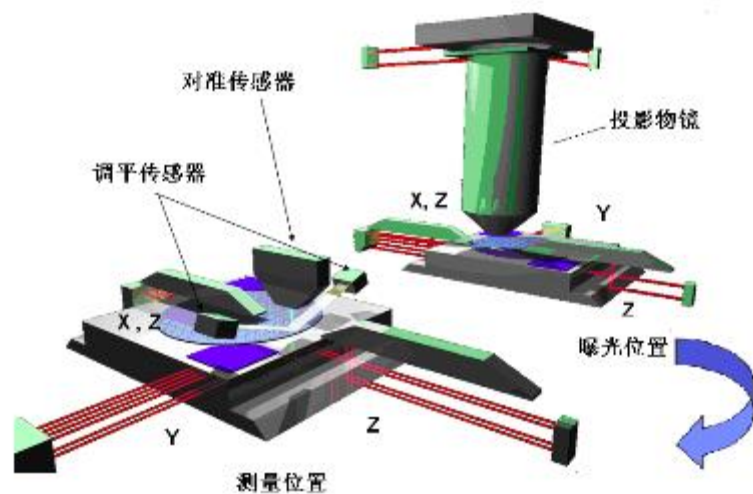
1.2 光刻设备核心指标|产率

- 光刻机的产率是描述其生产制造效率的性能指标，能在很大程度上影响光刻机的经济性，通常用Wafer/天或Wafer/小时来描述。
- 产率提升是光刻设备的重要发展方向，关键点主要集中在缩短单次曝光时间和缩短曝光前对位测量时间两方面。首先，光刻的原理是光刻胶在紫外环境下发生化学键断裂或交联反应（对应光刻正胶和负胶），理论上，在维持曝光剂量不变的情况下，若要缩短曝光时间，需提高照度，因此拥有足够功率的光源较为关键；此外，光刻工艺极为精细，曝光前的对位测量精度要求极高，因此在曝光前的对位测量操作上也会花费大量时间，双工作台很好的解决了该问题，其可以实现Wafer在一个工作台上曝光的同时，另一片Wafer在另一个工作台上对位，两者互不干扰，从而大幅缩短Wafer曝光前的准备时间。

曝光剂量计算方式

$$\begin{array}{ccccc} \text{曝光剂量} & = & \text{照度} & \times & \text{时间} \\ \text{(J/cm}^2\text{)} & & \text{(lm/cm}^2\text{)} & & \text{(s)} \end{array}$$

TWINSKAN双工作台结构示意图



数据来源：Tom聊芯片智造公众号，《ArF浸没光刻双工件台运动模型研究》，平安证券研究所



目录CONTENTS

① 一、光刻工艺：半导体产业链核心，决定制程水平

② 二、光刻机：四大核心子系统，现代工业集大成者

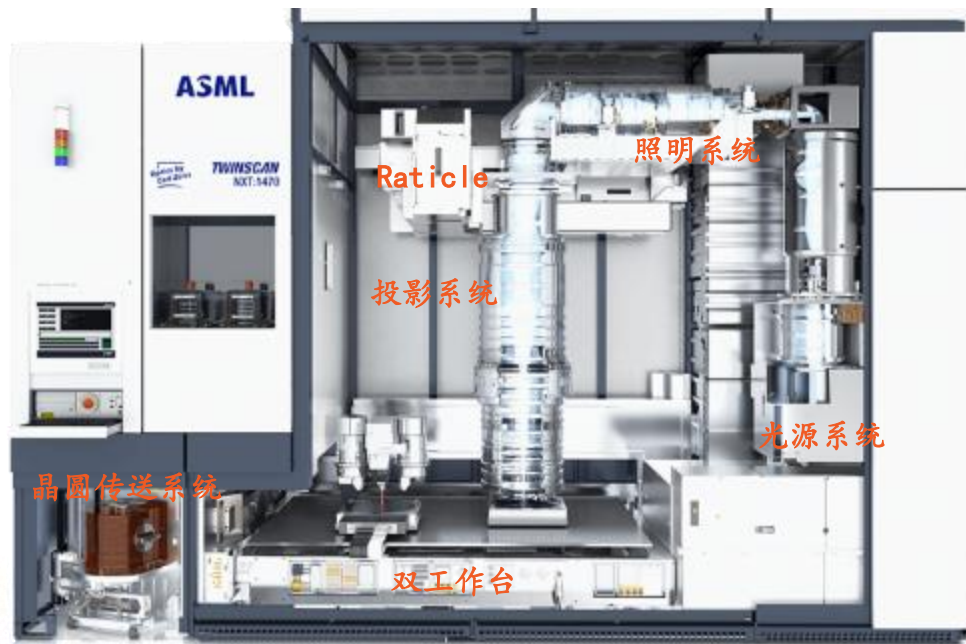
③ 三、光刻产业：垄断性强，国产突破是唯一选项

④ 四、投资建议与风险提示

2 整体结构 | DUV

- DUV是目前应用极为广泛的光刻机类型，主要包括光源系统、光学系统（照明+投影）、双工作台、掩膜版、晶圆传送系统等子系统，技术相对较为成熟。DUV光刻机工作原理为：激光光源产生深紫外光，经过照明系统的均化、成型等照射至掩膜，最后经物镜投影至Wafer，目前投影系统4:1的掩膜图像转移比例较为常见。
- 按照光源波长划分，DUV主要有248nm和193nm两种，对应KrF和ArF准分子激光光源；按照物镜的出射介质划分，DUV可分为干式和浸没式两种，浸没式是将投影物镜出射处采用水介质，可增加光刻机NA值，提高分辨率。

◎ DUV光刻机结构示意图（干式）



◎ DUV光刻机结构示意图（浸没式）

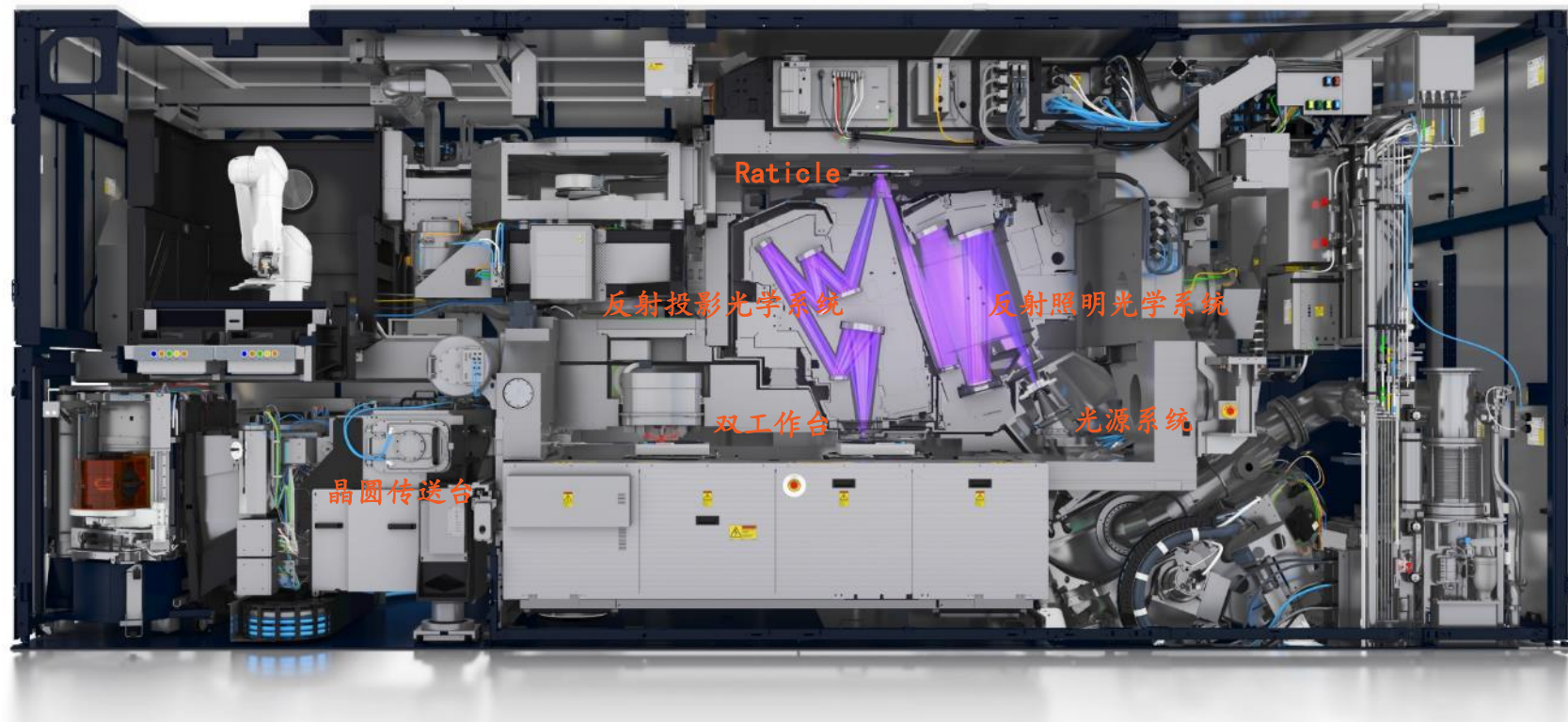


数据来源：ASML官网，平安证券研究所

2 整体结构|EUV

- EUV整体结构与DUV类似，也是由光源系统、照明系统、投影系统、双工作台以及掩膜版、晶圆传送台等子系统构成。EUV是目前最先进的光刻设备，对各子系统的精密度要求极高，目前EUV市场被ASML公司垄断。
- 光源系统、光学系统是EUV区别于DUV的主要差异所在，High-NA是EUV设备未来的重要发展方向。EUV光源波长为13.5nm，极短的波长意味着EUV紫外光几乎能被所有物质吸收，因此DUV的透镜光学系统无法复用，只能采用反射式光学系统。

