国元证券 GUOYUAN SECURITIES

证券研究报告
2020年7月7日

半导体设备投资地图

证券分析师: 贺茂飞
E-MAIL: hemaofei@gyzq.com.cn
SAC执业证书编号: S0020520060001

投资建议

- 我们坚定看好中国芯片产业崛起的机遇，在这一轮晶圆加工产业的扩张潮中，上游设备材料企业有望迎来历史性发展机遇。回顾日本半导体设备产业发展历史，在日本芯片制造产能扩张期，日本本土设备业者与芯片制造业者紧密合作，成就日本在全球半导体设备领域的地位。随着中国大陆芯片制造产能的扩张，上游半导体设备产业将进入长景气周期。
- 建议关注：

设备平台公司：中微公司、北方华创

清洗设备：芯源微、盛美半导体、至纯科技

量测设备：赛腾股份、华峰测控、精测电子、长川科技

离子注入设备：万业企业

表：重点公司盈利预测（百万元）

证券代码	证券简称	总市值	净资产		PB		营业总收入		PS	
			2020Q1	2020E	2020Q1	2020E	2019A	2020E	2019A	2020E
688012.SH	中微公司	142,316	3,777	4,115	37.68	34.58	1,947	2,629	73.10	54.13
002371.SZ	北方华创	98,122	6,122	6,303	16.03	15.57	4,058	5,720	24.18	17.15
688200.SH	华峰测控	20,313	1,976	1180.26	10.28	17.21	255	328	79.78	61.94
688037.SH	芯源微	11,845	747	790.00	15.86	14.99	213	287	55.61	41.27
ACMR.O	盛美半导体	8,371	1,365	1,755	6.13	4.77	759.8	1084	11.02	7.72
603283.SH	赛腾股份	9,798	998	1,214	9.82	8.07	1205.51	1559	8.13	6.28
600641.SH	万业企业	20,783	6,354	7,168	3.27	2.90	1,869	1,699	11.12	12.23
300567.SZ	精测电子	19,786	1,483	1,817	13.34	10.89	1,951	2,597	10.14	7.62
300604.SZ	长川科技	10,459	997	1,085	10.49	9.64	399	768	26.22	13.63
603690.SH	至纯科技	12,554	1,476	1,485	8.51	8.45	986	1,509	12.73	8.32

资料来源：wind一致预期，数据更新至7月6日，国元证券研究中心

半导体设备公司一览

半导体/晶圆制造设备							
工艺	光刻	刻蚀	薄膜	CMP	清洗	离子注入	热处理	量测
市场空间	1300-1700亿元	1100-1500亿元	1000-1400亿元	200-300亿元	300-500亿元	100-200亿元	100-200亿元	500-600亿元
上市标的	华卓精科 奥普光电 福晶科技 芯源微	北方华创 中微公司	北方华创 中微公司 上海新阳		北方华创 至纯科技 芯源微	万业企业	北方华创	精测电子 赛腾股份 华峰测控 长川科技
未上市标的	上海微电 启尔机电 上海神光 国科精密 国望光学	中国电科 屹唐半导体	沈阳拓荆 中国电科 盛美半导体	华海清科	盛美半导体 屹唐半导体	中科信	屹唐半导体	东方晶源 睿励科学

国内主要厂商半导体设备开发进度表

表：国内半导体设备供应商技术进展

设备		公司	技术进度（nm）							
			130	90	65	45	28	14	7/5	3
光刻	光刻机	上海微电子								
	光刻机工作台	华卓精科								
	涂布显影	芯源微								
	去胶/清洗	屹唐半导体								
刻蚀	硅刻蚀	北方华创								
	金属刻蚀	北方华创								
	介质刻蚀	中微公司								
薄膜沉积	PVD	北方华创								
	CVD	北方华创								
		沈阳拓荆								
	ALD	北方华创								
		沈阳拓荆								
热处理	扩散、退火、合金、成膜	北方华创								
		屹唐半导体								
离子注入	离子注入	中科信								
		万业企业								
CMP	CMP	华海清科								
清洗	清洗	北方华创								
		至纯科技								
		芯源微								
		盛美半导体								
前道检测	前道检测	东方晶源								
		睿励科学								
		精测电子								

已具备技术

在研

尚未具备

资料来源：公开信息整理，国元证券研究中心

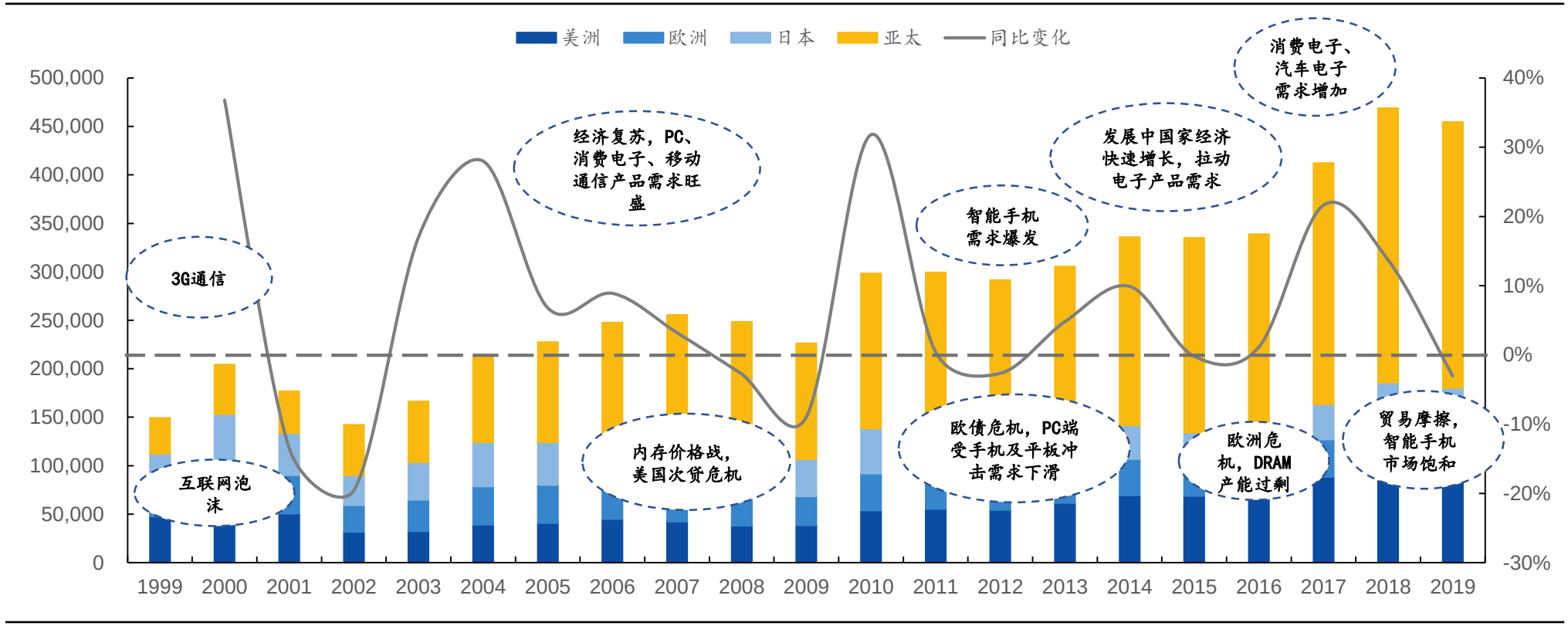
正文目录

- 第一部分：半导体设备是行业基石，国内企业即将迎来历史转折期
- 第二部分：芯片制造工艺流程拆分：薄膜工艺介绍及国内外龙头对比分析
- 第三部分：芯片制造工艺流程拆分：刻蚀工艺介绍及国内外龙头对比分析
- 第四部分：芯片制造工艺流程拆分：光刻工艺介绍及国内外龙头对比分析
- 第五部分：芯片制造工艺流程拆分：清洗工艺介绍及国内外龙头对比分析
- 第六部分：国产设备企业介绍

1.1新一轮半导体行业上行周期有望拉动设备需求

- **半导体行业存在周期性，主要受两个因素影响，宏观经济和技术革新。**1）宏观经济变化影响人们消费能力和意愿，通过下游市场需求影响整个行业景气度；2）技术革新通过刺激下游消费意愿甚至强制改变市场格局。以2020年为锚，5G商用化、数据中心、物联网、智慧城市、汽车电子等一系列新技术及市场需求做驱动，给予半导体行业新的动能。
- **半导体设备对行业周期变化敏感，行业周期性变化必然伴随产能的增减和产品的迭代。**产能变化对应设备数量的变化，工艺变化对应设备的迭代，新一轮增长周期有望带动设备需求。

图：全球半导体销售（百万美元）及周期性划分



资料来源：wind，国元证券研究中心

1.2.1 半导体设备是支撑行业发展的基石

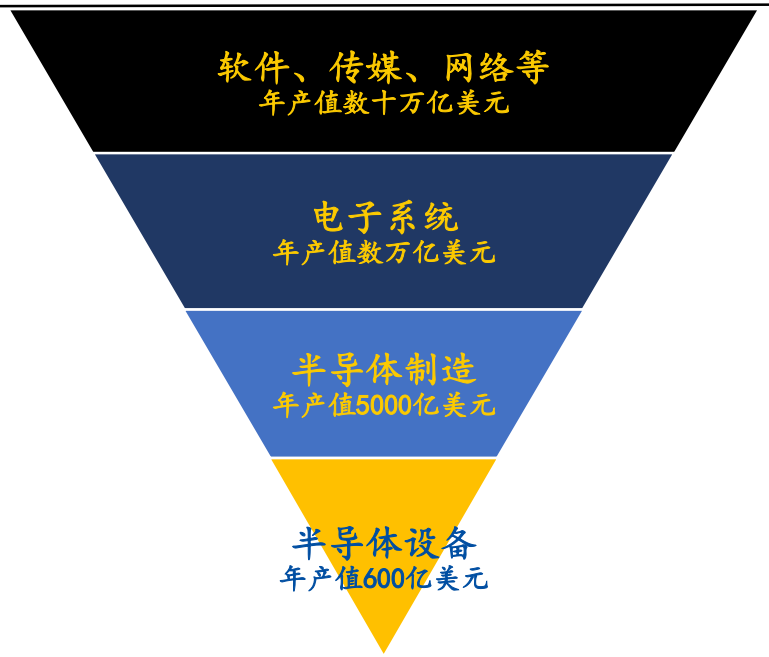
- **集成电路产业链主要包含电路设计、晶圆制造和封装测试三个部分，其中制造和封测环节与设备、材料息息相关。**
- **半导体设备总市值大概600亿美元，支撑全球上万亿的电子软硬件大生态。**整个半导体行业呈倒三角结构，设备对整个半导体行业来说有放大和支撑作用，确立了整个产业可达到的硬性尺寸标准边际值。IC制造过程中，从前道到后道会经过上千道加工工序，涉及到的设备种类大体分9类，细分又可以划出数百种不同的机台。

图：集成电路产业链结构



资料来源：公开资料整理，国元证券研究中心

图：半导体行业倒三角框架

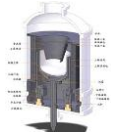


资料来源：麦肯锡，国元证券研究中心

1.2半导体行业格局及设备所处位置

国元证券 GUOYUAN SECURITIES

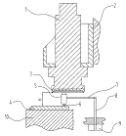
单晶硅片制造

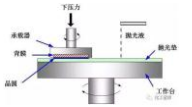

拉单晶


磨外圆

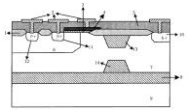

切片

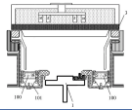

倒角


磨削或研磨

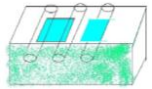

CMP

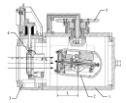
前道工艺

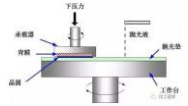

扩散


薄膜沉积


光刻


刻蚀


离子注入


CMP


金属化

检验及清洗

- 氧化炉
- RTP设备
- 激光退火

- CVD设备
- PVD设备
- RTP设备
- ALD设备
- 气相外延炉

- 涂胶/显影•光刻机

- 等离子体刻蚀
- 等离子去胶机
- 湿法刻蚀设备

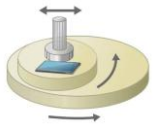
- 等离子去胶机
- 离子注入机

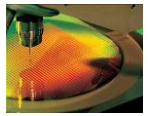
- CMP设备
- 刷片机

- PVD设备
- CVD设备
- 电镀设备

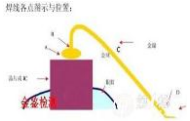
- 量测/检测 清洗

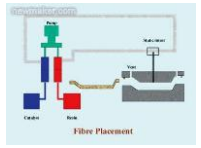
后道工艺


背面减薄

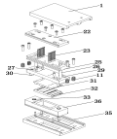

晶圆切割


贴片


引线键合



模塑


切筋/成塑


FT

- 检测设备
- 贴膜机
- 减薄机
- 厚度/粗糙度测量仪
- 剥膜机

- 晶圆安装机
- 划片机
- 清洗设备
- AOI

- 贴片机
- 烤箱

- 引线键合机
- 微波/等离子清洗
- AOI

- 注塑机
- 激光打标机
- 烤炉
- X-ray

- 切筋/成型设备
- AOI

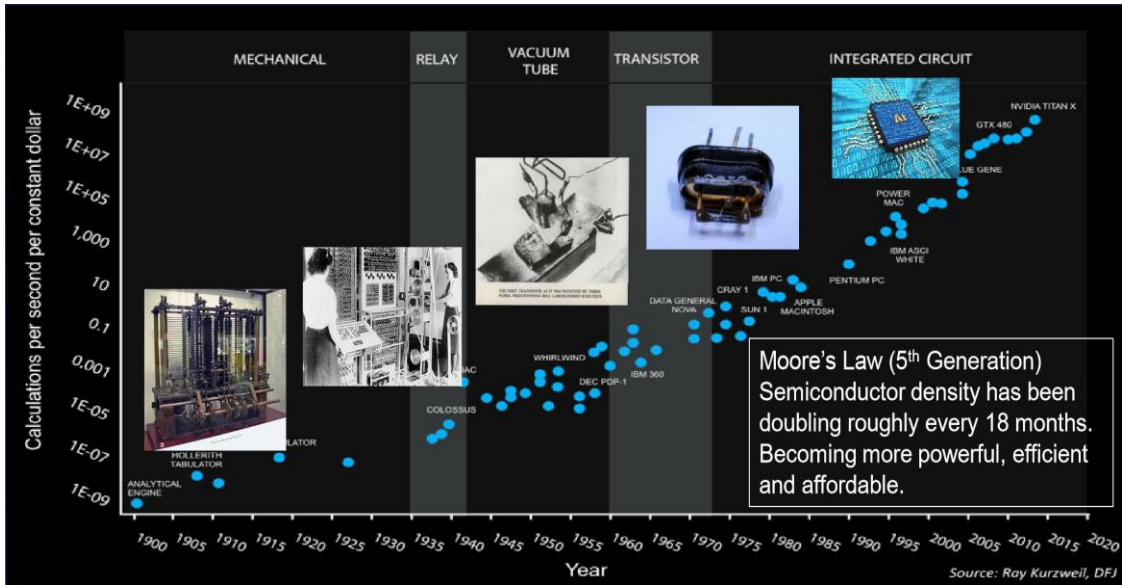
- 测试设备

资料来源：公开资料整理，国元证券研究中心

1.2.2 设备的开发进度主导行业发展速度

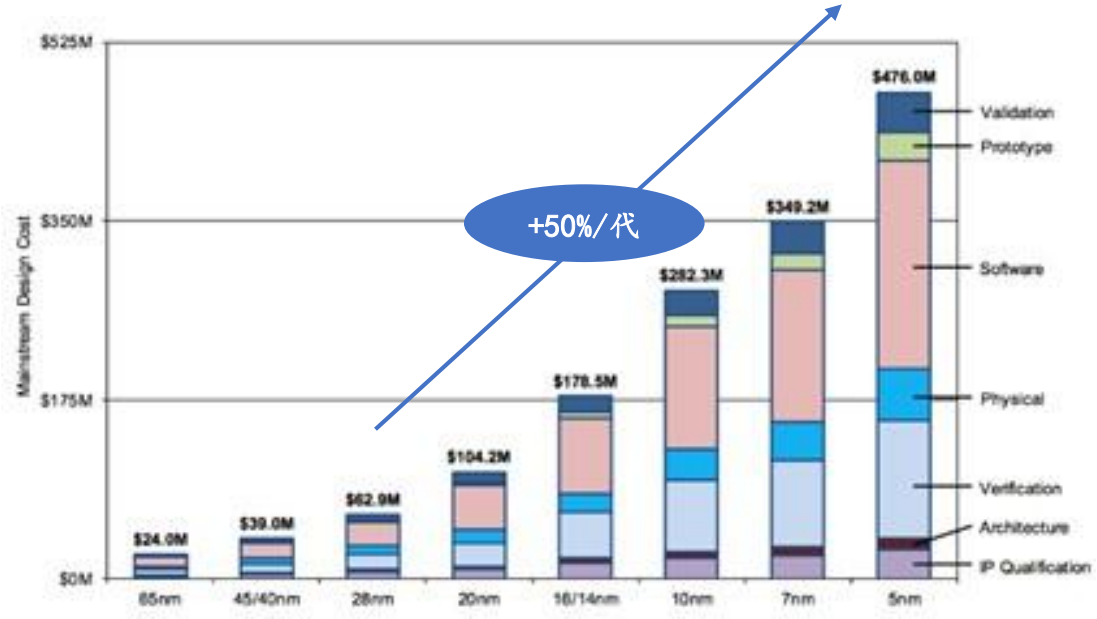
- **根据摩尔定律演进，每隔18-24个月芯片性能将提升一倍。**半导体行业追赶摩尔定律主要依靠的是“行业基石”半导体设备不断的更新迭代，因此先进设备的开发进度主导整体发展速度。
- **制程工艺的研发和生产成本逐代上涨，28nm节点之后每代芯片流片成本提高约50%。**先进制程高额的研发成本和资本投入提高了行业准入门槛，直接导致先进制程格局集中化。目前全球具备7nm以下芯片制造能力的公司只剩下台积电和三星，以及2021年有望重启7nm计划的英特尔和奋力赶超的国产龙头中芯国际。

图：摩尔定律



资料来源：TEL公司公告，国元证券研究中心

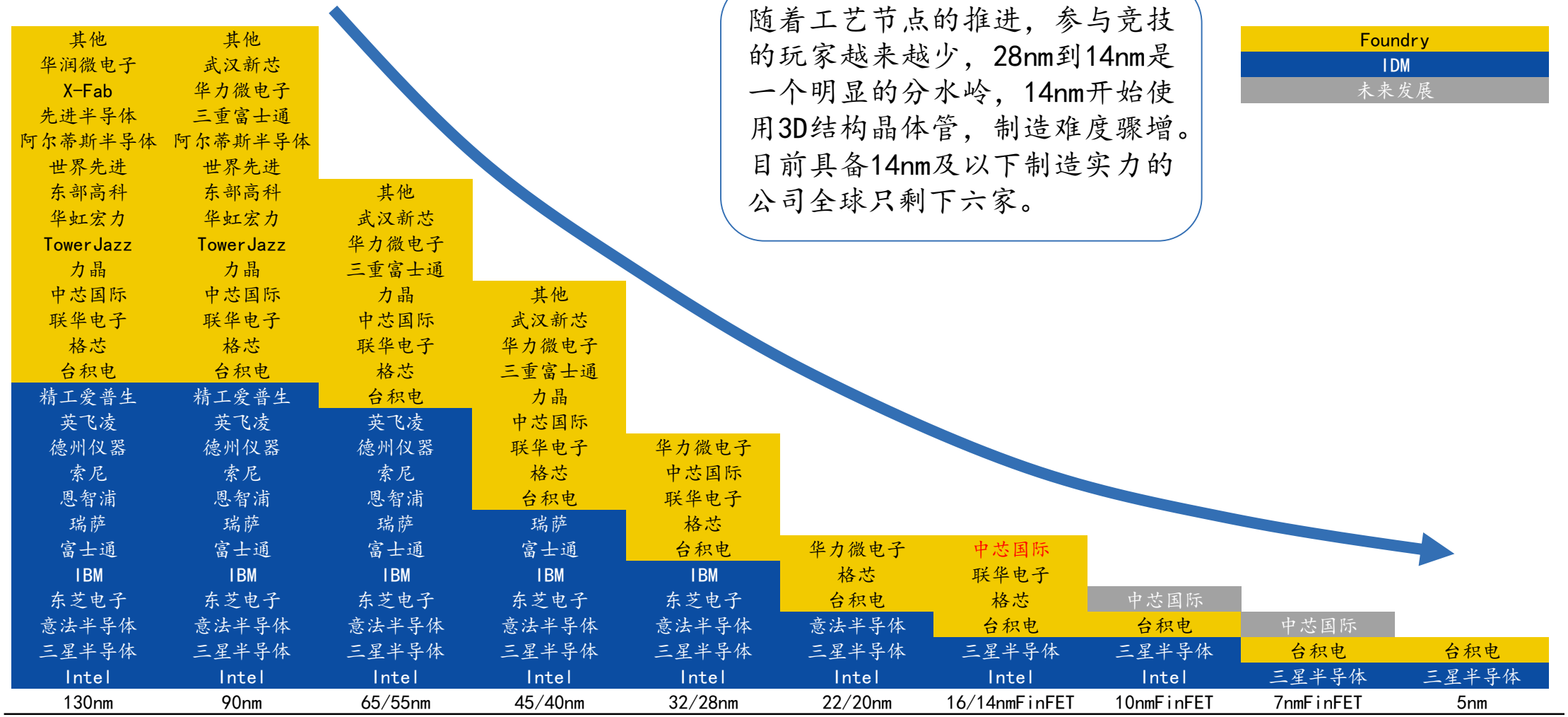
图：不同工艺节点下的芯片流片成本（百万美元）



资料来源：IBS，国元证券研究中心

1.2半导体行业格局及设备所处位置

图：全球半导体制造企业竞争格局变化

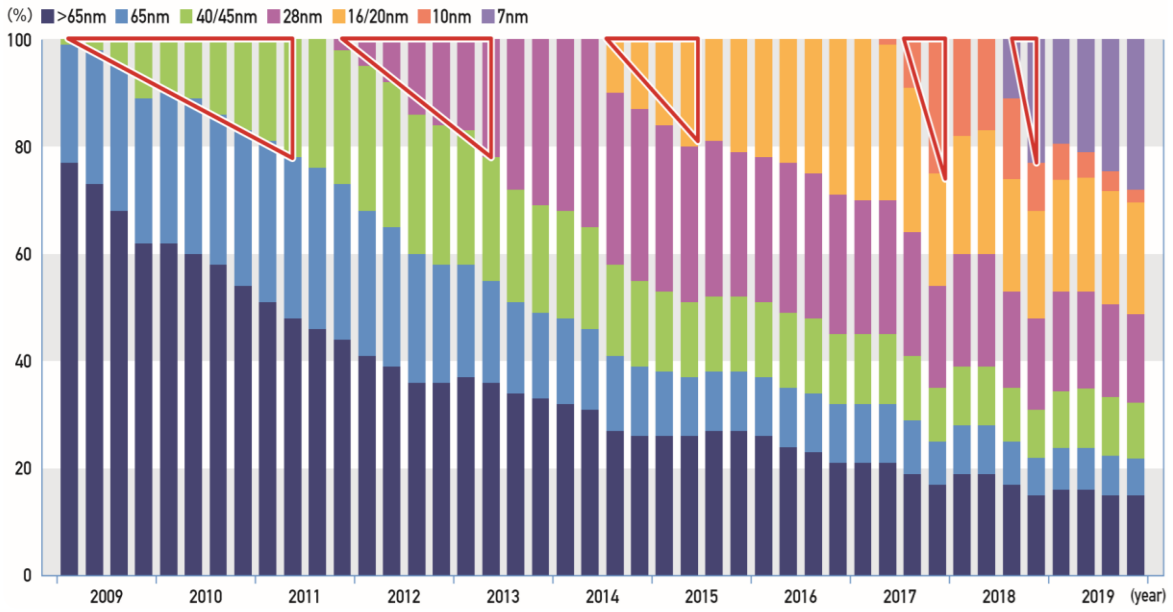


资料来源：集成电路产业全书，国元证券研究中心

1.3.1 逻辑芯片制程演进对设备的影响

- **制程差异化主要发生在前道FEOL工序，晶体管结构变化直接导致加工工序不同，进而对设备的需求量有很大影响。**根据硅片供应商SUMCO统计，2019年全球逻辑芯片使用65nm以内制程合计占比约85%，其中20nm以下高端制程芯片占比约50%。
- **对比分析多种不同工艺节点主流前道制程加工步骤，随节点推进，薄膜、刻蚀、光刻和清洗步骤明显增多。**晶体管结构进化路线图：1）早期使用平面结构，各代制程差别并不大。2）22nm以下开始使用3D FinFET晶体管结构，导致部分加工步骤大幅度增多。目前FinFET结构已支持16/14nm和10/7nm两个工艺世代，台积电5nm工艺继续采用FinFET结构。3）5nm以下有望使用GAAFET结构。

图：全球逻辑芯片不同制程占比变化



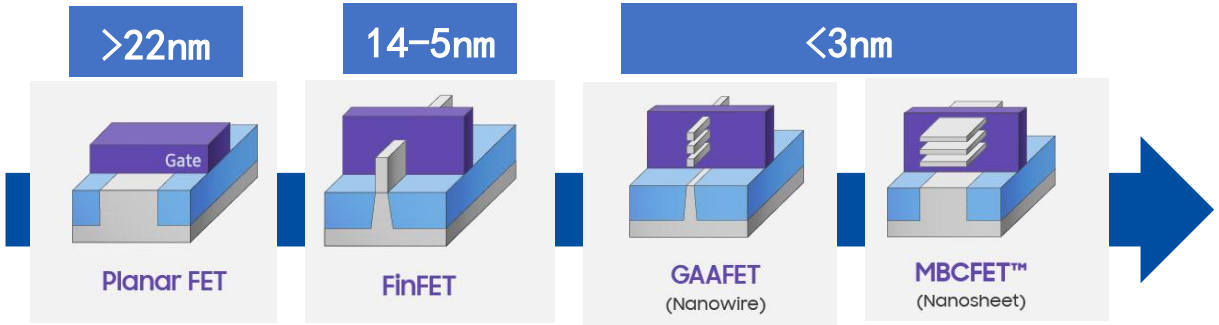
资料来源：公开资料整理，国元证券研究中心

表：多种不同工艺节点主流前道制程加工步骤统计对比

	注入	热处理	薄膜	光刻	刻蚀	CMP	清洗
>65nm传统工艺	17	14	16	13	10	3	25
45-28nm前栅工艺	16	18	18	13	15	3	28
45-28nm后栅工艺	17	15	21	14	13	4	28
28-14nm FINFET SADP	17	14	23	17	19	5	36
FINFET+SADP+应变硅技术工艺	15	13	34	20	27	8	41
不同产品导致制程步骤可调范围	±2	±2	±3	±2	±3	±2	±5

资料来源：国元证券研究中心

图：从晶体管结构的演变

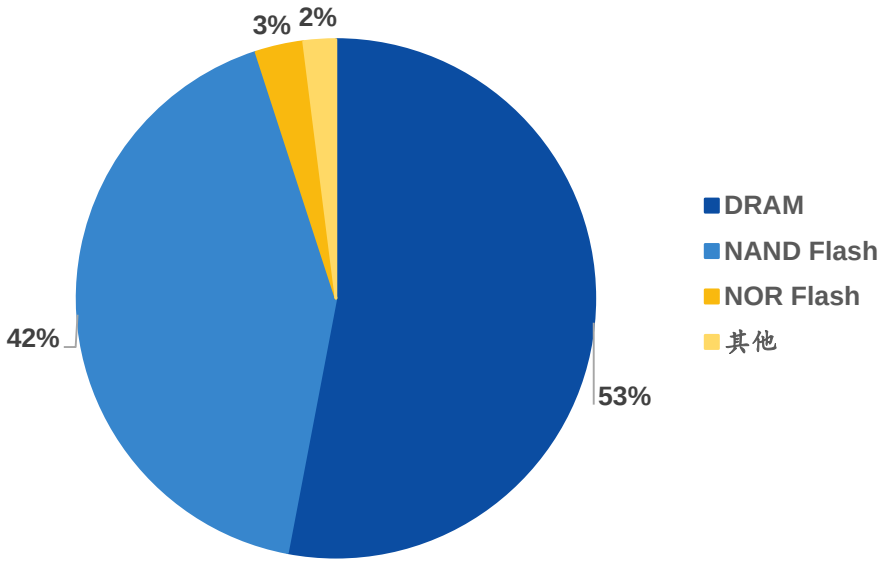


资料来源：ASML，国元证券研究中心

1.3.2 存储芯片制程演进对设备的影响

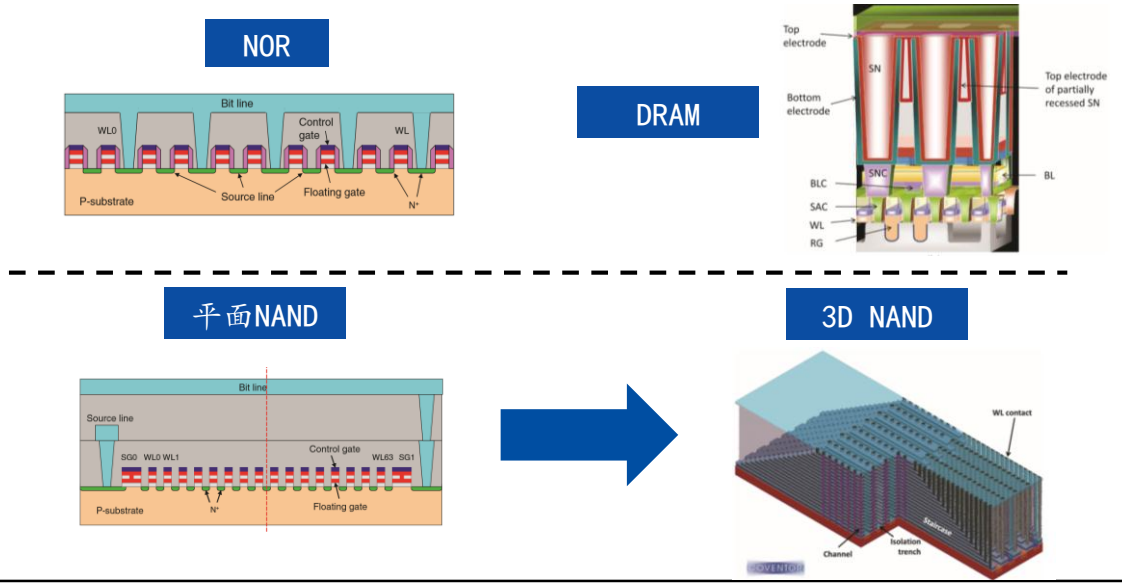
- **存储器占据整个半导体约1/4的市场空间，其技术变革会对设备需求有很明显的影响。**根据WSTS2019年数据，全球半导体行业的整体规模在4000亿美元以上，存储器的市场规模超过1000亿美元。存储器市场又可以细分为DRAM、NAND和NOR，分别占比53%、42%和3%。
- **存储芯片制程演进：**1）因为NOR的结构和市场需求限制，目前主流制程为平面46nm，技术推进缓慢；2）平面NAND制程到16nm时需要TLE或SAQP工艺，当低于10nm节点需要至少在3个关键层AA、WL、BL使用成本昂贵的4重曝光工艺。为了降低成本，制造商开始使用全新的3D GAAFET结构，3D NAND对光刻要求放宽，主要挑战变成HAR孔刻蚀（STI、阶梯接触孔、channel孔）的蚀刻、清洁以及阶梯薄膜层正形沉积工艺。3）DRAM技术难点也是在HAR刻蚀（BWL沟槽、SNC孔、SN孔）、清洗、ZAZ绝缘层薄膜工艺。

图：全球存储器市场分布



资料来源：前瞻经济学人，国元证券研究中心

图：存储芯片结构演变



资料来源：公开资料整理，国元证券研究中心

1.3.2 存储芯片制程演进对设备的影响

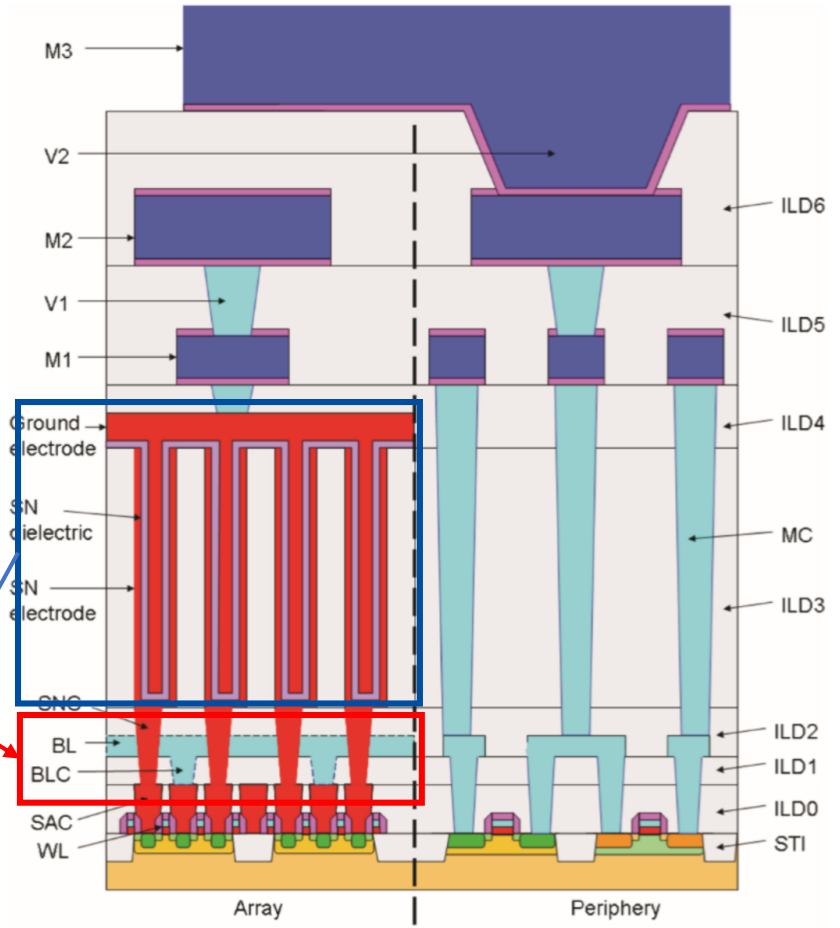
- 以2Xnm DRAM（-28nm工艺）为例，外围电路与普通逻辑电路加工步骤基本一致，主要是阵列区采用的埋线工艺（BWL）、晶体管连接的电容筒SN会使用很多道薄膜和刻蚀加工步骤，相应的清洗次数也明显增加。
- DRAM特殊结构会涉及到数道关键的硅/介质刻蚀和成膜工艺组合，使用的设备是技术难度很高的HAR（高深宽比）刻蚀机和ALD（厚度、平整度、填充率俱佳）介质薄膜设备。

表：2Xnm DRAM对比28nm逻辑电路制程前道加工步骤增量

DRAM新增加工环节	注入	热处理	薄膜	光刻	刻蚀	CMP	清洗
WELL	2			1			1
BWL		2	4	2	5	1	5
BLC			4	2	2		2
CELL BL		1		1	4		1
SNC			6	2	4	1	5
SN			8	4	8	1	8
比28nm逻辑电路增加步骤	2	3	22	12	23	3	22

资料来源：国元证券研究中心

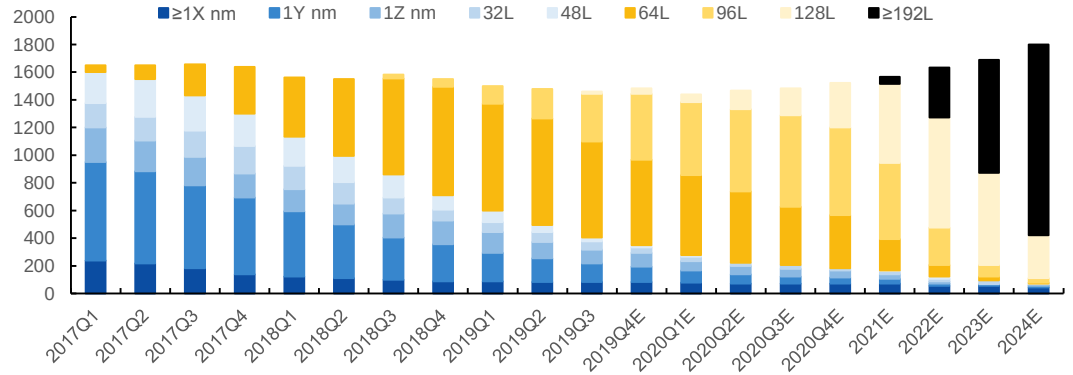
图：2Xnm DRAM结构图



资料来源：集成电路元件、技术与制造，国元证券研究中心

1.3.2 存储芯片制程演进对设备的影响

- 以36层3D NAND为例，外围电路与普通逻辑电路前道加工步骤基本一致，主要区别集中在单元阵列区，2D->3D主要变化是器件从平面变成立式，新增加工步骤：多层台阶结构和阶梯CT都会用到多次薄膜+光刻+刻蚀组合；Channel和isolation结构的HAR刻蚀和成膜工艺。
- 3D NAND由于层数的不同，加工步骤及设备需求会出现成倍增长，目前主流产品层数为64/96层，合计占比超过80%，2020年之后主流将会切换至128层产品，加工步骤又会翻倍。

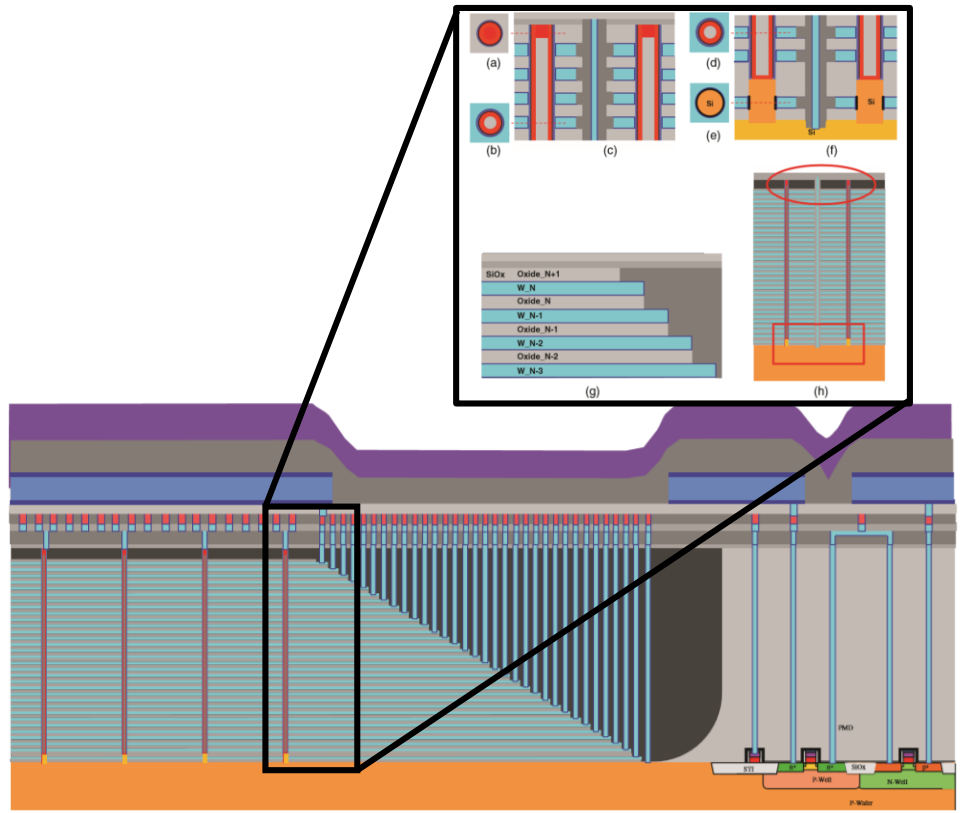


表：32层3D NAND阵列区域前道加工步骤增量

	注入	热处理	薄膜	光刻	刻蚀	CMP	清洗
CELL AA				1	2		1
Staircase(32L)			3	5	10	1	3
Channel			9	1	3	1	4
Isolation		1	7	1	5	1	6
CT			4	3	7	1	4
加工阵列区增量步骤合计		1	23	11	27	4	18

资料来源：国元证券研究中心

图：36层3D NAND结构图

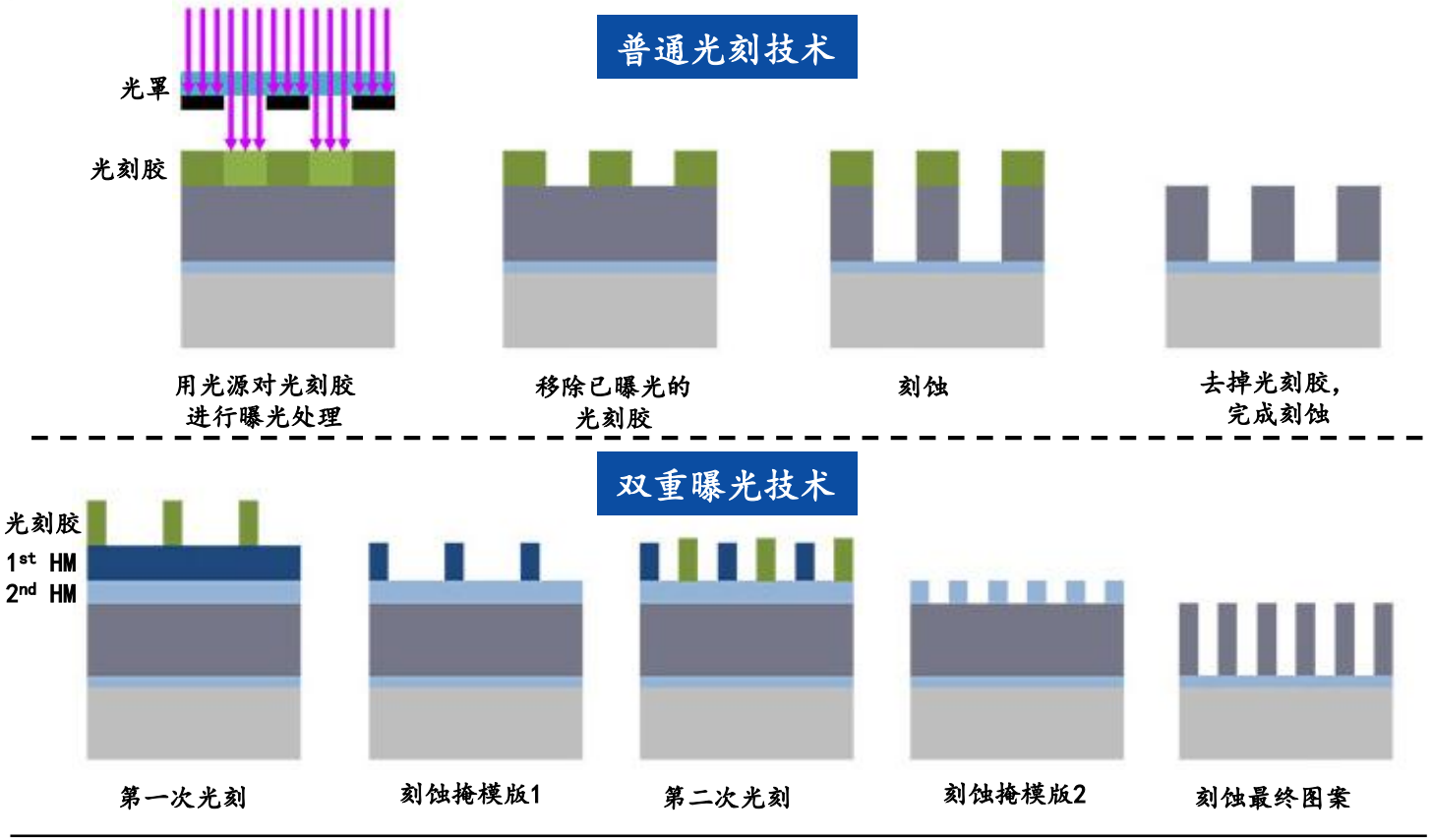


资料来源：集成电路元件、技术与制造，国元证券研究中心

1.3.3 多重图形技术使光刻、薄膜、刻蚀和清洗步骤变多

➢ **为满足集成电路尺寸持续缩小的趋势，人们从设备和制造工艺两方面同时寻求解决方案。**28nm是最后一代可利用传统的单次曝光光刻工艺实现低成本量产，20nm以下技术开始使用EUV光刻机或是多重图形化技术方法实现成更小图形尺寸。

图：双重曝光技术介绍



LELE是光刻-刻蚀-光刻-刻蚀双重图形化技术；即在同一衬底上顺序进行两次光刻-刻蚀工艺使得图形密度提高一倍；此双重图形化技术方案对光刻对准要求极高。

工艺延伸

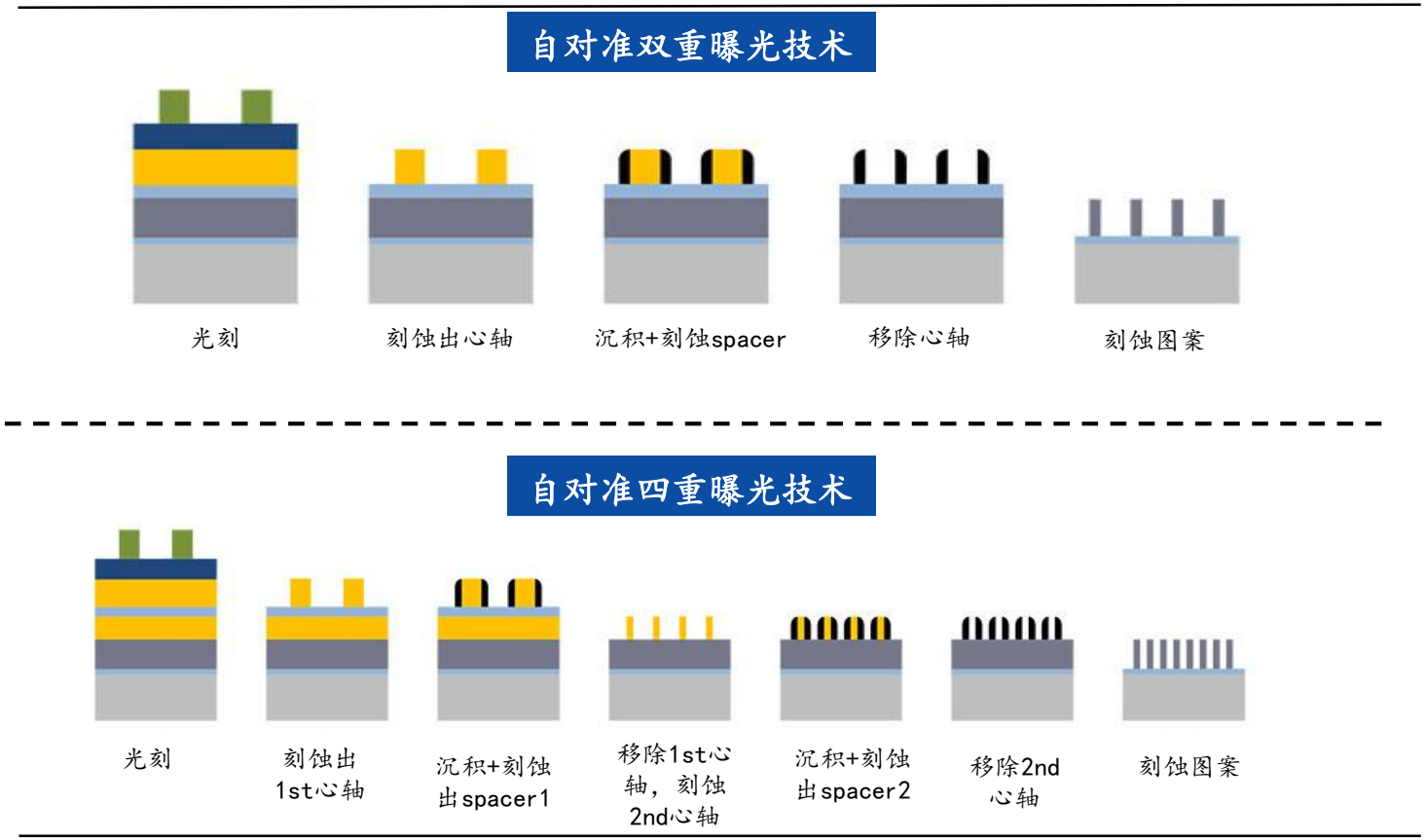
10nm逻辑器件的M1图形最小尺寸是44-48nm，需使用LELELE工艺。三重光刻技术的难度主要是三张掩模的图形拆分和对准以及成本显著提高的问题。

资料来源：Lam Research，国元证券研究中心整理

1.3.3 多重图形技术使光刻、薄膜、刻蚀和清洗步骤变多

- ArF浸入式光刻机+自对准多重曝光技术所能达到的业内公认极限为11nm，从中芯国际反馈的最新制程进展来看，在EUV光刻机问题没有解决之前，我们认为短期我国半导体产业会在10nm节点暂滞，期间有利于技术的沉淀和积累，个别核心技术短板也有望在这段期间补齐。

图：自对准多重曝光技术介绍



自对准双重曝光技术（SADP）是通过沉积和刻蚀出spacer，以此为硬掩膜解决了193nm浸入式光刻与极紫外（EUV）光刻之间的过渡问题，是目前主流的14nm FinFET制造工艺。

工艺延伸

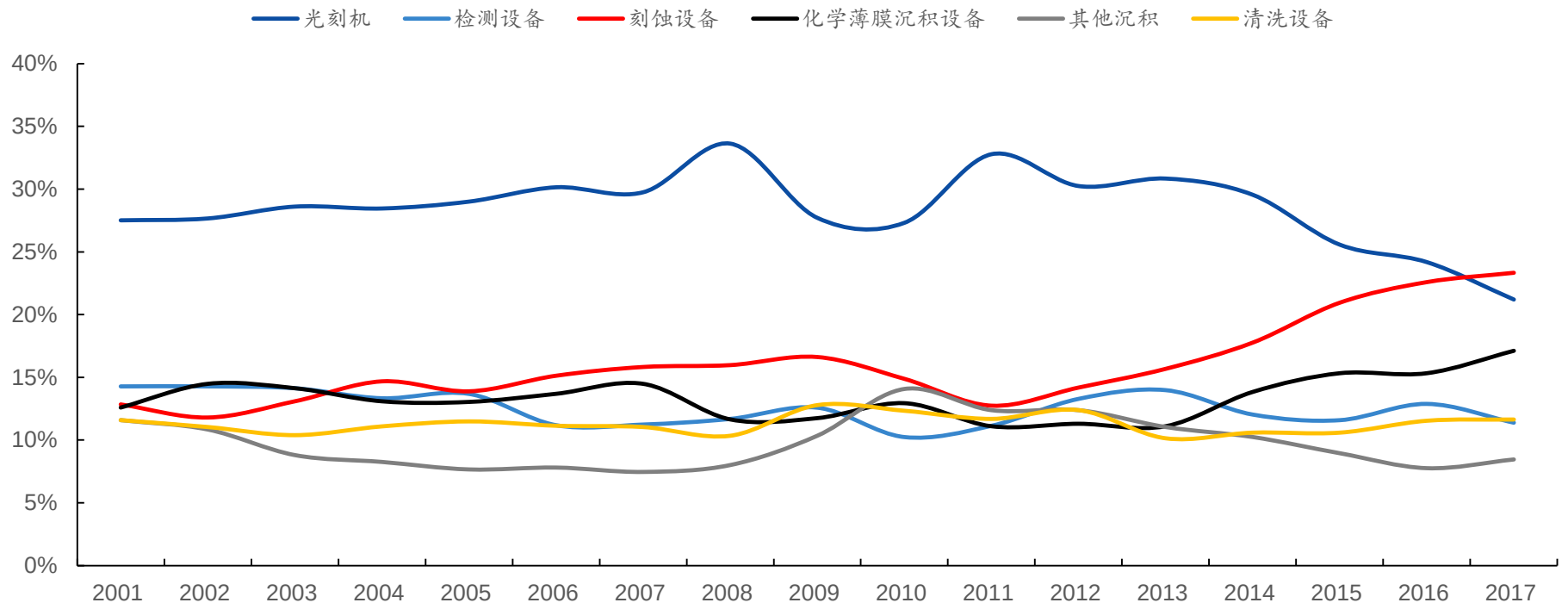
自对准四重图形技术（SAQP）是5nm工艺开发的基础。自对准曝光技术不用考虑掩模对齐的问题，具有低成本，工艺集成相对简单等优点。

资料来源：Lam Research，国元证券研究中心

1.3.3 多重图形技术使光刻、薄膜、刻蚀和清洗步骤变多

- 根据SEMI统计各类设备在晶圆产线中的价值占比，刻蚀和薄膜（CVD和PVD合计）价值占比有明显上升趋势。主要是因为尺寸缩小趋势下半导体结构由2D向3D转化，会用到更多的光刻+薄膜+刻蚀工艺组合，其中尺寸缩小会出现更多的HAR（高深宽比）结构，刻蚀工艺难度提高也会导致价值占比提高。

图：各类设备在晶圆产线中的价值占比

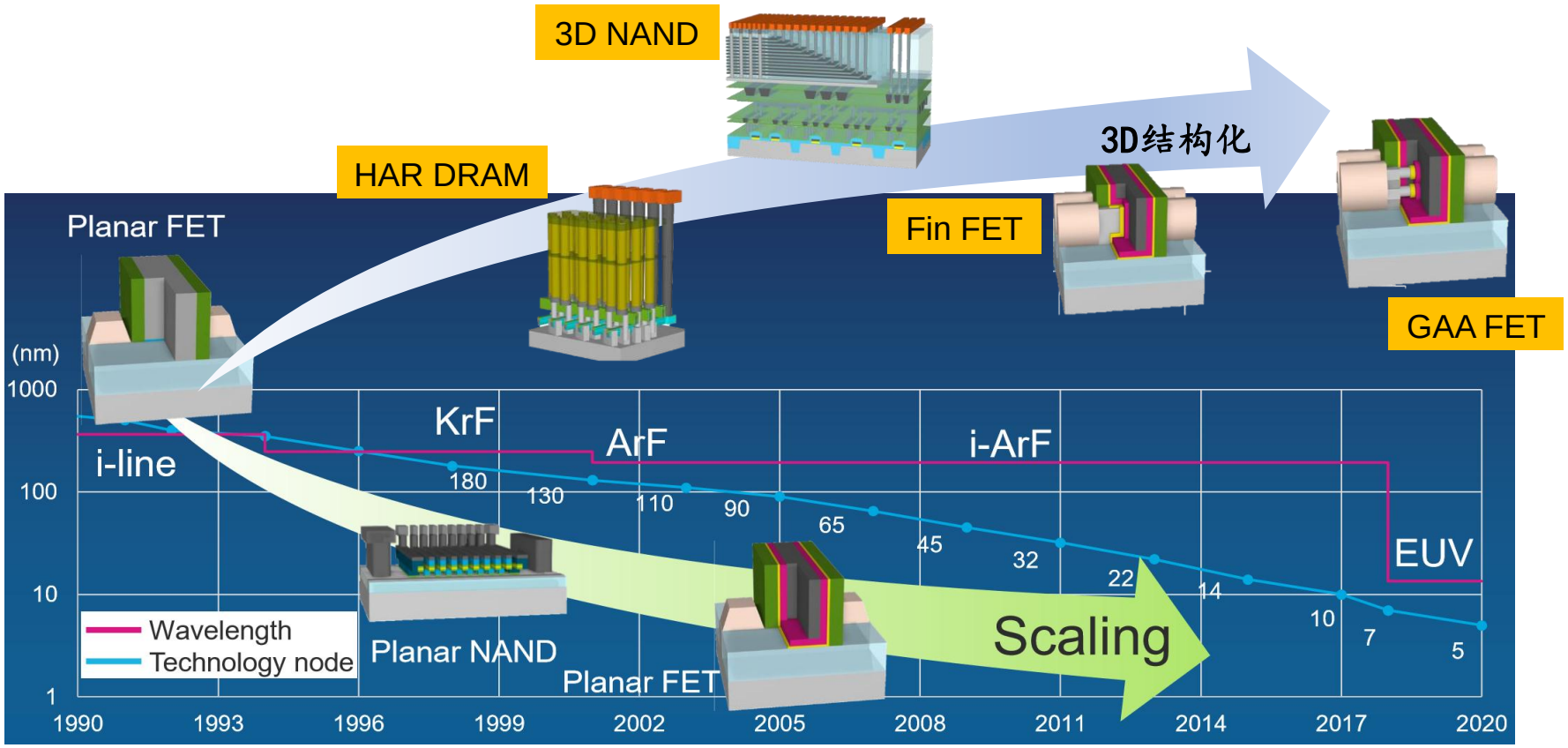


资料来源：中微公司招股书，国元证券研究中心

1.3.4 尺寸缩减+3D结构化是半导体设备发展核心驱动因素

- **尺寸缩减影响的是平面图形CD，3D结构化影响的则是对深宽比AR，这也是物理结构方面影响设备进步的两个重要指标。**尺缩趋势重点推动光刻设备的进步，3D趋势重点推动刻蚀、薄膜设备的进步。两因素共同推动了IC整体结构的复杂化，进而推动CMP、清洗、离子注入、检测等设备的进步。

图：各类设备在晶圆产线中的价值占比

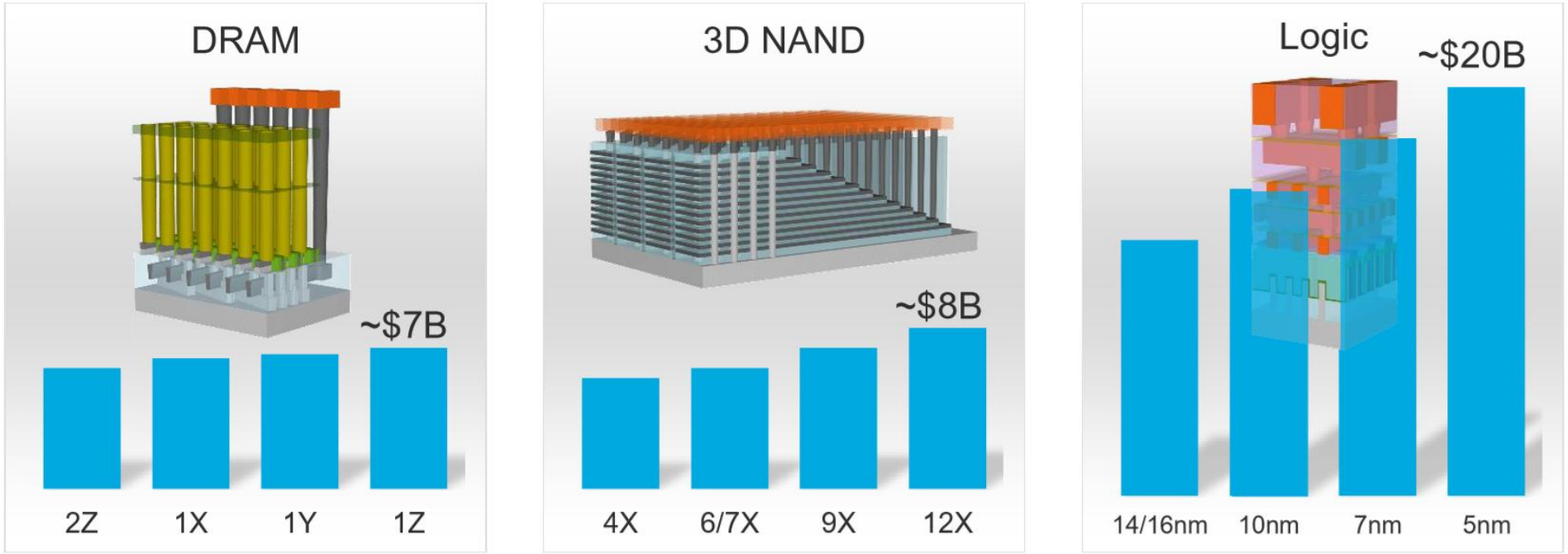


资料来源：TEL公司公告，国元证券研究中心

1.3.4 尺寸缩减+3D结构化是半导体设备发展核心驱动因素

- **随着新应用的出现和晶圆制造难度的提升，半导体设备供应商将迎来更多机会。**根据TEL估计，每月投产10万片晶圆所需要的设备投入，DRAM 1Z节点约70亿美元，3D NAND 12X约80亿美元，逻辑5nm节点约200亿美元。下游新应用的出现以及各类芯片的技术升级，将从数量和新增价值量两方面共同拉动半导体设备市场需求。

图：晶圆制造设备投资（TEL估计每月投产100K片晶圆）

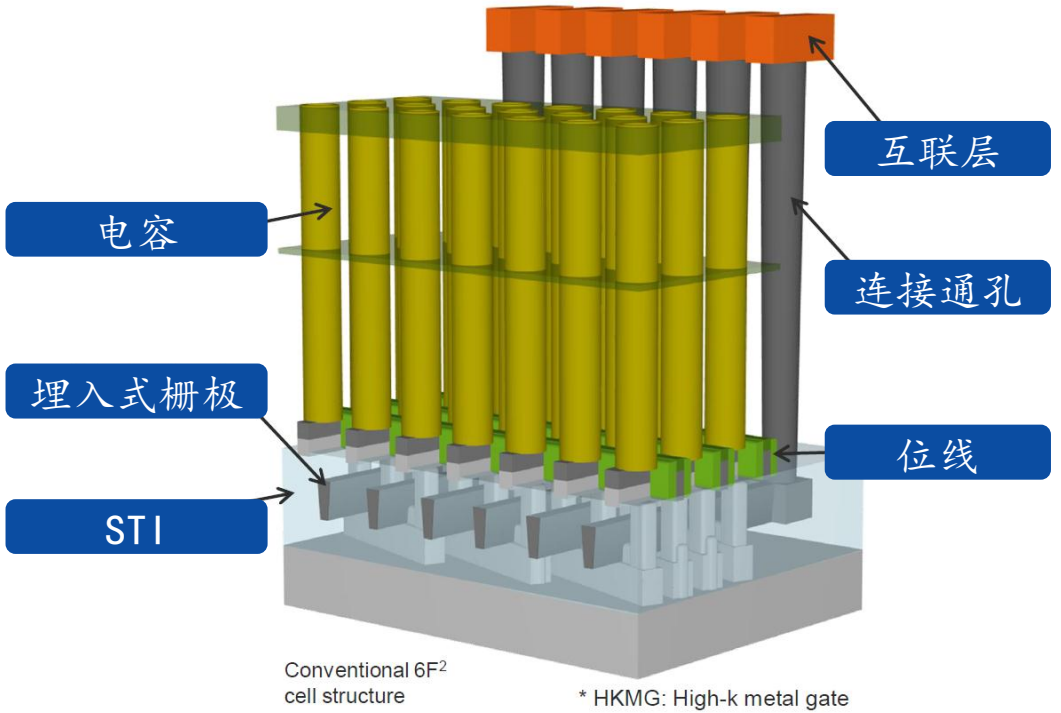


资料来源：TEL公司公告，国元证券研究中心

1.3.4 尺寸缩减+3D结构化是半导体设备发展核心驱动因素

- **DRAM主要面临着尺寸、材料和集成化挑战。**DRAM可以简单认为是由一个晶体管及上方的桶状电容两部分构成，DRAM最难加工的便是电容及与下方晶体管的连接孔CT部分。随着尺寸缩小，在电容、WL、BL、STI会使用多重曝光工艺。
- 为了节省面积，外围电路晶体管部分也会使用HKMG和FinFET。16nm节点深宽比高达>50：1，这个趋势还在继续向>80：1趋近。
- 制造高深宽比结构不光依赖于个别种类机台，而是需要光刻、刻蚀、薄膜沉积、清洗的协同效应才能达到目的。
- DRAM的技术推进将持续刺激上述四类设备的产品开发速度和市场需求。

图：从DRAM加工过程技术挑战设备需求



资料来源：TEL公司公告，国元证券研究中心

1.3.4 尺寸缩减+3D结构化是半导体设备发展核心驱动因素

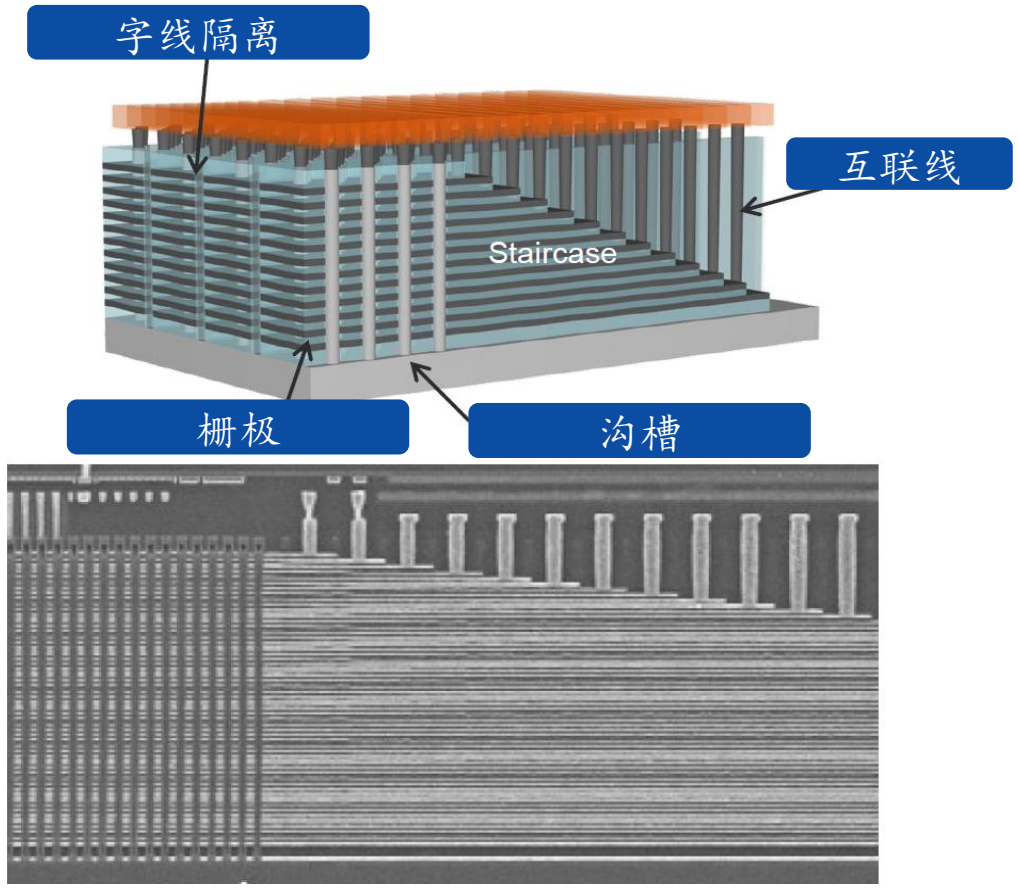
- **NAND使用垂直3D结构之后尺缩效应不再受光刻限制，而是受多重介质ONON或OPOP堆叠的具体数量限制。**每一代新的产品变化最大的就是深宽比大幅增长，该结构对设备提出更大的挑战。
- **纵向堆叠多层存储单元是未来的发展趋势，根据3D NAND技术路径图规划，2020年之后层数将达到120层以上。**无限堆叠是不现实的，需要配合其他工艺改良。引入纵向收缩单元尺寸技术、多层堆叠、横向收缩技术（增加Slit间内存孔数量+缩小存储孔直径提高密度）。推进存储芯片的高密度化是无法绕开HARC蚀刻和多层薄膜沉积的工艺。

表：3D NAND技术路径图

	2016-2017		2018-2019		2020-2021	2022-2023
节点（层数）	48	64/72	>90		>120	>140
堆垛高度（μm）	~3.5	~5	>7		>8	>9
双层结构厚度（nm）	62	60	50-60		45-50	<45
多层堆叠	4X	6X	9X	12X	25X	51X
孔径 CD(nm)	65-100	65-100	65-100	65-100	65-100	65~100
隔离区间通孔数	4	4	4~8	8	8	8
垂直间距(nm)	50-70	40-60	40-60	40~50	40~50	40~50
位线CD(nm)	20	20	20-40	~40	~40	~40

资料来源：TEL公告，LithoVision 2018，国元证券研究中心

图：从3D NAND加工过程技术挑战设备需求

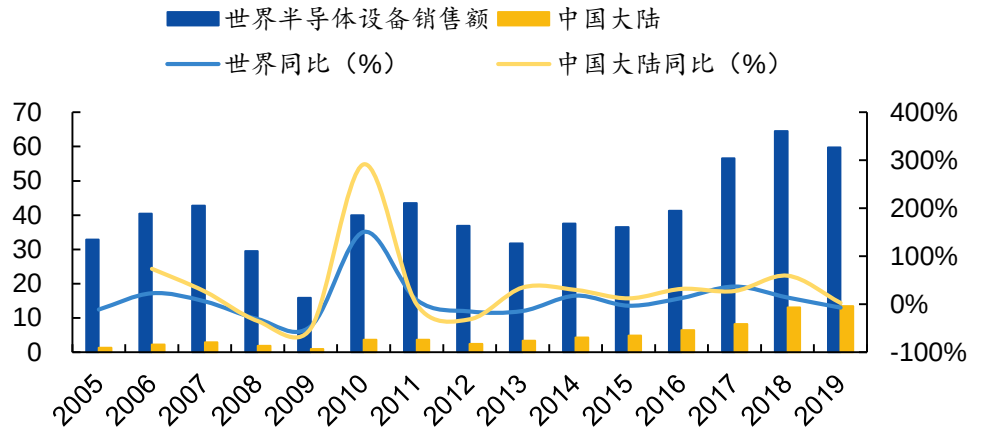


资料来源：TEL公司公告，国元证券研究中心

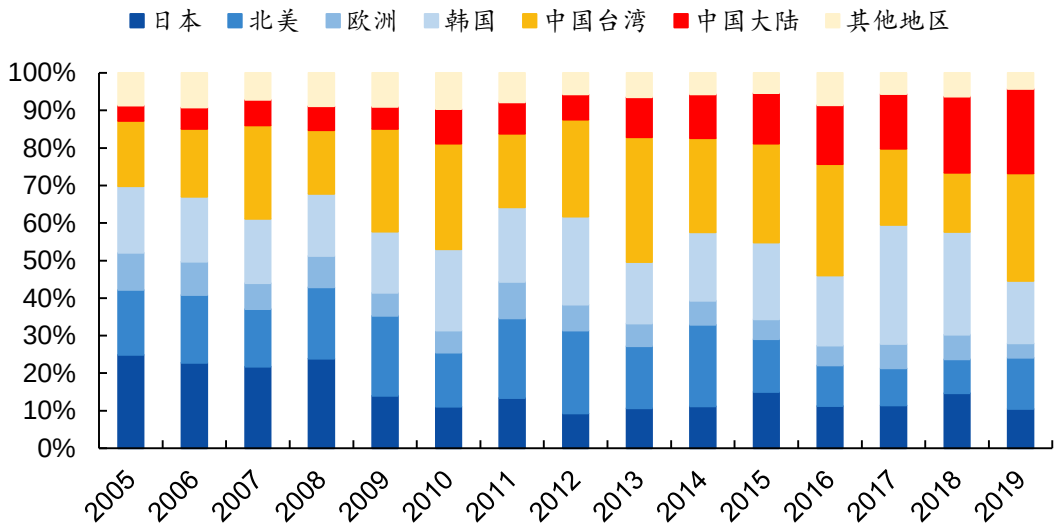
1.3.5 全球及中国设备市场需求

- **2019年市场规模约598亿美元，中国大陆半导体设备市场规模为136亿美元，全球占比22.5%，近5年复合增速达25%。**晶圆处理环节的投入占比越来越高，2018年市场销售额达502亿美元，占所有半导体设备市场约80%。中国大陆地区半导体设备销售占比逐年走高，第三次产业转移趋势越见明显。随着大陆晶圆厂进入密集建设期，半导体设备需求未来预计继续持续增长。

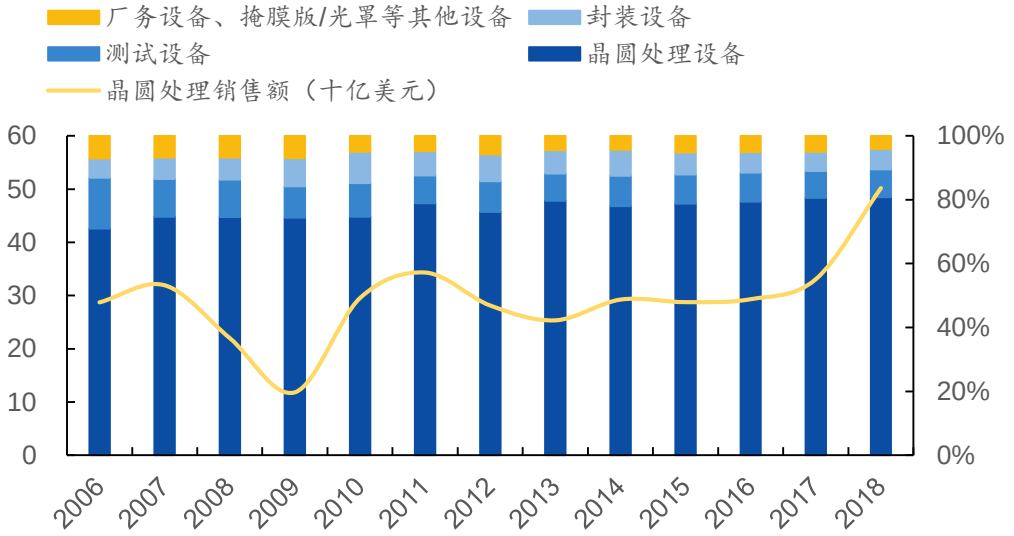
图：世界及中国半导体设备销售额（十亿美元）



图：各地区半导体设备销售占比



图：设备在不同环节占比及晶圆处理类设备销售额



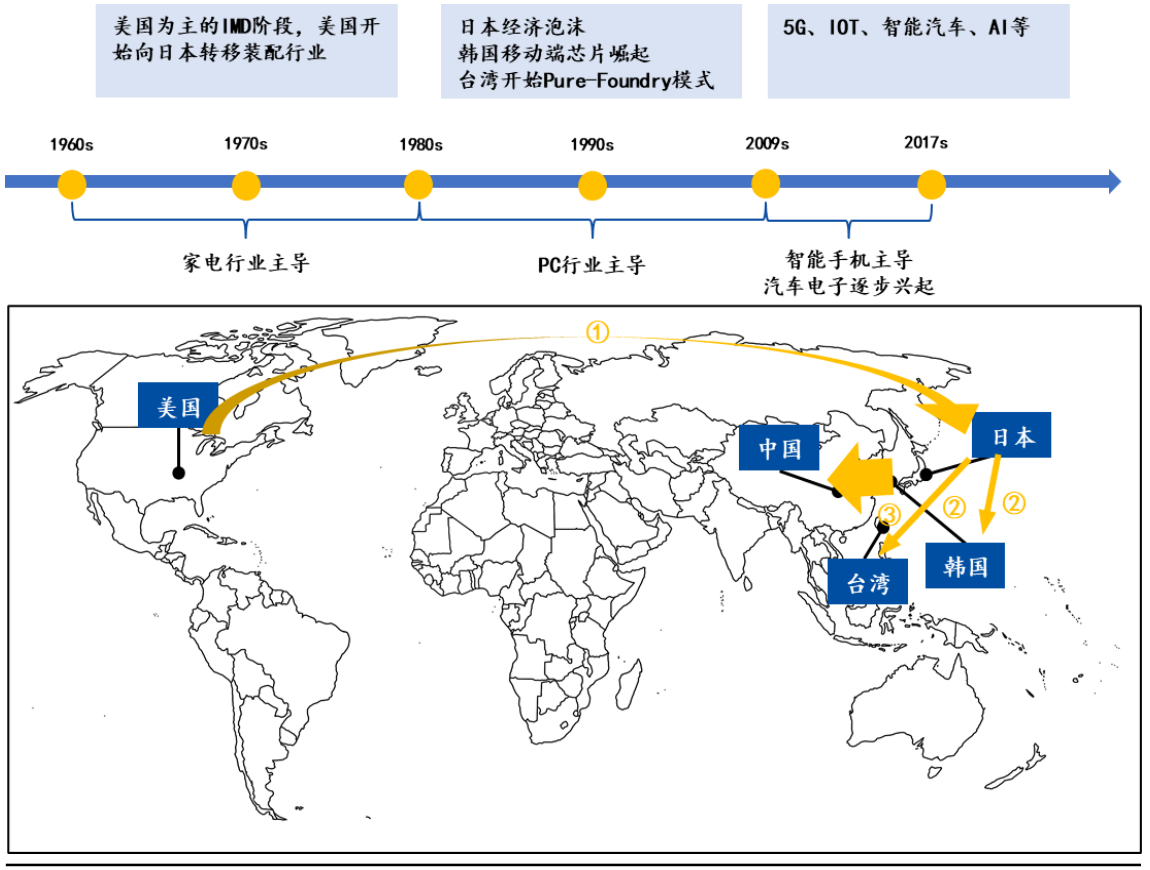
资料来源：wind，国元证券研究中心

资料来源：wind，国元证券研究中心

1.3.5 全球及中国设备市场需求

- 集成电路产业链逐步从美国、日本、欧洲和中国台湾向中国大陆和东南亚等地区转移，有利于国内企业研发先进技术和积累管理经验，促进本土企业的快速发展。产业链转移的全球大趋势为中国大陆集成电路行业的发展提供了新的机遇。
- **第一次产业转移（美国->日本）：**第一阶段转移为技术、利润含量较低的封装测试环节。
- **第二次产业转移（日本->韩国、台湾）：**第二阶段转移为集成电路精细化分工。
- **第三次产业转移（韩国、台湾->中国大陆）：**第三阶段转移为产业规模。随着大陆新增晶圆厂产能逐步释放，将会为国内集成电路行业在降低成本、地域便利性、产品多样化等方面提供支持，对于集成电路产业的发展起到了促进作用。

图：全球半导体产业转移路径



资料来源：半导体行业观察，国元证券研究中心

1.3.5 全球及中国设备市场需求

- **国内产能逐步释放，准备承接半导体产业的第三次转移，国产半导体设备迎来新机遇。**中芯国际作为国内最先进的晶圆制造龙头企业，其先进制程的突破意味着打开国产芯片制造的上行壁垒，拉动整个产业链向前进步。根据芯思想研究院2019年年终数据统计，我国已经投产、在建和规划中的12英寸晶圆制造线多达40条，其中存储类有16条，非存储类有24条。24条12英寸晶圆制造线中，宣布量产、投产的有14条，在建的有5条，规划的有5条。其中19条晶圆制造线规划月产能合计达 64.3万片，其中14条量产、投产的规划月产能为50万，在建项目规划月产能为14.3万片。随着产能的逐渐释放，预估到2020年底有望达到33万片。