● EUV光刻机结构示意图

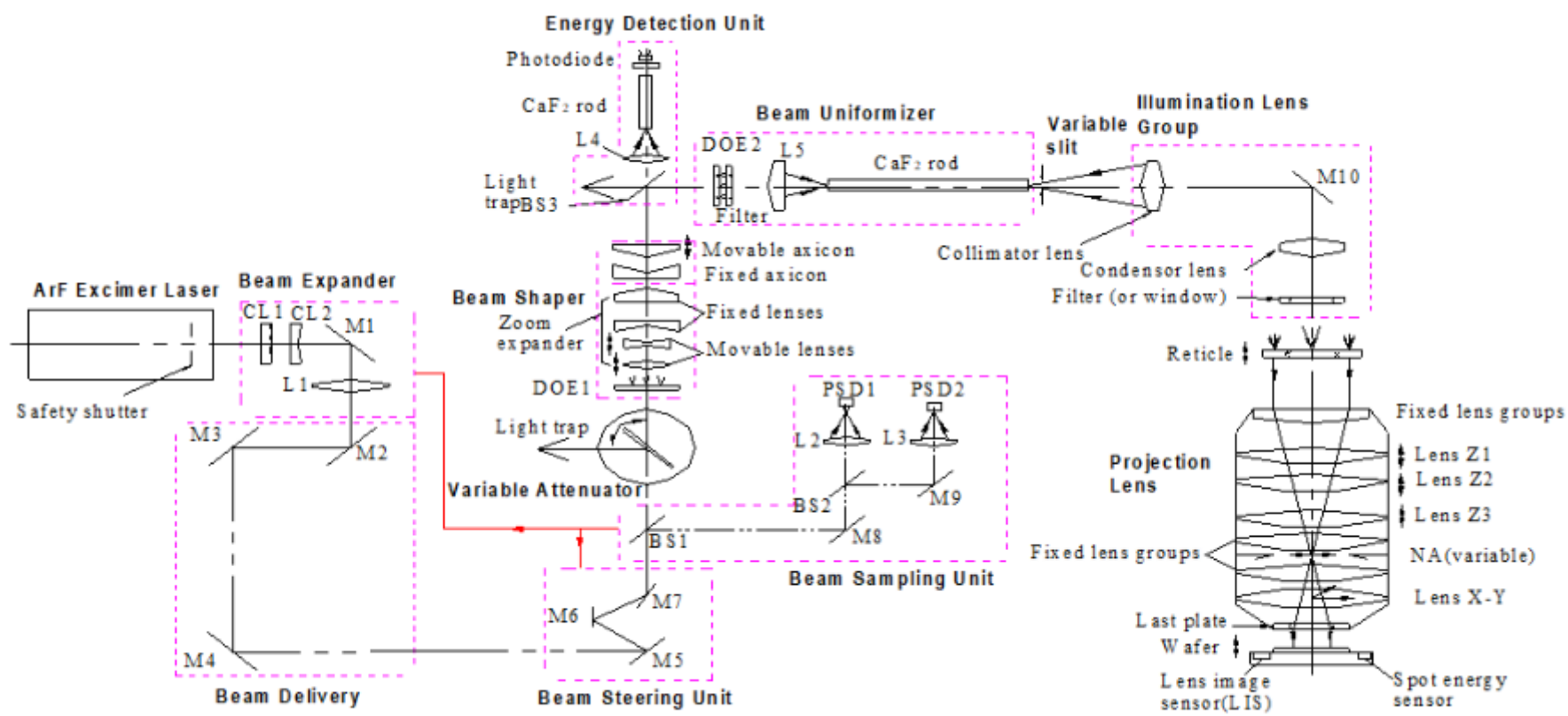


数据来源：ASML官网，平安证券研究所

2 整体结构|曝光光路

➤ 光刻机完整曝光过程的光学路径大致描述如下：光束从激光光源出射，经过扩束、传输、转向、整形、匀化后进入照明透镜组，经准直、汇聚后出射至掩膜系统，最后经投影物镜组照射至晶圆，完成整个曝光过程。光刻曝光的完整光路极为复杂且精密，需要各种光学元件的精密搭配才能完成。此外，曝光期间，还需搭配光束采样及能量检测单元。

光刻机曝光系统工作原理

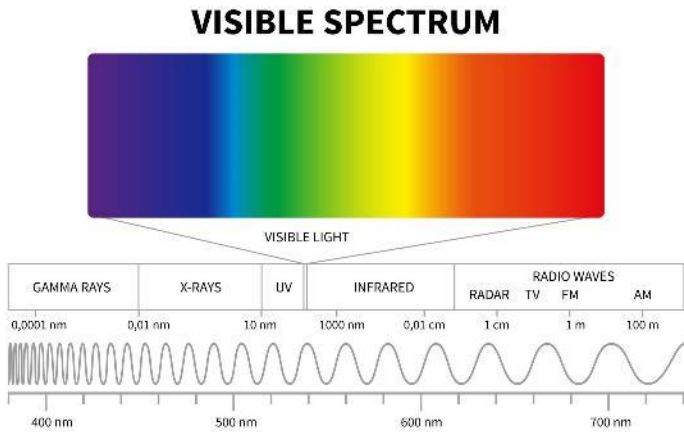


数据来源：华中科技大学，芯产业公众号，平安证券研究所

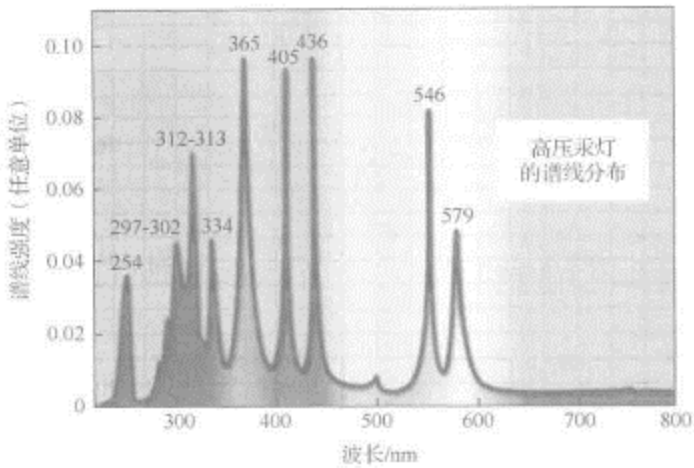
2.1 光源系统

- 光刻机的光源系统经历了高压汞灯→DUV→EUV的发展历程，为追求更极致的分辨率，光源波长需要不断缩短，光源的演进历程很大程度上代表了光刻机的发展历程，我们耳熟能详的DUV、EUV光刻机便是以光源命名的。
- I-line（365nm）及以上波长光刻机使用的是高压汞灯光源。高压汞灯能提供254-579nm的光，谱线强度如下图所示，使用滤波器可选择性使用I-line（365nm）、H-line（405nm）或G-line（436nm）为光刻机提供照明光源。

光谱波长图



高压汞灯谱线分布图



光刻机光源演进历史

波长（nm）	光源类别		
436	g-line		高压汞灯
405	h-line		
365	i-line		
248	KrF	DUV	准分子激光
193	ArF		
13.5	EUV		高能激光轰击锡滴

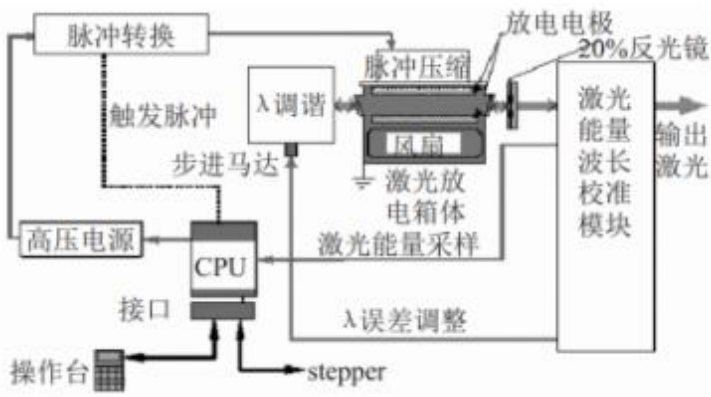
波长逐渐缩短

数据来源：《超大规模集成电路先进光刻理论与应用》，ASML官网，平安证券研究所

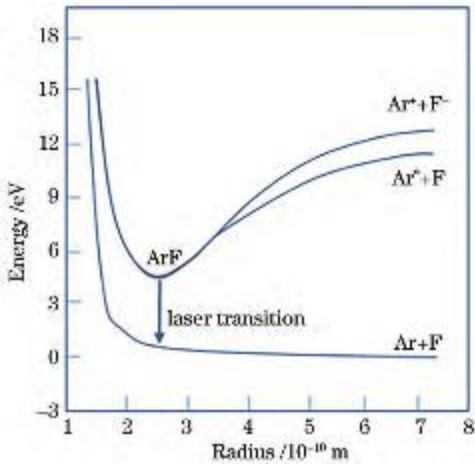
2.1 光源系统|深紫外DUV光源

- KrF（248nm）和ArF（193nm，包括浸没式）DUV光刻机采用准分子激光器作为光源。KrF是第一代应用于光刻的准分子光源，这源于其在输出能量、波长、线宽、稳定性等多个方面大大超过了前期的汞灯光源；在摩尔定律推动下，更短波长的ArF光源技术应运而生，在KrF和ArF光源的不断迭代下，光刻制程逐步向前发展。
- 准分子激光器工作原理为：惰性气体（Kr, Ar）在电场和高压环境下与活泼的卤族元素气体（F₂, Cl₂）反应生成不稳定的分子（准分子），这些不稳定的处于激发态的准分子又不断分解成惰性气体和卤族元素，并释放深紫外（DUV）的光子。不同准分子材料决定了发射光子的波长，KrF释放248nm的光子，ArF释放193nm的光子。

● Cymer准分子激光工作原理图



● ArF准分子激光势能原理图



● ArF准分子激光工作原理反应式

- 1) 电子附着： $F_2 + e^- \rightarrow F^- + F$
- 2) 两步电离： $Ar + e^- \rightarrow Ar^* + e^-$ ； $Ar^* + e^- \rightarrow Ar^{++} + 2e^-$
- 3) 准分子态的形成：
 $Ar^+ + F^- + Ne \rightarrow ArF^* + Ne$ （占75%）； $Ar^* + F_2 + Ne \rightarrow ArF^* + F + Ne$ （占25%）
- 4) 自发和受激辐射：
 $ArF^* \rightarrow Ar + F + h\nu$ （自发辐射）
 $ArF^* + h\nu \rightarrow Ar + F + 2h\nu$ （受激辐射）
- 5) 重新组合（慢过程）
 $F + F + Ne \rightarrow F_2 + Ne$

数据来源：《Cymer准分子激光器的工作原理及应用》，《准分子激光光刻光源关键技术及应用》，平安证券研究所

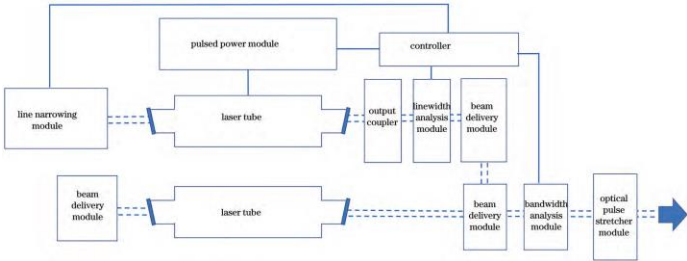
2.1 光源系统|深紫外DUV光源

- 准分子激光是脉冲式的，关键参数包括重复频率、平均功率、中心波长及稳定性、单脉冲能量及稳定性、线宽及稳定性、输出功率、剂量精度等。高功率意味着曝光时间缩短和光刻产能的提高，是业界追求的目标；波长稳定性、线宽都与光刻机的数值孔径相关，进而影响光刻分辨率；脉冲能量稳定性会影响剂量稳定性，从而影响光刻误差。值得一提的是，光刻光源工作时，其状态参数会实时反馈给光刻机并加以调整控制。
- 100nm节点内的光刻主要以双腔准分子激光器为主。单腔准分子激光器主要以248nm KrF激光器为主；相比单腔准分子激光器，双腔准分子激光器可获得更大的增益，能量范围更大，对激光器的线宽有更大的调节范围，逐渐成为100nm以内光刻节点的主流。

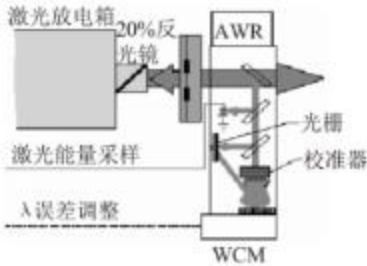
典型工艺节点与光源线宽、中心波长稳定性的对应关系

Process node/nm	Type	FMCW/pm	中心波长/pm
180-110	KrF单腔	≤0.35-0.60	≤0.050
90-65	ArF双腔，干式	≤0.25	≤0.030
45-28	ArF双腔，浸没式	≤0.25	≤0.030
14	ArF双腔，浸没式，多重曝光	≤0.25	≤0.018
7	ArF双腔，浸没式，多重曝光	≤0.25	≤0.012