表：国内12/8寸晶圆厂状态汇总（截止时间2020年1月）

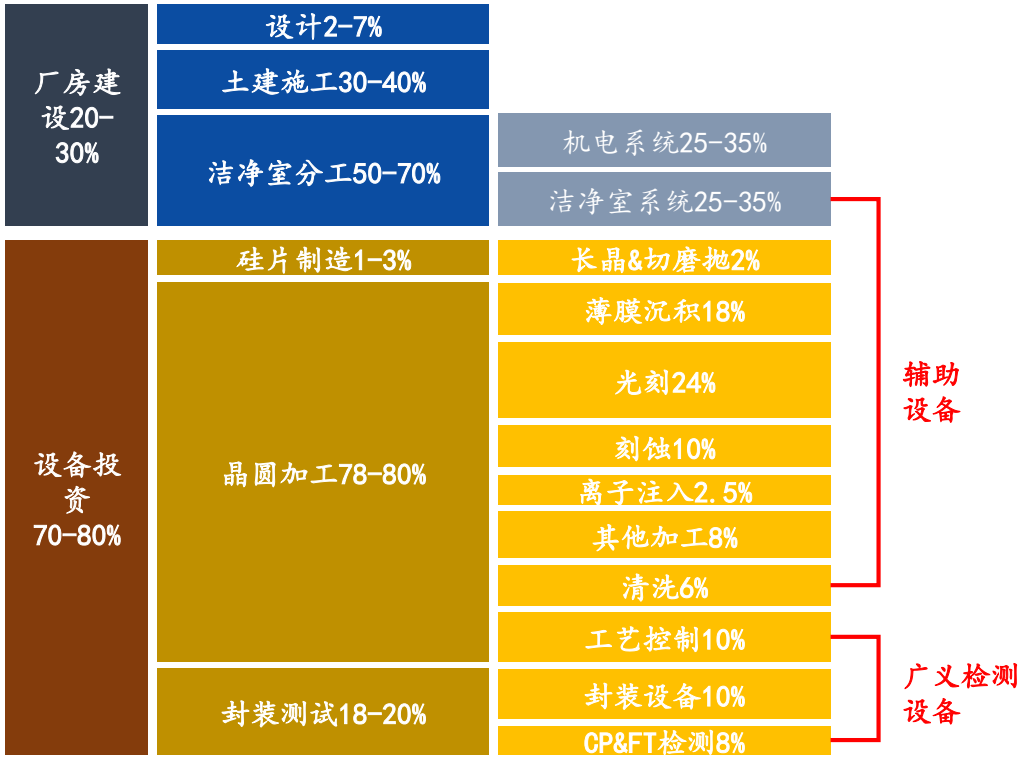
公司	晶圆厂	尺寸	项目投资额	产能（万片/月）	产品	工艺节点（nm）	状态
中芯南方集成电路制造有限公司	中芯南方	12	675亿元	3.5	逻辑	14	投产
华虹半导体（无锡）有限公司一期	华虹无锡	12	25亿美元	4	功率器件晶圆	90-65/55	投产
武汉新芯集成电路制造有限公司二期	新芯二期	12	17.8亿美元	2	NOR、MCU、特种工艺	90-50	投产
三星（中国）半导体有限公司	三星西安二期一阶段	12	70亿美元	6	3D NAND	20-10	投产
广州粤芯半导体技术有限公司	广州粤芯一期	12	100亿元	4	MPU、模拟芯片、功率分立器件	180-90	投产
重庆万国半导体科技有限公司	重庆万国	12	10亿美元	7	功率半导体		投产
江苏时代芯存半导体有限公司	时代芯存	12	130亿元	10	相变存储器	38	投产
SK海力士半导体（中国）有限公司	SK海力士	12	200亿美元	20	DRAM	90-10	投产
福建省晋华集成电路有限公司	晋华集成	12		24	DRAM	32	投产
中芯集成电路制造（绍兴）有限公司	中芯绍兴	8	58.8亿元	10	特色工艺	130-40	投产
北京燕东微电子科技有限公司	北京燕东	8	48亿元	5	LCD驱动、LDMOS、IGBT		投产
上海华力集成电路制造有限公司	华力二期	12	387亿元	4	逻辑	28-14	爬坡
长江存储科技有限责任公司	长江存储一期	12	85亿美元	10	3D NAND		爬坡
长鑫存储技术有限公司	合肥长鑫一期	12	500亿元	4	DRAM	19	爬坡
合肥晶合集成电路有限公司	合肥晶合一期	12	32亿元	4	LCD驱动芯片	65-55	爬坡
联芯集成电路制造（厦门）有限公司	厦门联芯	12	419亿元	5	逻辑	40-28	爬坡
台积电（南京）有限公司	台积电南京	12	30亿美元	2	逻辑	28-16	爬坡
英特尔半导体（大连）有限公司	英特尔大连	12	55亿美元	8.5	3D NAND	65-40	爬坡
中芯国际集成电路制造（深圳）有限公司	中芯深圳	12		4	逻辑	110-55	爬坡
中芯国际集成电路制造（天津）有限公司二期	中芯天津	8	15亿美元	8	逻辑	180-90	爬坡
中芯集成电路（宁波）有限公司一期	宁波中芯N1	8	10亿元	1.5	特色工艺	130-40	爬坡
杭州士兰集昕微电子有限公司	士兰集昕	8	6亿元	1.5	功率器件	180	爬坡
上海新进芯微电子有限公司	上海新进	8		1.5	数模混合	350	爬坡
厦门士兰集科微电子有限公司	士兰集科	12	170亿元	12	MEMS、功率器件	90-65	在建
武汉弘芯半导体制造有限公司	弘芯半导体	12	1280亿元	9	逻辑、射频	14	在建
三星（中国）半导体有限公司二期二阶段	三星西安二期二阶段	12	80亿美元	7	3D NAND	20-10	在建
成都紫光国芯存储科技有限公司	紫光成都	12	240亿美元	30	3D NAND		在建
芯恩（青岛）集成电路有限公司	芯恩一期	8	81亿元	3	特色工艺		在建
芯恩（青岛）集成电路有限公司	芯恩一期	12		12	逻辑、RF-SOI	40-28	在建
泉芯集成电路制造（济南）有限公司	泉芯集成	12	50亿		逻辑	12/7	在建
赛莱克斯微系统科技（北京）有限公司	赛莱克斯二三期	8		3.2	MEMS		在建
上海积塔半导体有限公司	积塔半导体	8	89亿元	6	IGBT、特色工艺	65	在建
中芯集成电路（宁波）有限公司二期	宁波中芯	8	39.9亿元	4.5	专业化晶圆代工与定制产品代工	130-40	在建
杭州士兰集昕微电子有限公司	士兰集昕二期改造	8	9亿元	2.1	功率器件	180	在建
海辰半导体（无锡）有限公司	无锡海辰	8	67.9亿元	10.5	面板驱动、电源管理、CIS		在建
济南富能半导体有限公司	富能半导体一期	8	60亿元	3	功率器件		在建
吉林华微电子股份有限公司	华微电子	8	10亿元	2	IGBT、MOSFET		在建
芯恩（青岛）集成电路有限公司	芯恩二期扩产	8/12	107亿元				规划
华润微电子（重庆）有限公司	华润重庆	12	100亿元	4.5	逻辑、MEMS	350-180	规划
华润微电子无锡项目	华润无锡	8		5		350-110	规划
上海积塔半导体有限公司	积塔半导体	12	270亿元	5	BCD	65	规划
紫光DRAM项目	紫光DRAM	12			DRAM		规划
青岛城芯半导体科技有限公司	城芯半导体	12	180亿元	4	模拟		规划
四川中科晶芯集成有限公司	中科晶芯	8					规划
赣州名芯半导体项目	赣州名芯	8	200亿元		IGBT、功率器件		规划

资料来源：芯思想研究院，国元证券研究中心

1.3.5 全球及中国设备市场需求

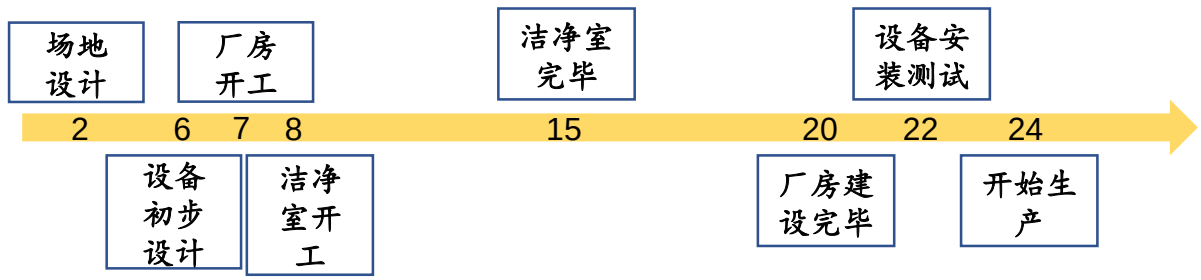
- 制程工艺的研发和生产成本逐代上涨，根据市场研究机构IBS的数据，最新的3nm芯片的设计费用约5-15亿美元，一条3nm产线的成本高达150-200亿美元。一个新晶圆投资建设中，设备投入占比最高，约占总投入的70-80%，其中晶圆加工的前道设备合计占设备支出的80%。厂建设周期约为2年，从场地设计到设备搬入调试大概要历时20个月。

图：新建晶圆厂各类投资占比



资料来源：智研咨询，国元证券研究中心

图：新建晶圆厂各项时间节点规划



资料来源：中国产业信息网，国元证券研究中心

表 ：不同工艺节点下的研发及资本支出情况

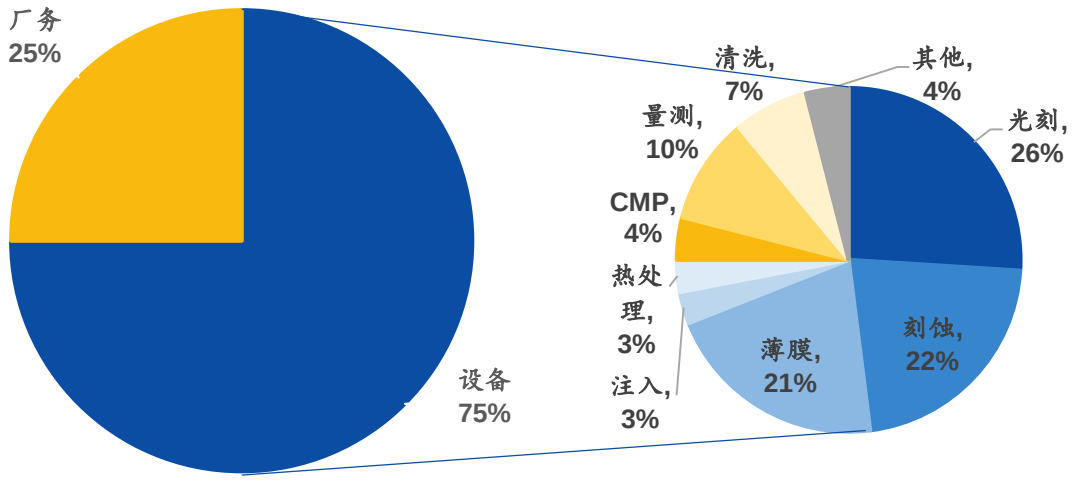
技术节点(nm)	90/65	32/28	22/20	16/14	10/7	5/3
芯片设计支出($M)	15-20	60-70	100-150	200-300	300-450	500-1500
厂房和设备支出($M)	2500-3000	3600-4500	4600-5700	5600-7000	6600-8500	15000-20000
工艺研发支出($M)	200-400	600-800	1000-1300	1700-2200	2800-3600	4000-5000
计划满产规模(万片/月)	3.5-5.0	3.5-5.0	3.5-5.0	3.5-5.0	3.5-5.0	3.5-5.0

资料来源：WSTS，IBS，各公司官网，国元证券研究中心

1.3.5 全球及中国设备市场需求

- **根据不完全统计国内8/12寸晶圆厂在建及拟建项目，合计投资规模在6800亿到8500亿元左右，假设晶圆厂建设75%投资于各类设备的采购，仅新厂建设便可拉动半导体设备需求空间达5000亿元以上。**除新建晶圆厂所带来的设备需求外，未来国内落后制程产线有望升级，进一步扩大设备需求空间。
- 根据假设各类设备占比估算细分领域设备市场空间，其中光刻、薄膜和刻蚀设备市场空间约在1000亿元以上，量测设备约500亿元，清洗设备400亿元，其余如注入、热处理和CMP等设备需求空间大约在200亿元左右。

图：晶圆厂设备投资占比拆分假设



资料来源：智研咨询，国元证券研究中心

表：国内新晶圆建设拉动半导体设备需求空间测算

各类投资项目	假设投资占比（%）	区间测算（亿元）	
假设新厂设备投资	75%	5081	6377
光刻	26%	1321	1658
刻蚀	22%	1118	1403
薄膜	21%	1067	1339
注入	3%	152	191
热处理	3%	152	191
CMP	4%	203	255
量测	10%	508	638
清洗	7%	356	446
其他	4%	203	255

资料来源：中国产业信息网，SEMI，国元证券研究中心

1.4.1 全球供应商和国内供应商现状

- **半导体设备市场集中度很高，以美国、荷兰、日本为代表的Top10企业垄断了全球半导体设备市场75%以上份额。**美国著名设备公司应用材料、泛林半导体、泰瑞达、科天半导体合计占据整个设备市场40%以上份额，而且均处于薄膜、刻蚀、前后道检测三大细分领域的绝对龙头地位。技术领先和近半的市场占有率，任何半导体制造企业都很难完全脱离美国半导体设备供应体系。

表：全球前十大半导体设备供应商

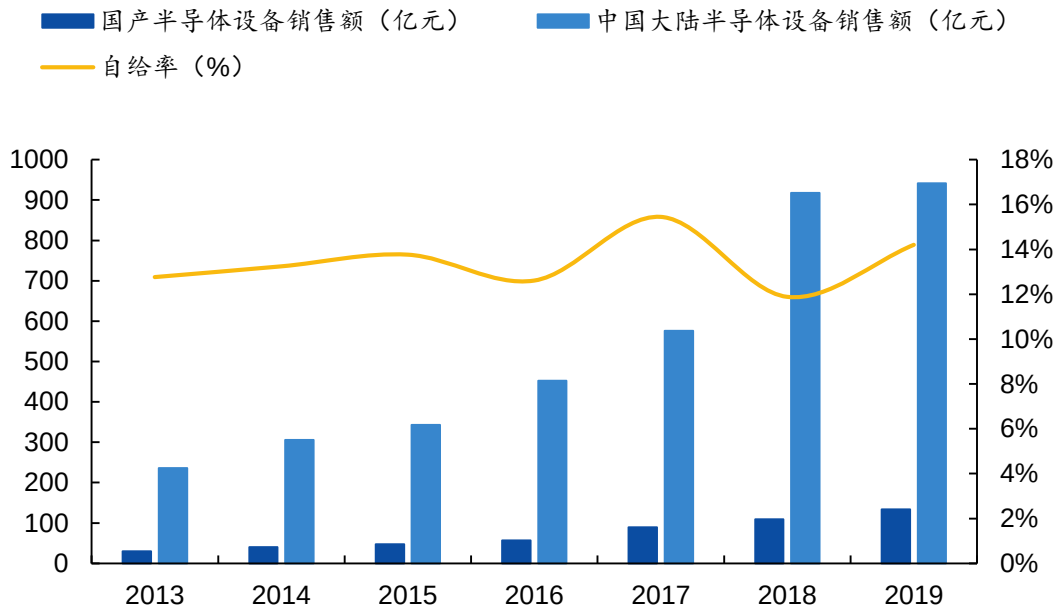
	2015		2016		2017		2018		2019	
Rank	公司	国家 占比	公司	国家 占比	公司	国家 占比	公司	国家 占比	公司	国家 占比
1	Applied Materials	美国 19.1%	Applied Materials	美国 23.8%	Applied Materials	美国 25.1%	Applied Materials	美国 17.3%	Applied Materials	美国 18.49%
2	Lam Research	美国 14.3%	Lam Research	美国 15.2%	Lam Research	美国 19.8%	ASML	荷兰 15.7%	ASML	荷兰 18.08%
3	ASML	荷兰 14.1%	ASML	荷兰 14.9%	Tokyo Electron	日本 16.9%	Tokyo Electron	日本 13.5%	Tokyo Electron	日本 17.30%
4	Tokyo Electron	日本 12.9%	Tokyo Electron	日本 14.6%	ASML	荷兰 16.8%	Lam Research	美国 13.4%	Lam Research	美国 15.98%
5	KLA-Tencor	美国 6.1%	KLA-Tencor	美国 6.4%	KLA-Tencor	美国 6.6%	KLA-Tencor	美国 5.2%	KLA-Tencor	美国 6.55%
6	Screen Semiconductor Soluti	日本 2.9%	Screen Semiconductor Soluti	日本 3.8%	Screen Semiconductor Soluti	日本 3.3%	Advantest	日本 3.2%	Screen Semiconductor Soluti	日本 3.68%
7	Hitachi High-Technologies	日本 2.3%	Hitachi High-Technologies	日本 2.9%	SEMES	韩国 2.5%	Screen Semiconductor Soluti	日本 2.7%	Advantest	日本 3.10%
8	Nikon	日本 2.2%	Nikon	日本 2.4%	Hitachi High-Technologies	日本 2.4%	Teradyne	美国 1.8%	ASM Pacific Technology	新加坡 2.96%
9	Hitachi Kokusai	日本 1.9%	ASM International	荷兰 1.6%	Hitachi Kokusai	日本 2.3%	Kokusai Electric	日本 1.8%	Teradyne	美国 2.60%
10	ASM International	荷兰 1.7%	Hitachi Kokusai	日本 1.6%	Daifuku	日本 1.6%	Hitachi High-Technologies	日本 1.7%	Hitachi High-Technologies	日本 2.36%
	合计占比	77.5%		87.2%		97.3%		76.4%		91.1%
	美国企业占比	39.5%		45.4%		51.5%		37.7%		43.62%

资料来源：公开资料整理，国元证券研究中心

1.4.1 全球供应商和国内供应商现状

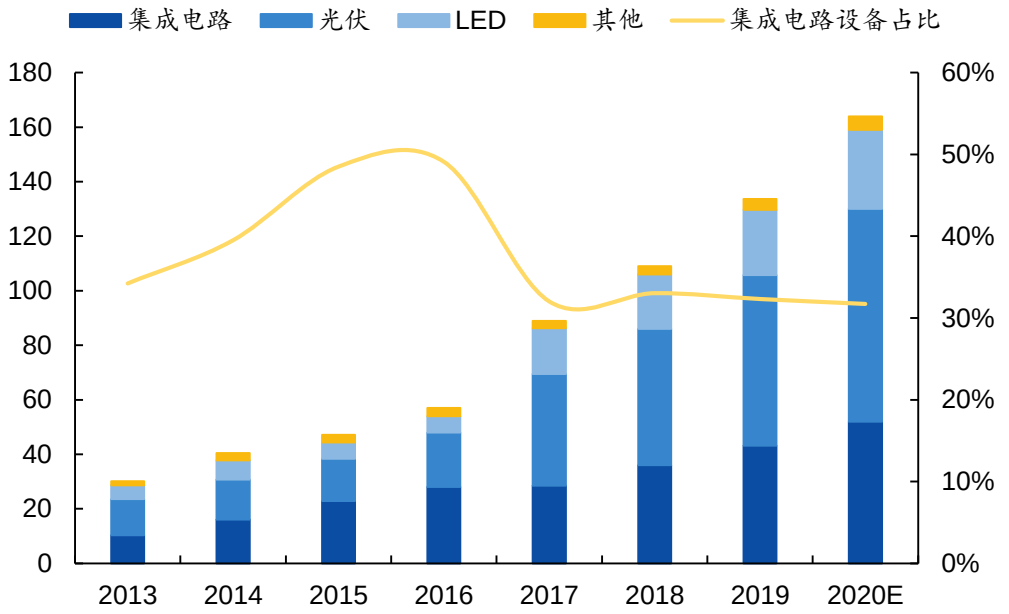
- 从供给端分析，根据中国电子专用设备工业协会的统计数据，2019年国产半导体设备销售额预计为133.7亿元，自给率为14.2%，尚有巨大的替换空间，一旦国产设备商技术指标达到国际主流水平，自给率有望进一步提高。国产半导体设备可细分为集成电路、LED、光伏、面板等，2019年国产集成电路设备只有43.2亿元，占比32.3%，国产替代的自给率为4.59%。
- **整体看，国内集成电路设备的自给率很低，对应巨大的需求缺口，半导体设备重度依赖进口为我国依靠半导体产业作为产业升级的新引擎埋下隐患。**最近的华为制裁升级已经初窥端倪，国产半导体设备实现国产替代势在必行。

图：国产半导体设备自给率



资料来源：中国电子专用设备工业协会，国元证券研究中心

图：各细分领域国产设备销售额（亿元）

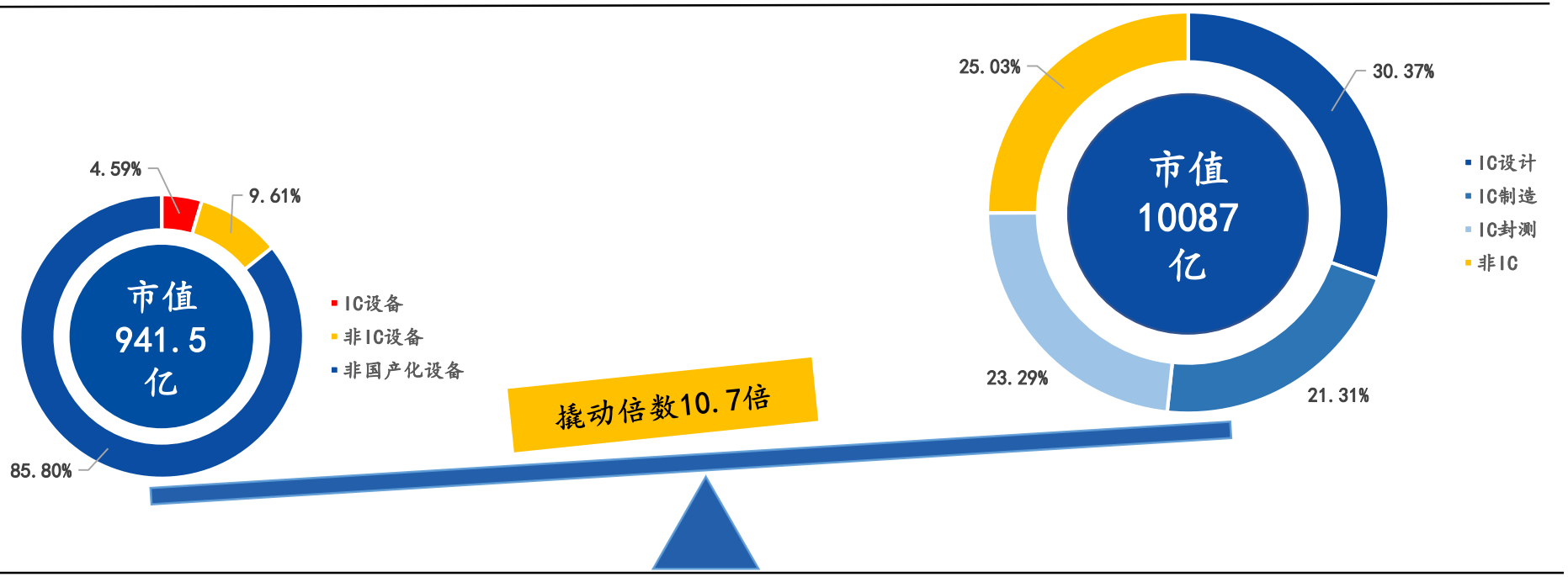


资料来源：中国电子专用设备工业协会，国元证券研究中心

1.4.1 全球供应商和国内供应商现状

- 2019年我国半导体设备市值941.5亿元，国产IC设备占比4.59%，国产设备合计占比14.2%。半导体产业市值10000亿以上，其中集成电路领域市场占比合计75%。我国半导体设备可撬动半导体市值倍数高达10.7倍。
- **美国设备供应商全球占比约45%，折算到我国半导体设备市值约363.5亿元，根据10.7倍撬动比例，美国设备企业会映射到国内整个半导体行业约3800亿元资产。**这部分资产均潜在受到中美贸易摩擦影响以及美国在设备制裁方面的风险。鉴于比例如此高的潜在威胁，半导体设备国产化势在必行。

图：半导体设备所映射资产情况



资料来源：wind，国元证券研究中心

1.4.1 全球供应商和国内供应商现状

- 细分市场依然是被海外供应商垄断，头部三家公司合计高达60-90%。更有类似于应用材料、TEL横跨多细分领域成为航母级龙头企业。
- 通过外延并购或是自主研发，我国在晶圆制造前道设备均有布局，但是各公司技术开发进度大部分处于28-14nm节点范围，距离国际先进水平尚有一定距离。

表：2019年设备市场空间及竞争格局

设备	市场空间（亿美元）	细分领域占比
CMP	10	应用材料50%，TYK30%，其他20%
扩散炉	20	KE50%，TEL42%，其他8%
涂胶显影设备	18	TEL87%，DNS10%，其他3%
刻蚀机	120	泛林半导体50%，TEL25%，应用材料15%，其他10%
光刻机	115	阿斯麦75%，尼康13%，佳能6%，其他7%
CVD	80	应用材料30%，泛林半导体21%，TEL19%，其他%
原子层沉积	15	TEL31%，ASM29%，其他40%
PVD	30	应用材料85%，其他15%
清洗剂	35	DNS45%，TEL25%，泛林半导体15%，其他15%
离子注入	10	应用材料50%，Axcel130%，其他20%

资料来源：Gartner，国元证券研究中心

表：国内半导体设备供应商技术进展

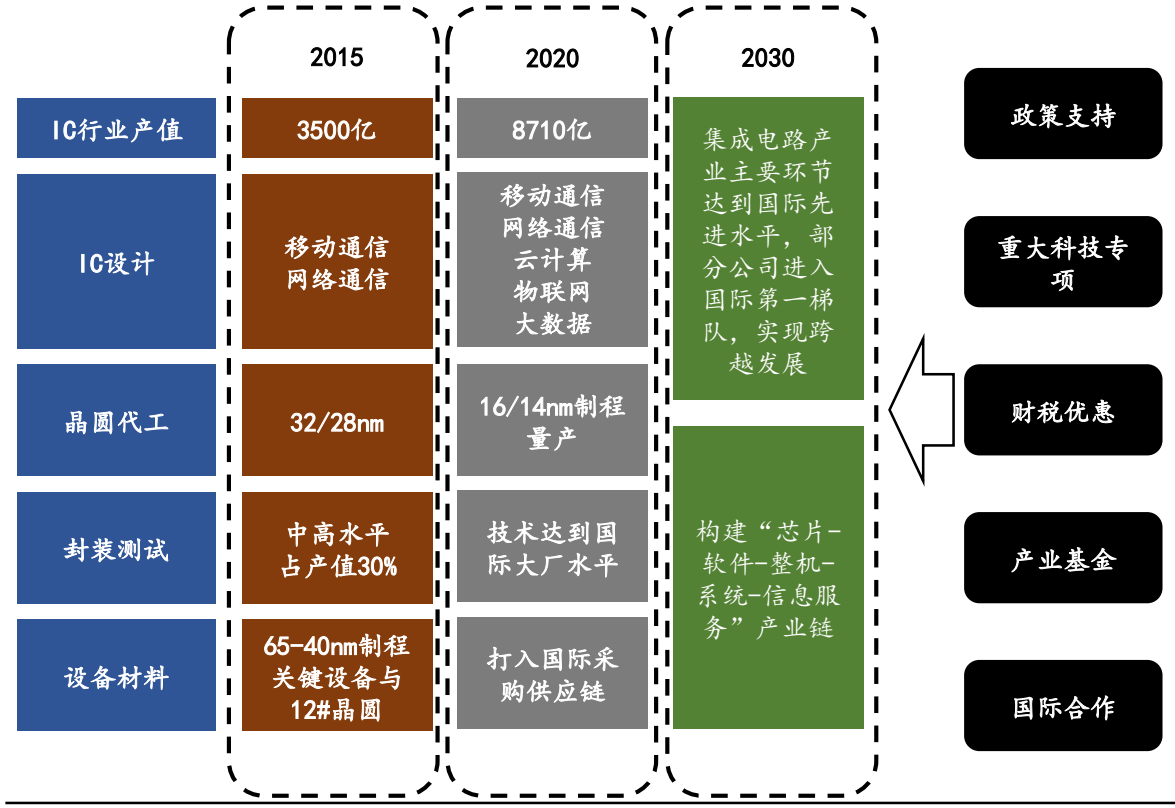
设备		公司	技术进度（nm） 130	90	65	45	28	14	7/5	3
光刻	光刻机	上海微电子								
	光刻机工作台	华卓精科								
	涂布显影	芯源微								
	去胶/清洗	屹唐半导体								
刻蚀	硅刻蚀	北方华创								
	金属刻蚀	北方华创								
	介质刻蚀	中微公司								
薄膜沉积	PVD	北方华创								
	CVD	北方华创								
		沈阳拓荆								
	ALD	北方华创								
		沈阳拓荆								
热处理	扩散、退火、合金、成膜	北方华创								
		屹唐半导体								
离子注入	离子注入	中科信								
		万业企业								
CMP	CMP	华海清科								
清洗	清洗	北方华创								
		至纯科技								
		芯源微								
		盛美半导体								
前道检测	前道检测	东方晶源								
		睿励科学								
		精测电子								

资料来源：公开信息整理，国元证券研究中心

1.4.2 国内半导体设备生态进入历史转折期

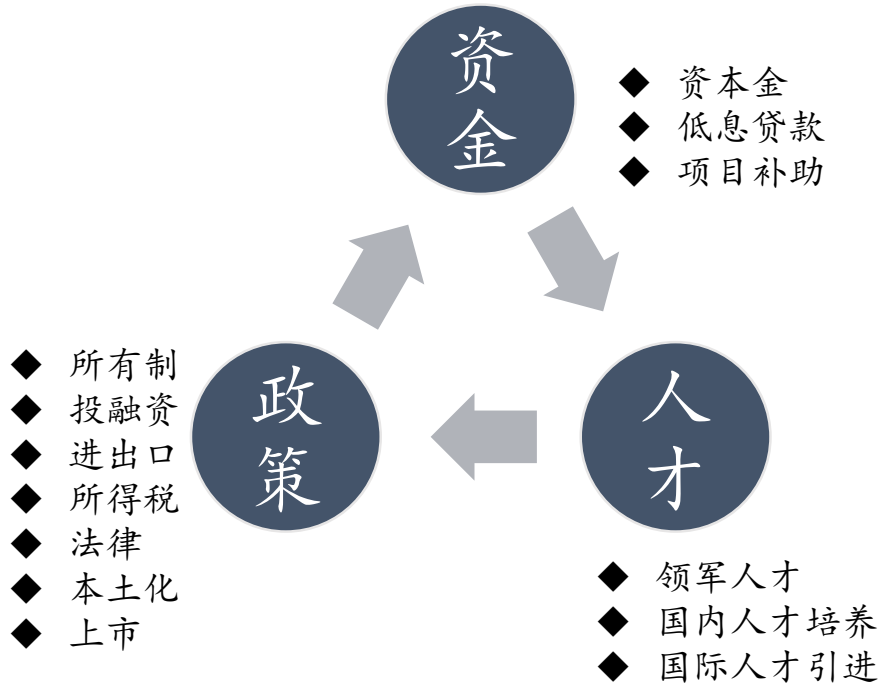
➢ 为积极应对产业转型，国家十分重视半导体产业的发展，在政策、资金、人才都给予全力支持，全方位推动半导体国产化进程。国家发布《国家集成电路产业发展推进纲要》提到国产半导体产业规划进程和各方面支持框架。

图：国家集成电路产业发展推进纲要



资料来源：国家集成电路半导体产业发展推进纲要，国元证券研究中心

图：国家支持半导体发展框架



资料来源：上海集成电路创新峰会，国元证券研究中心

1.4.2 国内半导体设备生态进入历史转折期

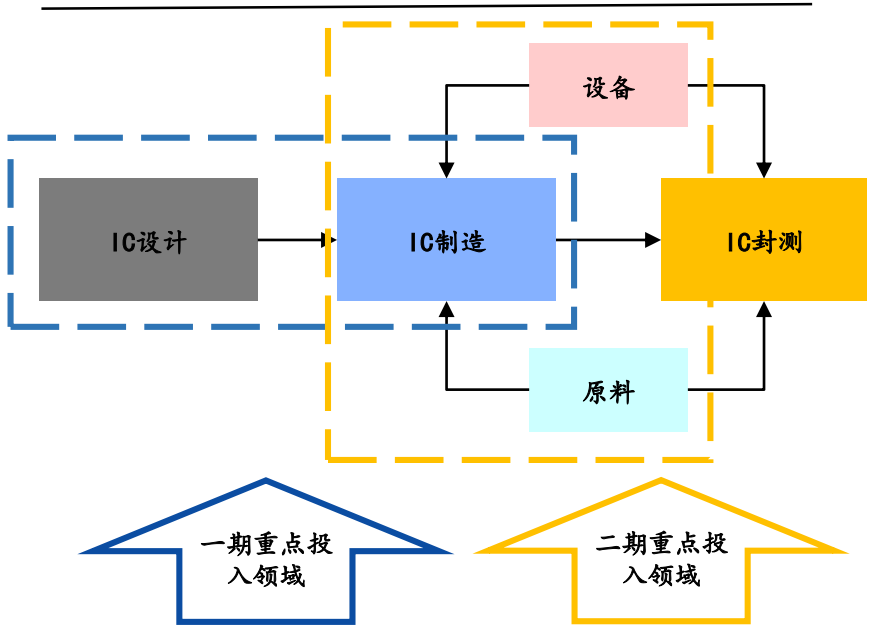
- 大方向上，国家高度重视和大力支持行业发展，相继出台了多项政策，推动中国半导体产业的发展和加速国产化进程，将半导体产业发展提升到国家战略的高度，充分显示出国家发展半导体产业的决心。细节上，为全面发展半导体产业，减少或缩短技术短板，国家制定了一系列优惠政策，大力支持半导体设备行业发展。
- “大基金”是国产半导体建设的指向标，大基金一期总投资额1387亿元，其中IC制造占比67%，设计和封测分别占17%和10%，而设备和材料仅占6%。二期注册资本2041.5亿元，除继续投资于资本开支最重的制造环节，还将重点关注目前我国半导体真正的薄弱环节——材料和设备。

表：半导体设备行业相关政策汇总

时间	发文部门	法律法规及政策
2006. 03	中共中央办公厅、国务院办公厅	《2006-2020 年国家信息化发展战略》
2011. 01	国务院	《关于进一步鼓励软件产业和集成电路产业发展的若干政策的通知》
2011. 05	海关总署	《关于海关支持软件产业和集成电路产业发展的有关政策规定和措施的公告》
2012. 08	国家发改委	《国家规划布局内重点软件企业和集成电路设计企业认定管理试行办法》
2012. 05	财政部、税务总局	《关于进一步鼓励软件产业和集成电路产业发展企业所得税政策的通知》
2013. 03	国家发改委	《战略型新兴产业重点产品和服务指导目录》
2014. 06	工信部	《国家集成电路产业发展推进纲要》
2015. 03	财政部、税务总局、发改委、工信部	《关于进一步鼓励集成电路产业发展企业所得税政策的通知》
2015. 05	国务院	《中国制造2025》
2016. 05	财政部、税务总局、发改委、工信部	《关于软件和集成电路产业企业所得税优惠征收管理有关问题的通知》
2017. 09	国务院办公厅	《国务院办公厅关于进一步激发民间有效投资活力促进经济持续健康发展的指导意见》
2018. 01	发改委、工信部 财政部、税务总局	《关于集成电路生产企业有关企业所得税政策问题的通知》
2019. 03	国务院	《政府工作报告》
2019. 05	财务部、税务总局	《关于集成电路和软件产业企业所得税政策的公告》

资料来源：中投产业研究院，国元证券研究中心

图：全球半导体产业转移路径

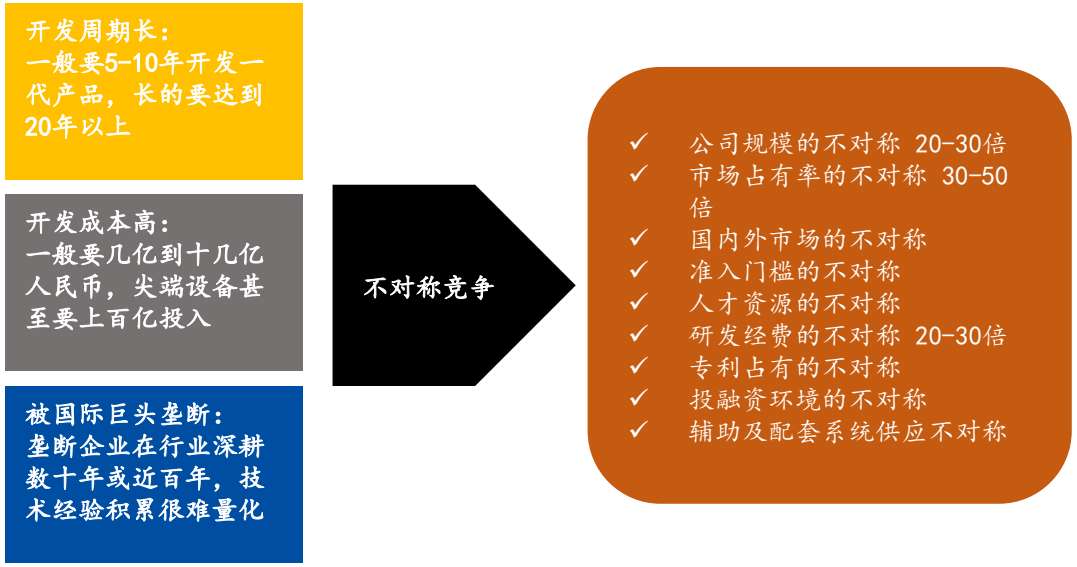


资料来源：国元证券研究中心

1.4.2 国内半导体设备生态进入历史转折期

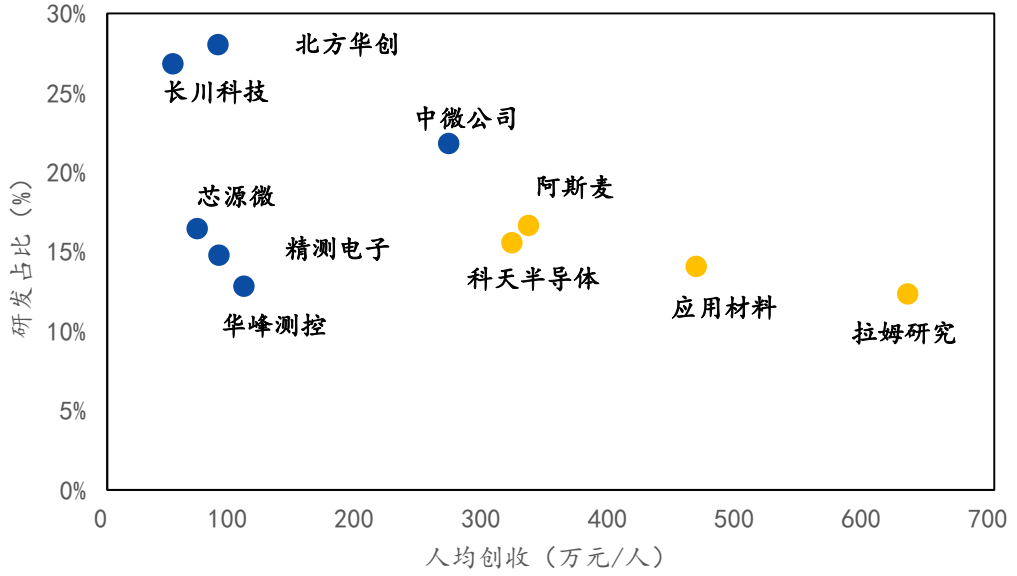
- **半导体设备极其复杂精密，需要涉及到多学科领域相互合作，这也导致导致了尖端设备开发周期长、成本高、多领域人才需求大、行业进入壁垒高等特点。**对比国内和国外的设备类公司，无论是在体量上还是资源获取及投入方面都是差距甚远，造成了一种不对称竞争关系。目前，国内设备公司由于刚起步，研发投入占比偏高，对应人均创收普遍偏低。海外龙头平均研发投入占比15%，人均创收300万元/人。这也就造成一种窘境，公司需要在盈利与研发支出权衡，导致国内公司普遍盈利性较差。
- 光靠市场机制，以盈利为目的的资本运作机制和企业的单打独斗是无法实现跨越式发展，需要结合政策和国家资金支持才能快速发展，目前行业还处于刚刚起步，需要更多的时间和耐心。

图：国内外设备公司不对称竞争



资料来源：2019年中国上海集成电路创新峰会，国元证券研究中心

图：国内外公司研发占比与人均创收对比

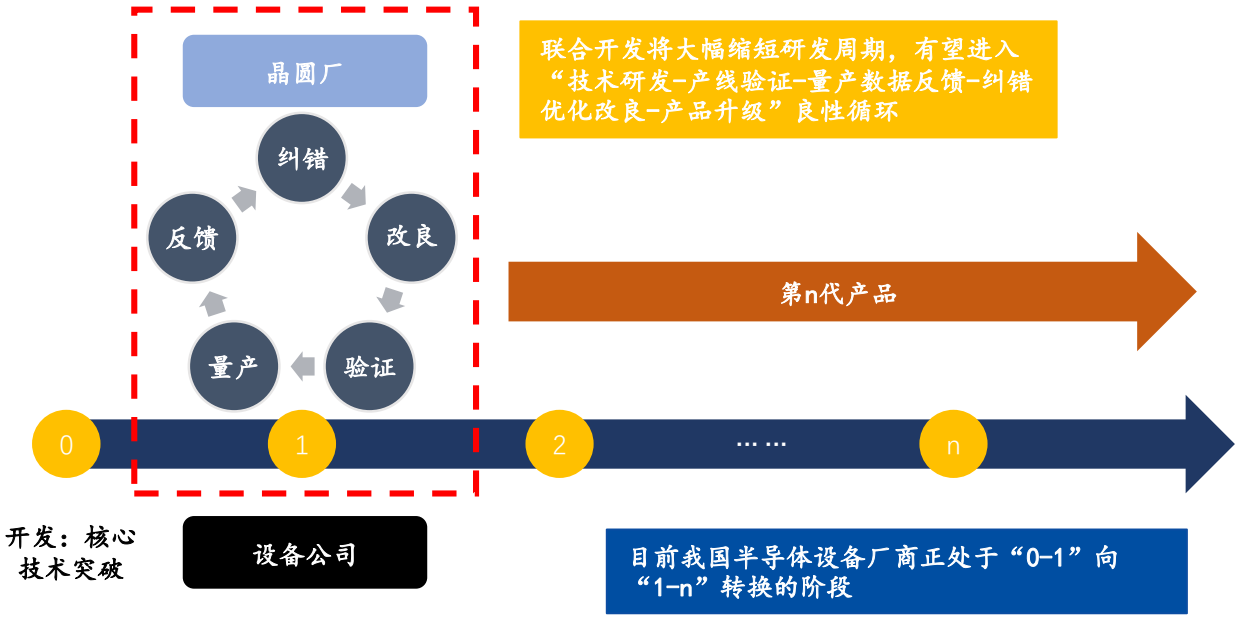


资料来源：wind，国元证券研究中心

1.4.2 国内半导体设备生态进入历史转折期

- **设备公司通过中芯国际先进制程产线的验证提高认可度，有望带动同行业对国产设备采购积极性。**国产设备供应商的整体生态逐渐改善，目前龙头公司处在从初期核心技术突破到经验积累与技术升级的拐点。
- 改善1：设备类公司产品迭代呈现“0 -> 1 -> n”特点，初期的核心技术突破是最艰难的阶段，之后基于核心技术之上的改良和优化难度将会大大降低，是从“1-n”的变化，这一阶段公司的盈利情况也会逐渐改善。**目前我国半导体设备厂商正处于“0-1”向“1-n”转换的阶段，多项设备的性能正式步入先进制程水平。**
- 改善2：早期先进晶圆制造厂商不愿承担更大风险去引入新供应商进入产线，造成国产设备厂商开发进度缓慢、缺少量产数据反馈等问题。目前国内晶圆厂开始积极和设备龙头公司如中微公司、北方华创联合开发先进制程，形成缩短技术开发周期、减轻研发支出压力等双向互利局面。**晶圆制造厂和设备厂商联合开发将大幅缩短研发周期，国产设备公司有望进入“技术研发-产线验证-量产数据反馈-纠错优化改良-产品升级”这样良性循环。**

图：国产半导体设备公司演进



资料来源：国元证券研究中心

正文目录

- 第一部分：半导体设备是行业基石，国内企业即将迎来历史转折期
- 第二部分：芯片制造工艺流程拆分：薄膜工艺介绍及国内外龙头对比分析
- 第三部分：芯片制造工艺流程拆分：刻蚀工艺介绍及国内外龙头对比分析
- 第四部分：芯片制造工艺流程拆分：光刻工艺介绍及国内外龙头对比分析
- 第五部分：芯片制造工艺流程拆分：清洗工艺介绍及国内外龙头对比分析
- 第六部分：国产设备企业介绍

2.1集成电路中的薄膜工艺简介

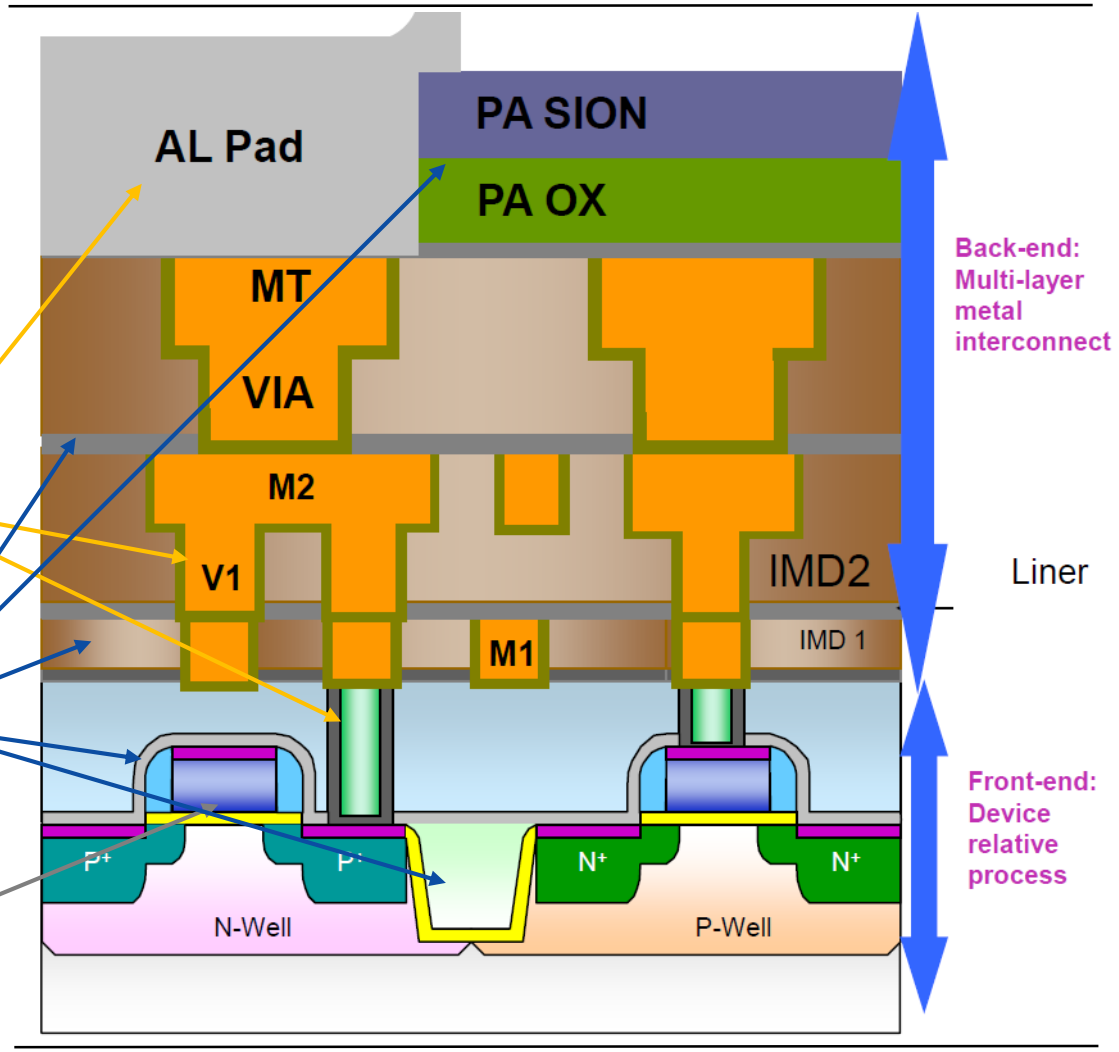
- 由于半导体制造是在硅片上加工出各种微观结构，因此除了原始的硅基材料外还需要通过薄膜“加法”引入非硅材料（如非硅介质层、金属层）实现不同功能。
- 除添加新材料外，薄膜工艺还具有隔离保护高活性材料（如Si、Cu），防止污染和腐蚀。
- 薄膜工艺也会承担一部分光阻的职能，常用于产生提高吸光率的减反射膜、硬掩模等。

金属薄膜工艺：实现W、Cu、Al等低电阻金属互联结构。

介电质薄膜：导电层隔离，牺牲层，硬掩模，钝化层等。

多晶硅薄膜工艺：常用栅极材料，多层金属导通或接触材料。

图：MOSFET剖面图

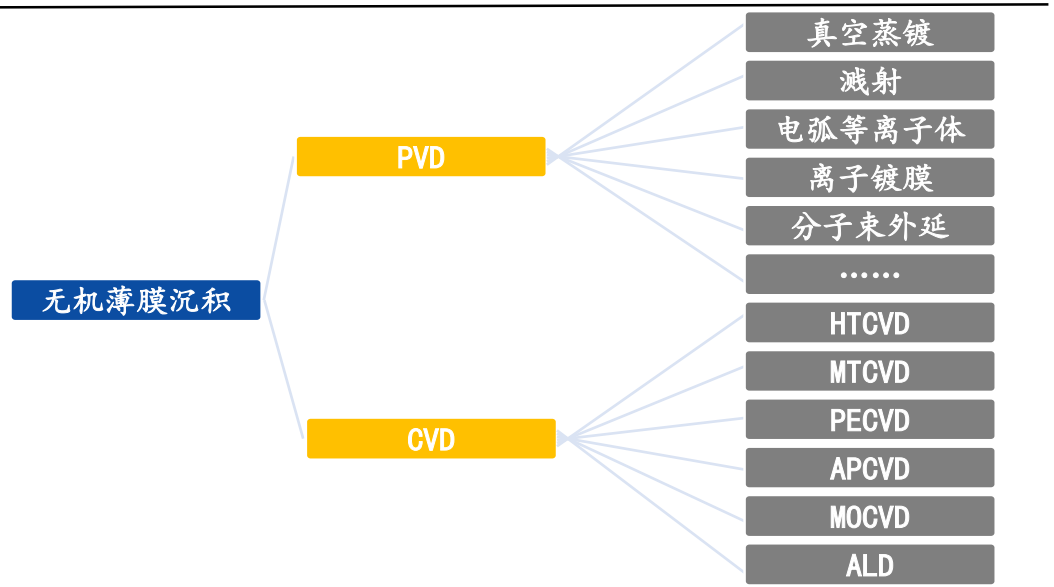


资料来源：公开资料，国元证券研究中心

2.1集成电路中的薄膜工艺简介

- CVD（Chemical Vapor Evaporation）即化学气象沉积。使用金属卤化物、有机金属、碳氢化合物等热分解,氢还原在高温下发生化学反应以析出金属、氧化物、碳化物等材料。主要应用包括浅沟槽隔离STI、金属前电介质IMD、金属层间电介质ILD和钝化保护层，CVD工艺也用于应变工程中，改变内应力提高晶体管性能。
- ALD (Atomic Layer Deposition) 属于CVD的一种，是目前最先进的薄膜沉积技术，可在晶圆上面沉积各类氧化物、金属氮化物和金属物。主要用于先进晶体管、存储器件和互连中超薄薄膜工艺。
- PVD（Physical Vapor Deposition）即物理气相沉积。是将原子从原料靶材上溅射出来，利用物理过程实现物质转移，沉积形成导电电路。主要用于为晶体管高k栅介质/金属栅极生成盖帽层和金属栅膜，也用于在互连结构中形成超薄阻挡膜和种子层。

图：薄膜沉积分类



资料来源：百度文库,国元证券研究中心

表：三种薄膜沉积工艺比较

工艺	原子层沉积(ALD)	物理式真空镀膜(PVD)	化学式真空镀膜(CVD)
原理	表面反应沉积	蒸发凝固	气相反应沉积
过程	层状生长	形核长大	形核长大
台阶覆盖率	优秀	一般	好
速率	慢	快	快
温度	低	低	高
层均匀性	优秀	一般	较好
厚度控制	反应回圈次数	沉积时间	沉积时间，气象分压
成分	均匀，杂质少	无杂质	易含杂质

资料来源：谷歌搜索，国元证券研究中心

2.2.1 CVD设备介绍及对比

- 细分市场依然是被海外供应商垄断，头部三家公司合计高达60-90%。更有类似于应用材料、TEL横跨多细分领域成为航母级龙头企业。
- 通过外延并购或是自主研发，我国在晶圆制造前道设备均有布局，但是各公司技术开发进度大部分处于28-14nm节点范围，距离国际先进水平尚有一定距离。

表：几种常用CVD技术对比

	APCVD	LPCVD	PECVD
成膜温度	400-500	500-900	200-500
气压	760 Torr	0.2-2.0 Torr	0.1-5.0 Torr
台阶覆盖性	差	优	良好
成膜速率	快	慢	快
优点	• 反应简单 • 沉积速度快 • 温度要求低	• 纯度高和均匀 • 台阶覆盖能力好	• 沉积速度快 • 台阶覆盖能力好 • 温度要求低 • 间隙填充能力好
缺点	• 台阶覆盖能力差 • 颗粒污染 • 产出率低	• 较高处理温度 • 沉积速度低 • 维护成本高 • 真空系统	• RF系统 • 成本高 • H2和颗粒污染 • 原材料多为腐蚀性、易燃易爆性、毒性
应用	低温SiO2	高温SiO2、Si3N4、p-Si、W、WSi2	SiO2、ILD1、ILD、Si3N4、Cu

资料来源：百度文库，国元证券研究中心

图：CVD工艺演变发展过程



资料来源：百度文库,国元证券研究中心

2.2.2 ALD是CVD技术的延伸以及未来发展的重点

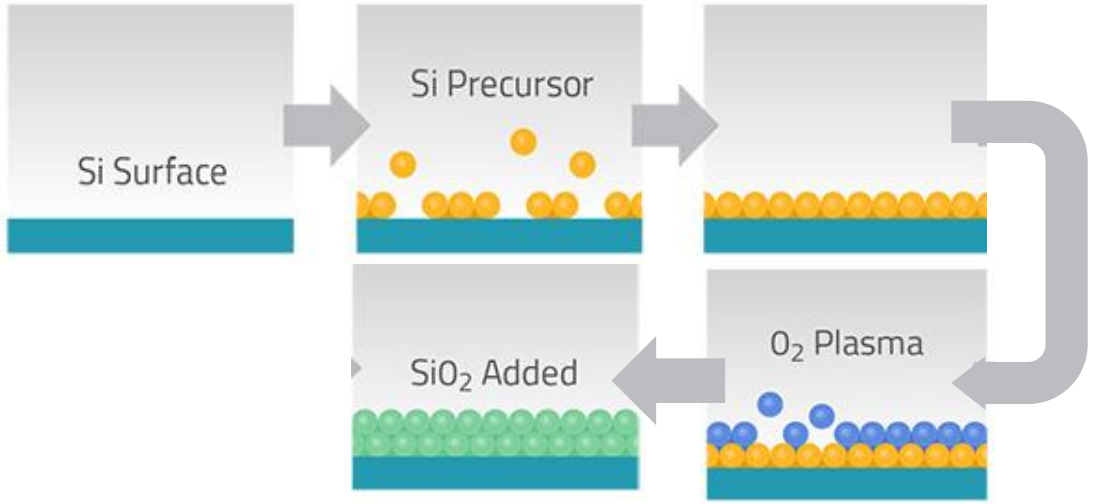
- 集成电路中ALD工艺常用于产生电介质（绝缘）和金属（导电）薄膜
- 常被用于一些重要工序，如MOSFET元件中的Fin-SADP、Hi-K栅介质层、侧壁；3D NAND和DRAM中的金属线、ZAZ桶、通孔CT等

表：ALD可用成膜材料及应用领域

材料		应用领域
氧化物	Al2O3、HfO2、SiO2、TiO2、Y2O3、ZrO2等	MOSFET高k栅介质
氮化物	SiN、SiON、TiN等	阻挡层、硬掩模、电容层
金属	W、Mo、Pd等	填充WL、通孔CT、间隙ISO
硫化物	ZnS、SrS等	光电元件、催化膜
氟化物	CaF2、MgF2、SrF2等	光刻机光学元件涂层
聚合物	PMDA-ODA等	柔性印制电路板基材、高温绝缘材料

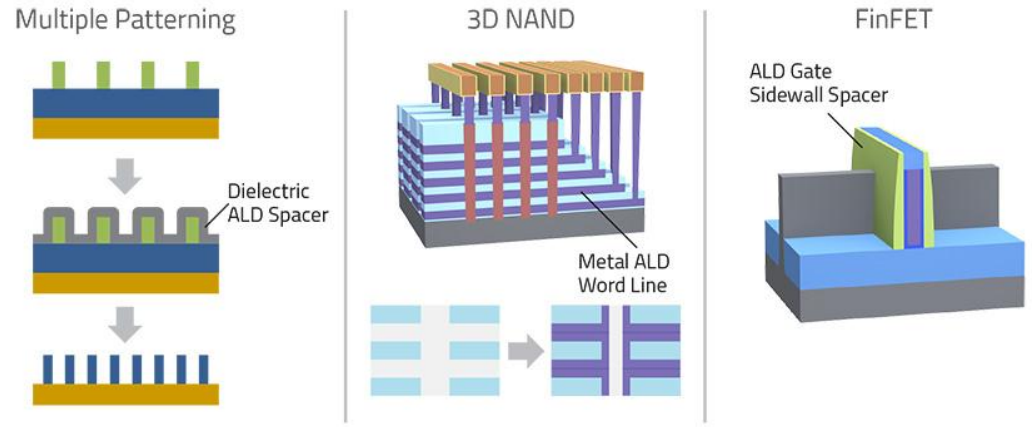
资料来源：百度文库，OLEDindustry，国元证券研究中心

图：SiO2薄膜ALD工艺过程



资料来源：Lam Research，国元证券研究中心

图：ALD主要应用于3D化结构的先进工艺中

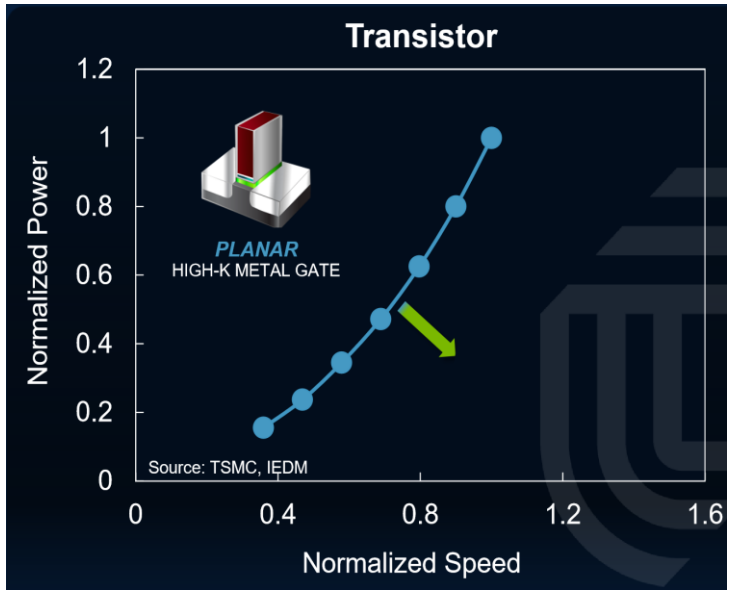


资料来源：wind，国元证券研究中心

2.2.2 ALD是CVD技术的延伸以及未来发展的重点

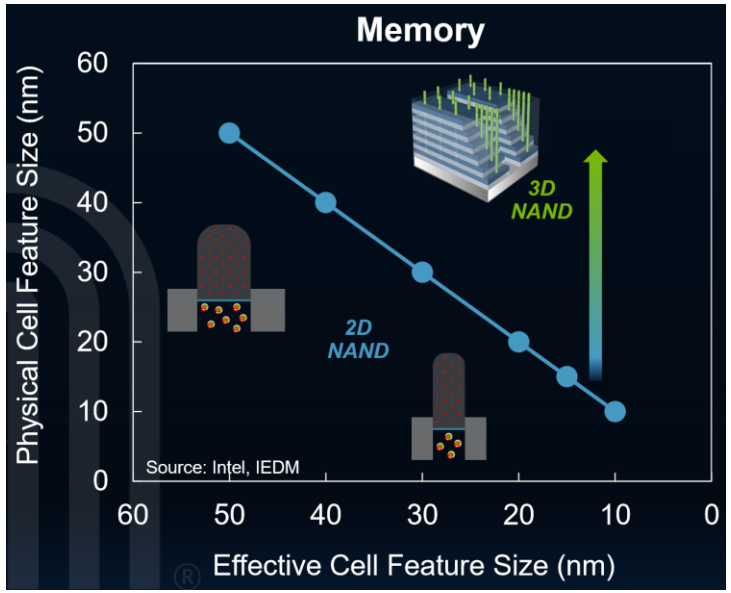
- 为实现性能的提升和尺寸的缩减，除平面尺寸缩小外结构上也会逐渐趋向3D，越来越多的逻辑和存储芯片会在一些关键制程使用ALD设备，未来ALD市场需求将会持续增大。我国半导体产业还处于追赶阶段，目前逻辑芯片处于向14nm节点转型，3D存储也刚刚有所突破，14nm以下节点ALD有望成为薄膜工艺的核心角色，我国在ALD设备目前也有一定布局。

图：逻辑芯片变化趋势



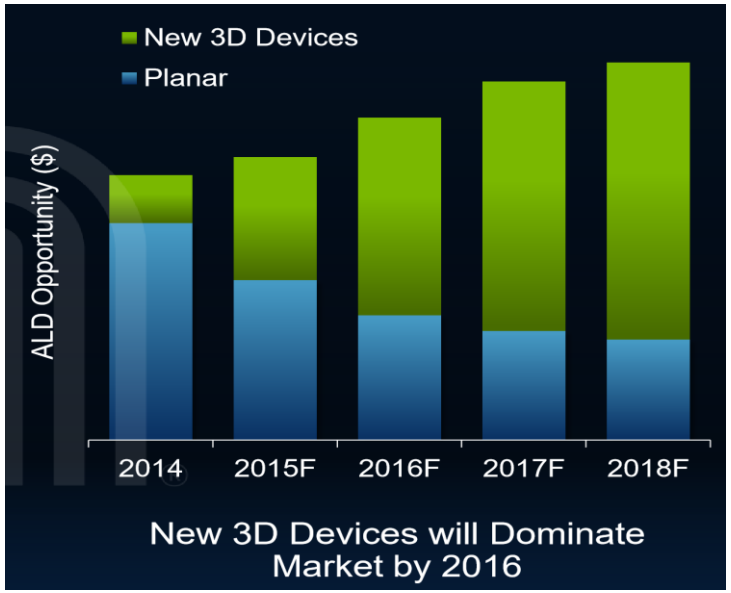
资料来源：Lam Research，国元证券研究中心

图：存储芯片变化趋势



资料来源：Lam Research，国元证券研究中心

图：3D结构促使ALD市场需求增大

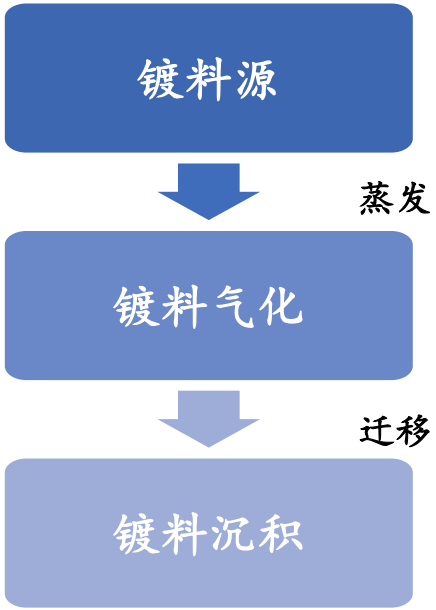


资料来源：Lam Research，国元证券研究中心

2.2.3 PVD设备介绍及对比

- PVD 沉积流程可以粗略的被分为镀料的汽化、镀料的迁移和镀料的沉积三个部分。可细分为真空蒸镀、溅射镀膜、电弧等离子体镀膜、离子镀膜和分子束外延，不同设备适用于不同场景。
- **PVD是芯片金属互联加工的核心设备之一，技术迭代主要体现在材料和尺寸的变化。**如从早期的Al互联变为目前最主流的Cu互联，随着14nm以下制程的需求，底部连接孔从钨塞转向钴材料等，这些变化都是伴随着PVD设备的不断改进和迭代。

图：PVD成膜原理



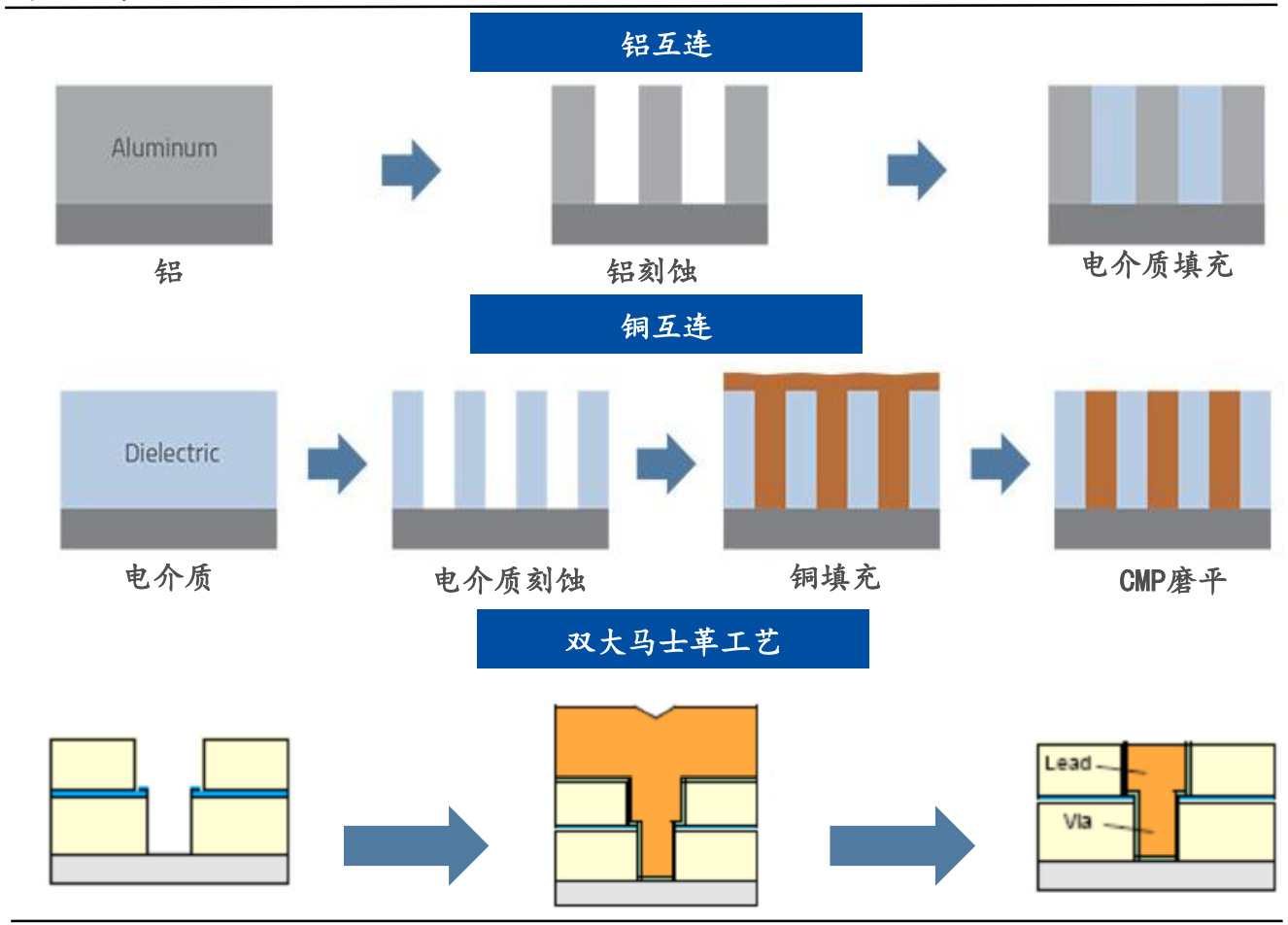
表：几种常用PVD技术对比

指标		Vacuum Evaporation		Sputter		PECVD
		阻抗加热法	电子束蒸镀	DC、RF	磁控溅射	
薄膜材料		不适合高熔点材料 镀合金与化合物时组分比容易发上偏移	适合高熔点材料 镀合金与化合物时组分比容易发上偏移	适合合金、化合物、高熔点材料； 绝缘体采用RF型	适合合金、化合物、高熔点材料； 不适合强磁性材料	适合非金属膜
基板材料		任意		耐热材料（>300℃）	任意	耐热材料（>300℃）
成膜速度		高速（金属0.5-5微米/分钟）		低速（金属0.02~0.2微米/分钟）	高速（金属0.5~5微米/分钟）	高速（Si3N4~0.05微米/分钟）
气体压力		<0.00001	<0.00001	0.1~1	0.001~0.1	1~2
生产性	蒸发源供给	每次更换蒸镀源料		不需要长时间供给	靶材	供给气体
	膜厚均匀性	比溅射方式差		良好	良好	良好
	膜厚再现性	镀合金与化合物时比溅射方式差		比溅射方式差	良好	良好

资料来源： 申智渊《TFT-LCD技术:结构、原理及制造技术》，国元证券研究中心

2.2.3 PVD设备介绍及对比

图：金属互联工艺的演进



早期集成电路内金属互连使用铝/铝合金互连，因为铝在室温下的电阻率很低，与硅和磷硅玻璃的附着性好，易于沉积与刻蚀

工艺延伸

大马士革工艺先在介电层上蚀刻金属导线用的图膜，然后再填充金属。绕过了铜难以刻蚀的难题

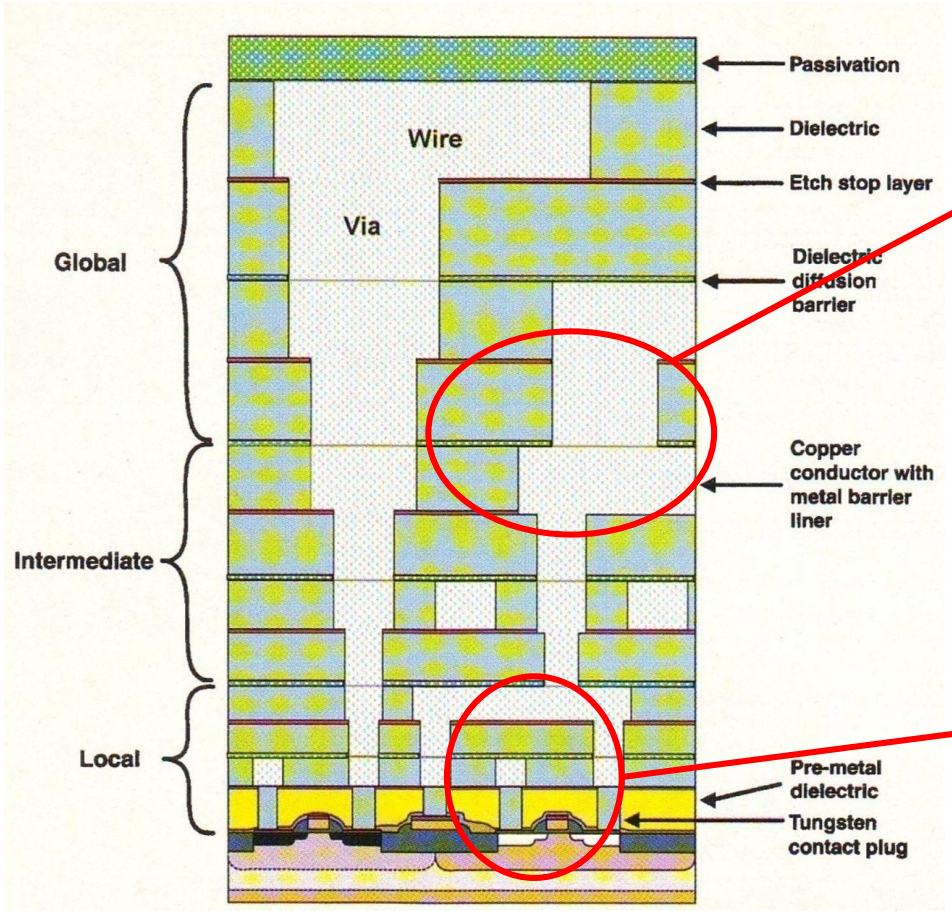
工艺延伸

铜金属连线减少电阻，低K介质层减少了金属连线层之间的寄生电容，这种工艺叫做双大马士革工艺。是目前主流的新进后道制程工艺

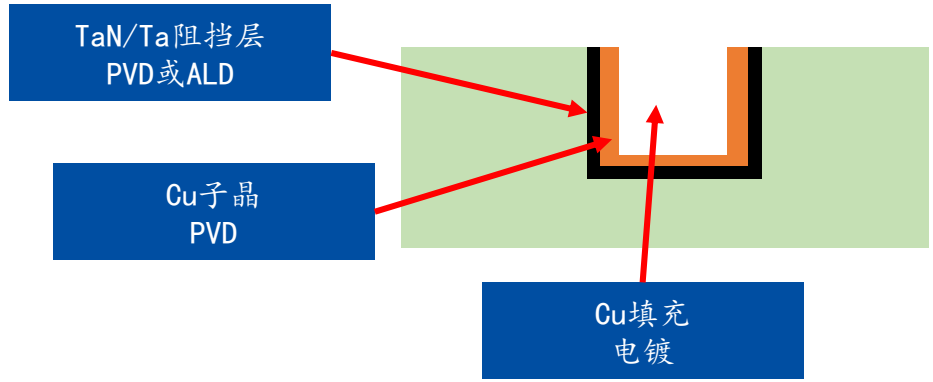
资料来源：CS Tan 2015，Lam Research，国元证券研究中心

2.2.3 PVD设备介绍及对比

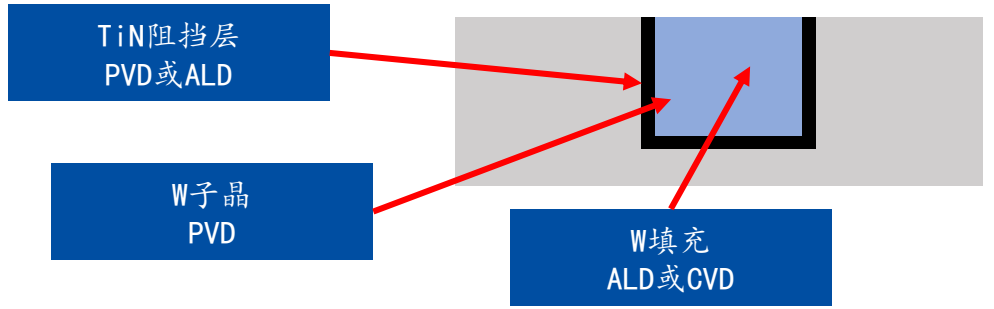
图：MOSFET金属互联结构图



资料来源：百度文库，应用材料官网，国元证券研究中心



防止电介质层出现铜污染，先用沉积阻挡层，然后用PVD种Cu子晶，最后用电镀在沟槽空洞中填充Cu

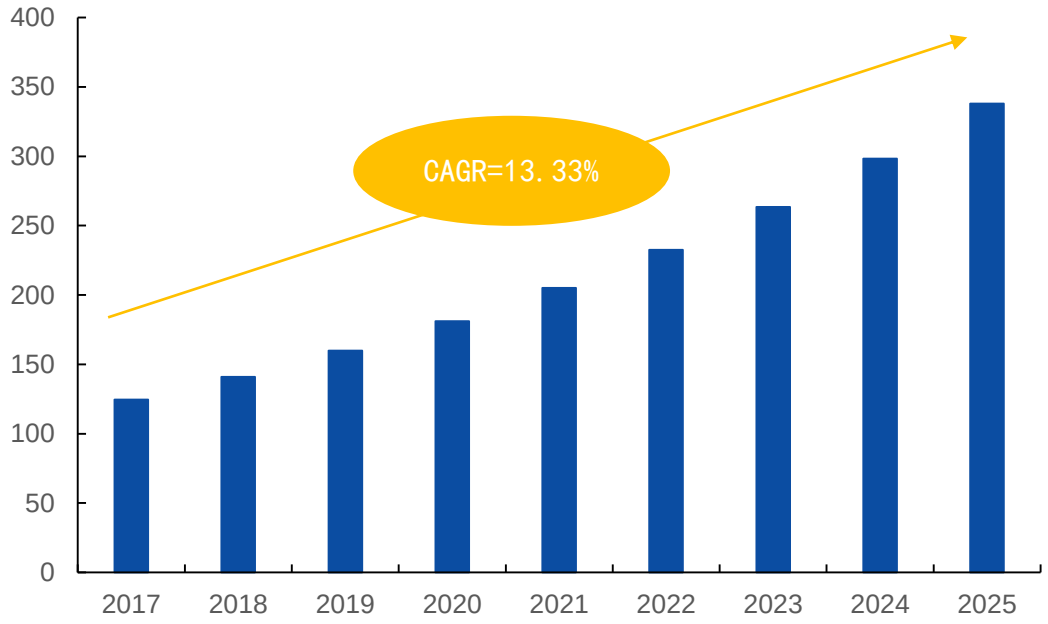


常用W做接触孔填充和底层局部互联，工艺和Cu近似，种子晶后使用CVD工艺填充
节点推到10nm以下，local区开始使用Co材料取代W

2.3薄膜工艺市场规模及竞争格局

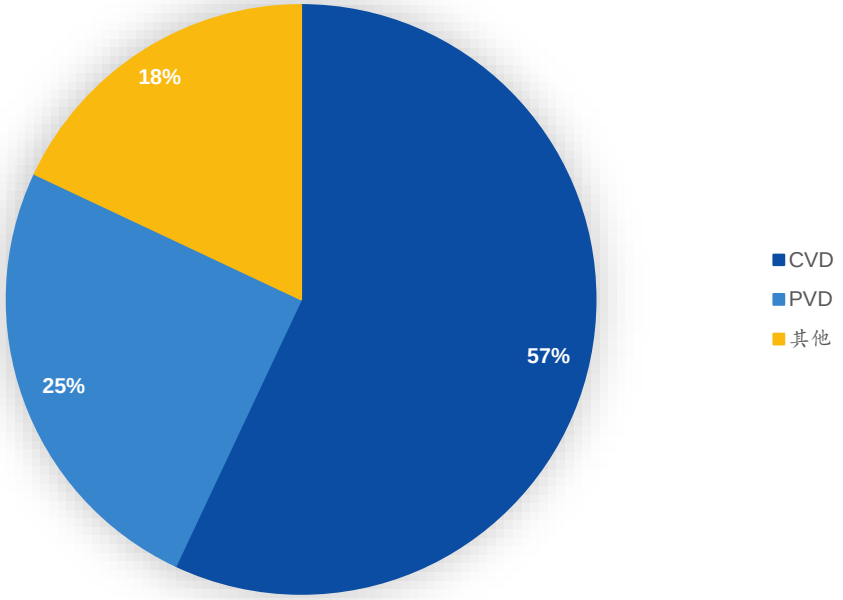
- 根据Maximize Market Research数据统计，全球半导体薄膜沉积市场2017年市场空间在124.5亿美元，预计到2025年将达到340亿美元，期间以年复合13.33%的速度增长。其中市场将以存储、AMOLED显示屏以及太阳能电站等新兴应用需求的增加为驱动薄膜沉积市场增长的核心动力。
- 从半导体薄膜细分市场上看，CVD设备占57%薄膜沉积设备市场，占比最大，PVD设备市占率25%，其次是ALD及其他镀膜设备。

图：2017-2025年全球半导体薄膜设备市场规模（亿美元）



资料来源：Maximize Market Research，国元证券研究中心

图：2019年全球半导体薄膜沉积设备市场分布

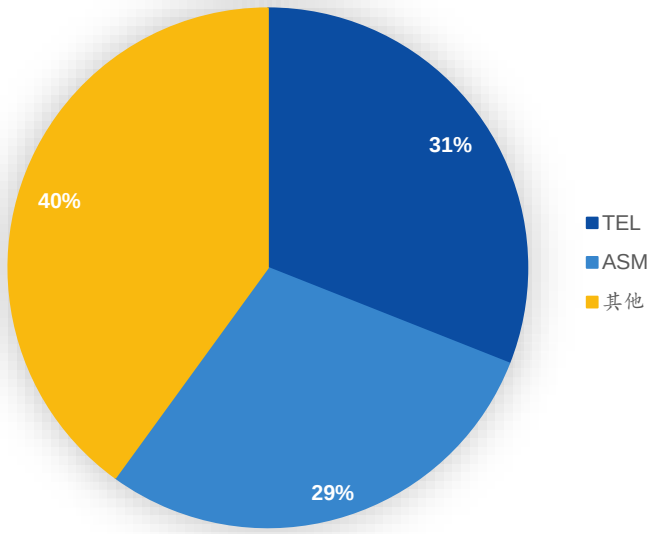


资料来源：AMAT，国元证券研究中心

2.3薄膜工艺市场规模及竞争格局

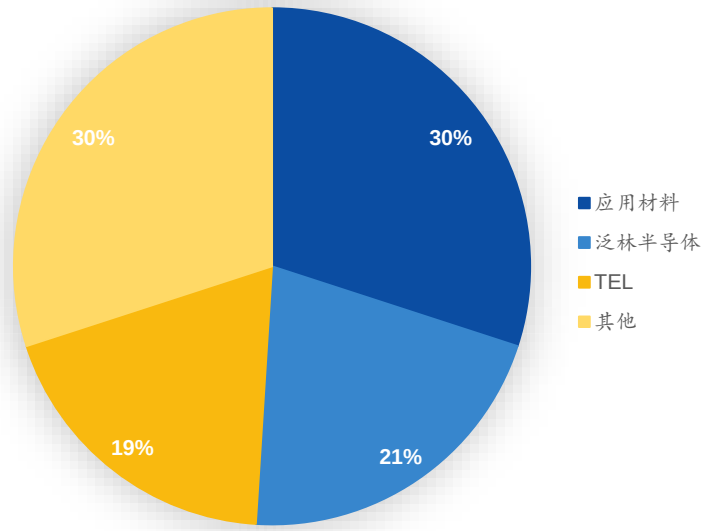
- 从全球市场份额情况看，ALD设备龙头TEL和ASM分别占据了31%和29%的市场份额，剩下40%份额由其他厂商占据；应用材料基本垄断了85%的PVD市场，处于绝对龙头地位；在CVD市场中应用材料全球占比近30%，连同Lam Research的21%和TEL的19%，三大厂商占据了全球70%份额。
- 国内薄膜工艺设备龙头有北方华创和沈阳拓荆，其中北方华创产品线覆盖CVD、PVD和ALD三类，沈阳拓荆主攻CVD和ALD，目前技术储备均达到28/14nm节点。

图：2019年ALD设备市场份额占比



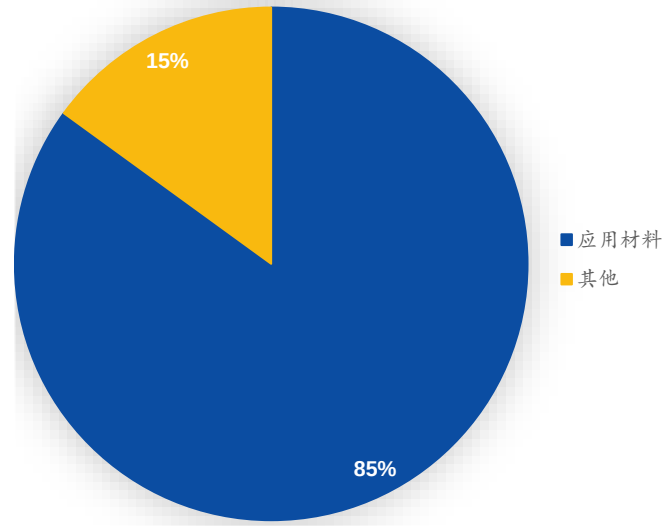
资料来源：Gartner，国元证券研究中心

图：2019年CVD设备市场份额占比



资料来源：Gartner，国元证券研究中心

图：2019年PVD设备市场份额占比

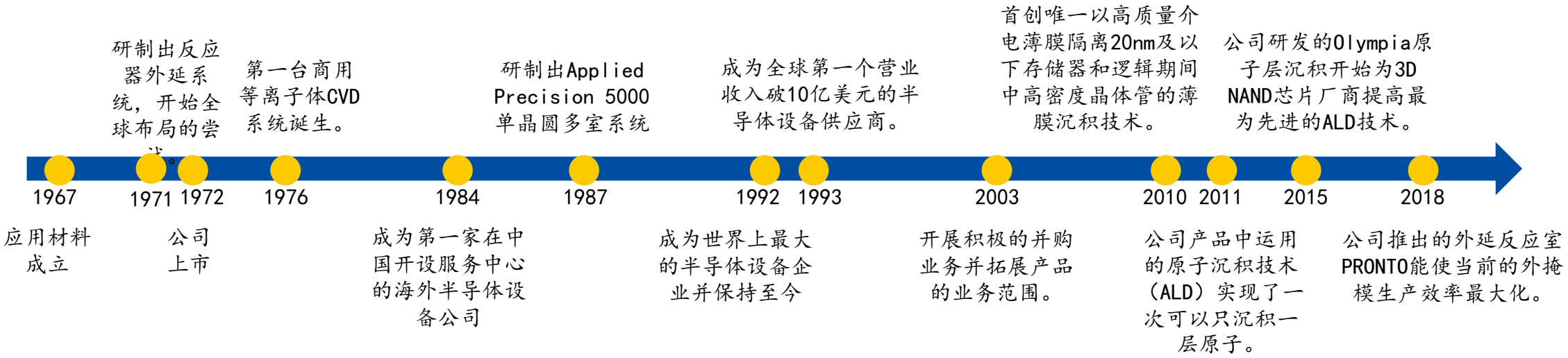


资料来源：Gartner，国元证券研究中心

2.4应用材料和北方华创产品线对比

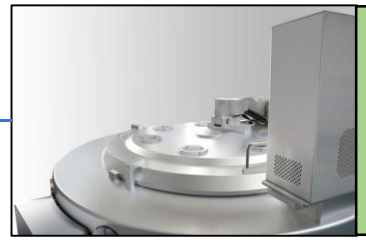
- 美国应用材料公司1967年成立于美国加州山景城，1972年在纳斯达克上市。自1992年以来，应用材料都是世界最大的半导体设备生产商之一。截至2019年，应用材料的主营业务收入达到了146.08亿美元，保持全球半导体设备企业中第一位。
- 应用材料在薄膜沉积领域一直保持行业领先地位，为应对市场需求不断优化和丰富自身产品线。2019年，应用材料的设备占据了全球集成电路装备市场份额的18.49%。应用材料在半导体设备产品线极其丰富，包括薄膜、刻蚀、离子注入、检测、热处理和CMP等。而且公司已经实现将一个加工循环所用子模块整合在同一加工平台上，如后道铜互联制造循环。产品平台化和集成化可以延长价值链，以及为客户提供更好的机台协调性。