双腔准分子激光器原理图



激光能量和波长采样及校准模块原理图

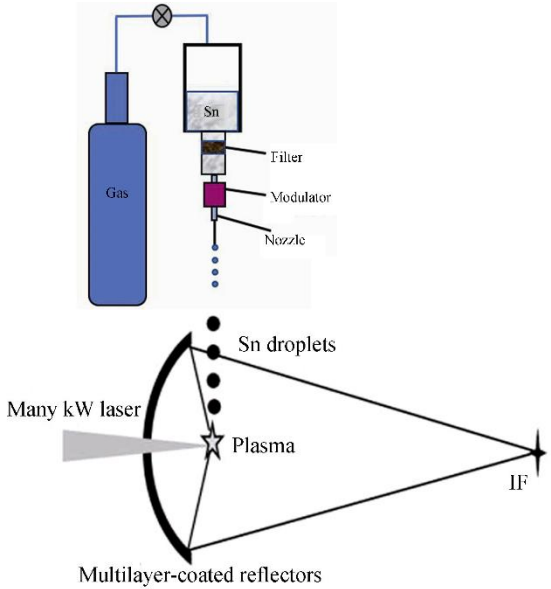


数据来源：《准分子激光光刻光源关键技术及应用》，《Cymer准分子激光器的工作原理及应用》，平安证券研究所

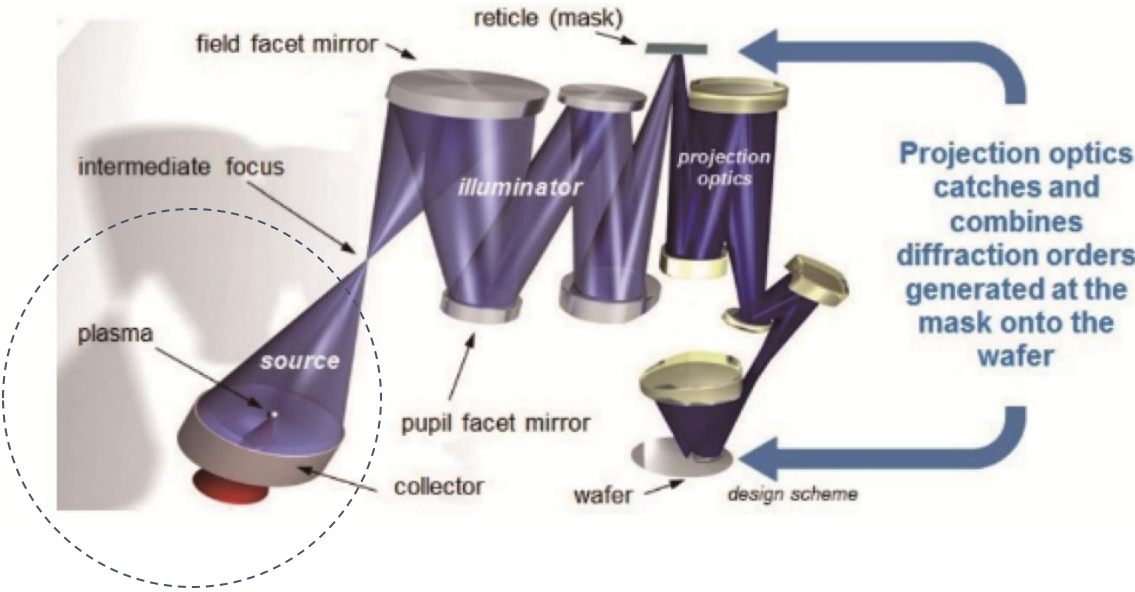
2.1 光源系统|极紫外EUV光源

- **EUV是通过高能激光轰击金属锡滴使其蒸发产生等离子体，进而发出EUV光。**具体过程为：直径约25um的熔融锡滴从发射器中喷射出来，首先受到低强度激光脉冲的轰击，将其压扁成煎饼状，之后高能激光脉冲使扁平的锡滴蒸发，产生等离子体发射EUV光，为产生足够的输出功率，上述过程每秒需重复5万次。
- 产生的EUV光经多层膜反射镜反射汇聚到IF点，并继续投射至光学平台。由于EUV光子几乎可被所有介质吸收，EUV多层反射镜至关重要，需尽量提升反射率。

⦿ EUV光源示意图（LPP）



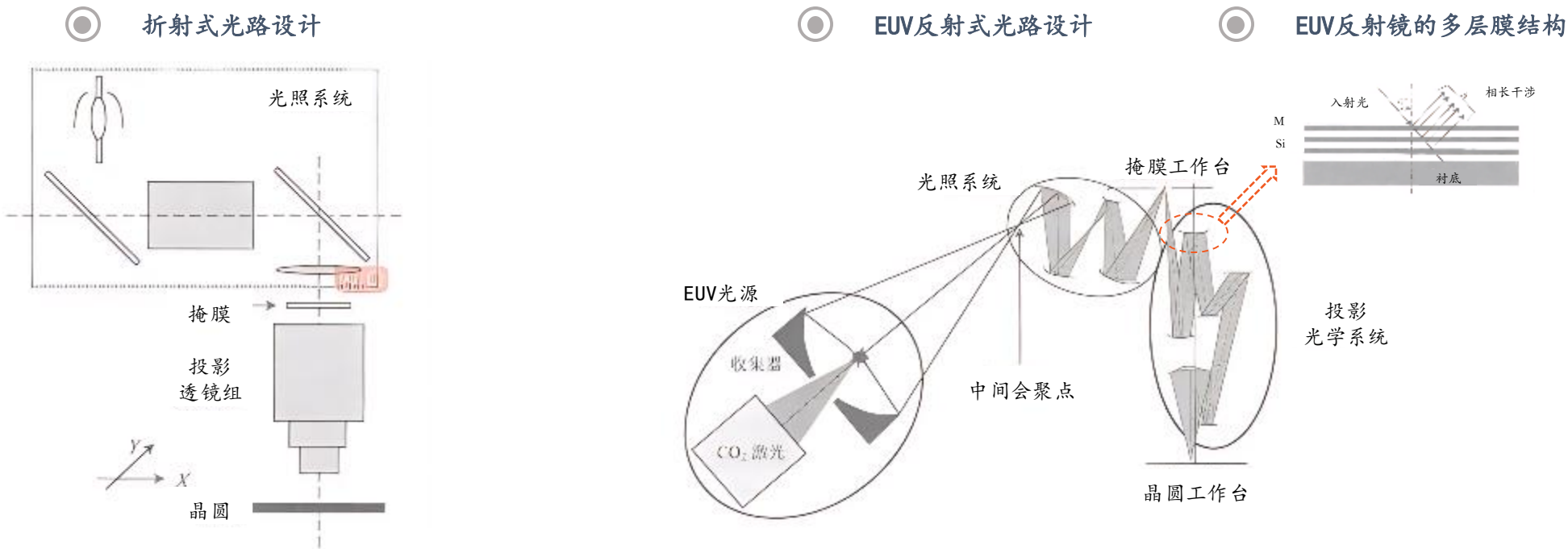
⦿ EUV光刻示意图（含光源、照明、物镜系统）



数据来源：《激光等离子体13.5nm极紫外光刻光源进展》，《极紫外光刻机曝光系统光学设计与进展》，平安证券研究所

2.2 光学系统|折射&反射式光学系统

- 光刻机光学系统主要包括折射式和反射式两种，其中，折射式主要使用透镜，反射式主要使用反射镜。大部分光刻机都采用折射式光路，EUV光刻机采用反射式光路（掩膜也是反射式），原因为EUV光极易被各种介质吸收，反射式光路可很大程度上规避此问题。
- EUV反射镜对反射率和镜面平滑度要求极高。对EUV反射镜来讲，提升其对EUV光的反射率是业界追求的目标，根据ASML官网信息，其EUV光刻机的反射镜由超过100层材料组成，目的便是最大限度地反射EUV光,根据《超大规模集成电路先进光刻理论与应用》，采用Mo/Si多层膜结构可使反射光之间发生相长干涉，对13.5nm的EUV光有良好的反射率；此外，反射镜表面光滑也是至关重要的，ASML EUV光刻机的反射镜面的平滑度小于一个原子厚度。



数据来源：《超大规模集成电路先进光刻理论与应用》，平安证券研究所

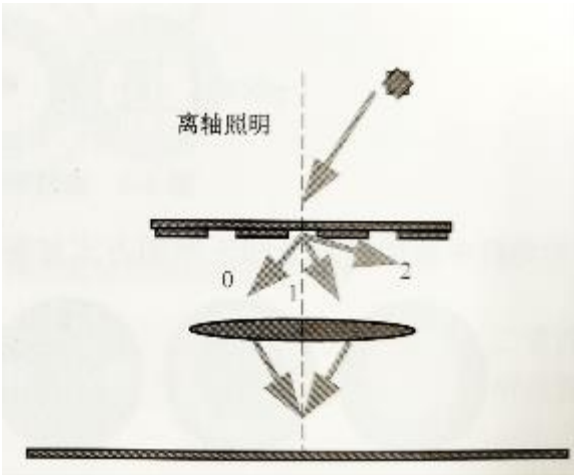
2.2 光学系统|照明系统-离轴照明

- 离轴照明是一种分辨率增强技术，是对瑞利公式中 k_1 参数（工艺因子）的优化。离轴照明增强分辨率的原理为：对照射至掩膜的入射光设置一定的入射角，使得掩膜图形的衍射频谱分布发生平移，更多的衍射光束被透镜收集，从而提高光学系统的成像分辨率。
- 与传统的在轴照明相比，离轴照明的特点是光源在焦平面上但偏离主轴，透镜所收集到的衍射光束的光强是不对称的，可能会导致同一掩膜上稀疏图案（对分辨率需求不高）的成像质量有所下降。因此，根据掩膜图形在各个取向上的成像分辨率需求不同，离轴照明又有双极照明（包括水平双极和垂直双极）、四级照明和环形照明之分。

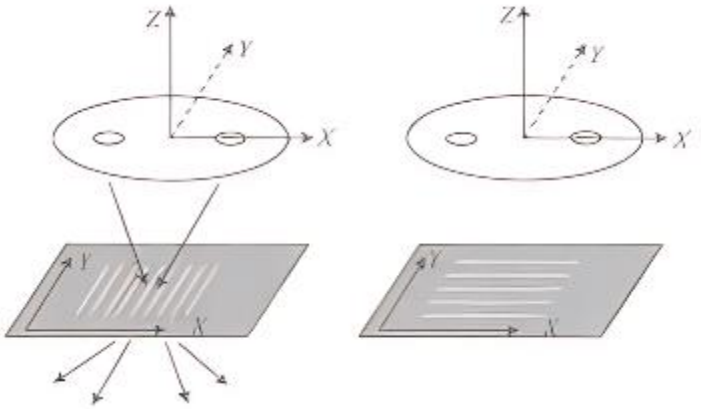
在轴照明分析示意图



离轴照明分析示意图



双极照明的分辨率和线条取向的关系

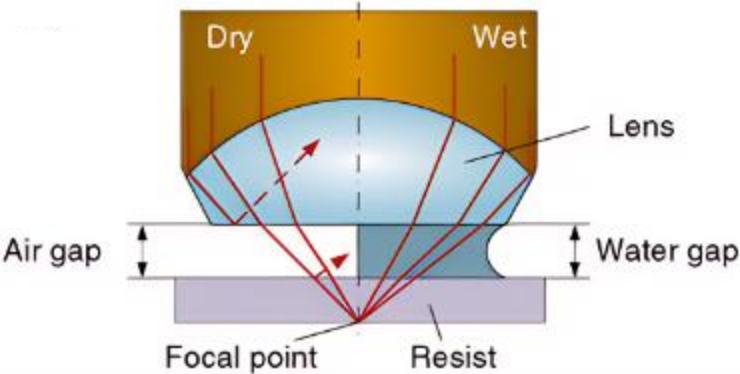


数据来源：国科大光学图像与智能视觉实验室公众号，《超大规模集成电路先进光刻理论与应用》，平安证券研究所

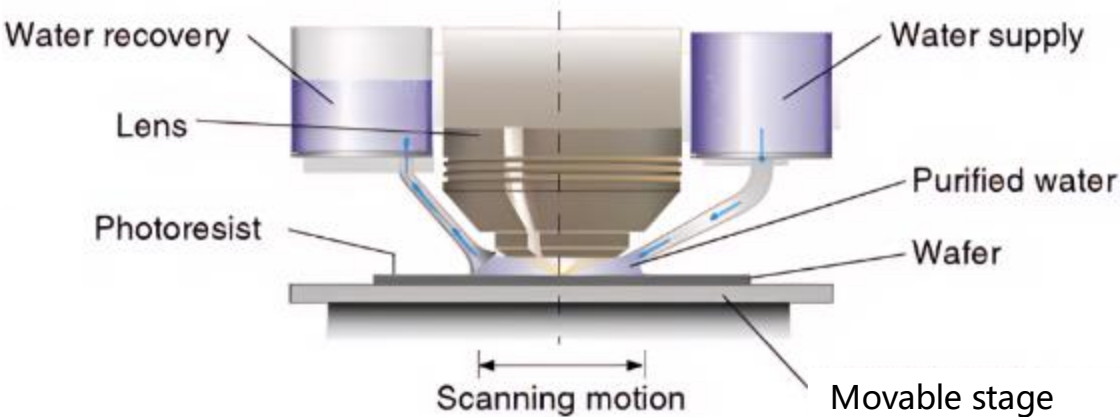
2.3 光学系统|投影系统-浸没式投影

- 浸没式光刻可在光源波长不变的情况下进一步提高光刻机的分辨率，是光刻机迭代过程中极为重要的一环。根据瑞利公式： $R = k_1 \frac{\lambda}{NA} = k_1 \frac{\lambda}{n \sin \theta}$ ，通过在投影物镜和Wafer之间注入高折射率的液体，可增大NA值（也可理解为缩短等效波长），进一步提升分辨率。通常浸没式光刻采用的液体为水，折射率为1.44（193nm处）。
- 浸没式光刻需对曝光头进行特殊设计，以确保水中没有气泡和颗粒以及水在随光刻机做扫描运动时没有泄露，对水介质本身及浸没控制系统的要求较为精密，难度较大。