图：应用材料公司发展历程

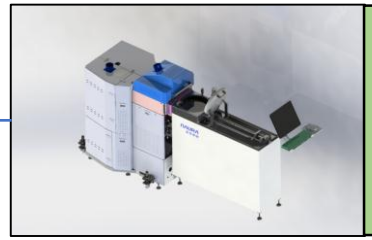


资料来源：应用材料公司官网，国元证券研究中心

2.4.1ALD产品线对比

n	CENTURA® INTEGRATED GATE STACK	系统集成了原子层沉积 HfO2 CVD腔室、后期高k栅介质氮化和氮化后退火腔室。可完成在高真空环境下22mm以下Hi-k全部工序。
n	CENTURA® ISPRINT™ ALD/CVD SSW	主要用于逻辑和存储器件接触孔和中段（最底层）W互联工艺，结合自有技术Volta W CVD和自底向上填充工艺，适用于10nm节点先进工艺。
2	Centura® iSprint™ Tungsten ALD/CVD	系统集成了ALD W成核腔、Sprint CVD W填充腔和CMP腔，可提供了完整的45nm/55nm的逻辑和内存W接触孔/通孔填充工艺。
1	ENDURA® ILB™ PVD/ALD	应用于32nm以下逻辑器件W plug的衬垫/阻挡层(iLB)工艺和4X DRAM电极和掩埋字线。
0		Olympia™ ALD 系统

APPLIED MATERIALS®

	集成化工艺平台	集成多个工艺模块，可以用高效完成某段Loop
n	Polaris A系列 ALD 设备	采用加热的方式沉积Al2O3、HfO2、ZrO2、TiO2、TiN、TaN和ALN等多种薄膜。可以满足28-14nm及更低技术代的Hi-K介质材料，金属栅极，绝缘层，阻挡层，掩膜，钝化层
2	Polaris PE系列 PEALD 设备	采用射频的方式沉积SiO2、SiNx、TiN、ALN等多种薄膜。可以满足28-14nm及更低技术代的绝缘层、阻挡层、掩膜、钝化层
1	Promi+系列手动 ALD 设备	Promi+系列ALD设备可兼容加热和射频的方式，可用于沉积Al2O3、HfO2、ZrO2、TiO2、TiN、TaN、ALN、SiO2、SiNx等多种薄膜，主要用于实验。
0		Polaris A630 2014年开始布局ALD设备，2017年设备进驻上海集成电路研发中心

NAURA 北方华创

北方华创完成早期ALD系统的开发，实现“0”的突破，之后是将ALD技术结合已有的CVD、PVD推出对应定制化产品，实现“1-n”的转变。

2.4.2CVD产品线对比

国元证券 GUOYUAN SECURITIES

IMD	Producer® Black Diamond 系列 PECVD	用于铜/低K互联层，三代机台适用于28nm及以下节点
IMD	Producer® BLOk™ PECVD	用于超低k铜阻挡层和刻蚀阻挡层薄膜等后道互连工艺，适用于45nm及以下节点
IMD	Producer® DARC® PECVD	抗反射涂层薄膜，可在 90nm及以下节点应用中
CT/VIA	Endura® Volta™ CVD Co	改良传统CuBS系统，使用Co材料替代Ta/TaN作为Cu阻挡层，技术节点适用于2X、22nm以下
CT/VIA	Endura® Volta™ CVD W	使用W-C薄膜充当衬层和成核层，具有更好的粘合性和并可以避免氟扩散，可以有效增加W填充体积
CT/VIA	CENTURA® ULTIMA HDP-CVD®	应用于沉积浅沟槽隔离层（STI）、金属前电介质层、层间电介质层（ILD）、金属层间电介质层（IMD）和钝化保护层
ILD	Producer® Eterna™ FCVD™	介电质材料填充晶体管之间高深宽比空隙，适用于20nm及以下节点
S/D	Producer® Celera™ PECVD	沉积可调压缩和拉伸高应力氮化硅薄膜，用于45nm及以下节点的应变工程
3D NAND	Producer® XP Precision™ CVD	集成模块化适用于加工3D NAND ON栅叠层，以及高深宽比的硬掩模工艺
3D NAND	Producer® APF™ PECVD	可灰化无定形碳硬掩膜，用于存储器件的电容和金属接触孔等HAR孔结构中和SADP工艺中，可用于5Xnm节点以下
3D NAND	Producer® eHARP™ CVD	增强型高深宽比工艺，可满足32nm 逻辑、4xnm及以下节点的STI间隙填充

ALD工艺完设备升级

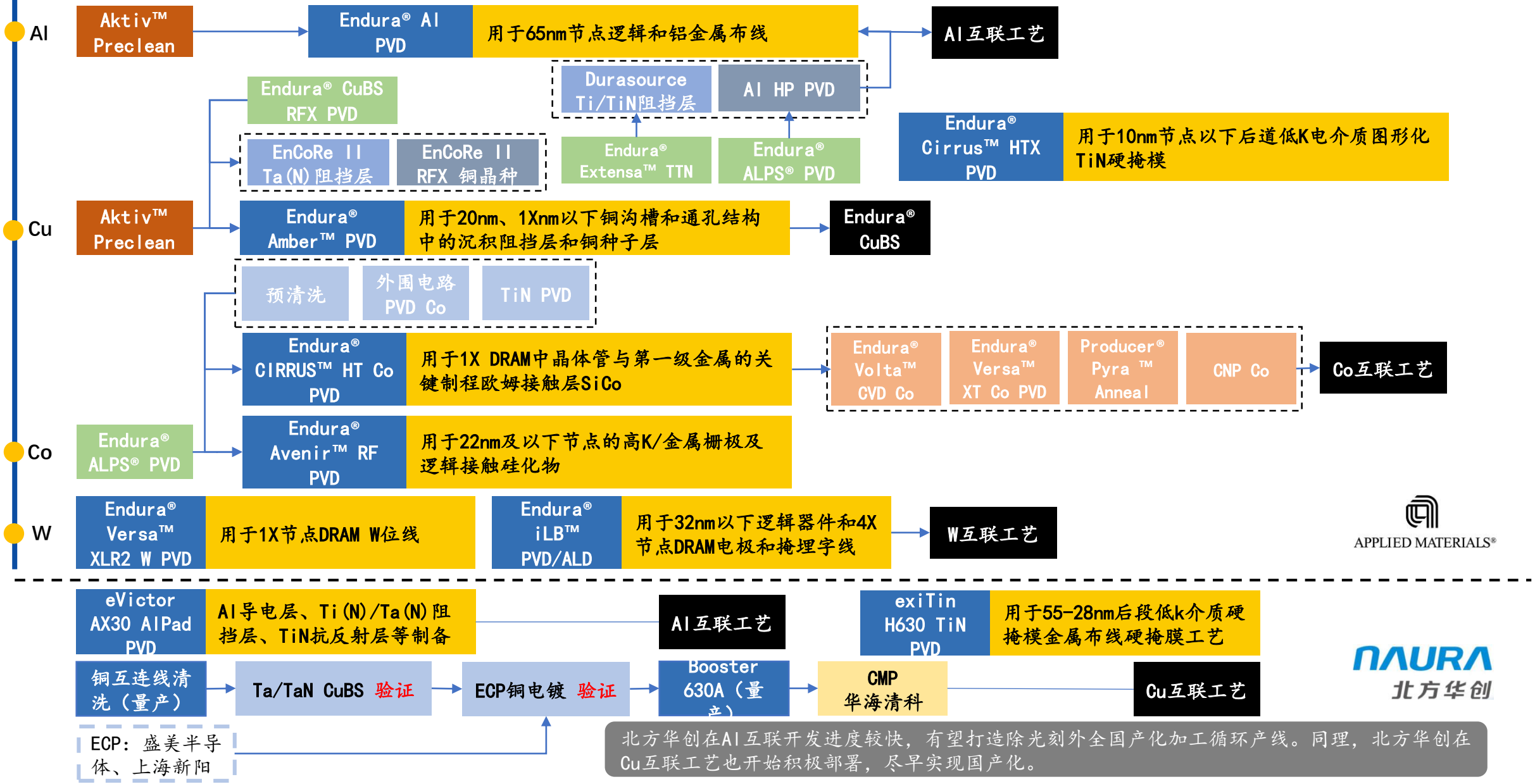
APPLIED MATERIALS®

HORIS L6371 多功能 LPCVD	泛用于沉积集成电路、微机电系统、功率器件多种介质薄膜	立式氧化炉
THEORIS 302 / FLOURIS 201 LPCVD	用于沉积28nm及以上的集成电路多种硅基介质薄膜	立式退火炉
		立式合金炉
SES680A 硅 APCVD系统	用于6-8寸集成电路、功率器件高温硅外延层	
Esther 200单片硅外延系统	用于6-8寸集成电路、功率器件硅外延层外延生长，可AP/LP切换	

NAURA 北方华创

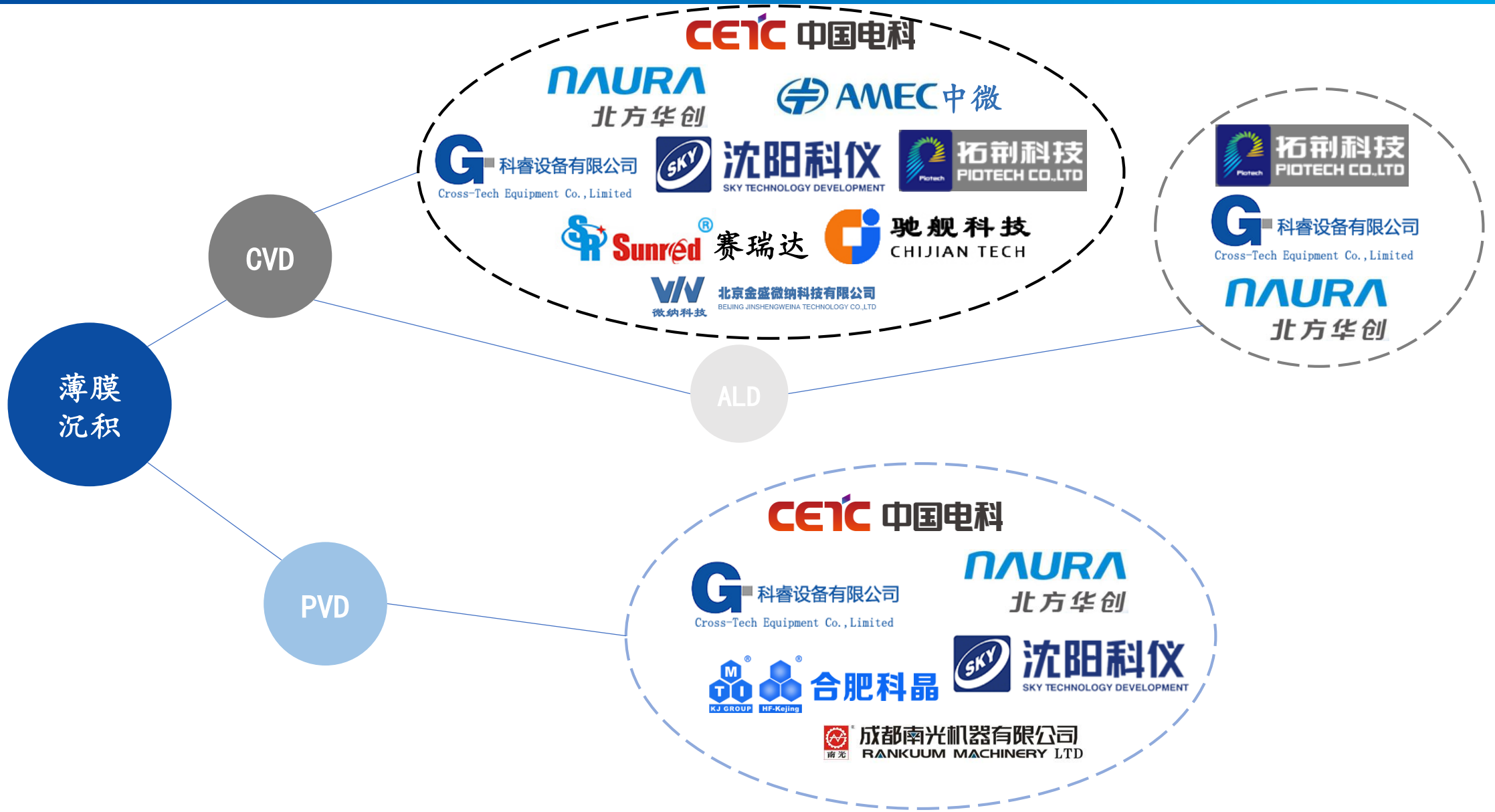
应用材料已经实现集成电路前中后段各类薄膜沉积设备产品布局，且结合公司其他设备可以打造一个完整的局部加工循环。北方华创在炉管技术有着很深的积累，CVD产品及衍生也都是基于立式炉设计的。目前CVD产品成碎片化，产品技术节点位于28nm，整体尚未构成链式布局。

2.4.3PVD产品线对比



北方华创在Al互联开发进度较快，有望打造除光刻外全国产化加工循环产线。同理，北方华创在Cu互联工艺也开始积极部署，尽早实现国产化。

2.5国产薄膜沉积设备企业总结



50

2.6小结

- 目前薄膜工艺设备龙头是美国公司应用材料，其深厚的技术积累已实现全产业链薄膜沉积设备布局，结合自身提供的其他设备服务可包揽一个完整的局部加工循环，不光可以提高生产效率、降低机台间协调误差，还可以大幅提高价值量。
- 北方华创是我国半导体设备产品线最多、布局最广的设备龙头。公司产品还处于从多点开花向系统整合过度阶段，目前开发进度最快的是Al互联PVD工艺，有望实现后道Al互联整线国产替代。
- **梳理应用材料设备技术演进，基本符合核心技术突破->拉动系列产品推广，多模块组合->实现加工循环平台化的特点。**

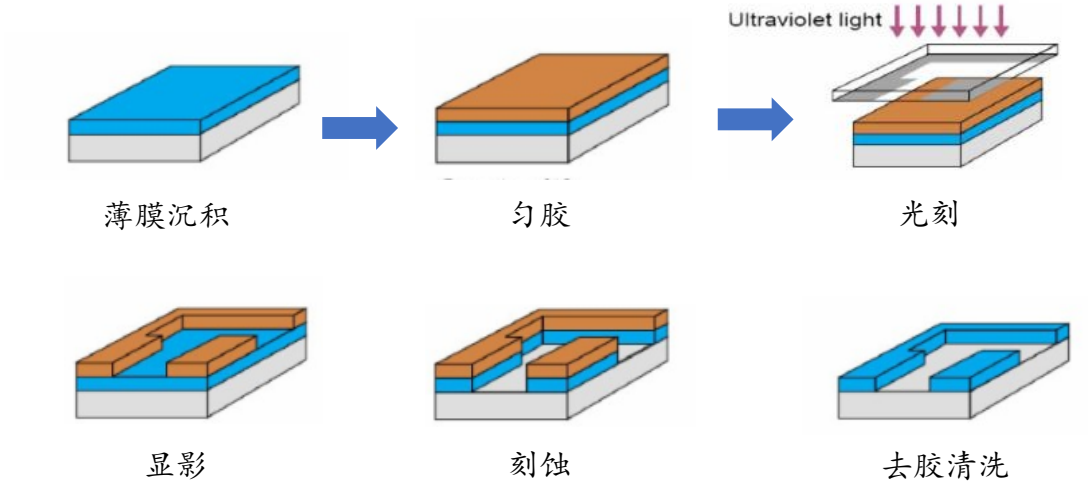
正文目录

- 第一部分：半导体设备是行业基石，国内企业即将迎来历史转折期
- 第二部分：芯片制造工艺流程拆分：薄膜工艺介绍及国内外龙头对比分析
- 第三部分：芯片制造工艺流程拆分：刻蚀工艺介绍及国内外龙头对比分析
- 第四部分：芯片制造工艺流程拆分：光刻工艺介绍及国内外龙头对比分析
- 第五部分：芯片制造工艺流程拆分：清洗工艺介绍及国内外龙头对比分析
- 第六部分：国产设备企业介绍

3.1集成电路中的刻蚀工艺简介

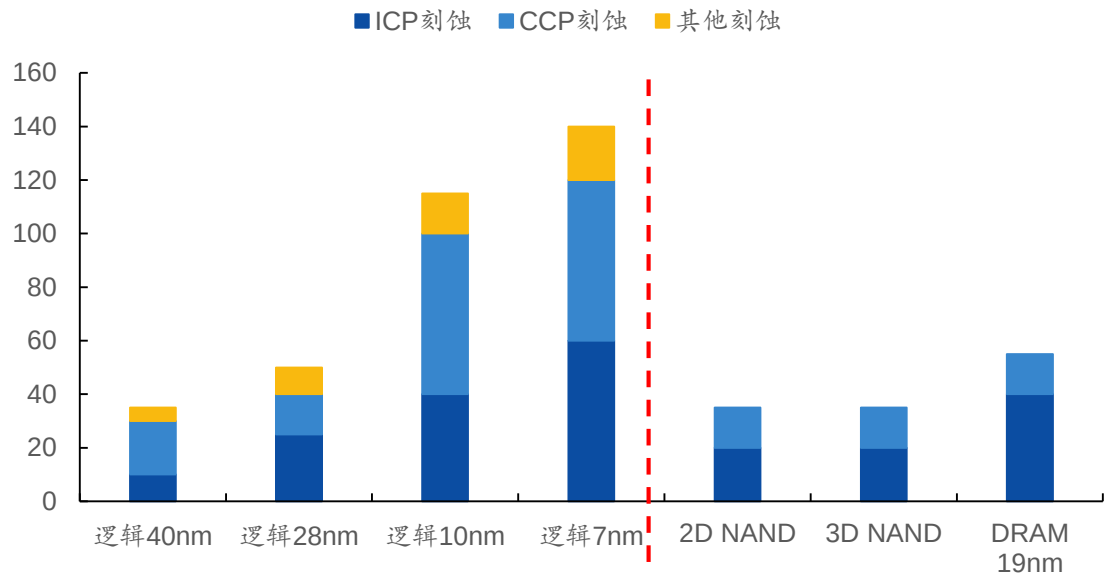
- 刻蚀机的工作原理是按光刻机刻出的电路结构，在硅片上进行微观雕刻，刻出沟槽或接触孔。与薄膜工艺相对应，是微纳加工中重要的“减法工艺”。完整的刻蚀工艺流程分3步：薄膜沉积完成后进行光刻、刻蚀、去胶清洗。
- **逻辑电路28nm节点刻蚀工序约50道，推进到10nm节点变成115道，7nm约140道，主要原因是晶体管结构3D化以及后道金属布线层数的增多。存储类集成电路刻蚀工序数量变化并不大，需求主要表现在更多HAR形貌的技术需求，如3D NAND堆垛结构和DRAM的电容。**
- IC制造尺寸缩小和结构3D化趋势是推动刻蚀设备需求的主要因素，更高的技术要求提高设备价值量，逻辑和存储工艺复杂提高设备数量需求。

图：刻蚀工艺流程图



资料来源：百度文库，国元证券研究中心

图：不同逻辑和存储工艺刻蚀步骤数量



资料来源：半导体制造技术，微电子制造，国元证券研究中心

3.2.1 刻蚀工艺按反应原理分类

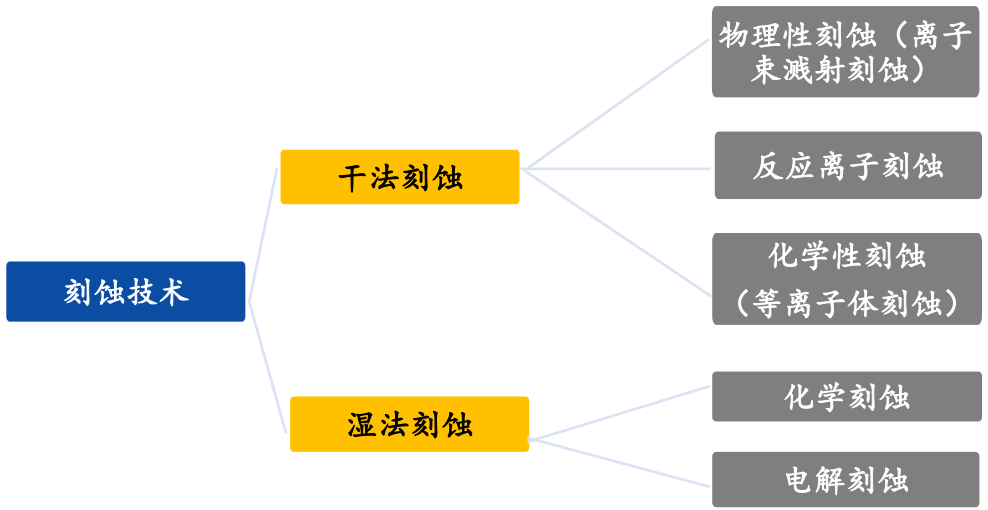
- 干法刻蚀:把硅片表面暴露于气态中，产生等离子体，等离子体通过光刻胶或掩膜窗口与薄膜发生纯物理或化学反应（或结合），去除暴露的表面材料。干法刻蚀是亚微米尺寸下刻蚀器件的主要方法。
- 湿法刻蚀：使用液体化学试剂（如酸、碱和合剂）以化学方式去除表面薄膜材料。湿法刻蚀一般只是在尺寸较大的情况下（大于 3 微米）。

表：刻蚀原理比较

指标	干法刻蚀			湿法刻蚀
	离子束溅射刻蚀	等离子体刻蚀	反应离子刻蚀	
方向性	各向异性高	刻蚀精度不高	各向异性高	各向异性差
选择性	选择性差	选择性高	刻蚀选择性好	选择性差
刻蚀速率	刻蚀速率低	刻蚀速率高	刻蚀速率高	刻蚀速率高

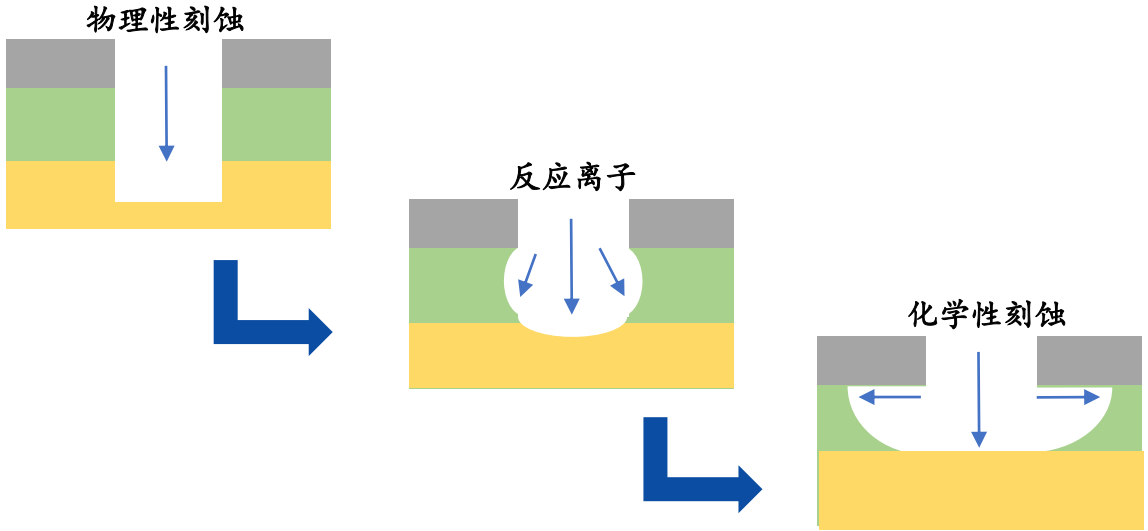
资料来源：百度文库，国元证券研究中心

图：刻蚀原理分类



资料来源：中国半导体协会,国元证券研究中心

图：各类刻蚀工艺特点



资料来源：国元证券研究中心

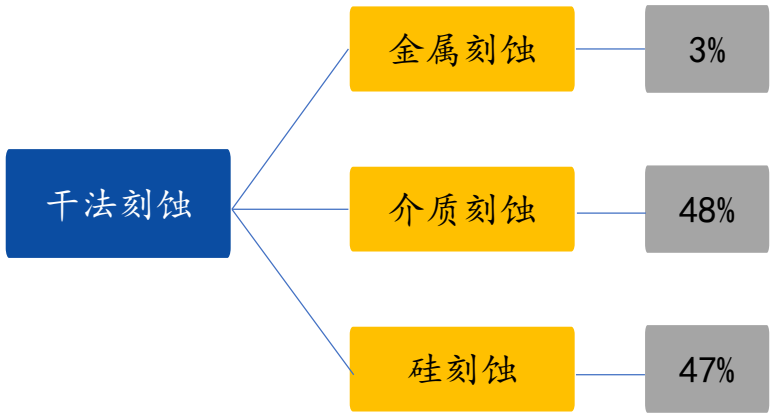
3.2.2 刻蚀工艺按材料分类

表：介质刻蚀、硅刻蚀、金属刻蚀对比

	介质刻蚀		硅刻蚀		金属刻蚀	
材质	氧化硅	氮化硅	多晶硅	单晶硅	铝	钨
刻蚀系统	反应离子刻蚀 亚微米以下采用ICP-RIE系统	反应离子刻蚀	反应离子刻蚀	ICP-RIE系统，高密度等离子体系统	反应离子刻蚀RIE系统	反应离子刻蚀RIE系统
工作压力	小于0.1Torr	小于0.1Torr	小于0.1Torr	小于1.0Torr	小于0.1Torr	
刻蚀速率	相对较慢	较快（120nm/min）	较高	较高	大于1000nm/min	大于1000nm/min
选择比	高	高达20：1	大于150：1	不高	高	高

资料来源：百度文库，国元证券研究中心

图：刻蚀材料分类



资料来源：BARRON's（2017），国元证券研究中心

图：ICP与CCP刻蚀工艺比较

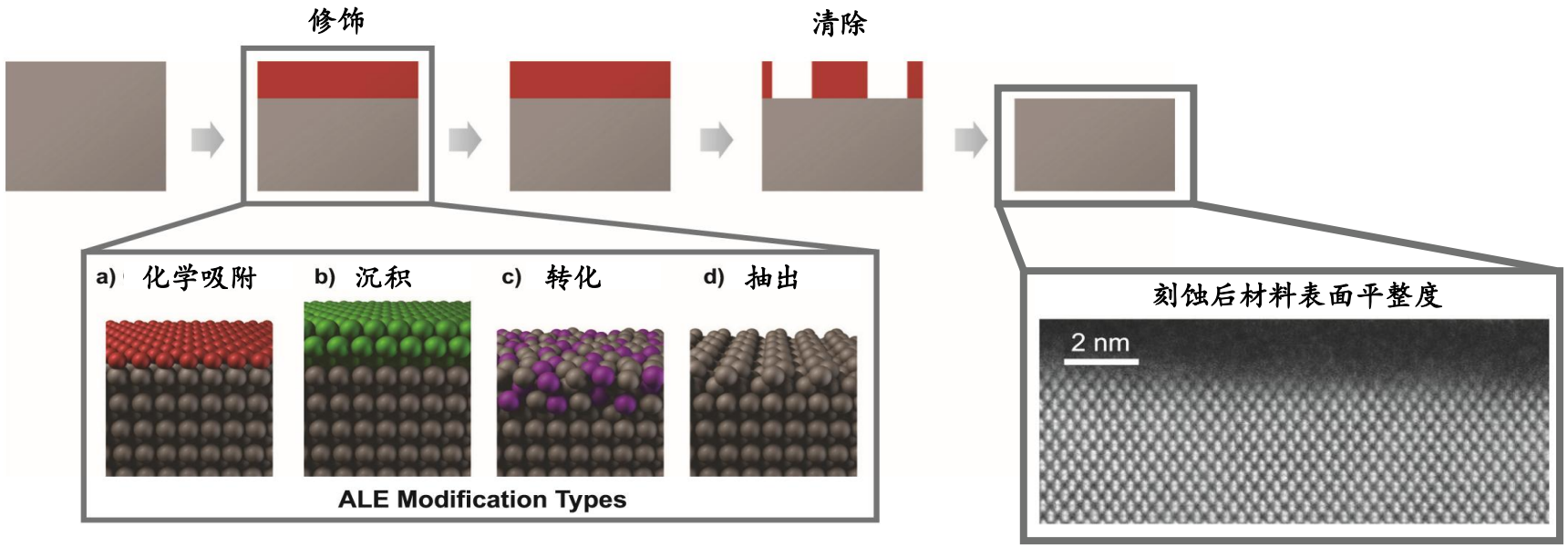


资料来源：中微公司招股书，国元证券研究中心

3.2.3 ALE是刻蚀技术的延伸以及未来发展的重点

- 传统等离子体刻蚀中随特征尺寸变小导致刻蚀精度、均匀性不能满足需求，宽度不同的结构刻蚀深度不均一，在HAR结构反应性粒子难到达结构底部，进而导致刻蚀速率不均匀。原子层刻蚀(ALE)是一种能够精密控制刻蚀基材量的技术，通过对表面层改性，再通过离子轰击将改性层去除，通过循环精准控制刻蚀深度。
- ALE可实现定向刻蚀和各向同性刻蚀两种模式，同时可以最大限度消除深宽比刻蚀效应（ARDE），使深宽比不同也可获得相同的刻蚀深度。ALE主要用于个别关键工序，与传统刻蚀技术相互协作而非对立竞争。随着尺寸缩小，前道ALE刻蚀技术会越来越重要。

图：ALE工艺流程

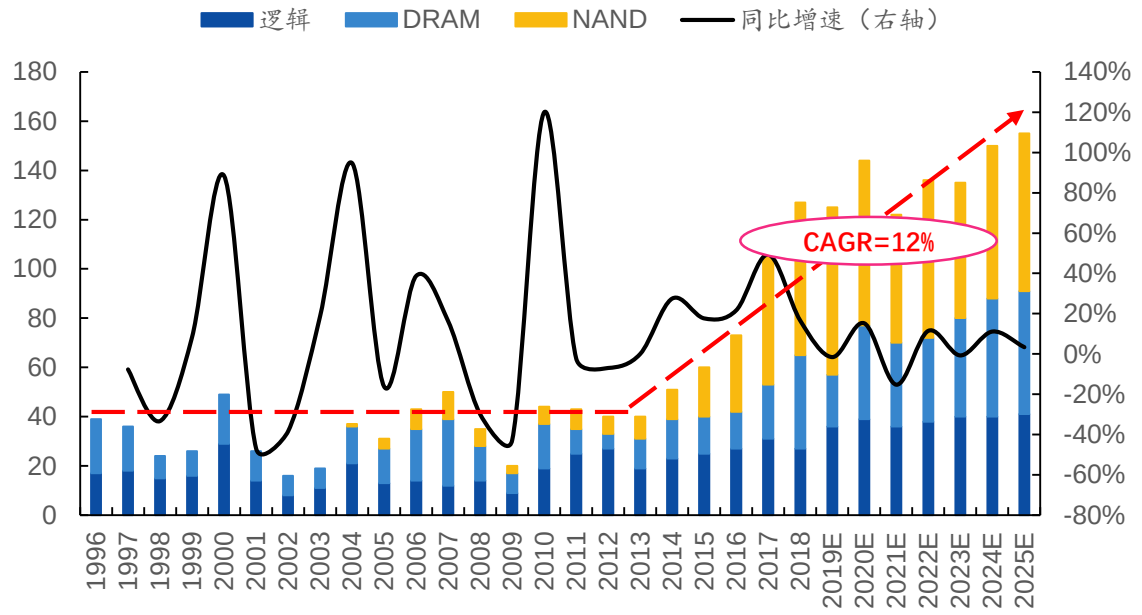


资料来源：Lam Research，Semiengineering，国元证券研究中心

3.3刻蚀工艺市场规模及竞争格局

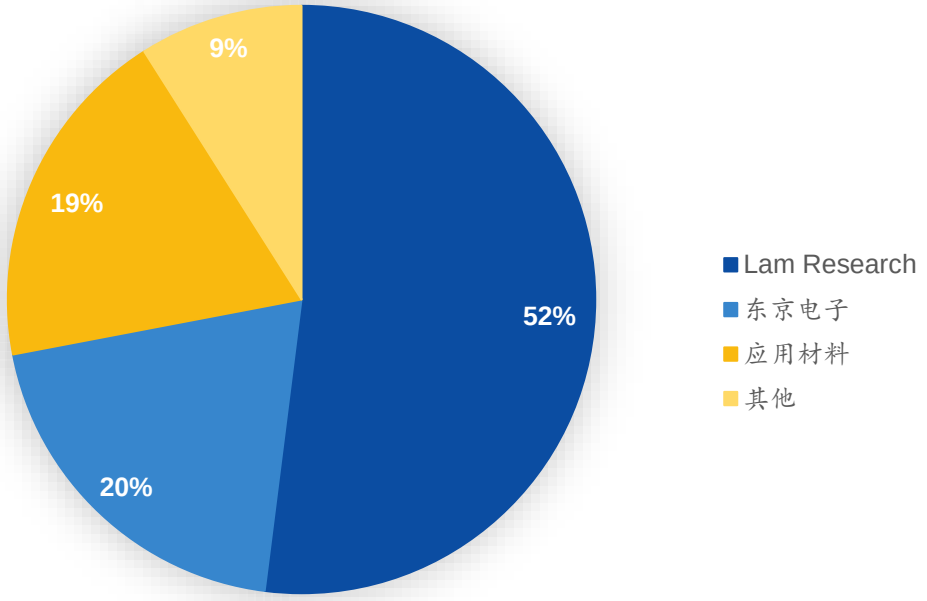
- 2013年之前全球刻蚀设备市场规模维持在40亿美元左右，之后随着闪存技术突破，存储市场拉动刻蚀设备需求明显增大。SEMI预测2025年全球刻蚀设备市场空间达到155亿美元，年复合增速约为12%。市场空间增量主要来自于存储制造对刻蚀设备的需求激增，其中NAND随着层数翻倍市场增速明显。
- 半导体刻蚀设备领域被海外巨头垄断，2018年刻蚀设备领域前三家企业LAM、TEL、AMAT合计占据全球刻蚀设备91%的市场份额，其中Lam Research占据了52%的市场份额遥遥领先。

图：全球刻蚀设备市场规模（亿美元）



资料来源：SEMI，中微公司2019年年度业绩说明会，国元证券研究中心

图：2018年刻蚀设备市场分布

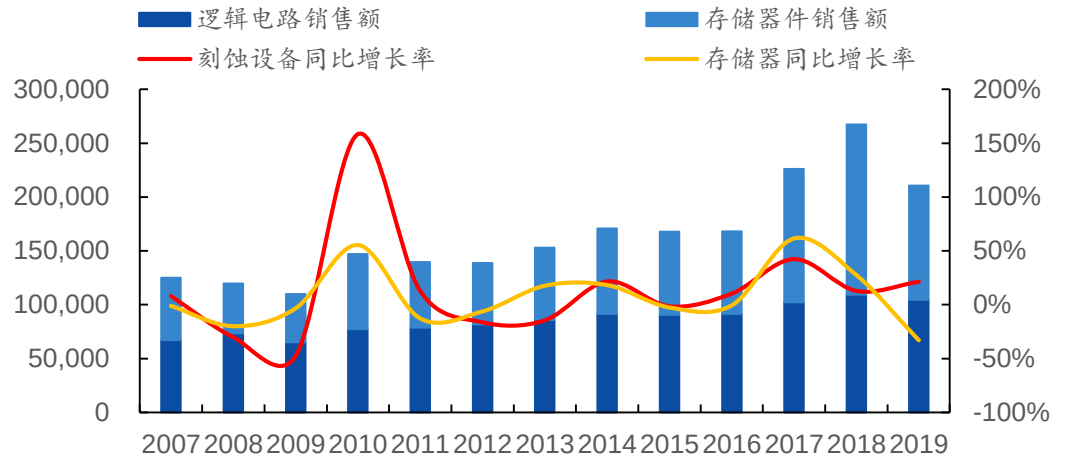


资料来源：Gartner，国元证券研究中心

3.4.1 存储对刻蚀设备市场的影响

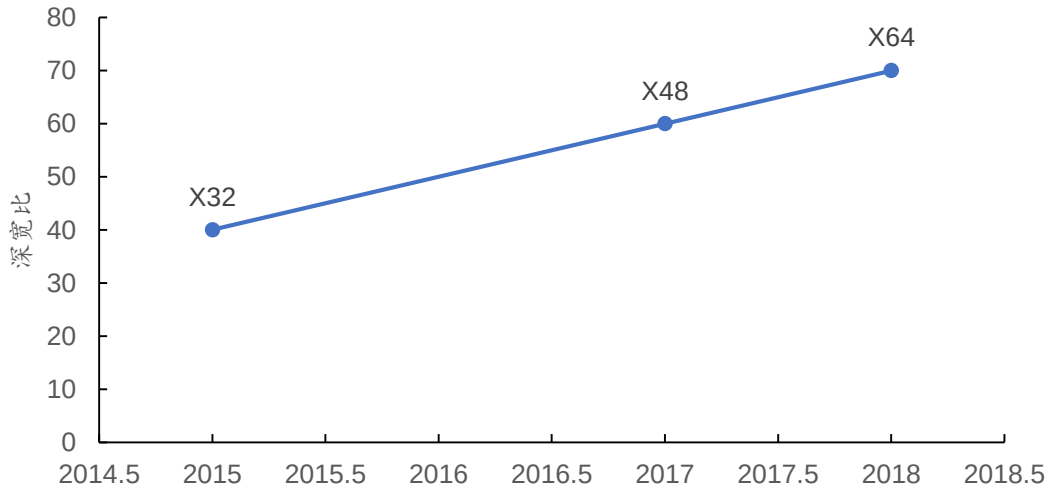
- 全球刻蚀设备的销售额与存储器件的销售额变动相关性较高，而逻辑电路对刻蚀设备的销售额变动影响并不如存储明显。
- **随着DRAM与3D NAND制造工艺的不断发展，刻蚀设备所需处理的深宽比越来越高。**其中3D NAND所特有的叠层结构和层数倍增趋势，96层闪存深宽比已高达70:1。DRAM主要是在尺寸缩小趋势下底层晶体管和电容桶结构位置出现大量高深宽比结构，1Y节点深宽比达到30:1。
- **存储技术进步拉动刻蚀设备巨大需求，其中3D NAND是推动对高深宽比刻蚀设备需求的核心动力。**

图：全球逻辑电路、存储器件与刻蚀设备销售额情况（百万美元）



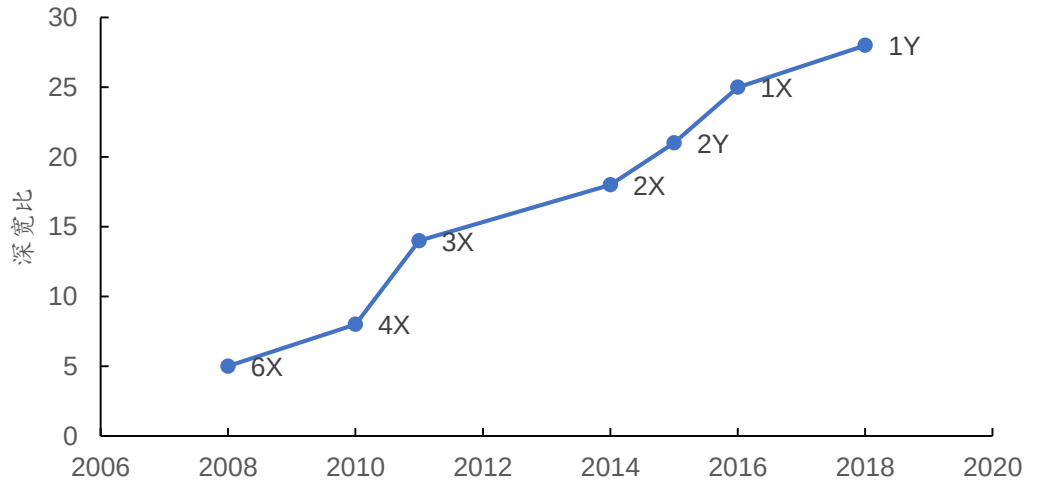
资料来源：wind，国元证券研究中心

图：3D NAND刻蚀深宽比随层数推进越来越高



资料来源：公开资料整理，国元证券研究中心

图：DRAM所需刻蚀深宽比随制程推进越来越高



资料来源：公开资料整理，国元证券研究中心

3.4.1 存储对刻蚀设备市场的影响

- 3D NAND拥有众多关键性HAR结构，其刻蚀反应条件及复杂程度有别于普通刻蚀工艺，技术革新推动设备在这方向进行升级迭代并提升价值量。

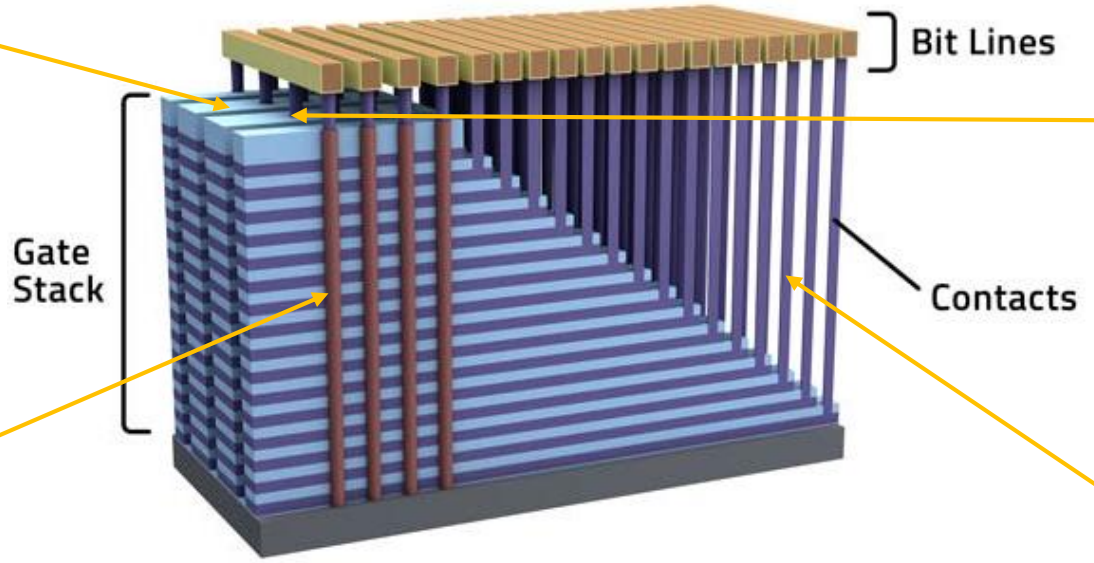
图：3D NAND所用刻蚀工艺

通道孔刻蚀

通道孔是为后续清除牺牲层SIN充分反应接触，每个die形成数十亿个深宽比>60:1的深孔，对HAR结构刻蚀技术要求很高

栅极沟槽刻蚀

3D NAND最核心的工序，单元阵列特有的垂直结构采用快速交替工艺RAP刻蚀深宽比>30:1的沟槽，每个die上数百万沟槽经过刻蚀后需要保持定位精准、深度一致、侧壁均匀



硬掩膜刻蚀

堆叠层薄膜后续刻蚀孔洞很深，使用无定形碳等杨氏模量较高的硬掩模承接光刻图形，为减少刻蚀器期间掩膜损耗的影响，掩膜窗口深宽比高达20:1

阶梯连接孔刻蚀

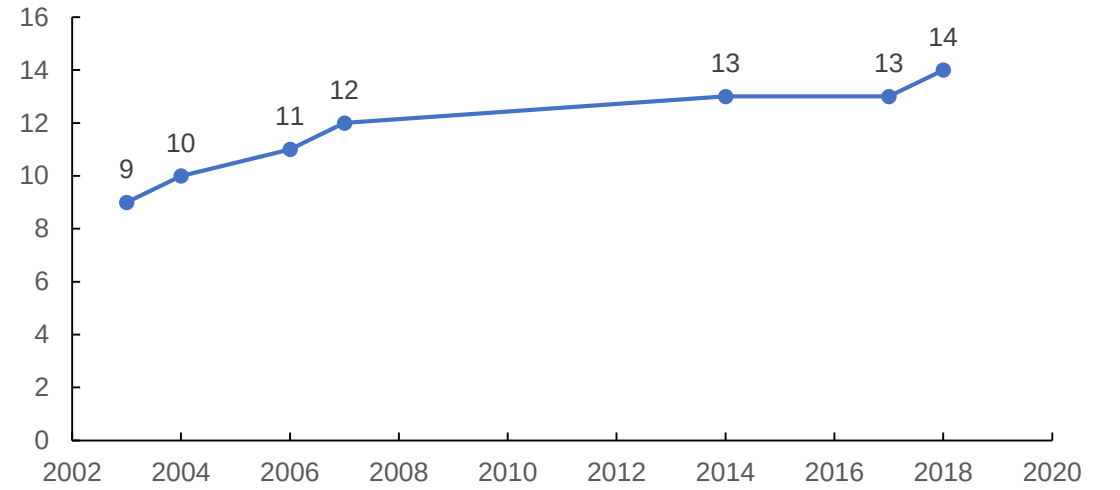
由于不同层数的阶梯连接孔深度不同，导致深宽比范围在30:1到>80:1，大约每10层用一张mask，由于每层孔深度不同且同步刻蚀不能穿透底部停止层，对刻蚀精度控制要求非常高

资料来源：应用材料，国元证券研究中心

3.4.2 逻辑对刻蚀设备市场的影响

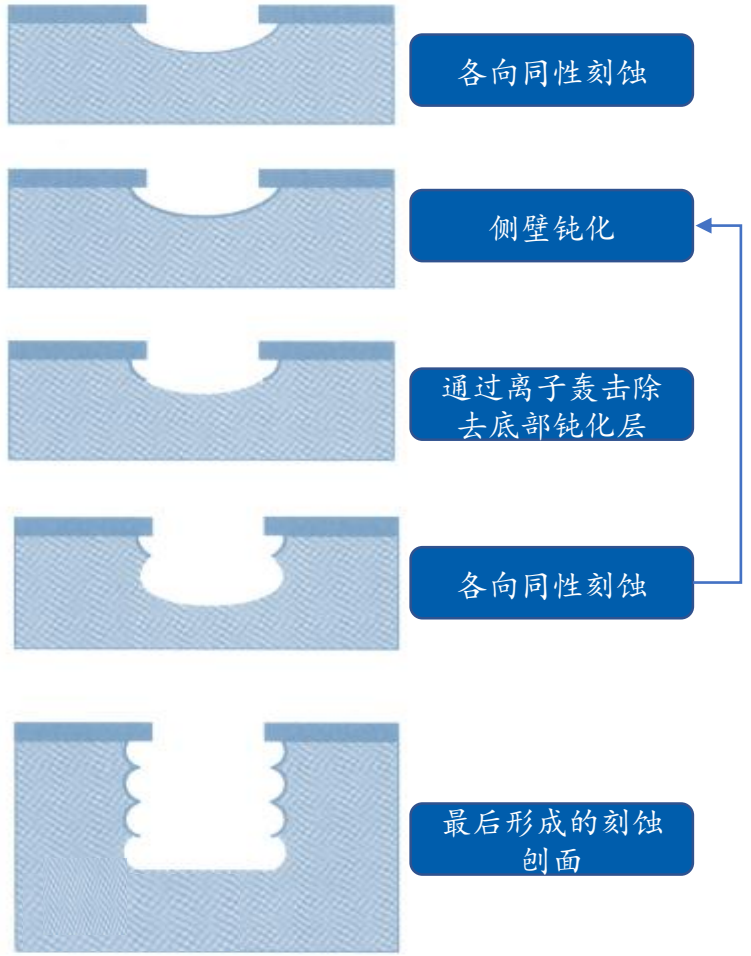
- **逻辑电路对刻蚀的需求主要受两个因素影响：**1）尺寸缩小导致晶体管前道部分的刻蚀难度增大，先进刻蚀设备的价格更贵；2）逻辑电路复杂度导致中后道互联层数及加工步骤增加，刻蚀设备数量更多。
- **先进封装技术发展促进中后道对刻蚀设备的需求。**Bosch工艺又叫深层反应离子刻蚀工艺（DRIE），是一种极好的各向异性的高速刻蚀硅的方法，广泛用于加工TSV通孔。3D先进封装技术是延续摩尔定律的主要手段之一，常用TSV通孔结构实现多芯片互连，对刻蚀设备需求也会逐渐增大。

图：逻辑电路各工艺节点金属布线层层数



资料来源：应用材料，公开资料整理，国元证券研究中心

图：Bosch工艺流程

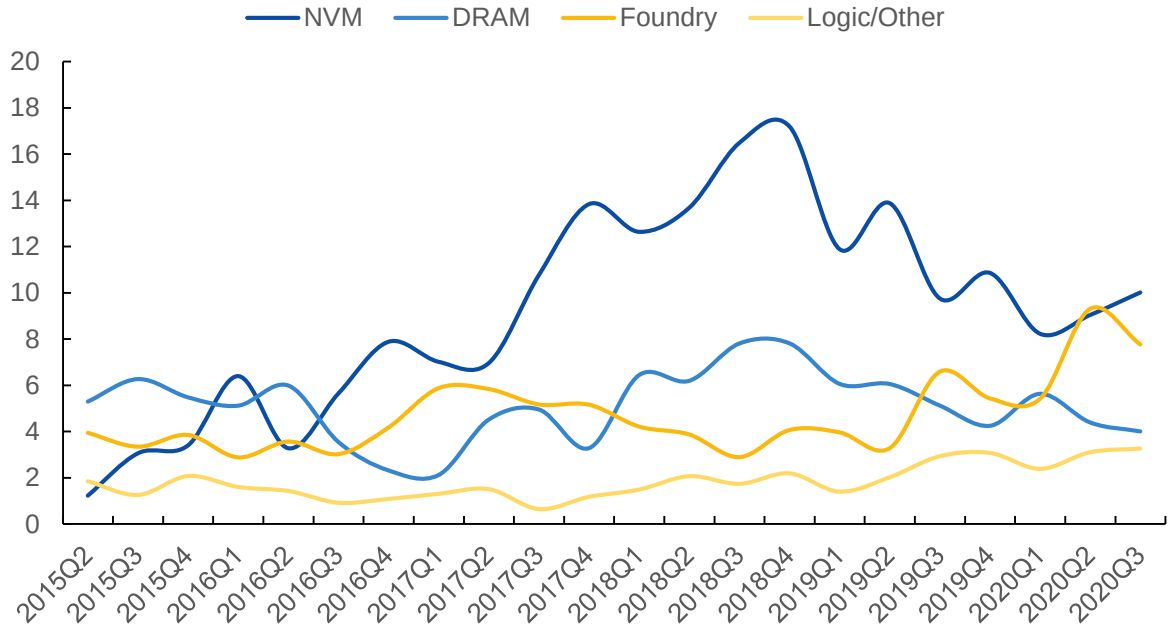


资料来源：百度百科，国元证券研究中心

3.5拉姆研究与中微公司对比分析

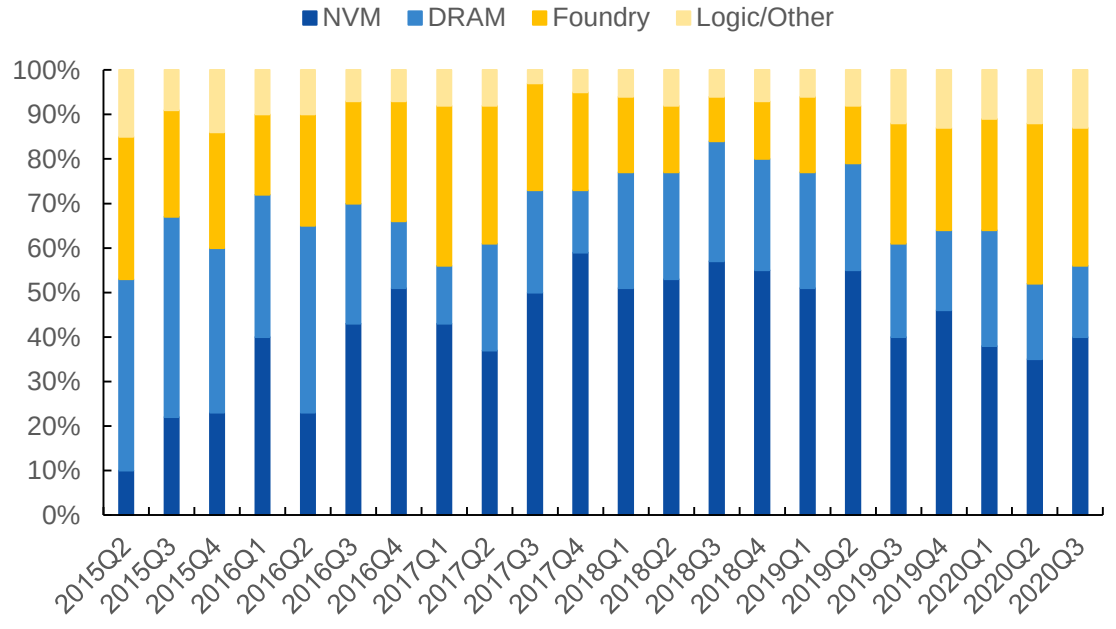
- **回溯刻蚀龙头拉姆研究往期业绩变化，存储类设备业绩弹性最大，逻辑和代工类设备长期稳定增长。**刻蚀设备绝对龙头Lam Research全球市占率达50%以上，公司总营收从2013年36亿美元到2019的96.5亿美元，其中NVM存储刻蚀设备业务是业绩高速增长的主要动能。
- **近五年公司存储类刻蚀NVM+DRAM营收占比维持在50%以上，产品结构中以存储类设备为绝对核心。**可以认为Lam Research的崛起和存储刻蚀机的需求息息相关，参考海外龙头，国内存储芯片制造企业以刚起步加持国产替代，掌握HAR刻蚀核心技术的中微公司优先受益。

图：Lam Research各类刻蚀机销售额（亿美元）



资料来源：Lam Research，国元证券研究中心

图：Lam Research各类设备销售占比（%）

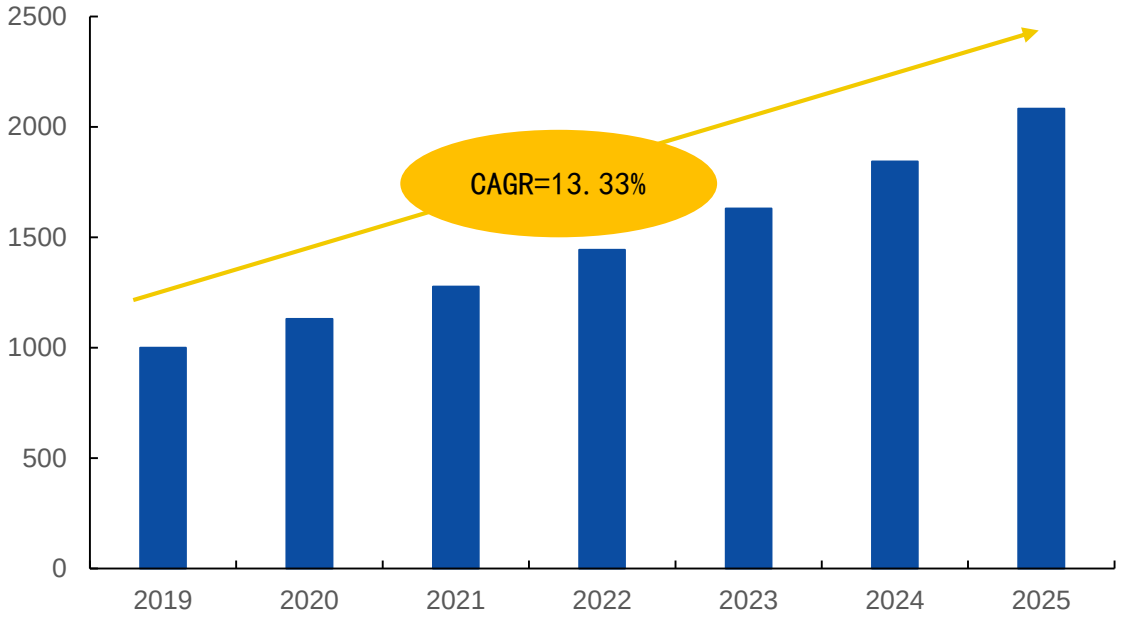


资料来源：Lam Research，国元证券研究中心

3.5拉姆研究与中微公司对比分析

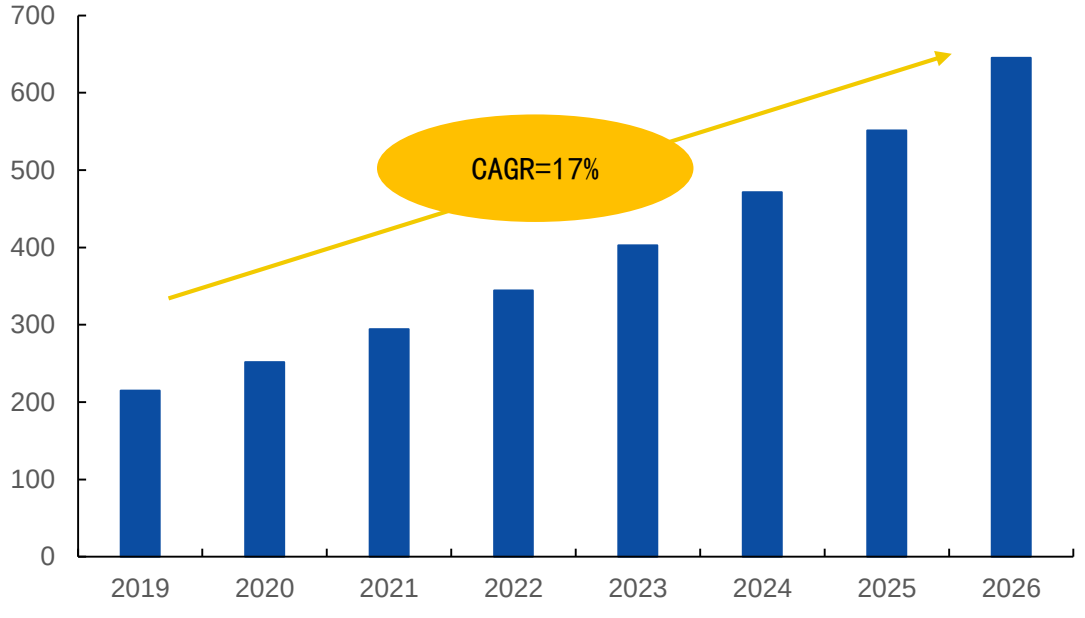
- 2019年全球半导体存储市场销售额约为1000亿美元，根据Global Market Insights的预测，到2026年全球半导体存储市场销售额能够达到2500亿美元，期间以期间以年复合13.33%的速度增长。亚洲与欧洲越来越多的数据中心建设，游戏与娱乐业的存储需求，中国与美国对SSD的需求增长，越来越多的RAM在汽车领域中的使用预计将会创造更多的市场机会，同时越来越多的采用可穿戴设备将推动消费电子产品市场份额，而消费电子占有着半导体存储市场的主要份额。
- 2019年，中国半导体存储器市场收入占全球存储市场份额22%左右,预计到2026年将达到约650亿美元，期间以年复合17%的增速增长。预计中国由于较低的价格等优势能为销售额带来较大的增速。

图：全球存储市场规模预测（亿美元）



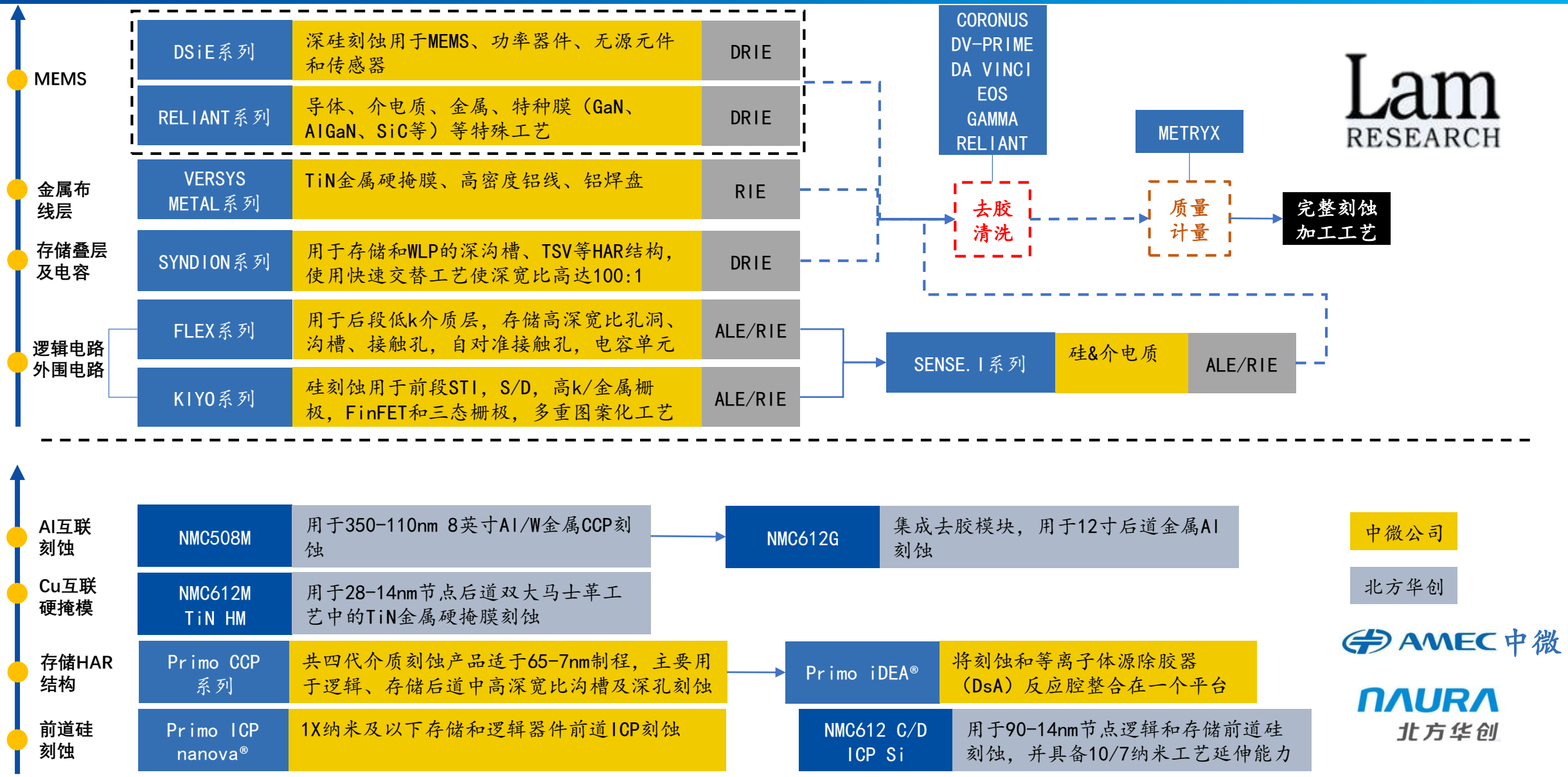
资料来源：Global Market Insights,国元证券研究中心

图：中国存储市场规模预测(亿美元)



资料来源：Global Market Insights，国元证券研究中心

3.5拉姆研究与中微公司对比分析



3.6国产刻蚀设备企业总结



3.7小结

- **刻蚀设备市场需求主要受两部分影响，1）尺缩+3D化使高深宽比刻蚀设备需求增多；2）多重曝光工艺等更复杂的制程导致刻蚀加工步骤增多。**目前刻蚀工艺设备龙头是美国公司泛林半导体，产品布局可实现除光刻外全薄膜工艺环节布局，与应用材料一样实现平台化。
- 中微公司和北方华创是国产刻蚀设备龙头，产品实用范围分别是介质和硅刻蚀。1）目前中微在介质刻蚀进展很快，技术已经进入7/5nm节点，而且主攻方向是高深宽比刻蚀。由于3D NAND和DRAM对高深宽比介质刻蚀设备需求更大，我们认为随着国产存储技术的突破和产能释放，将拉动国产介质刻蚀设备的需求。2）随着中芯国际14nm先进制程告捷，以及华虹进展飞快，国内逻辑芯片制造将迎来历史拐点，我们认为逻辑芯片将拉动国产硅刻蚀设备的需求。
- **供给端：**国内刻蚀设备技术储备已达到14nm及以下；

  需求端：长江存储+合肥长鑫为代表的存储芯片，中芯国际+华虹半导体为代表的逻辑芯片，为国产刻蚀设备提供需求。

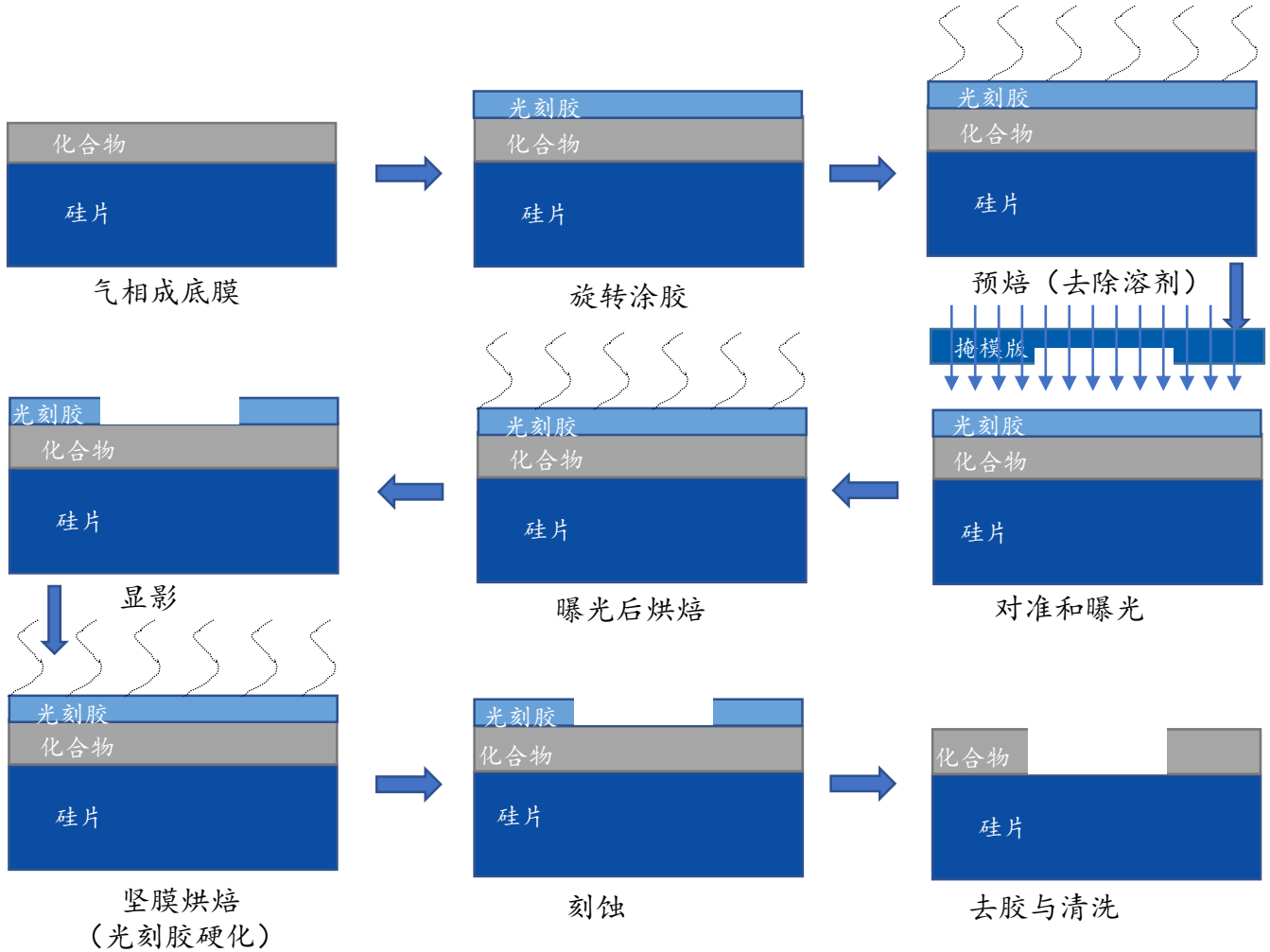
正文目录

- 第一部分：半导体设备是行业基石，国内企业即将迎来历史转折期
- 第二部分：芯片制造工艺流程拆分：薄膜工艺介绍及国内外龙头对比分析
- 第三部分：芯片制造工艺流程拆分：刻蚀工艺介绍及国内外龙头对比分析
- 第四部分：芯片制造工艺流程拆分：光刻工艺介绍及国内外龙头对比分析
- 第五部分：芯片制造工艺流程拆分：清洗工艺介绍及国内外龙头对比分析
- 第六部分：国产设备企业介绍

4.1集成电路中的光刻工艺简介

- 光刻的本质就是把临时电路结构复制到硅片上，这些结构首先以图形形式制作在掩模版上。光源透过掩模版把图形转移到硅片表面的光敏薄膜上。
- **光刻工艺流程：涂布、预焙、对准曝光、显影、硬化、刻蚀、去除清洗等一系列步骤。**所涉及到的主要设备有光刻、涂布、曝光显影、量测和清洗设备，其中价值量最大且技术壁垒最高的部分是光刻机。
- **目前高端光刻机被荷兰ASML公司垄断，中低端光刻机供应商有Canon和Nikon。**国产光刻机进展较慢，其余配套设备目前已经达到14/28nm技术水平。

图：光刻步骤流程图



资料来源：图解芯片技术，国元证券研究中心

4.2光刻机技术演进

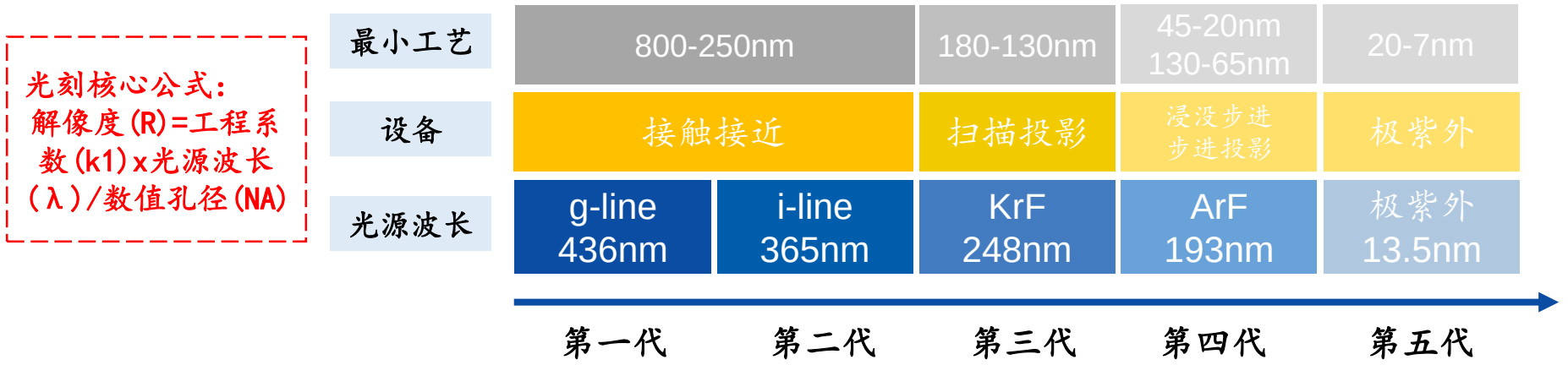
- 光刻机经历了5代产品发展，按照使用光源分别为g-line、i-line、KrF、ArF和EUV。2010年ASML推出第一台EUV光刻机NXE:3100,目前是全世界唯一一家能够设计和制造EUV设备的厂商。
- 技术节点的发展推动着半导体曝光技术解像度的发展，光刻设备核心参数解析度可以通过调节数值孔径NA或工程系数k1来优化。

表：高端逻辑半导体的技术节点和对应的EUV曝光技术的蓝图

技术节点	量产时间	解像度 R	数值孔径 NA	工程系数 k1	曝光次数
7nm	2019	19nm	0.33	0.46	1
5nm	2020-2021	16nm	0.33	0.39	1
				0.46	2
3nm	2022-2023	12nm	0.33	0.29-0.46	1-3
	2024		0.55	0.46	1
2nm	2026-?	9nm	0.55	0.37	2

资料来源：半导体行业观察，国元证券研究中心

图：光刻机技术迭代路径图



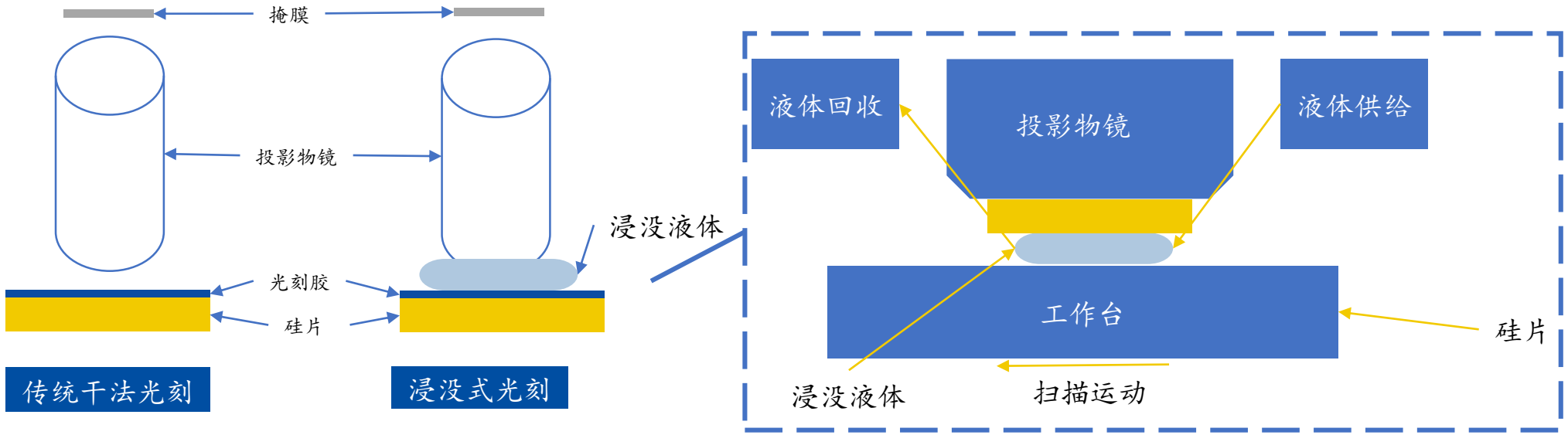
资料来源：ASML公司公告,国元证券研究中心

4.2光刻机技术演进

- **光刻系统中常用的DUV准分子激光器是248nm波长的KrF和193nm波长的ArF，ASML崛起便是靠性价比极高的浸入式光刻快速打败当时的日系企业成为行业龙头。**使用193nm ArF光源的干法光刻，其工艺节点可达45/40nm，但是在小于45nm制程ArF光刻机会出现分辨率不足的问题。2003年，ASML和台积电合作开发推出了第一款浸没式光刻机，浸没式光刻技术需要在光刻机投影物镜最后一个透镜的下表面与硅片上的光刻胶之间充满高折射率的液体以提高分辨率，浸没式光刻机是65-45nm节点最为成熟可靠设备。



图：干法与浸入式光刻机的区别

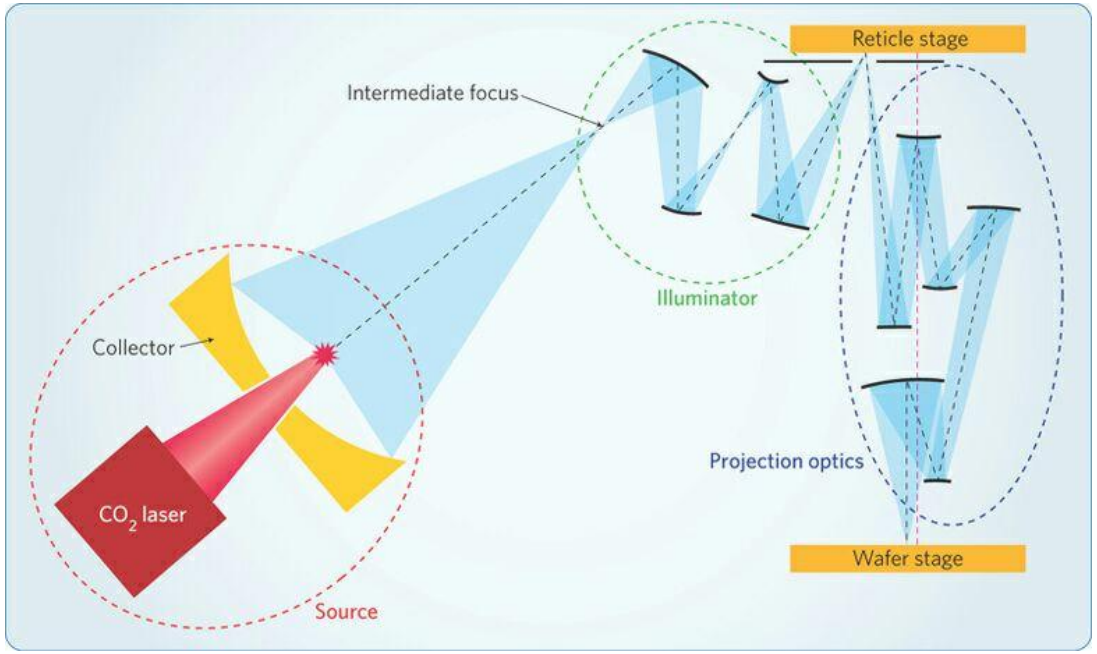


资料来源：百度文库，国元证券研究中心

4.3颠覆性改变：由浸入式光刻机变向EUV

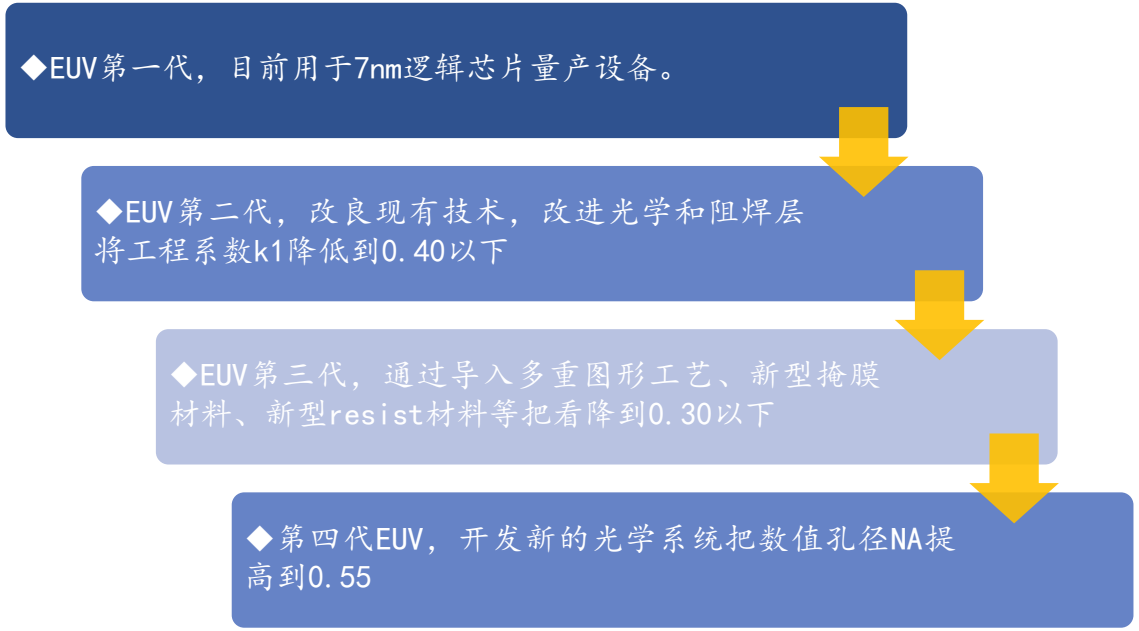
- EUV光刻系统有三个不同以往的关键改变—EUV光源、反射式光学系统、真空腔。为了提供波长更短的光源，采用高功率二氧化碳激光器照射锡金属液滴激发出13.5nm的光子作为光源。同时，这种光也无法以玻璃透镜折射，必须以硅与钼制成的特殊镀膜反射镜，来修正光的前进方向，反射镜的制造难度非常大，精度以皮米计（万亿分之一米）。因为每一次反射会有30%的能量损耗，一台EUV机台要经过十多面反射镜，将光从光源导到晶圆最后大概只能剩下不到2%的能量。
- EUV光刻机规划路径分为四代，目前处于第一代产品，应用于7nm逻辑芯片量产线上。EUV尚存在巨大提升空间来维持未来制程的推进。