干式&浸没式光刻对比



浸没式光刻结构示意图

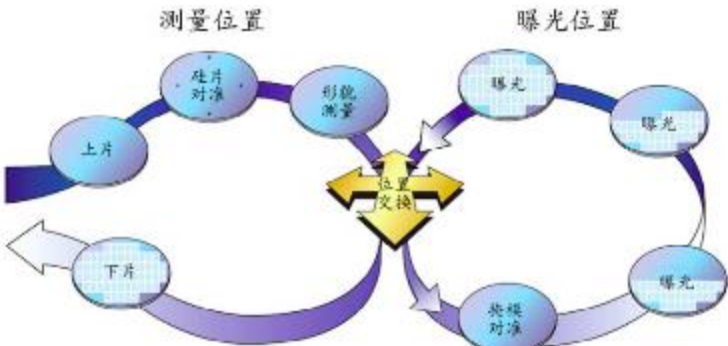


数据来源：Semi Connect 公众号，平安证券研究所

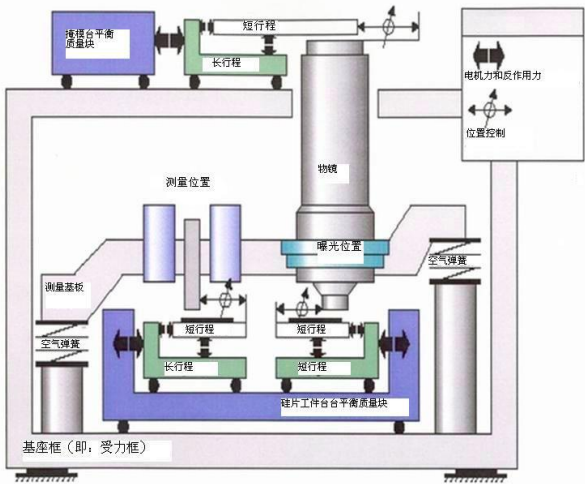
2.4 双工作台系统

- 双工作台由两套运动系统和两个工位组成，与单工作台相比，生产效率得到大幅提升。工作时，两个运动系统分别承载一片晶圆，其中一个运动系统位于测量工位，对晶圆进行上下片和预对准操作，另一个运动系统处于曝光工位，对晶圆进行加工操作，工作完成后，两个运动系统互换位置，循环使用。该模式下，晶圆装卸、测量和曝光等工序可并行进行，生产效率大幅提升。
- ASML在双工作台光刻机方面成熟且领先。2000年，ASML首次将双工作台（TWINSCAN）平台推向市场；2008年，TWINSCAN平台的速度、精度明显提升，通过材料创新以及新型的磁悬浮系统，可实现高达5g的加速度，且使用的传感器精度达到60pm，晶圆位置的测量频率达到20000次/s。

● TWINSKAN双工作台光刻机运行流程图



● 双工作台光刻机动力学模型



● 华卓精科光刻机双工作台产品图



数据来源：《ArF浸没光刻双工件台运动模型研究》，华卓精科招股说明书，平安证券研究所



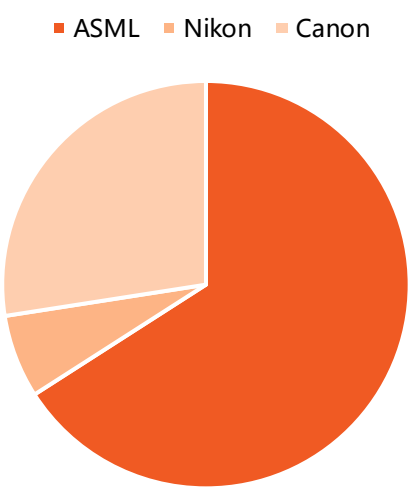
目录CONTENTS

- ① 一、光刻工艺：半导体产业链核心，决定制程水平
- ② 二、光刻机：四大核心子系统，现代工业集大成者
- ③ 三、光刻产业：垄断性强，国产突破是唯一选项
- ④ 四、投资建议与风险提示

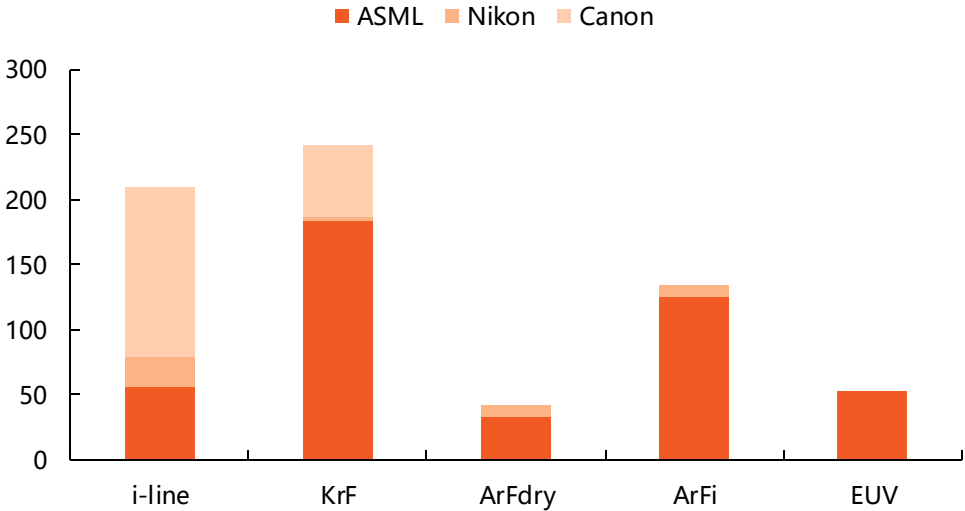
3 光刻机市场基本被ASML/Nikon/Canon所垄断

- 半导体光刻机市场呈现强垄断性特征，ASML、Nikon、Canon是全球半导体光刻机产业三大龙头，占据绝大部分市场份额，根据各公司官网数据，2023年ASML、Nikon、Canon半导体用光刻机销售量分别为449台、45台、187台，合计681台。
- 按技术别划分，目前半导体光刻机市场主要由i-line、KrF、ArFdry、ArFi、EUV组成，ASML在EUV领域处于绝对垄断地位，2023年销售53台，在ArFi、ArF、KrF领域占据主导地位，2023年分别销售125台、32台、184台；Nikon 2023年除EUV之外的均有销售，高端ArFi销售9台，仅次于ASML；Canon则聚焦中低端领域，2023年i-line销售131台，市占率第一。

ASML/Nikon/Canon光刻机销售量情况@2023年(台)



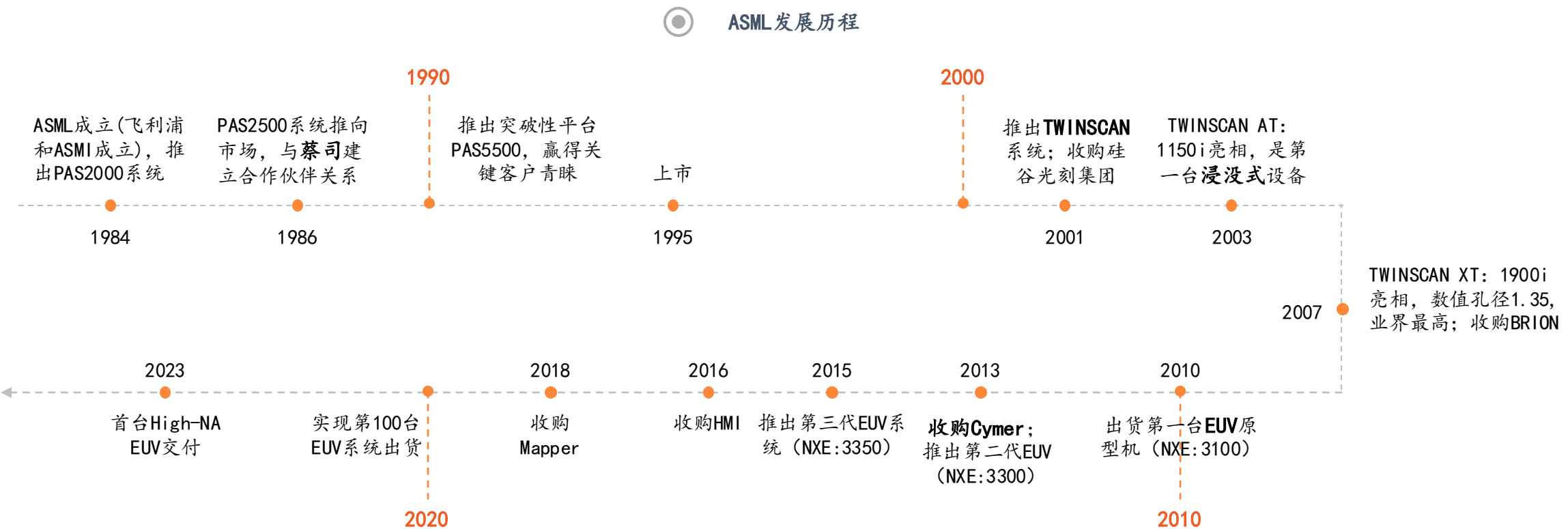
各类型光刻机的销售分布情况@2023年(台)