图：EUV光刻机工作原理图



资料来源：公开资料整理，国元证券研究中心

图：EUV光刻机发展规划路径



资料来源：半导体行业观察，国元证券研究中心

4.3颠覆性改变：由浸入式光刻机变向EUV

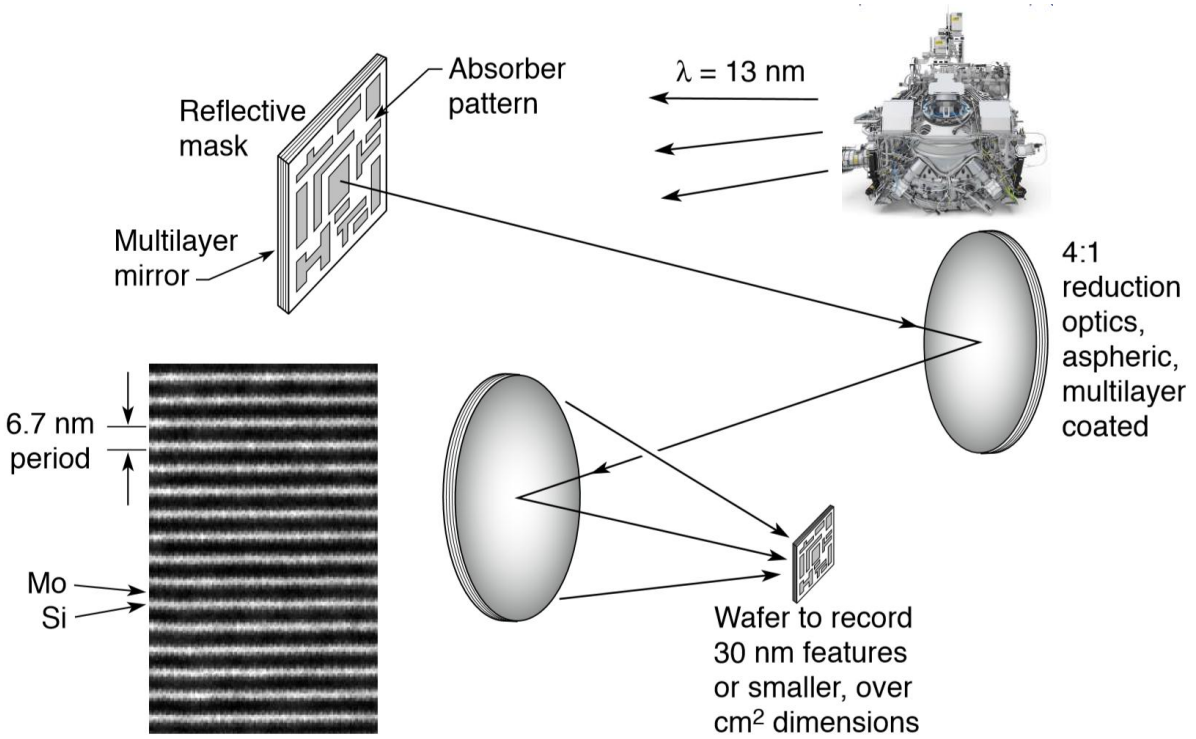
EUV LCC：1997到2003年期间由英特尔，AMD，摩托罗拉、美国三大国家实验室、ASML、英飞凌和Micron组成EUV LLC，集数百位科学家发表了大量论文证明了EUV光刻机的可行性，完成初期核心理论积累。

光源：2013年ASML收购全球领先的准分子激光器厂商Cymer，完成核心元件布局，为光源技术提供了保障。Cymer拥有世界领先的光源技术，2009年提供首个生产就绪的激光产生的等离子EUV源。

光学透镜、反射镜：2017年，公司以20亿美元入股Carl Zeiss SMT，布局EUV核心元件光学镜头和反射镜系统。

除最复杂的光学系统外，供应商还有德国Heidenhain的工作台，美国MKS Instruments的真空控制系统，台湾、日本的材料和零件等。

图：EUV光刻机核心部件拆分



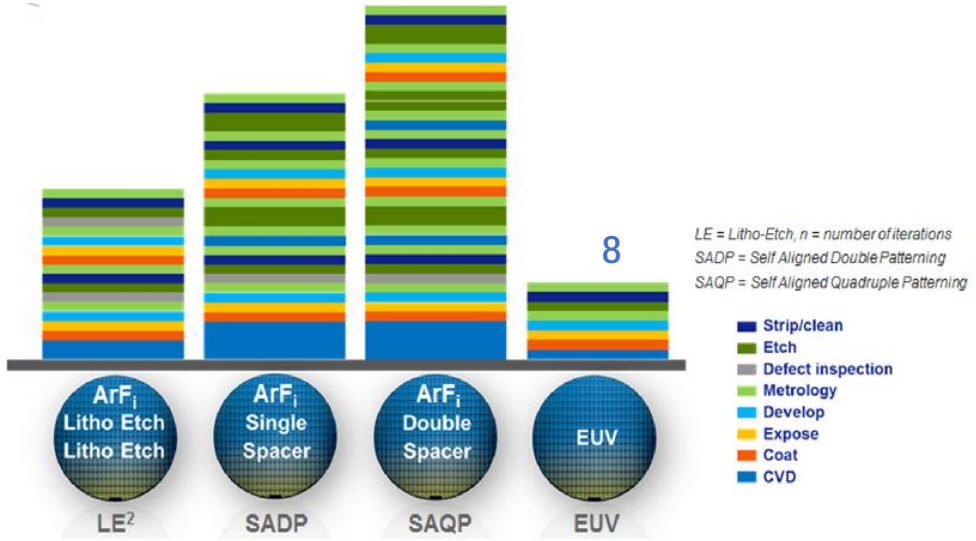
资料来源：Berkeley Lab，国元证券研究中心

4.3颠覆性改变：由浸入式光刻机变向EUV

- **7nm以上制程可以通过工艺改良结合浸入式193nm光刻机满足制造需求，7nm以下制程EUV成为无法替代的核心设备。**7nm以上使用多重图像工艺虽然可以解决尺寸问题，但是代价是翻倍的加工步骤、骤降的吞吐量和更高的加工成本。7nm以下引入EUV只需要一道光刻，可以大幅降低成本和提高吞吐量。
- **目前来看，EUV光刻机是7nm以下先进制程的最优解，尚存巨大提升空间。**目前量产化EUV设备还处于一代机阶段，后续机台端改良和加工工艺优化结合延续摩尔定律。

图：EUV光刻机可以优化现有制造流程

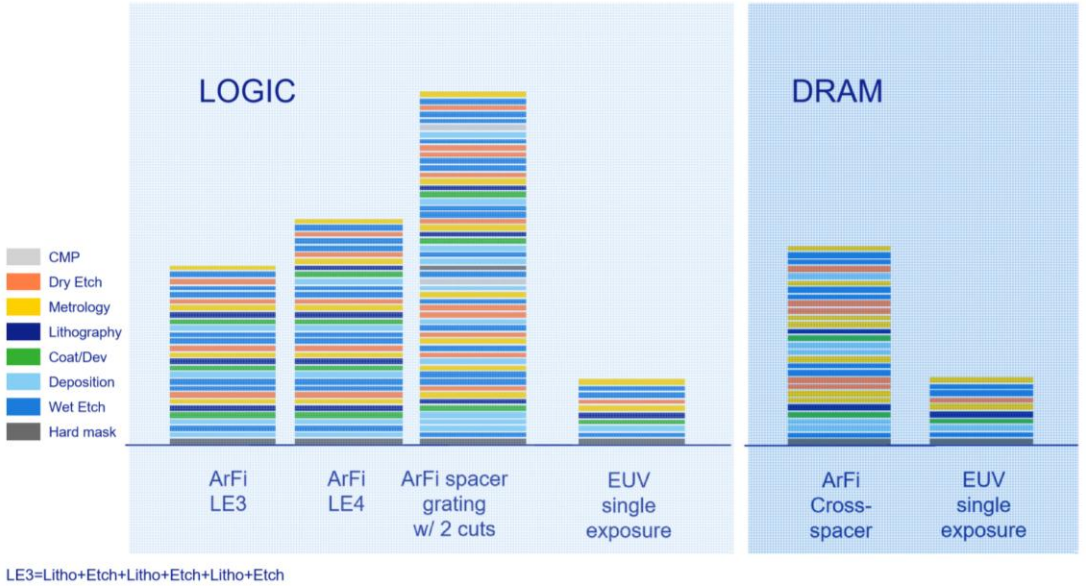
相比于使用EUV	LELE工艺	SADP工艺	SAQP工艺
加工步骤	X2	X4	X5
成本	+10%	+30~50%	+>50%
循环时间	X2	X4	X5



资料来源：ASML公司公告，国元证券研究中心

图：EUV光刻机可大幅度降低逻辑和存储加工步数

不同制逻辑&存储完整光刻工艺所需加工步数对比，引入EUV后只需要单次曝光，各方面得到大幅度改善。后期可以结合多重曝光工艺来延续摩尔定律。

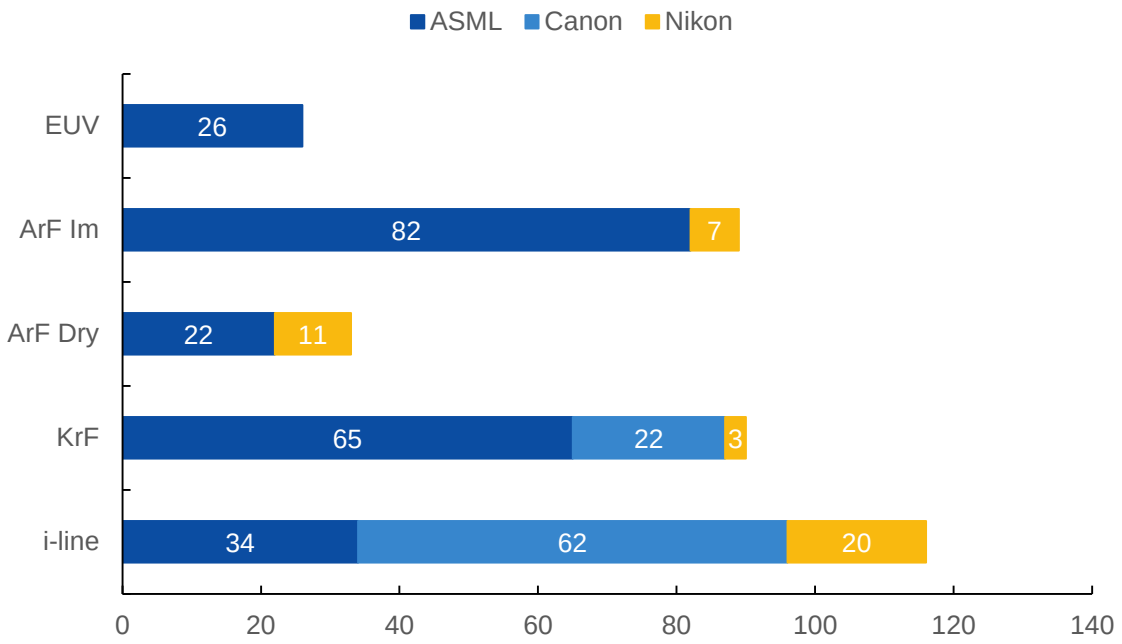


资料来源：ASML公司公告，国元证券研究中心

4.4全球光刻机市场竞争格局

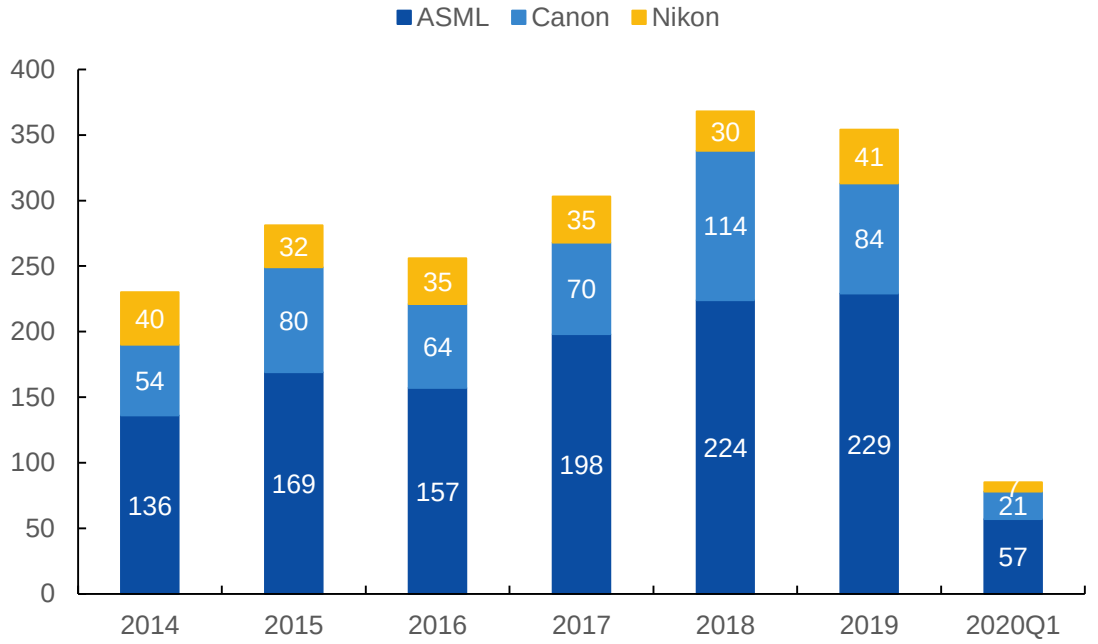
➢ **目前全球光刻机被ASML、Canon和Nikon三家供应商包揽，其中最先进的EUV机台只有ASML提供，中低端设备ASML也占据大部分市场。**ArF类光刻机市场ASML处于绝对竞争优势，Nikon只提供少量干法设备供给，KrF与i-line设备则是与Nikon和Canon相互竞争。近几年光刻机市场需求呈上升趋势，ASML光刻设备数量市占率一直保持在60%以上。

图：2019年各类光刻机销售情况



资料来源：ASML、Canon、Nikon公司公告,国元证券研究中心

图：近几年全球光刻机销售数量情况

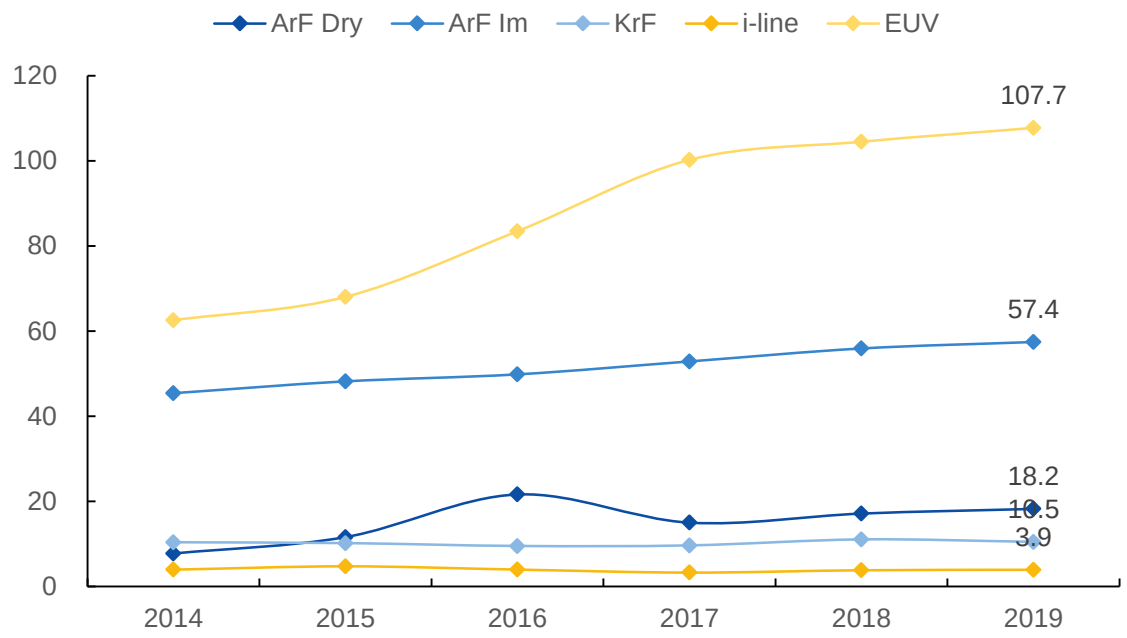


资料来源：ASML、Canon、Nikon公司公告，国元证券研究中心

4.4全球光刻机市场竞争格局

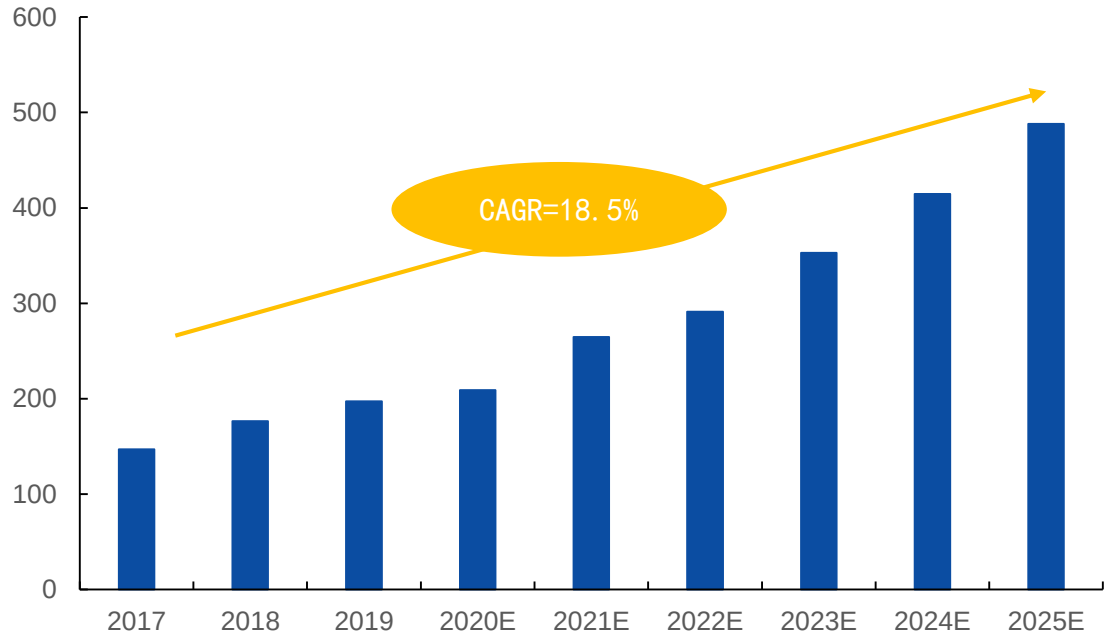
- 我们根据ASML公司公告数据测算各光刻机价格，EUV设备平均每台高达1亿欧元，市场需求最多的浸入式ArF设备平均每台在0.56-0.58亿欧元，光刻机系统随着功能的改善以及吞吐量、良率等参数指标的改善，价格也在逐步提高。
- **产业转移和建厂潮的推动，以及全球落后制程的淘汰和产线升级，全球光刻设备市场将不断增长。**预计2025年全球光刻机市场规模将达到4.917亿美元，期间以年化18.5%的复合增速增长。

图：ASML各类光刻机价格（百万欧元）



资料来源：根据ASML公司公告测算，国元证券研究中心

图：全球光刻机市场规模及预测（百万美元）

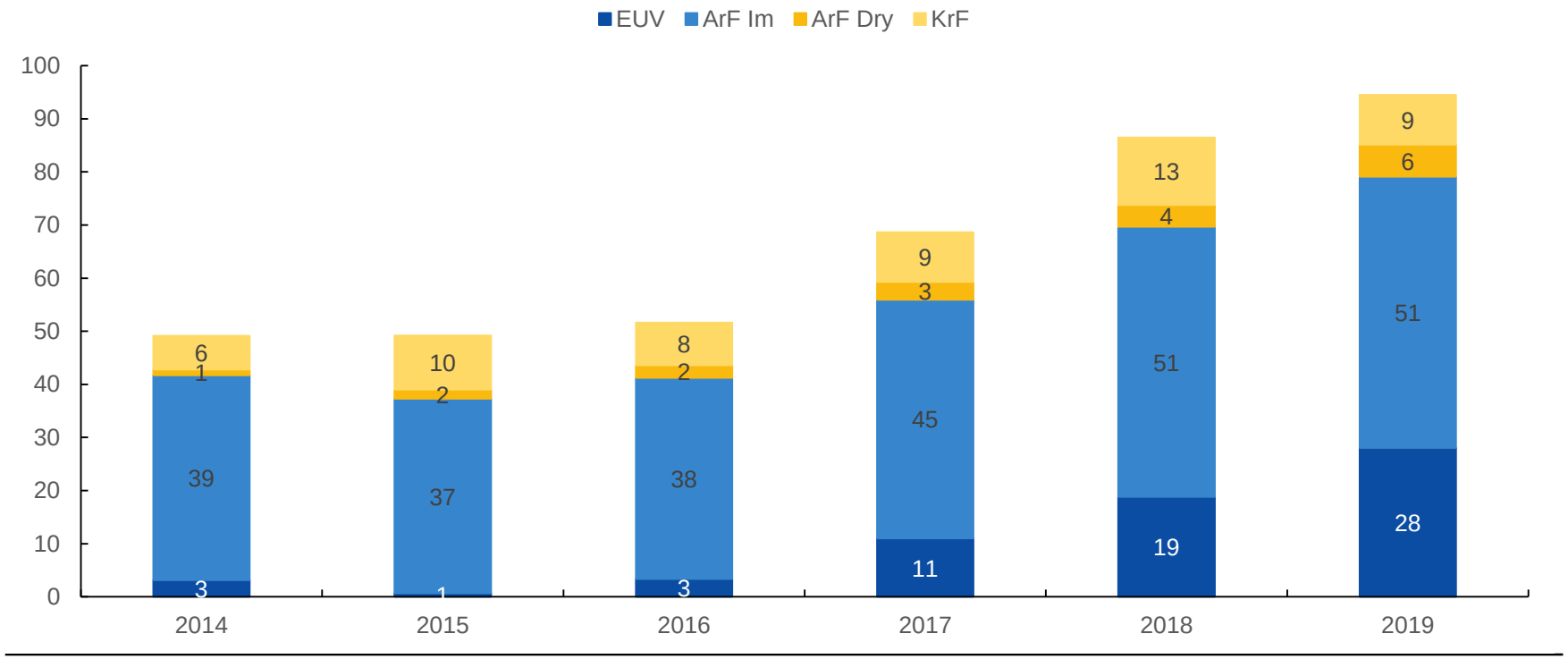


资料来源：中国报告网，国元证券研究中心

4.5ArF光刻机是市场主流需求，有望成为国产光刻机突破点

- **ArF光刻机是目前市场主流机型，且长期保持稳定增长，鉴于我国目前的技术开发进度，ArF光刻机是最有望实现国产化的机型。**根据我们测算，ArF浸入式光刻机市场空间大概50亿欧元，因为其泛用性广、量产技术成熟、维护保养相对简单等优点，下游需求旺盛。ArF Im机台可用于生产90-7nm大部分主流制程产品，覆盖先进和成熟工艺两大领域。虽然先进制程前道开始导入EUV设备，但是同理，中后道也有望升级光刻设备，使用更多的ArF Im机台填补EUV设备侵占的份额，且需求远高于前道光刻设备。目前国内在浸入式光刻机领域部分技术有所突破，中短期有望实现整机国产化。

图：ASML各类光刻机价格（百万欧元）

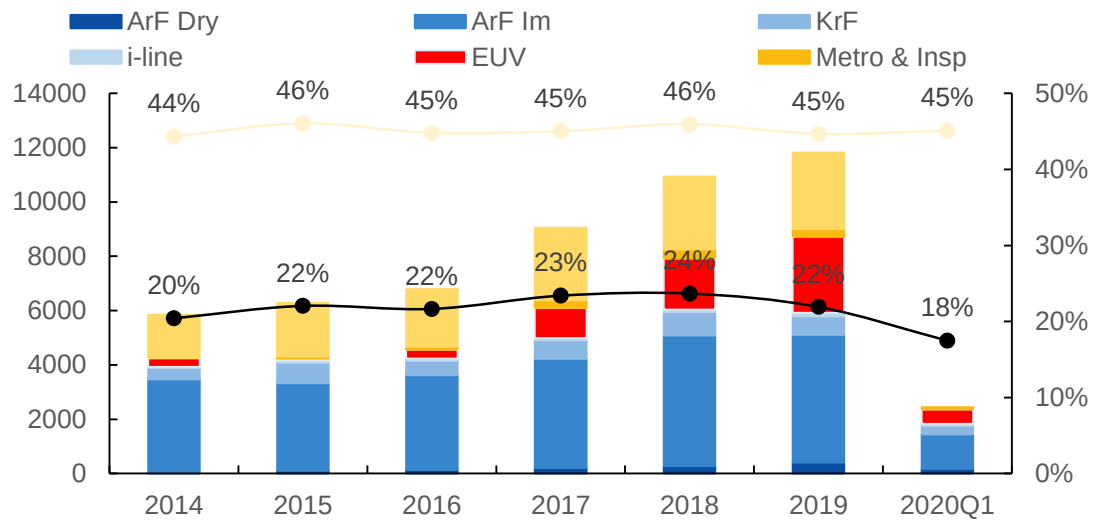


资料来源：ASML、Canon、Nikon公司公告，国元证券研究中心

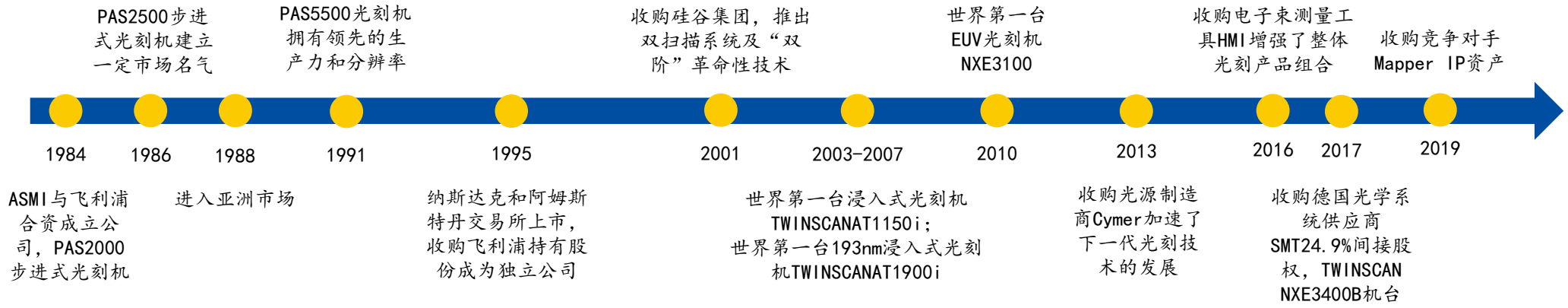
4.6阿斯麦与国产光刻机对比分析

- **回溯刻蚀龙头拉姆研究往期业绩变化，存储类设备业绩弹性最大，逻辑和代工类设备长期稳定增长。**刻蚀设备绝对龙头Lam Research全球市占率达50%以上，公司总营收从2013年36亿美元到2019的96.5亿美元，其中NVM存储刻蚀设备业务是业绩高速增长的主要动能。
- **近五年公司存储类刻蚀NVM+DRAM营收占比维持在50%以上，产品结构中以存储类设备为绝对核心。**可以认为Lam Research的崛起和存储刻蚀机的需求息息相关，参考海外龙头，国内存储芯片制造企业以刚起步加持国产替代，掌握HAR刻蚀核心技术的中微公司优先受益。

图：ASML营收拆分（百万欧元）及毛净利率



资料来源：ASML年报，国元证券研究中心



4.6阿斯麦与国产光刻机对比分析

- 上海微电子装备(集团)股份有限公司(简称SMEE)主要致力于半导体装备、泛半导体装备、高端智能装备的开发、设计、制造、销售及技术服务。公司设备广泛应用于集成电路前道、先进封装、FPD 面板、MEMS、LED、Power Devices 等制造领域。
- 公司发展至今，已经完全掌握了先进封装光刻机、高亮度LED 光刻机等高端智能制造领域的先进技术。公司的光刻机具有超大视场，可实现高产率生产；支持翘曲片、键合片曝光高精度套刻能力；具有高精度温度控制能力，能够实现高能量曝光条件下的稳定生产；同时具备多种双面对准装置，支持可见光直接测量。

SMEE

2002 上海微电子装备有限公司成立

2009 首台先进封装光刻机产品SSB500/10A交付用户

2012 SSB500系列先进封装光刻机首次实现海外销售

2013 国产首台用于2.5代AMOLED TFT电路制造的SSB225/10成功交付用户

2016 首台暨国内首台前道扫描光刻机交付用户

2017 公司完成股改，正式更名为上海微电子装备（集团）股份有限公司

2017 中国首台新型显示用6代高分辨率TFT曝光机发运。

2018 90nm光刻机项目正式通过验收。



SSX600系列光刻机

用于IC前道制造



SSB500系列光刻机

用于IC后道先进封装



SSB300系列光刻机

用于LED、MEMS、Power Devices制造

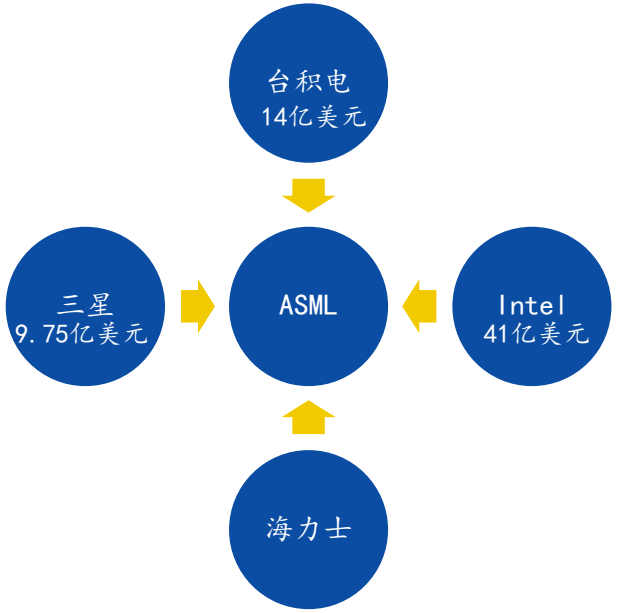


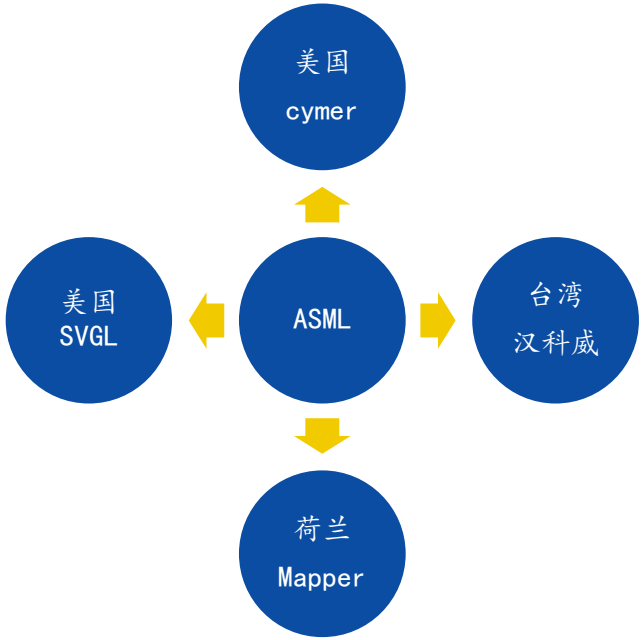
SSB200系列光刻机

用于TFT曝光

4.6阿斯麦与国产光刻机对比分析

- “技术创新”是ASML核心推动力，ASML采取的“开放式创新”理念是通过与供应商、客户、研究机构、学院等建立开放研究网络，合理共享技术与成果，大大加快了创新速度，快速形成技术壁垒。
- ASML的三大客户英特尔、三星、台积电、海力士均是其股东，共同研发每年可以为ASML分担巨额的经费，公司则给予股东优先供货权。
- ASML通过一系列战略并购与入股，快速获得上游核心电子束、光源、镜头技术及专利，既可以快速弥补自身技术需求，又可以提高行业进入壁垒，保持垄断地位。凭借着与客户的合作研发以及对上游公司并购得到的核心技术与专利，ASML不断提高着在光刻机设备领域的竞争力。

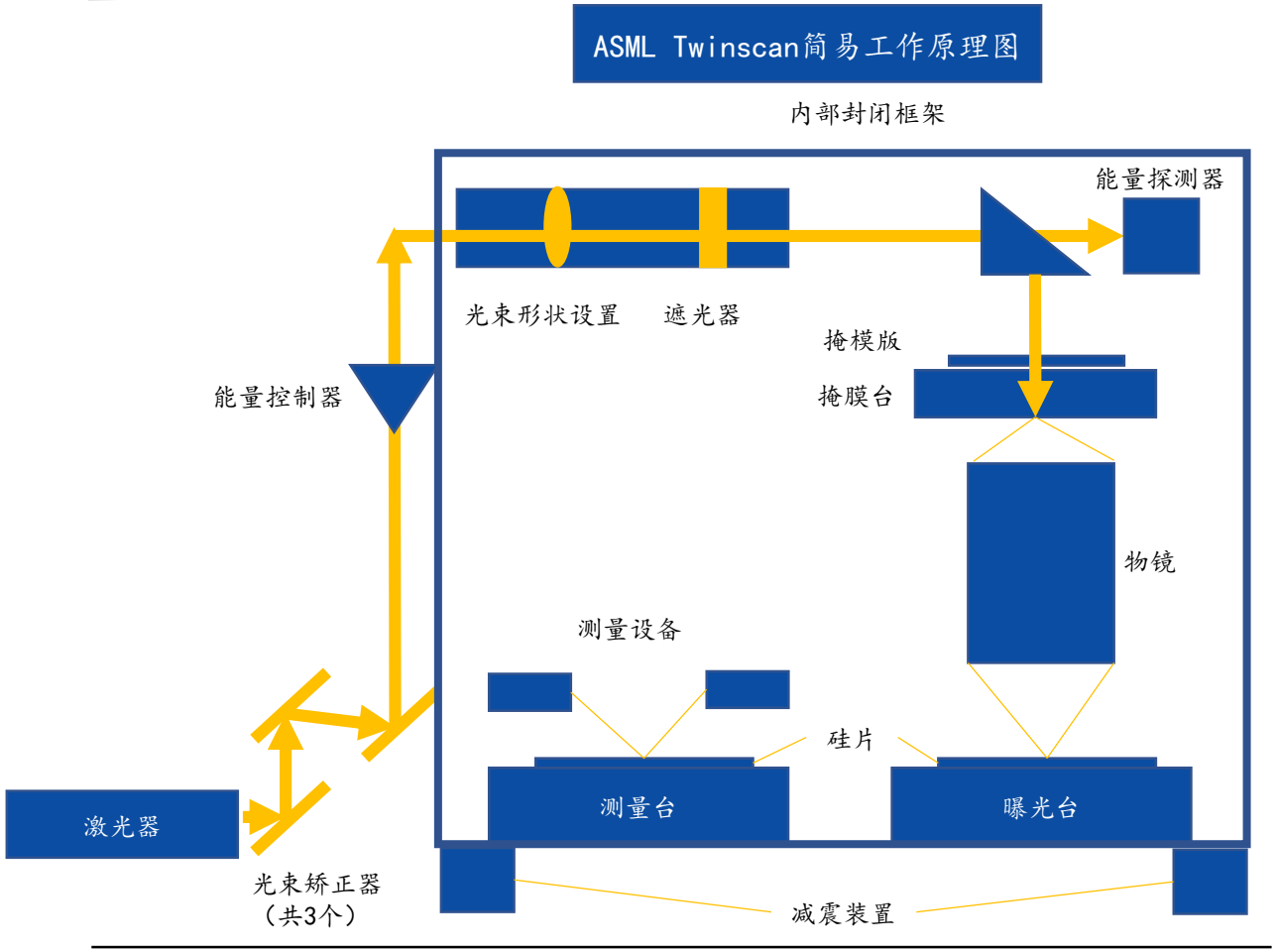




4.6阿斯麦与国产光刻机对比分析

- **EUV光刻机由于技术壁垒极高，中短期国产化可能性非常低。**EUV光刻机从1997年EUV LLC组织成立集全球顶级科研阵容完成可行性理论框架，到2010年ASML推出第一台概念机3100，再到2019年台积电开始使用EUV N7+工艺量产7nm芯片。20年以上的开发周期、汇集全球的研发团队使EUV设备技术壁垒极高，中短期国产化难度太高。
- **真正使用最广泛的、市场空间最大的是浸入式ArF光刻机，它的普适性更广，制程覆盖90-7nm工艺。**EUV机台量产化也刚刚起步，目前只有在最先进制程的前、中段才会用到。浸入式ArF光刻机是技术最成熟、制程迭代最平滑的机台，突破难度远小于EUV。国内在这部分已经有一定技术储备，90nm以下浸入式光刻机是目前最有希望快速实现国产化的设备。
- **浸入式光刻机主要分为几大部分：**1）双工件台系统：华卓精科；2）浸液系统：启尔机电；3）激光源系统：科益虹源、上海神光激光；4）激光晶体和光学元件：福晶科技、奥普光电；5）光学系统：国望光学、国科精密；6）系统集成设计：上海微电。

图：ASML Twinscan简易工作原理图



资料来源：公开资料整理，国元证券研究中心

4.6阿斯麦与国产光刻机对比分析

图：浸入式光刻机结构拆分及国产核心零件供应商

上海微电子

上海微电子为中国光刻机国产化的中坚力量，目前打造出的光刻机覆盖90nm至280nm制程。预计将在2021-2022年交付第一台28nm工艺的国产浸没式光刻机。

整机制造



激光晶体及光学元件

奥普光电

奥普光电是长春光机所出资成立的高新技术企业。公司所研制的光学晶体材料可用于紫外光刻元件领域。

福晶科技

福晶科技是全球非线性光学晶体的龙头。公司的非线性光学晶体市占率全球领先。

物镜系统

国科精密

2018年，国科精密负责的02专项“高NA浸没光学系统关键技术研究”项目通过验收，标志着我国高端光刻机曝光光学系统研制成功。

北京国望光学科技有限公司

国望光学着重推进13.5nm极紫外EUV国产光刻机的研发进程。

上海神光激光技术制造装备研发有限公司

上海神光激光技术制造装备研发有限公司成立于2020年4月。致力于攻克超短脉冲激光、准分子激光和EUV光刻光源技术瓶颈。

北京科益虹源光电技术有限公司

科益虹源具备高端准分子激光技术研究和产品化能力。公司目前承担“国家02重大专项”、“浸没光刻光源研发”任务，预计2020年将与整机单位共同完成28nm国产光刻机的集成工作。

双工件台

华卓精科

华卓精科承担了国家科技重大专项02专项中“浸没式光刻机双工件台产品研制与能力建设”项目和“浸没双工件台平面光栅位置测量系统研发”项目。2020年4月，攻克了双工件台技术，这将为国产光刻机的发展提供极大帮助，并有希望在未来攻破7nm技术。