数据来源：各公司官网，平安证券研究所

3.1 ASML | 全球最领先的光刻设备巨头

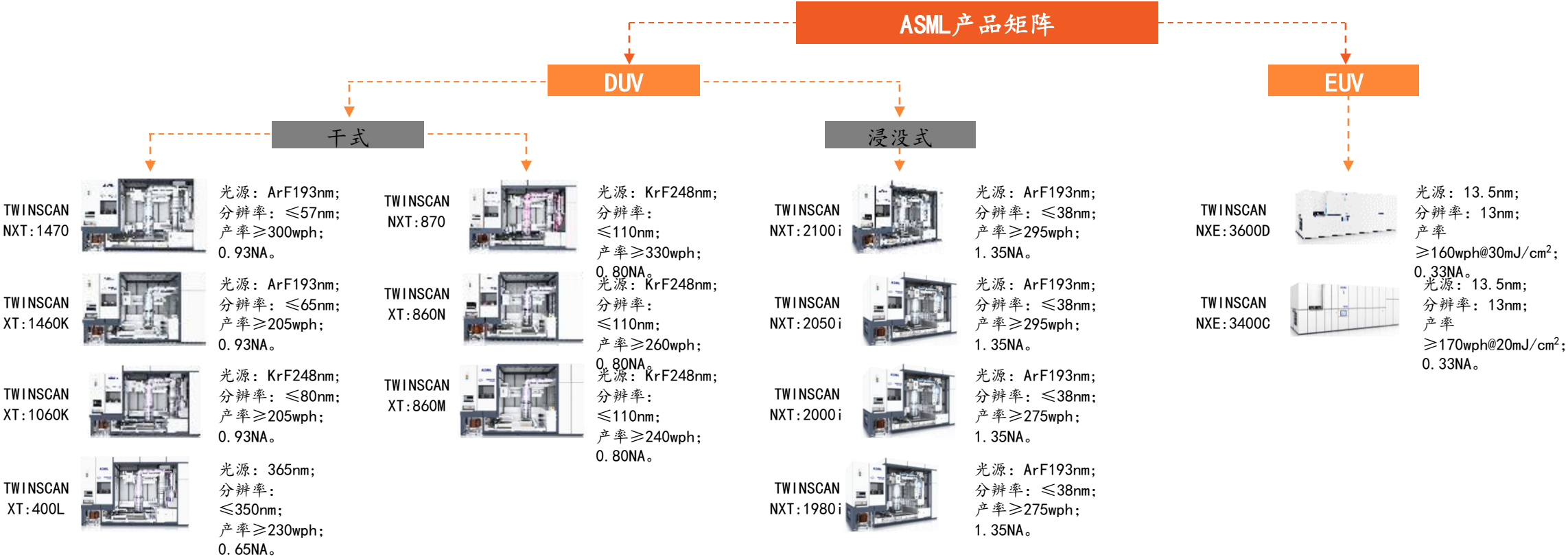
- ASML是全球最先进的光刻机厂商，自1984年成立以来，经过40年的发展，目前已成长为全球领先的光刻机龙头。
- ASML发展历程中的重要节点总结如下：1) 1990年左右，推出突破性平台PAS5500，为ASML带来盈利所需的关键客户；2) 2001年，推出TWINSKAN系统，生产效率大幅提升；3) 2003年，推出第一台浸没式光刻机TWINSKAN AT 1150i；4) 2010年，交付第一台EUV设备(NXE:3100)；5) 2023年，交付第一台High-NA EUV设备。



数据来源：ASML官网，平安证券研究所

3.1 ASML | 拥有丰富且领先的DUV&EUV产品线

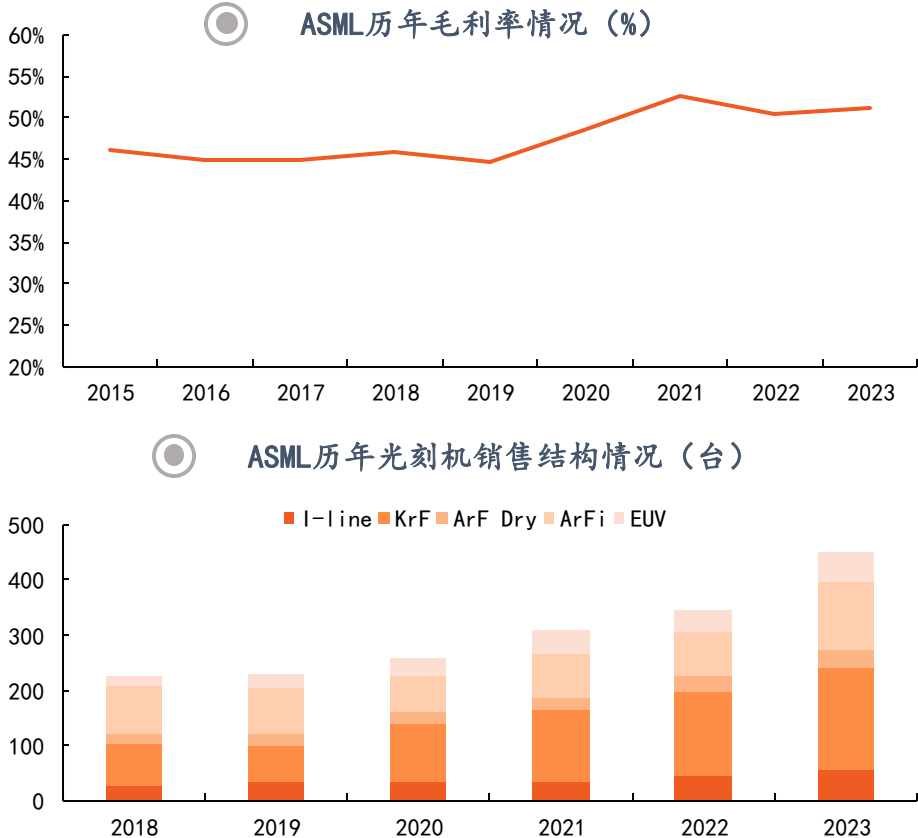
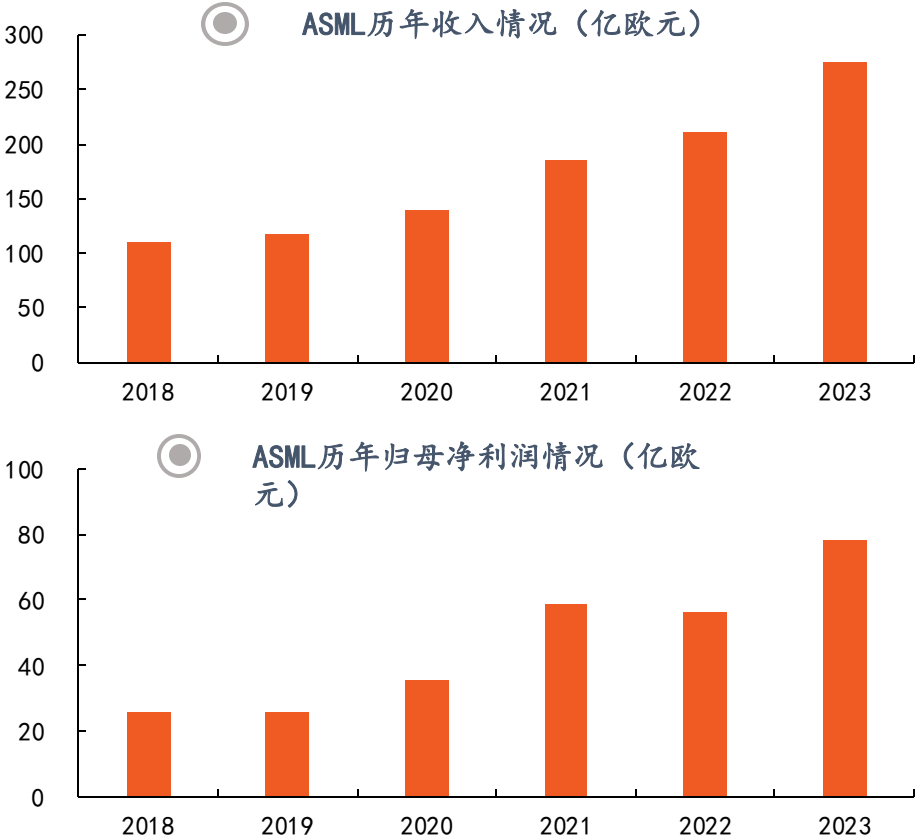
- 作为全球最顶尖的光刻机厂商，ASML拥有DUV&EUV、干式&浸没式等全系列光刻设备，执全球半导体产业之牛耳，很大程度上影响全球半导体产业的进步，其光刻技术及产品均处于全球领先地位。
- ASML在浸没式光刻机领域全球领先，NXT:2100i设备分辨率为38nm, 产率为295wph;此外，ASML在EUV光刻机领域是绝对的垄断者，全球仅ASML一家公司实现了EUV设备的批量交付，其NXE:3600D EUV设备分辨率达到13nm, 且最新的High-NA EUV设备也已交付客户。



数据来源：ASML官网，平安证券研究所

3.1 ASML | 业绩呈现稳定增长趋势

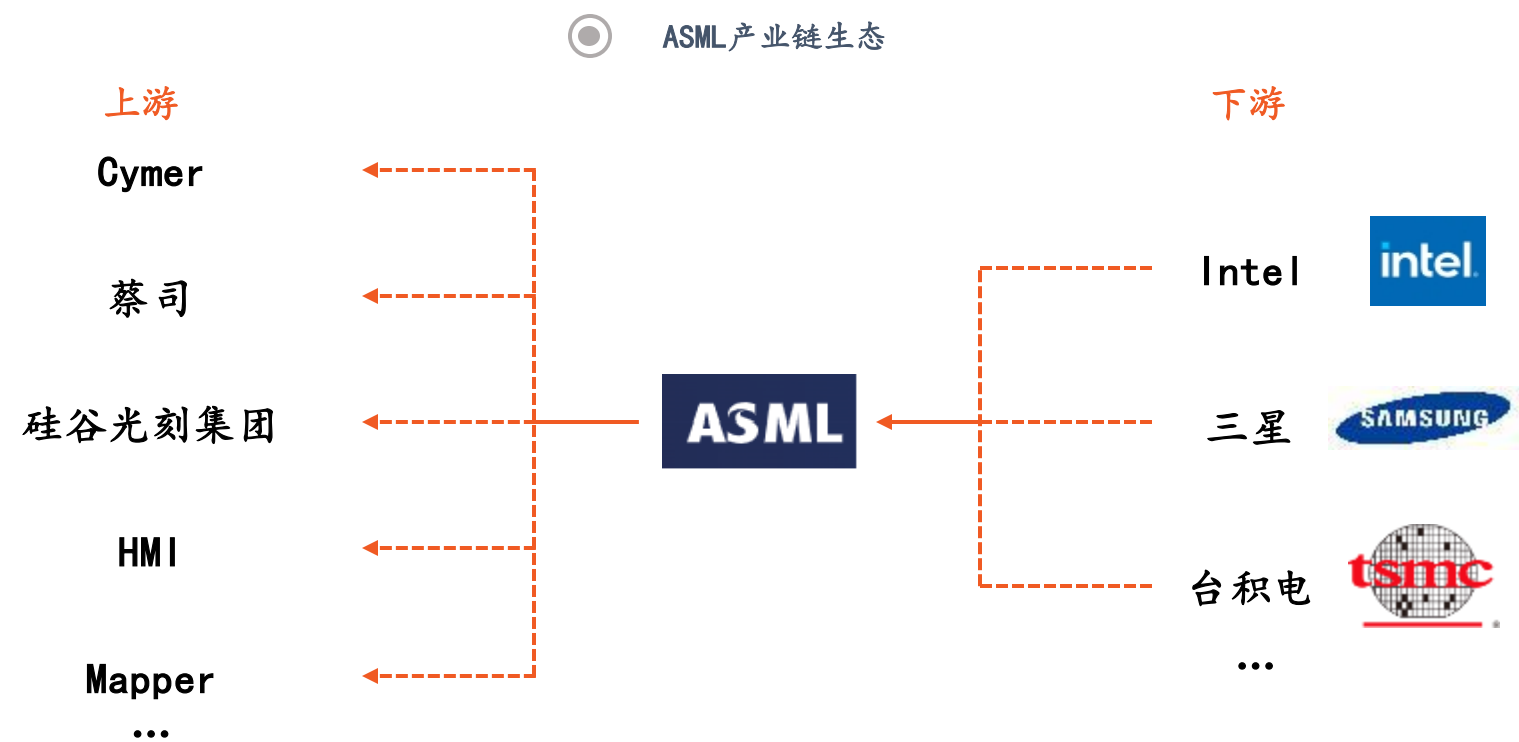
- 伴随全球半导体产业的快速发展，近年ASML在收入、利润方面总体呈现稳定增长的趋势：2018-2023年，公司收入从109.44亿欧元增长到275.59亿欧元，期间CAGR为20.29%，归母净利润从25.92亿欧元增长到78.39亿欧元，期间CAGR为24.78%。
- 从光刻机出货量来看，2018-2023年ASML光刻机（含i-line、KrF、ArF、ArFi、EUV）销售量从224台增长到449台，其中，最高端的EUV光刻机从18台增长到53台，增速较快，牢牢占据高端光刻市场。



数据来源：iFind，ASML历年年报，平安证券研究所

3.1 ASML | 重视产业链协同助力其取得巨大成功

- 光刻设备是一项巨大的精密系统工程，需要全球顶尖的产业链资源协同完成，共同构成完整的产业链生态。
- ASML重视产业生态建设，通过多种方式与上下游产业链公司建立了密切关系，为其在光刻设备领域取得巨大成功奠定了基础。1986年ASML与光学镜头龙头蔡司建立了合作伙伴关系，2001年收购硅谷光刻集团，2013年收购激光光源龙头Cymer，2016年收购HMI，2018年收购Mapper；此外，ASML与下游芯片代工巨头关系密切，于2012年获得Intel、台积电、三星的投资，作为其CCIP项目的一部分共同推动EUV设备的开发。



数据来源：ASML官网，ASML年报，平安证券研究所

3. 1 ASML | 2024年中国市场出口许可将失效

- 2024年ASML将无法取得对中国市场的出口许可，影响包括高端浸没式光刻设备（2000i及以上）的出口，且部分中国Fab厂无法获得1970i以及1980i浸没式光刻设备，ASML预计受到影响的范围大约占2023年中国系统收入的10%-15%。此外，公司认为，中国市场的中低端产品和成熟制程的需求较为稳定。

ASML官网声明

Statement regarding partial revocation export license

ANNOUNCEMENT - VELDHOVEN, THE NETHERLANDS, JANUARY 1, 2024

A license for the shipment of NXT:2050i and NXT:2100i lithography systems in 2023 has recently been partially revoked by the Dutch government, impacting a small number of customers in China.

We do not expect the current revocation of our export license or the latest U.S. export control restrictions to have a material impact on our financial outlook for 2023.

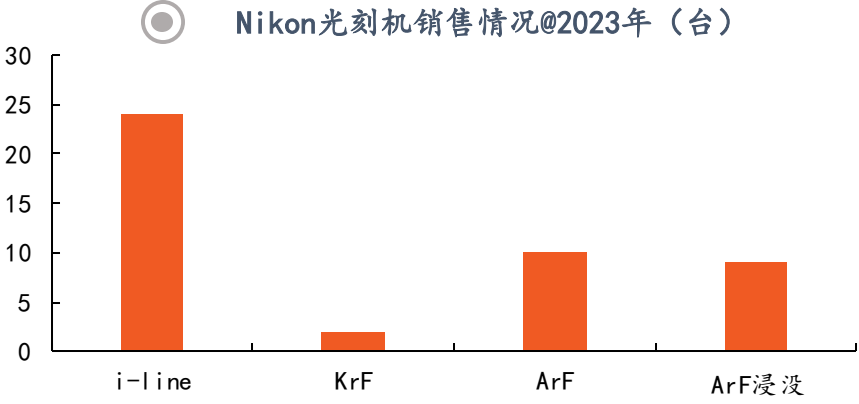
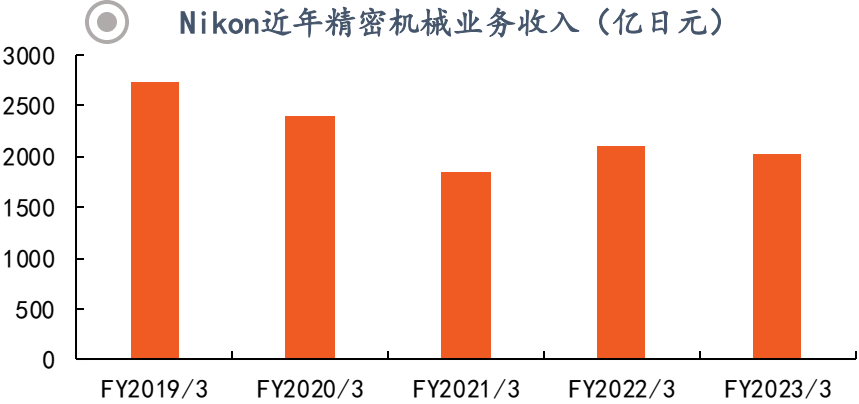
In recent discussions with the US government, ASML has obtained further clarification of the scope and impact of the US export control regulations. The latest US export rules (published October 17, 2023) impose restrictions on certain mid critical DUV immersion lithography systems for a limited number of advanced production facilities.

ASML is fully committed to comply with all applicable laws and regulations including export control legislation in the countries in which we operate.

数据来源：ASML官网，平安证券研究所

3.2 Nikon| 高端光刻设备仅次于ASML

- Nikon是全球三大光刻设备厂商之一，在i-line、KrF、ArF光刻机方面有较为全面的布局，其中，Nikon在高端浸没式ArF光刻机方面仅次于ASML，分辨率可达 $\leq 38\text{nm}$ ，颇具市场竞争力。
- 从市场表现来看，根据公司官网信息，2023年公司光刻机销售总量为45台，其中，浸没式ArF光刻机销售量为9台，仅次于ASML，干式ArF光刻机销售量为10台，KrF、i-line光刻机销售量分别为2台、24台。



Nikon光刻设备产品线及性能

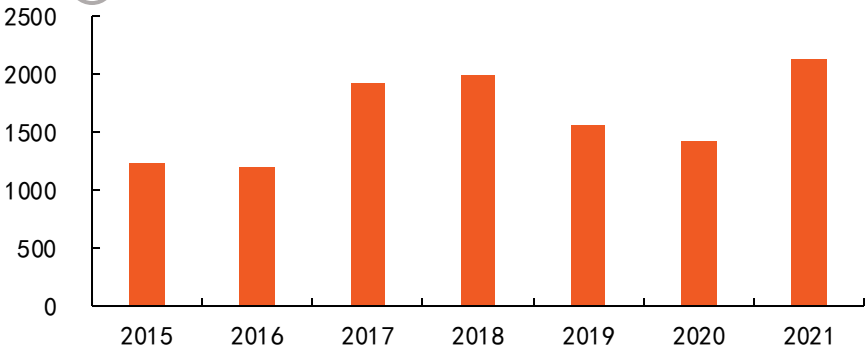
产品类型	ArF			KrF	i-line	
产品型号	NSR-S635E (浸没式)	NSR-S625E (浸没式)	NSR-S322F	NSR-S220D	NSR-SF155	NSR-2205iL1
光源	ArF 193nm	ArF 193nm	ArF 193nm	KrF 248nm	365nm	365nm
分辨率	$\leq 38\text{nm}$	$\leq 38\text{nm}$	$\leq 65\text{nm}$	$\leq 110\text{nm}$	$\leq 280\text{nm}$	$\leq 350\text{nm}$
NA	1.35	1.35	0.92	0.82	0.62	0.45
产率	$\geq 275\text{wph}$	$\geq 280\text{wph}$	$\geq 230\text{wph}$	$\geq 230\text{wph}$	$\geq 200\text{wph}$	-

数据来源：Nikon历年年报，Nikon官网，平安证券研究所

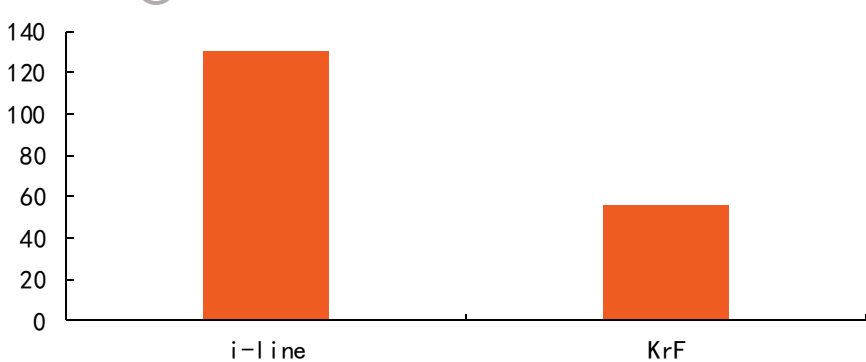
3.3 Canon | 中低端光刻设备表现优异

- Canon在光刻机领域切入时间较早，1970年便发售了日本首台半导体光刻机PPC-1，至今已有50余年，1975年Canon发售的FPA-141F光刻机在世界上首次实现了1um以下的曝光，在光刻机的发展历程中发挥了举足轻重的作用。
- 目前，Canon的光刻机阵容包括i-line光刻机和KrF光刻机产品线，主要针对中低端市场,其FPA-6300ES6a型号可实现≤90nm分辨率；根据公司官网，2023年Canon光刻机销售总量为187台，其中i-line光刻机销售131台，KrF光刻机销售56台。

Canon光刻设备业务历年收入情况（亿日元）



Canon光刻机销售情况@2023年（台）



Canon光刻设备产品线及性能

产品类型	KrF			i-line		
产品型号	FPA-6300ES6a	FPA-6300ESW	FPA-3030EX6	FPA-5550iZ2	FPA-5550iX	FPA-3030iWa
光源	KrF 248nm	KrF 248nm	KrF 248nm	365nm	365nm	365nm
分辨率	≤90nm	≤130nm	≤150nm	≤350nm	≤500nm	≤0.8um
NA	0.86-0.50	0.45-0.70	0.65-0.50	0.57-0.45	0.37-0.28	0.24-0.16
产率	≥200wph	-	-	-	-	-
Over lay	≤5nm	≤9nm	≤25nm	SMO≤18nm, MMO≤25nm	≤50nm	≤100nm

数据来源：iFind，Canon官网，平安证券研究所

3.4 上海微电子|国产光刻机之光

- 上海微电子是国内半导体前道光刻设备的领航者，自成立以来多次承担光刻机相关的国家重大科技专项，包括浸没式光刻机、90nm光刻机等，很大程度上代表国产光刻机领域的先进水平。
- 上海微电子的光刻机可用于IC前道（SSX600）、先进封装（SSB500）、LED&MEMS（SSB300）等领域，其中，SSX600系列光刻机可满足IC前道制造90nm、110nm、280nm关键层和非关键层的光刻工艺需求，可用于8寸线或12寸线的大规模工业生产，是目前上海微电子产品线中较具代表性的先进产品型号。

上海微电子发展历程



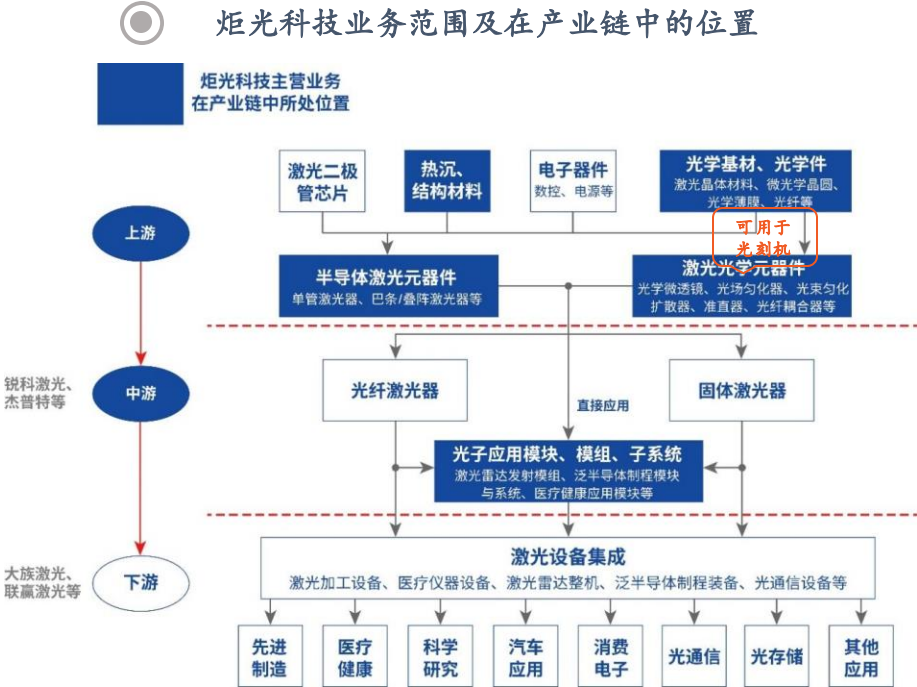
上海微电子泛半导体领域光刻机产品



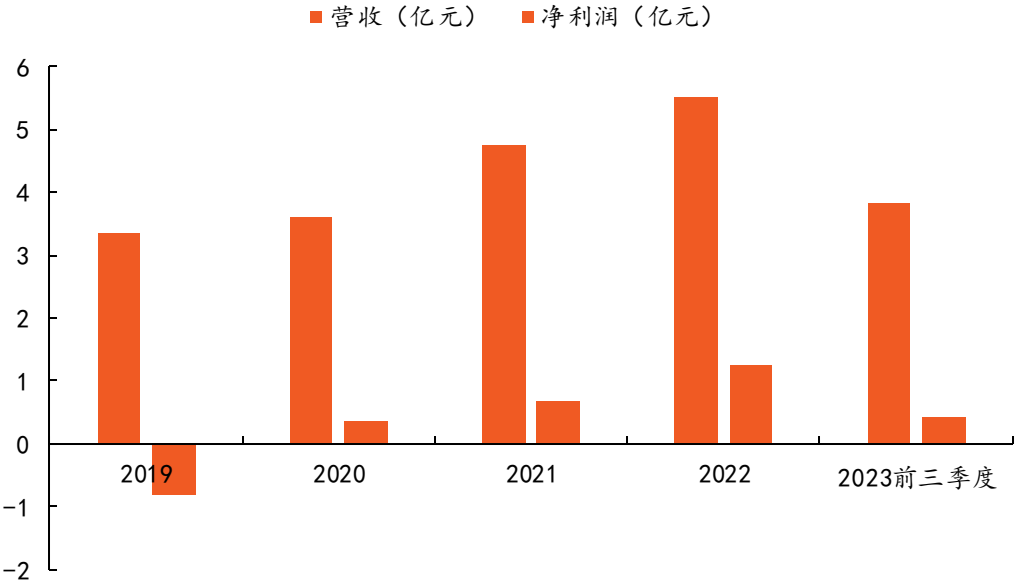
数据来源：上海微电子官网，平安证券研究所

3.5 炬光科技|匀化器产品应用于光刻机

- 炬光科技是国内领先的激光元器件公司。公司围绕“产生光子”+“调控光子”+“光子技术应用解决方案”的产品业务战略，重点布局汽车应用、泛半导体制程、医疗健康三大应用方向；2023年，炬光科技收购微纳光学元器件公司SMO，全球布局进一步完善，强强联合有望实现1+1>2的效果。
- 公司光刻机用光场匀化器为世界顶级企业供货。公司的光场匀化器基于光场匀化核心技术，能够实现对激光光束的高度匀化，以满足光刻机等高端应用需求，产品应用于国内主要光刻机研发项目和样机中，并供应给世界顶级光学公司，最终应用于全球高端光刻机生产商的核心设备。2022年公司光刻用光场匀化器销售额超过2000万元，同比增长超过90%。



炬光科技近年业绩情况（亿元）



数据来源：炬光科技年报，iFind，平安证券研究所

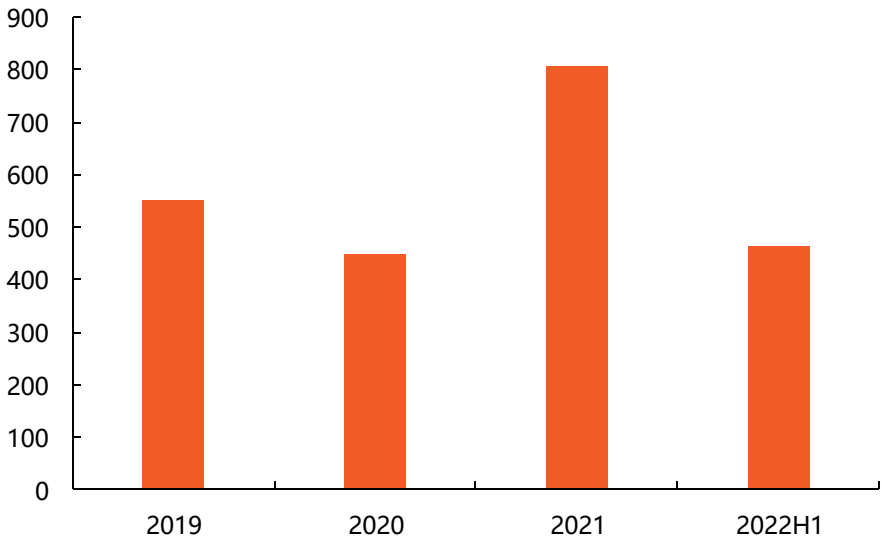
3.6 茂莱光学|掌握“光刻机曝光物镜超精密光学元件加工”核心技术

- 茂莱光学是国内领先的精密光学综合解决方案提供商，专注于精密光学器件、光学镜头和光学系统的研发、设计、制造及销售，其研发的精密光学器件已应用于国产光刻机中，为光刻机国产化提供了重要支撑。
- 根据公司招股书，公司已掌握“光刻机曝光物镜超精密光学元件加工”核心技术。采用该核心技术研制的透镜元件在DUV深紫外波段具备低吸收、高透过率的特点，可实现更优的像质，获得更细的线宽；基于该核心技术，公司生产的光刻机曝光物镜用光学器件最大口径可达直径300mm，突破常规透镜尺寸和精度的指标要求，面形精度可达到小于30nm，且在软材料CaF2上也可达到上述面形指标，可以满足KrF、ArF、I线光刻机曝光物镜系统的应用需求。

● 茂莱光学产品在光刻中的应用

产品名称	产品图示	产品介绍	应用领域
半导体DUV光学透镜		该产品选用高纯度石英、CaF2材料，经由高质量抛光、半导体紫外光谱段镀膜后可实现高面型与表面光洁度，口径在100mm-300mm，达到深紫外波段要求。	光刻机光学系统照明、曝光模块，是保证光刻机高成像质量的关键组件。
显微物镜系列		该产品主要功能为显微成像，倍率涵盖2X-30X，齐焦距离45、60、95mm，工作波长覆360nm~1100nm，在20X物镜系列中分辨率可达到335nm，视场1.25mm。	该产品目前主要应用于基因测序显微系统和半导体检测系统，保证测序和光刻设备的检测精度。

● 茂莱光学近年在光刻机应用领域的营收情况（万元）



数据来源：茂莱光学招股说明书，平安证券研究所

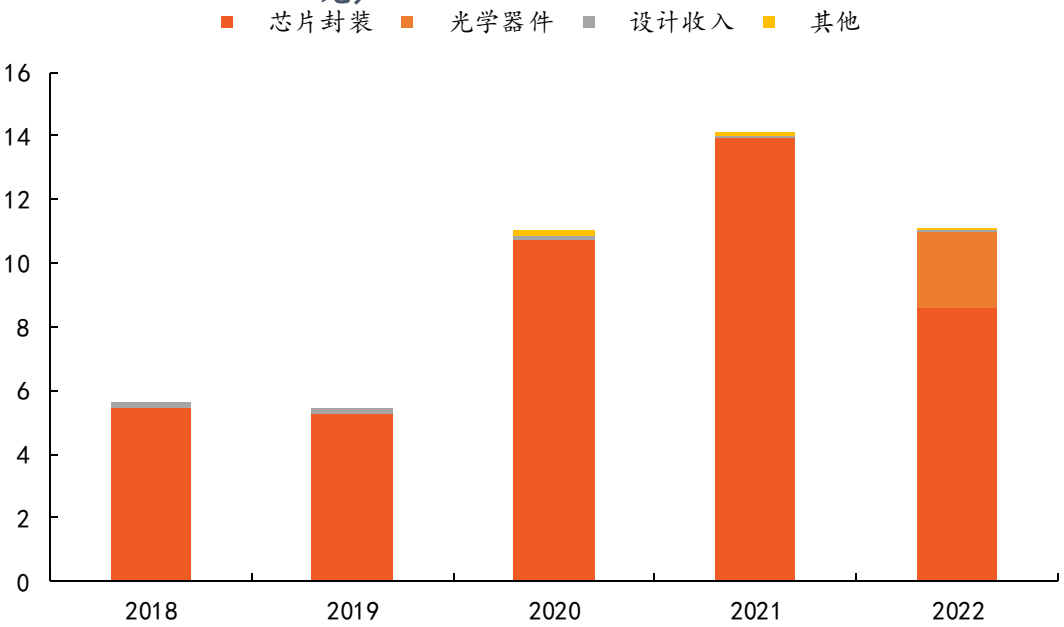
3.7 晶方科技|ASML是其子公司Anteryon的重要客户

- 晶方科技拥有传感器封测和微型光学器件两大业务。公司是专业的封测服务提供商，封装产品包括图像传感器芯片、生物身份识别芯片、MEMS芯片等，应用范围涵盖手机、安防、身份识别、汽车电子、3D传感等；公司微型光学器件业务主要通过并购及业务技术整合等方式加以拓展。2022年，公司芯片封装收入为8.57亿元，光学器件收入为2.39亿元。
- 全球光刻机龙头ASML是晶方科技子公司Anteryon最主要的客户之一。根据公司公告及投资者互动平台信息，2019年，晶方光电完成对荷兰Anteryon公司的并购，后者拥有混合镜头、晶圆级微型光学器件工艺技术及量产能力，全球光刻机龙头ASML是其最主要客户之一。

晶方光电产品线



晶方科技近年营收组成情况 (亿元)



数据来源：晶方光电官网，iFind，平安证券研究所

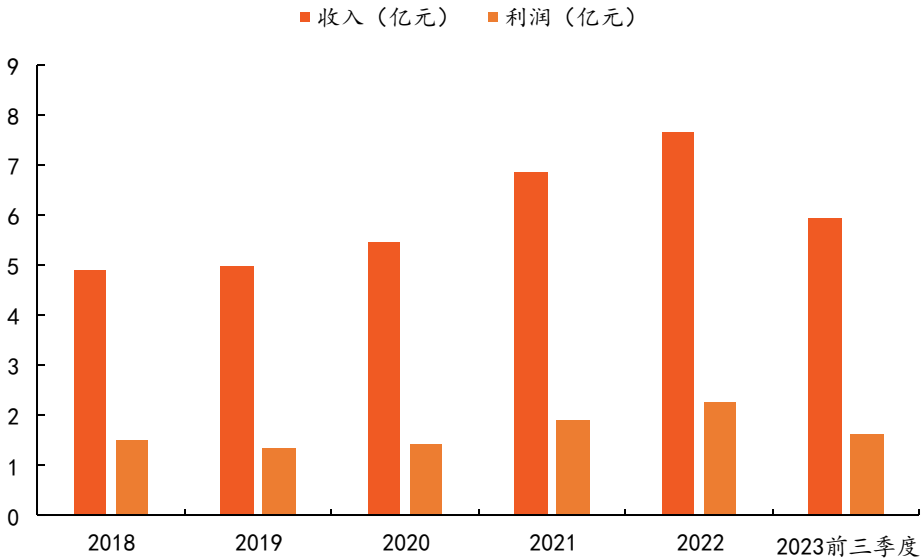
3.8 福晶科技|全球最大的LBO、BBO晶体生产企业

- 福晶科技是全球知名的LBO晶体、BBO晶体、Nd:YVO4晶体、磁光晶体、精密及超精密光学元件、声光及电光器件的龙头厂商，实控人为福建物构所，主要业务为晶体元器件、精密光学元件和光器件等产品的研发、制造和销售。
- 根据福晶科技2022年年报，公司是全球规模最大的LBO、BBO晶体及其元器件的生产企业，市场占有率全球第一，其中LBO晶体器件被国家工信部和中国经济联合会评为“制造业单项冠军产品（2019年-2021年）”。公司晶体核心产品总体处于行业领先地位。

福晶科技主要产品及其用途

类别	产品	图示	用途
晶体	非线性光学晶体、激光晶体、双折射晶体、磁光晶体、声光及电光晶体、闪烁晶体等		作为固体激光器的工作物质、非线性频率转换、磁光材料、电光材料等
精密光学元件	非球面透镜、球面透镜、柱面透镜、反射镜、窗口片、棱镜、波片、偏振镜、分光镜、光栅等		应用于激光器谐振腔、准直聚焦、光路传输、光束整形、偏振转换、分光合束等
激光器件	磁光器件、声光器件、电光器件、驱动器、光开关、光学镜头(扫描场镜、扩束镜)、光纤传输器件等		光纤与固体激光器的声光调制器、电光调制器、Q开关、隔离器等

福晶科技近年业绩情况（亿元）



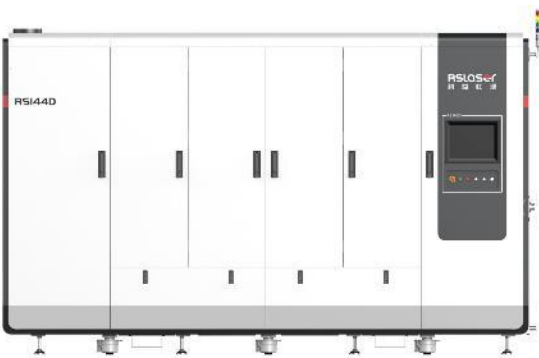
数据来源：福晶科技年报，iFind，平安证券研究所

3.9 科益虹源 | 准分子激光器打破国外垄断

- 北京科益虹源光电技术有限公司成立于2016年，股东包括中科院微电子所、亦庄国投、哈勃科技、国科科仪等，是国家02专项“准分子激光技术”成果的产业化载体。
- 根据芯智讯公众号信息，2018年3月，科益虹源自主设计开发的国内首台高能准分子激光器顺利出货，打破了国外厂商的长期垄断，成为国内第一家、世界第三家具备193nm ArF准分子激光技术研究和产品化的公司。

科益虹源产品线

ArF干式DUV准分子激光器



KrF DUV 准分子激光器



半导体光刻机用汞灯产品（代理）



固体检测光源

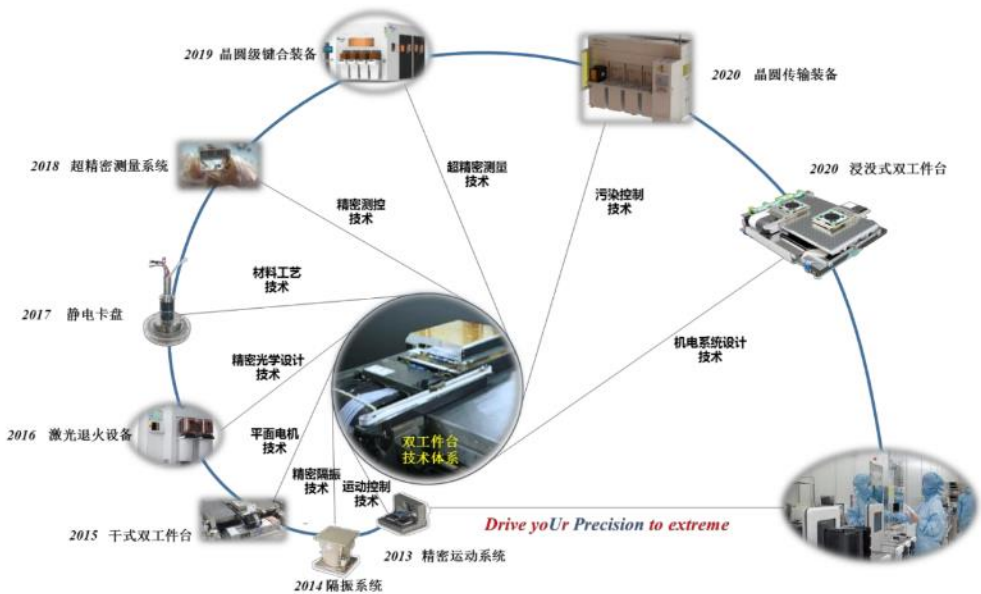


数据来源：芯智讯公众号，仪器信息网，平安证券研究所

3.10 华卓精科|上海微电子的双工作台系统供应商

- 华卓精科是国内光刻机双工作台领域的领先者，其业务核心为光刻机双工作台，与清华大学合作紧密，已经取得技术突破，并推出DWS系列产品，是光刻机产业链国产化的重要一环。
- 华卓精科承担多项“02专项”项目，积累了丰富的技术和专利，是上海微电子的双工作台供应商。华卓精科深度参与“02专项”，承担了“IC装备高端零部件集成制造工艺研究与生产制造”项目、“浸没式光刻机双工件台产品研制与能力建设”项目和“浸没式光刻机双工件台平面光栅位置测量系统研发”项目等3项“02专项”重大科研项目，与国内光刻机龙头厂商上海微电子保持良好的合作关系，并成为其光刻机双工件台的供应商，是光刻机及其部件国产化技术攻关的重要推动者。

● 华卓精科技术及产品研发的演变过程



● 华卓精科光刻机双工作台产品

产品系列	产品图示	产品特性	技术参数
DWS系列		采用磁悬浮平面电机驱动，多轴激光干涉位移测量。用于I-line、KrF和ArF干式光刻机，产率≥150片/小时。	运动平均偏差：4.5nm 运动标准偏差：7nm 最大速度：1.1m/s 最大加速度：2.4g
DWSi系列		采用磁悬浮平面电机驱动，平面光栅干涉位移测量。用于ArFi光刻机，产率≥150片/小时。	运动平均偏差：2.5nm 运动标准偏差：5nm 最大速度：1.5m/s 最大加速度：3.2g

数据来源：华卓精科招股说明书（申报稿），平安证券研究所



目录CONTENTS

- ① 一、光刻工艺：半导体产业链核心，决定制程水平
- ② 二、光刻机：四大核心子系统，现代工业集大成者
- ③ 三、光刻产业：垄断性强，国产突破是唯一选项
- ④ 四、投资建议与风险提示

4.1 投资建议

- **光刻是半导体核心工艺，开发难度大，性能指标要求高。**光刻机是半导体制造的核心设备，其性能直接决定了芯片的工艺水平，开发难度大，价值量高，市场规模可观，目前市场主流光刻设备有i-line、KrF、ArF、ArFi、EUV五大类；分辨率、套刻精度、产率是光刻机的核心指标，其中，分辨率直接决定制程，极致的分辨率水平是光刻机产业不懈的追求，是光刻机最重要的指标，而套刻精度影响良率，产率影响光刻机的产能及经济性，此外，多重曝光技术可在光刻机分辨率不变的情况下进一步提高芯片制程，应用较为广泛。
- **光刻机是现代工业的集大成者，核心为光源/照明/投影/双工作台四大子系统。**1) 光源系统经历了高压汞灯→DUV→EUV的发展历程，为追求更极致的分辨率，光源波长需要不断缩短，光源的演进历程很大程度上代表了光刻机的发展历程，DUV、EUV光刻机便是以光源命名的，其中DUV光源是准分子激光器，EUV光则是高能激光轰击金属锡滴产生；2) 照明系统是对光进行扩束、传输、整形、匀化、准直、汇聚后照射至掩膜，DUV采用反射式光路，EUV采用折射式光路；3) 投影系统是将掩膜图形按一定比例投射至晶圆，浸没式投影可增加光刻机NA值，进一步提升光刻机分辨率；4) 双工作台系统主要作用为提高产能，改善光刻机的经济性。
- **光刻机产业呈现强垄断特性，国产突破是唯一选择。**ASML、Nikon、Canon是全球光刻机产业三大龙头，占据绝大部分市场份额，其中ASML在高端浸没式DUV及EUV方面绝对领先，Nikon在浸没式DUV方面也有少量出货，Canon则聚焦中低端领域。国内来看，上海微电子是领航者，在“02专项”支持以及产业链公司的共同努力下，国产光刻机产业链不断完善：科益虹源已实现准分子激光光源的出货，炬光科技的光刻机用匀化器取得规模可观的营收，茂莱光学已掌握“光刻机曝光物镜超精密光学元件加工”核心技术且其精密光学器件已应用于国产光刻机中，华卓精科则在双工作台方面取得突破。在当前海外对华制裁的背景下，光刻机是被限制的重点，国产化是唯一选择，亟待突破。
- **投资建议：**光刻机是半导体产业的核心设备，直接决定芯片制程的先进程度，重要性不言而喻，在全球半导体产业持续扩张的趋势下，光刻机市场规模长期可观；此外，光刻机开发难度大，产业垄断性强，是海外对华半导体制裁的重灾区，直接影响国内半导体产业先进制程的发展，因此光刻机自主突破的重要性尤为凸显，光刻机国产产业链颇具潜力，建议关注炬光科技、茂莱光学、晶方科技、福晶科技、波长光电、腾景科技等。

4.2 风险提示

- (1) 国内技术产品开发不及预期的风险。**光刻机是极为精密的设备，开发难度大，若国内产业链进展缓慢，将直接影响国内半导体产业的发展。
- (2) 海外制裁加剧的风险。**光刻机是半导体产业的核心设备，是海外制裁的重点，产业链遍布全球，若海外对华半导体制裁进一步加剧，可能对国内光刻机产业链带来不利影响。
- (3) 下游需求不及预期的风险。**半导体是光刻机的主要应用领域，若半导体产业的扩产节奏放缓，可能影响光刻设备的市场空间以及国内产业链的良性循环。

平安证券研究所电子信息团队

分析师/研究助理	邮箱	资格类型	资格编号
付强	FUQIANG021@pingan.com.cn	投资咨询	S1060520070001
闫磊	YANLEI511@pingan.com.cn	投资咨询	S1060517070006
徐勇	XUYONG318@pingan.com.cn	投资咨询	S1060519090004
徐碧云	XUBIYUN372@pingan.com.cn	投资咨询	S1060523070002
陈福栋	CHENFUDONG847@pingan.com.cn	一般证券从业资格	S1060122100007
郭冠君	GUOGUANJUN625@pingan.com.cn	一般证券从业资格	S1060122050053

股票投资评级：

- 强烈推荐（预计6个月内，股价表现强于市场表现20%以上）
- 推 荐（预计6个月内，股价表现强于市场表现10%至20%之间）
- 中 性（预计6个月内，股价表现相对市场表现±10%之间）
- 回 避（预计6个月内，股价表现弱于市场表现10%以上）

行业投资评级：

- 强于大市（预计6个月内，行业指数表现强于市场表现5%以上）
- 中 性（预计6个月内，行业指数表现相对市场表现在±5%之间）
- 弱于大市（预计6个月内，行业指数表现弱于市场表现5%以上）

公司声明及风险提示：

负责撰写此报告的分析师（一人或多人）就本研究报告确认：本人具有中国证券业协会授予的证券投资咨询执业资格。

平安证券股份有限公司具备证券投资咨询业务资格。本公司研究报告是针对与公司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。本公司研究报告仅提供给上述特定客户，并不面向公众发布。未经书面授权刊载或者转发的，本公司将采取维权措施追究其侵权责任。

证券市场是一个风险无时不在的市场。您在进行证券交易时存在赢利的可能，也存在亏损的风险。请您务必对此有清醒的认识，认真考虑是否进行证券交易。

市场有风险，投资需谨慎。

免责条款：

此报告旨为发给平安证券股份有限公司（以下简称“平安证券”）的特定客户及其他专业人士。未经平安证券事先书面明文批准，不得更改或以任何方式传送、复印或派发此报告的材料、内容及其复印本予任何其他人。

此报告所载资料的来源及观点的出处皆被平安证券认为可靠，但平安证券不能担保其准确性或完整性，报告中的信息或所表达观点不构成所述证券买卖的出价或询价，报告内容仅供参考。平安证券不对因使用此报告的材料而引致的损失而负上任何责任，除非法律法规有明确规定。客户并不能仅依靠此报告而取代行使独立判断。

平安证券可发出其它与本报告所载资料不一致及有不同结论的报告。本报告及该等报告反映编写分析员的不同设想、见解及分析方法。报告所载资料、意见及推测仅反映分析员于发出此报告日期当日的判断，可随时更改。此报告所指的证券价格、价值及收入可跌可升。为免生疑问，此报告所载观点并不代表平安证券的立场。

平安证券在法律许可的情况下可能参与此报告所提及的发行商的投资银行业务或投资其发行的证券。

平安证券股份有限公司2024版权所有。保留一切权利。