浸没系统

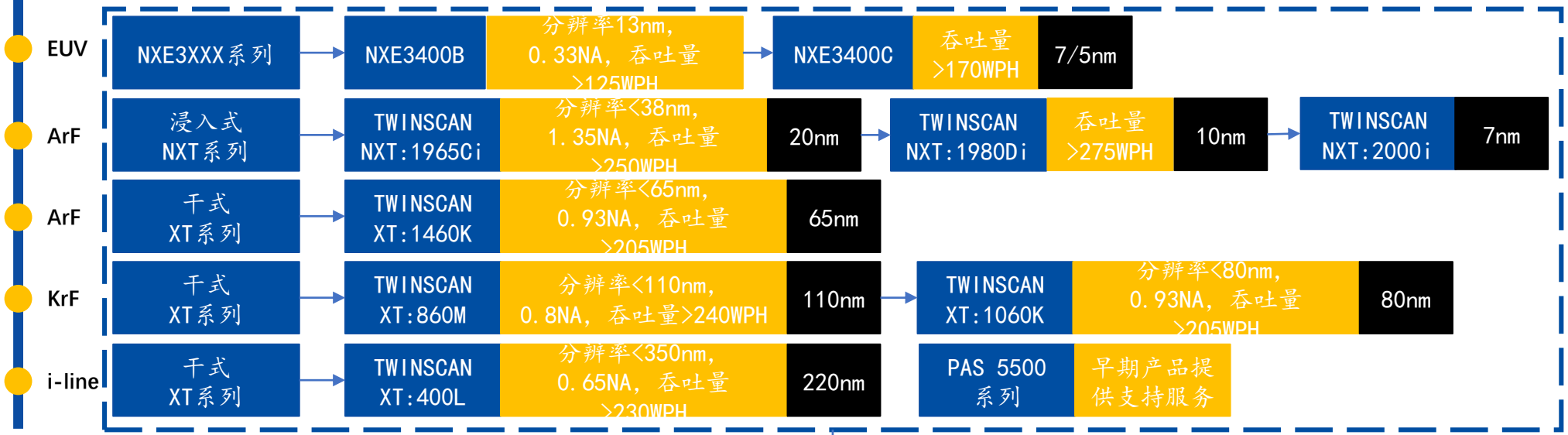
启尔机电

2017年，启尔机电承担国家02科技重大专项“28nm节点浸没式光刻机产品研发”的核心部件之一的“浸液系统产品研制与能力建设”项目。

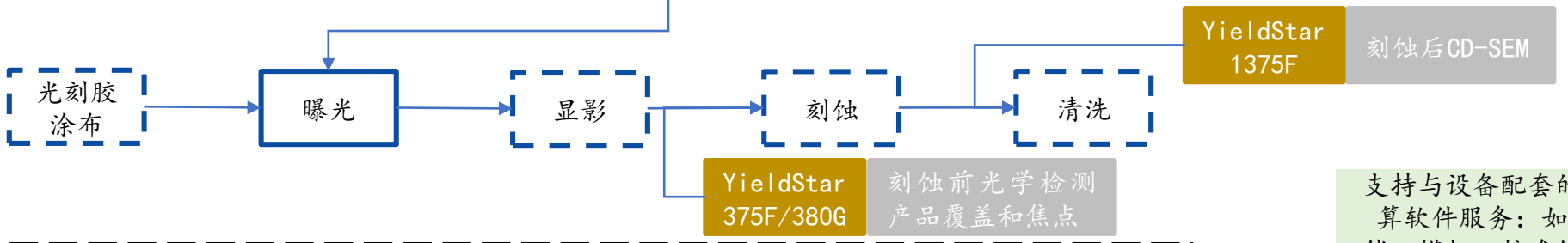
光源系统

资料来源：公开资料整理，国元证券研究中心

4.6阿斯麦与国产光刻机对比分析



ASML





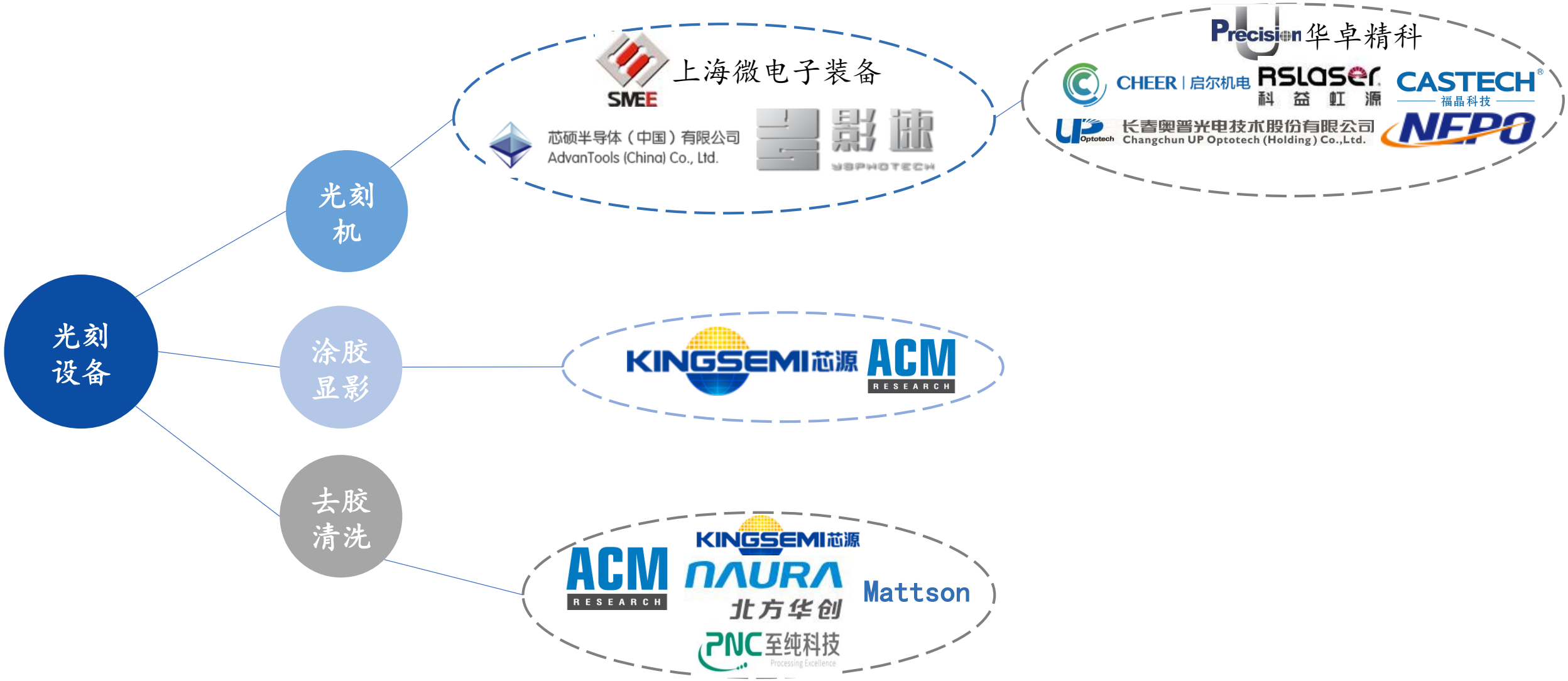
支持与设备配套的光刻计算软件服务：如光刻补偿、模拟、校准修正等，使软硬件协同作用提高良率。



除前道IC光刻设备外，公司在中后道先进封装和光学检测方面布局较全面。

上海微电子装备

4.7国产光刻设备企业总结



4.8小结

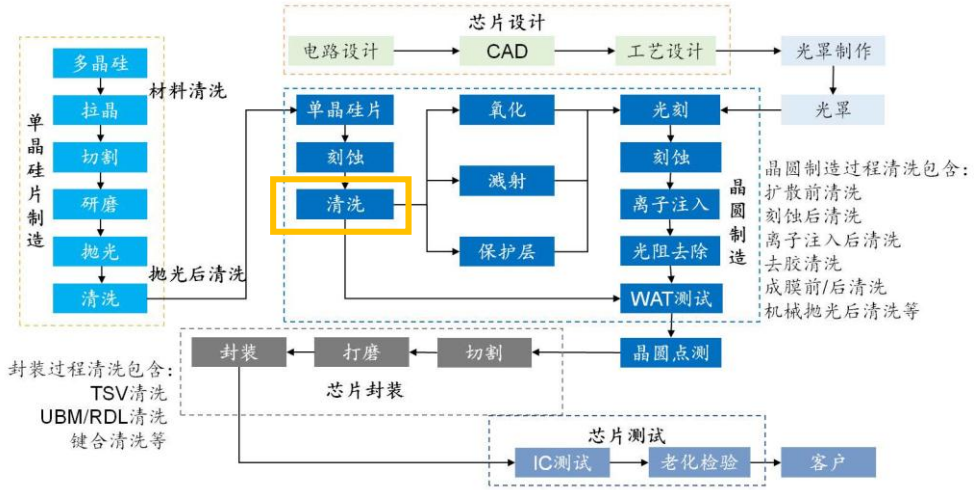
- **EUV光刻机是延续摩尔定律的关键以及现阶段最优解，而且改善空间巨大。**EUV是多方顶尖研发合作的产物，技术壁垒极高，短期国产化可能极低。
- **ArF浸入式光刻机市场空间大概50亿欧元，可用于生产90-7nm大部分主流制程产品，覆盖先进和成熟工艺两大领域。**虽然先进制程前道开始导入EUV设备，但是同理，中后道也有望升级光刻设备，使用更多的ArF Im机台填补EUV设备侵占的份额，且需求远高于前道光刻设备。目前国内在浸入式光刻机领域部分技术有所突破，中短期有望实现整机国产化。
- 浸入式光刻机主要分为几大部分：1）双工件台系统：**华卓精科**；2）浸液系统：**启尔机电**；3）激光源系统：**科益虹源、上海神光激光**；4）激光晶体和光学元件：**福晶科技、奥普光电**；5）光学系统：**国望光学、国科精密**；6）系统集成设计：**上海微电**。

- 第一部分：半导体设备是行业基石，国内企业即将迎来历史转折期
- 第二部分：芯片制造工艺流程拆分：薄膜工艺介绍及国内外龙头对比分析
- 第三部分：芯片制造工艺流程拆分：刻蚀工艺介绍及国内外龙头对比分析
- 第四部分：芯片制造工艺流程拆分：光刻工艺介绍及国内外龙头对比分析
- 第五部分：芯片制造工艺流程拆分：清洗工艺介绍及国内外龙头对比分析
- 第六部分：国产设备企业介绍

5.1集成电路中的清洗工艺简介

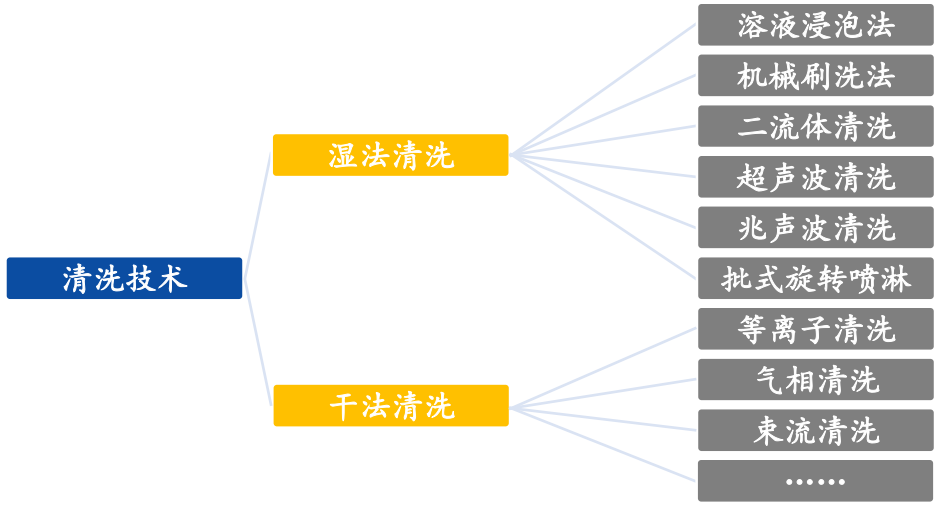
- **半导体清洗是贯穿整个晶圆制造过程的重要工艺环节，清洗工艺好坏是提升良率的关键。**随着尺寸缩小、结构复杂化，芯片对杂质含量的敏感度也相应提高，直接影响到产品良率，每降低1%的良率会给客户造成3000-5000万美元利润损失。清洗步骤数量约占所有芯片制造工序步骤30%以上，而且随着节点的推进，清洗工序的数量和重要性会继续提升，清洗设备的需求量也将相应增加。
- **半导体清洗技术可分为湿法和干法两种，湿法清洗是目前主流技术路线，占芯片制造清洗步骤数量的90%以上。**湿法清洗采用特定的化学药液和去离子水，对晶圆表面进行无损伤清洗。主要包括 RCA清洗法、超声清洗等，湿法清洗具有效率高、成本较低等优势，但由于化学试剂使用多，会造成化学污染、交叉污染、图形损伤等。干法清洗是指不使用化学溶剂的清洗技术。包括气相清洗法、等离子体清洗等，优点有清洗环境友好、低磨损等，但受限于成本高、控制精度要求等，目前无法大量应用于全部产线，在少量特定步骤会采用干法清洗。

图：半导体制程中的清洗工艺



资料来源：盛美招股书，国元证券研究中心

图：清洗技术分类

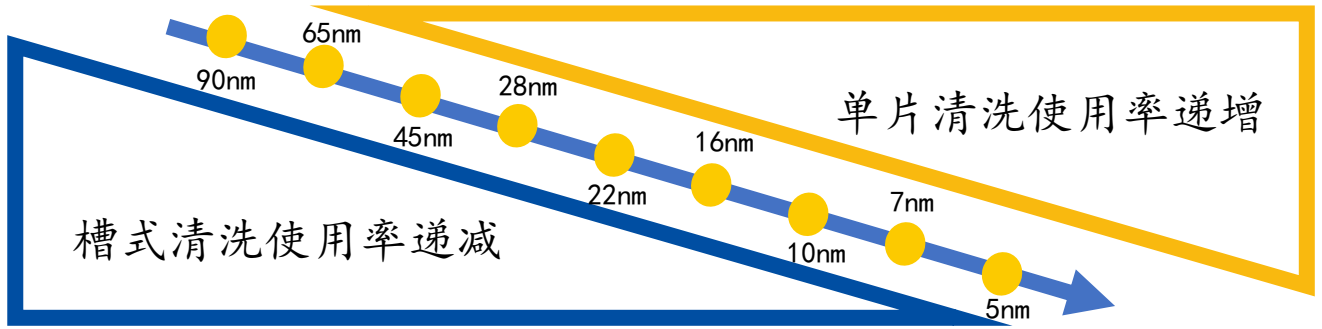


资料来源：盛美招股书，国元证券研究中心

5.2清洗技术演进及变化趋势

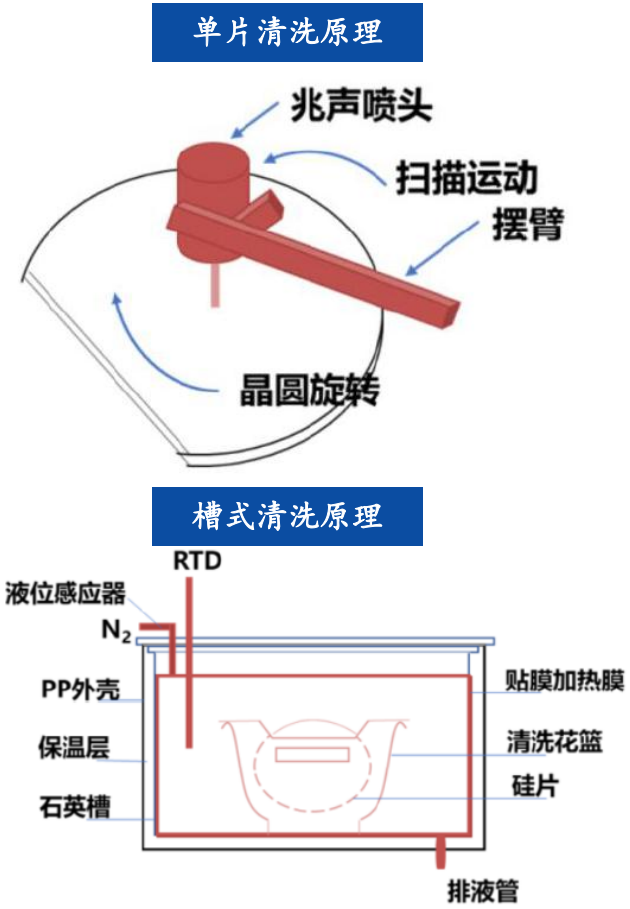
- 在湿法清洗工艺路线下，目前主流的清洗设备主要包括单片清洗设备、槽式清洗设备、组合式清洗设备和批式旋转喷淋清洗设备等。
- **单片清洗设备市场份额占比最高。**单片清洗的方式可以解决交叉污染的问题，但是设备产能较低，而槽式清洗的批量生产效果好，但污染风险较大。
- **先进制程中，单片单晶圆清洗逐渐取代槽式批量清洗。**在90-65nm工艺中，为节约成本、提高效率，往往以槽式设备清洗为主；而在更低线宽nm级工艺中，对杂质的容忍度较低，工艺越先进，单片清洗技术的占比往往越高。

图：槽式和单片使用率随工艺节点推进的变化



资料来源：公开资料整理，国元证券研究中心

图：单片和槽式清洗设备结构图



资料来源：盛美招股书，国元证券研究中心

5.2清洗技术演进及变化趋势

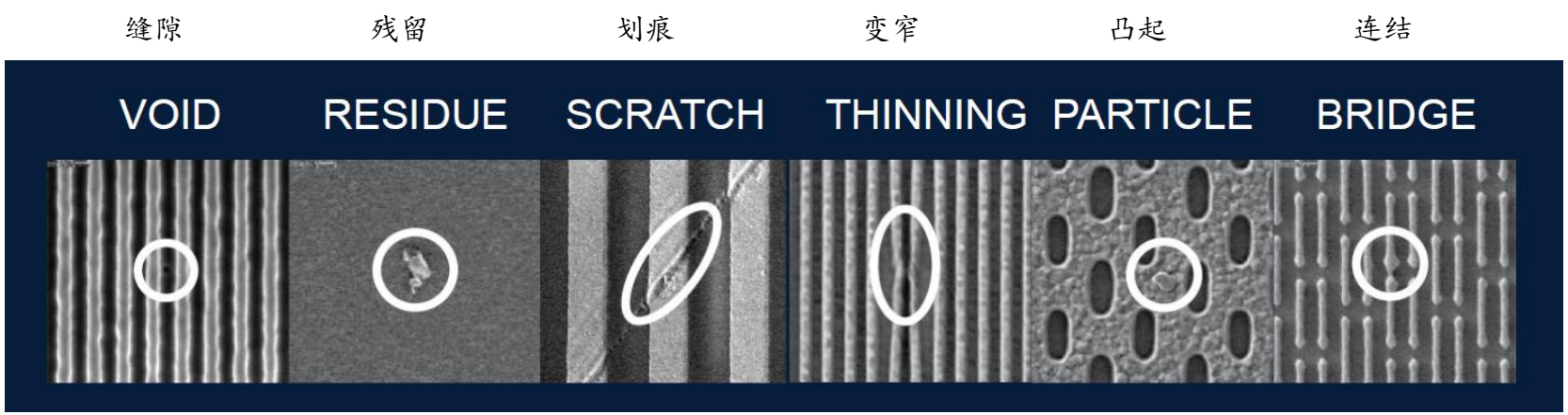
- 半导体清洗针对不同的工艺需求，对晶圆表面进行无损伤清洗以去除半导体制造过程中的颗粒、自然氧化层、金属污染、有机物、牺牲层、抛光残留物等杂质。
- **当芯片存在颗粒等污染物时，会直接影响后续的工艺，严重时会造成器件损坏或失效。**因此，需要清洗步骤以去除半导体制程每个步骤中可能存在的杂质，避免杂质影响芯片良率和产品性能。

表：污染物的种类、来源与危害

污染物	来源	主要危害
颗粒	环境其他工艺工程中产生	影响后续光刻，干法刻蚀工艺，造成器件短路
自然氧化层	环境	影响后续氧化，沉积工艺，造成器件电性失效
金属污染	环境，其他工艺工程中产生	影响后续氧化工艺，造成器件电性失效
有机物	下法刻蚀副产物，环境	影响后续沉积工艺，造成器件电性失效
牺牲层	策化／沉积工艺	影响后续特定工艺，造成器件电性失效
抛光残留物	研射液	影响后续特定工艺，造成器件电性失效

资料来源：盛美半导体，国元证券研究中心

图：晶圆制造过程中常见的缺陷

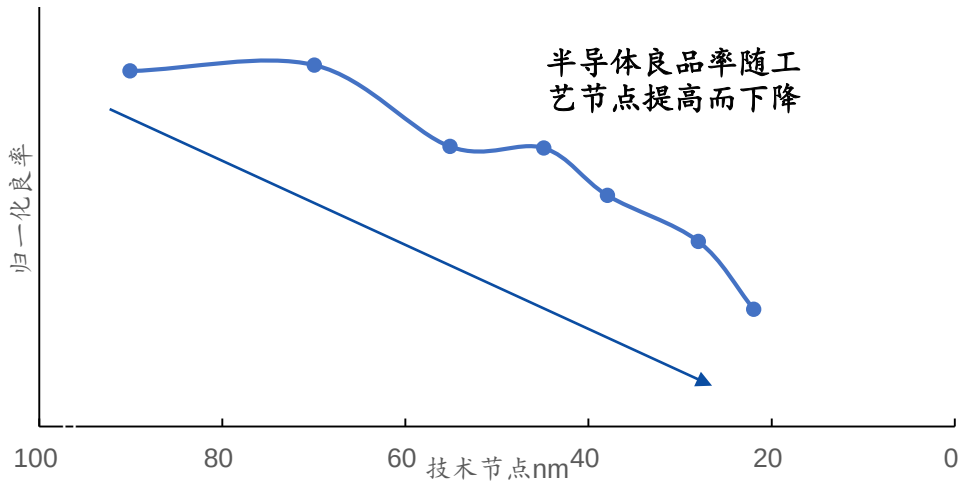


资料来源：AMAT，国元证券研究中心

5.2清洗技术演进及变化趋势

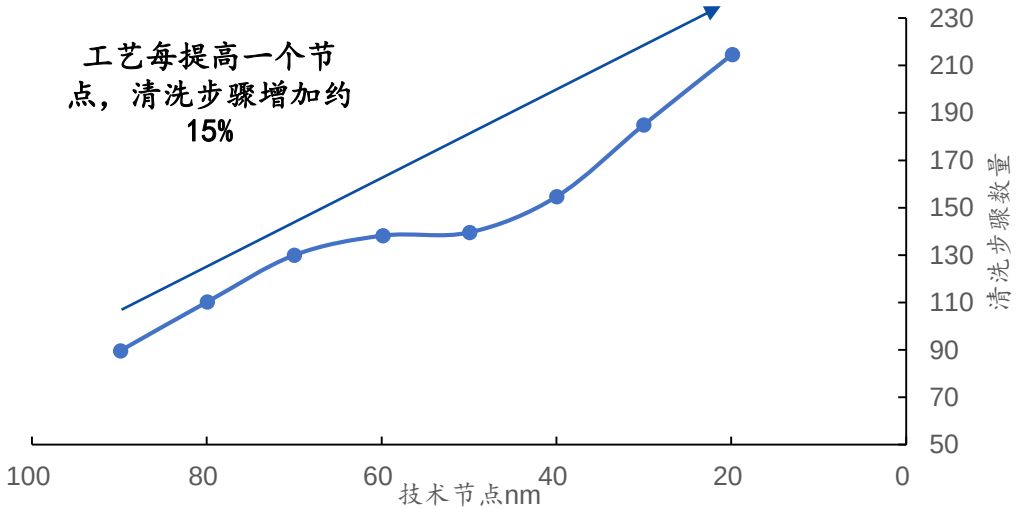
- **良率随制程节点推进下降，清洗工艺地位凸显。**随着工艺节点的不断推进，晶圆制造的良率随着线宽的不断缩小而下降，主要原因之一就是先进制程对杂质的存在更加敏感，同时更小尺寸的杂质更难清除。因此，提高良率的方法就是增加清洗步骤以及提升设备性能 。
- **制程工艺每推进一代，清洗步骤增加约15%。**半导体器件集成度和芯片复杂度的提高，使得芯片对杂质的敏感度大大提升。在工艺节点不断推进的前提下，为了降低杂质影响、提高良率，需要继续增加清洗步骤。在80~60nm的工艺制程中，清洗工艺约有100个步骤，而当工艺节点来到20nm以下时，清洗步骤增加至至200道以上。

图：工艺进步带来良率下降



资料来源：盛美招股书，国元证券研究中心

图：工艺进步带来清洗步骤增加

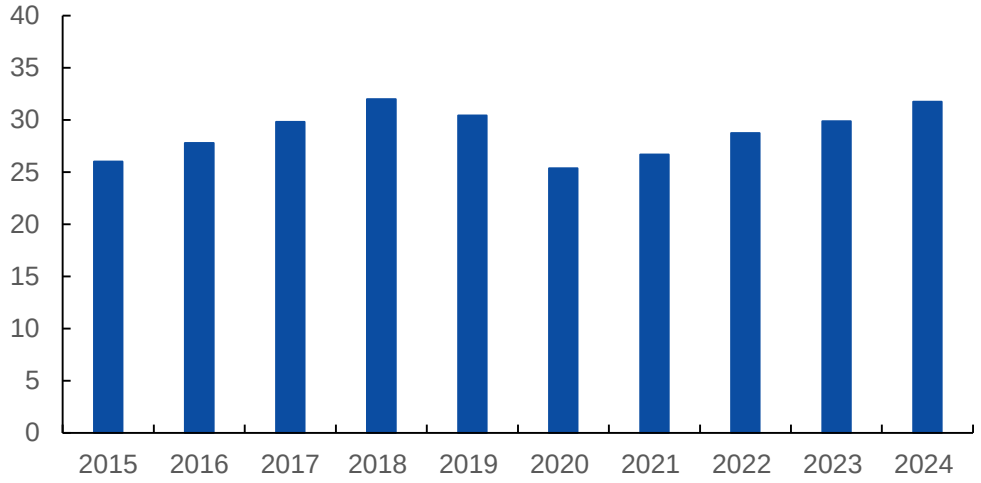


资料来源：2017年半导体设备年会，国元证券研究中心

5.3全球清洗设备市场竞争格局

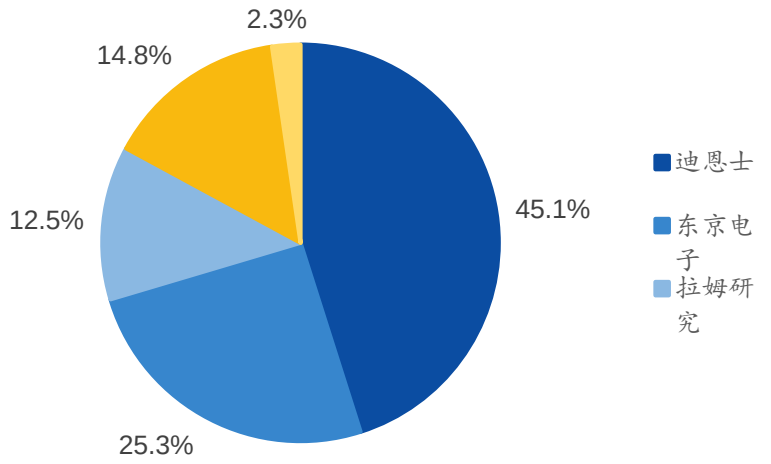
- **全球清洗设备市场规模大约30亿美元。**2019年和2020年受全球半导体行业景气度下行的影响有所下降，分别为30.49亿美元和25.39亿美元，预计2021年随着全球半导体行业复苏，全球半体清洗设备市场将呈逐年增长的趋势，2024年预计全球半导体清洗设备行业有望达到 31.93 亿美元。
- **导行业马太效应显著，行业高度集中。**全球半导体清洗设备市场主要由迪恩士、东京电子和拉姆研究等日美韩企业瓜分，市占率前四的企业合计占据约95%的市场份额，行业高度集中。日本厂商迪恩士以市占率54%处于绝对领先地位，国内清洗设备龙头盛美半导体市占率约2.3%，尚有巨大发展空间。

图：2015-2024年全球清洗市场规模（亿美元）



资料来源：Gartner，SEMI国元证券研究中心

图：2018年全球清洗设备企业市占率

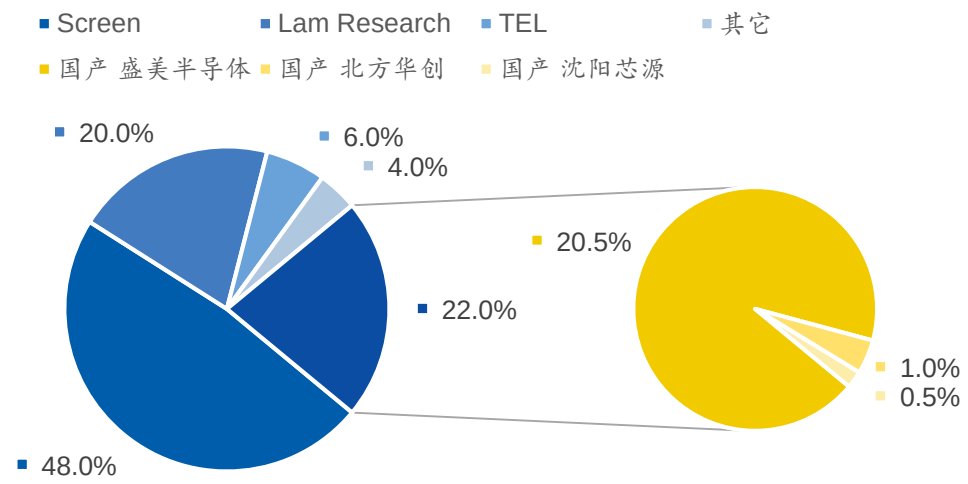


资料来源：Gartner，国元证券研究中心

5.3全球清洗设备市场竞争格局

- **本土清洗设备市场国有化率约为20%，国产化有望进一步加快。**根据中国国际招标网统计数据显示，在华虹无锡、长江存储和上海华力项目采购的清洗设备中，市场份额排序为Screen、盛美半导体、Lam Research、TEL和北方华创。
- **盛美半导体成为本土清洗设备市场的第二大供应商。**盛美半导体深耕单片式清洗设备，拥有全球首创的SAPS、TEBO兆声波清洗技术和Tahoe单片槽式组合清洗技术，产品适用于45nm以下节点；芯源微在光刻工艺拥有较完善的布局，单片去胶清洗设备主要是配合自身核心业务涂胶显影；北方华创通过收购美国Akrion Systems LLC实现槽式清洗设备产品布局，产品适用于28nm以上节点；至纯科技近年来通过在日韩团队的帮助下迅速成长，单片、槽式领域都具有一定竞争力。

图：国内清洗设备市场份额分布



资料来源：中国国际招标网，国元证券研究中心

表：长江存储和华虹无锡、华力二期项目采购的清洗设备来源

	Screen	Lam	TEL	北方华创	盛美	芝浦机电	沈阳芯源
长江存储	40%	16%	14%	2%	22%	-	-
华虹无锡	53%	21%	2%	-	21%	-	-
华力二期	53%	19%	-	-	19%	3%	1%

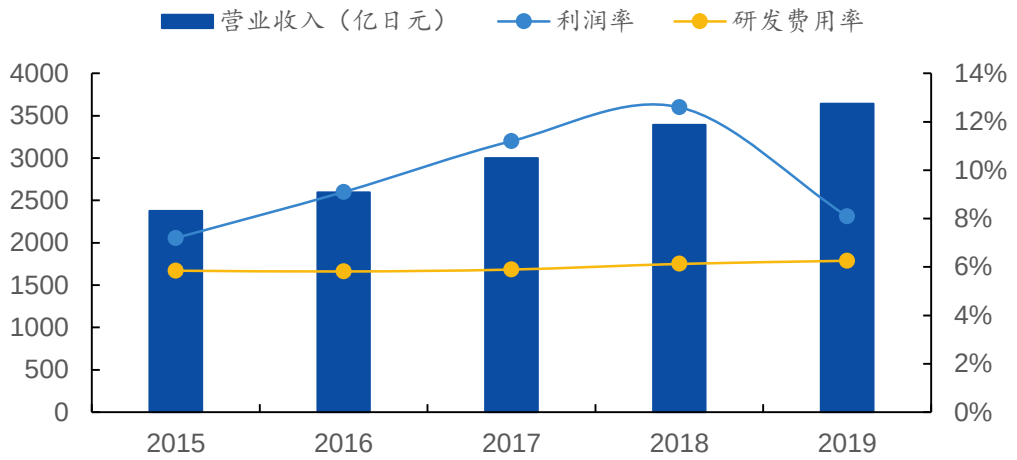
资料来源：中国国际招标网、国元证券研究中心

5.4迪恩士与国内清洗设备供应商对比分析

5.4.1 行业龙头迪恩士

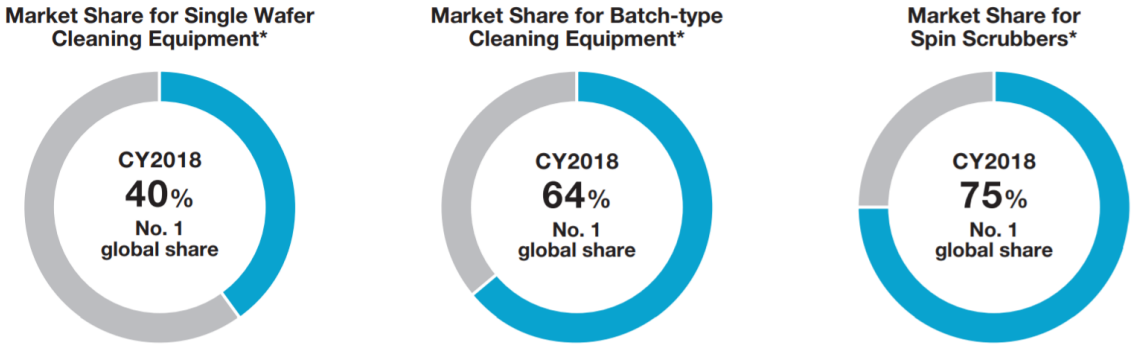
- **迪恩士是全球最大的清洗设备的供应商。**根据迪恩士年报披露，公司在单片式清洗设备、批式清洗设备和旋转刷洗设备均处于龙头地位。
- **近五年公司营收持续上升，研发费率保持稳定。**公司研发费率保持在6%左右，专利数量连续五年持续上升，截止2019年3月，海内外专利数量合计达5132个。

图：迪恩士营收、利润和费用情况（亿日元）



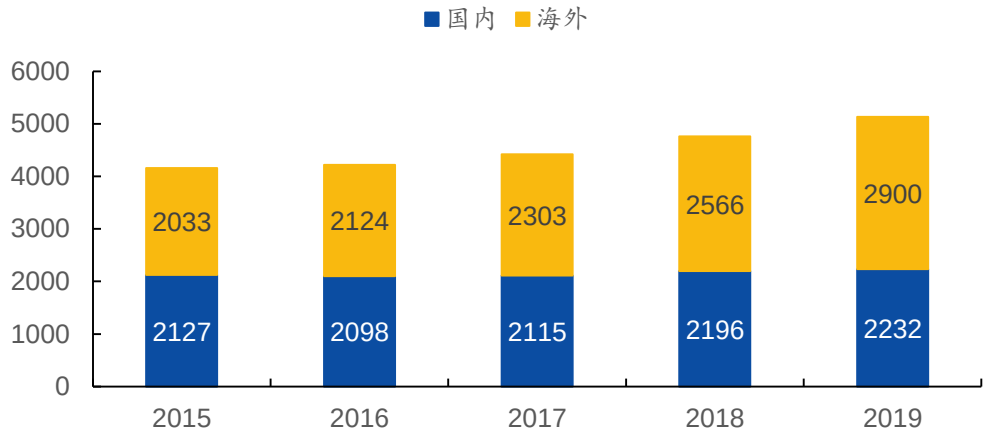
资料来源：Screen 2019年报，国元证券研究中心

图：2018年迪恩士各清洗设备市场份额占比



资料来源：Screen年报，SEMI国元证券研究中心

图：迪恩士专利持有数量



资料来源：Screen 2019年报，国元证券研究中心

5.4.2 盛美半导体

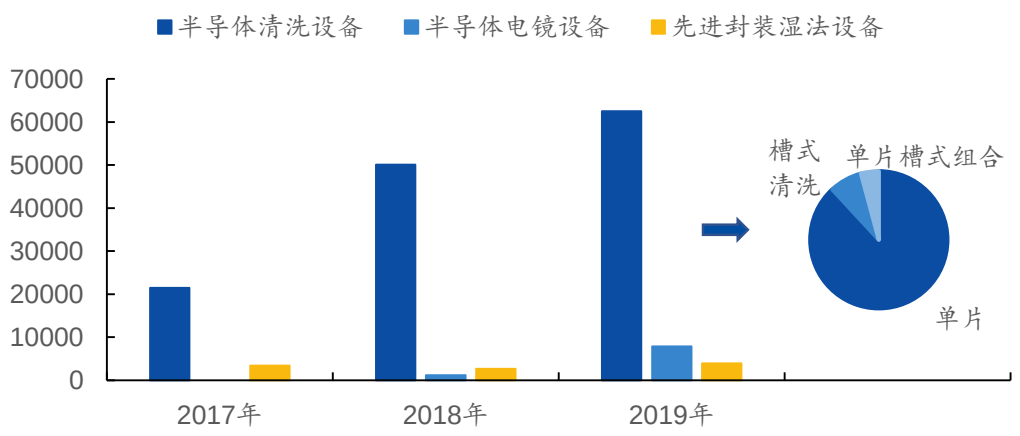
- **盛美半导体主要产品是半导体清洗设备，2019年清洗类设备营收占比达84%。**清洗类产品线丰富，包括单片SAPS兆声波清洗设备、单片TEB0兆声波清洗设备、单片背面清洗设备、单片刷洗设备、槽式清洗设备和单片槽式组合清洗设备。
- **盛美是国内少数拥有国际竞争力的设备企业，单片清洗设备市占率达50%。**据公司2020Q1报告显示，公司SAPS、TEBO和Tahoe产品占单片湿式清洗设备市场50%以上的份额，新一代TEBO和Tahoe有望进一步扩大单片清洗市场份额。

表：盛美半导体主要领域客户

客户所展领域	客户名称
品圆制造	海力士、华虹集团、长江存储、中芯国际、合肥长鑫
先进封装	长电科技、通高微电、中芯长电、Nepes
半导体硅片制造及回收	上海新异、金瑞泡、台湾合品科技、台湾异阳
科研院所	中国科学院微电子研究所、上海集成电路、华进半导体

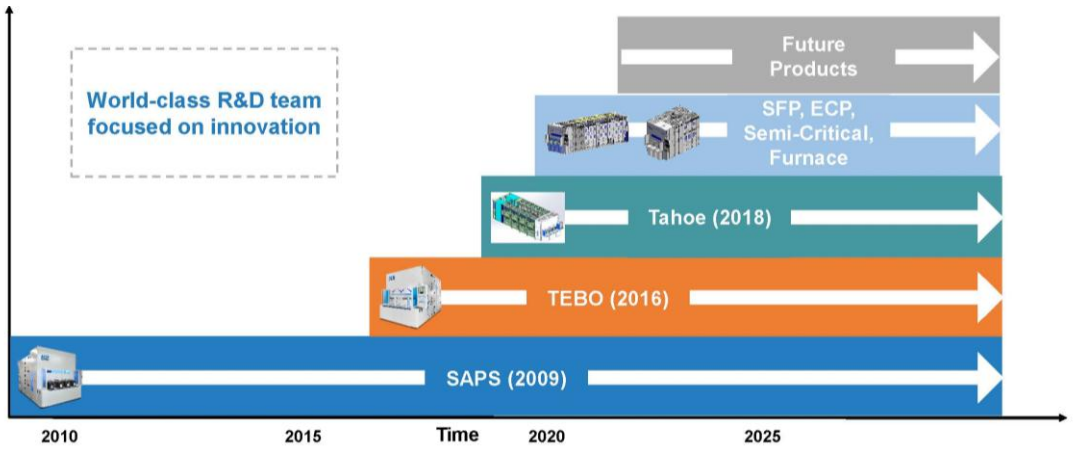
资料来源：盛美招股书，国元证券研究中心

图：盛美主营业务收入按产品构成



资料来源：盛美招股书，SEMI国元证券研究中心

图：盛美半导体主要产品布局和迭代

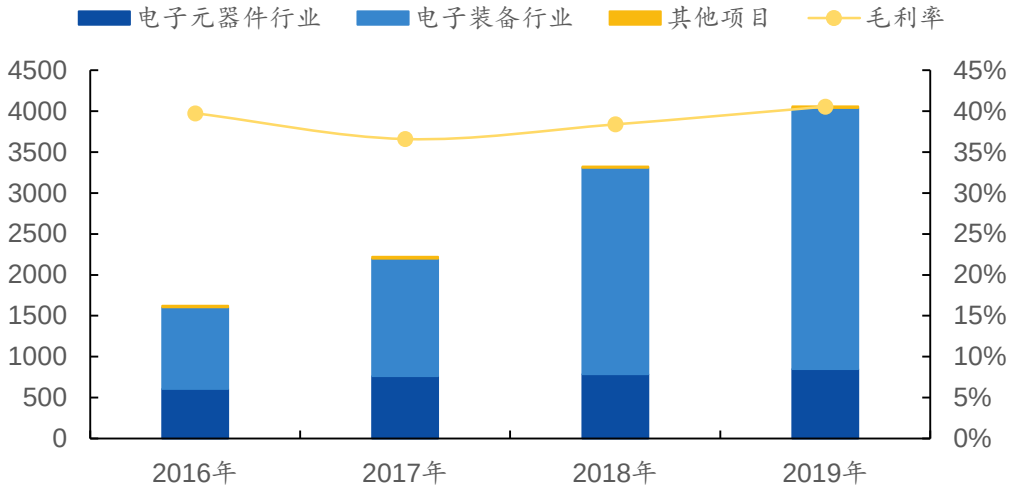


资料来源：盛美公司年报，国元证券研究中心

5.4.3 北方华创

- **公司通过收购Akrion补强清洗设备**，2018年完成对美国Akrion Systems LLC公司的收购，补强了清洗设备的产品线，可以提供种类众多的8-12英寸单片和槽式清洗机产品
- **公司完成干法去除设备研发**。清洗机领域，公司可提供多种类型的单片清洗设备和槽式清洗设备，已广泛应用于集成电路等领域。公司于去年发布了应用于IC领域干法清洗二氧化硅的干法去除设备Excor D630。该设备通过采用非等离子体干法去除技术，大幅提升了工艺性能，可更好地满足芯片制造领域先进制程的需求。

图：2016-2019年北方华创收入及利润情况（百万元）

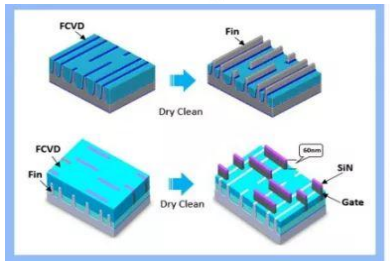


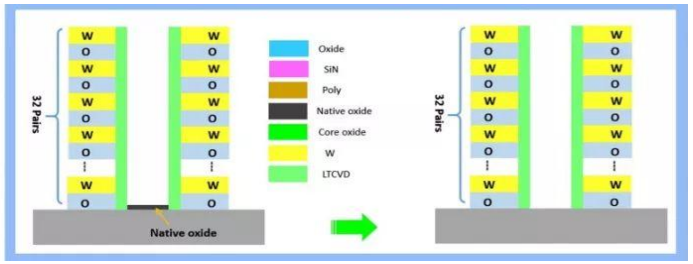
资料来源：北方华创2019年报，SEMI国元证券研究中心

图：干法去除设备Excor D630产品、原理及优势



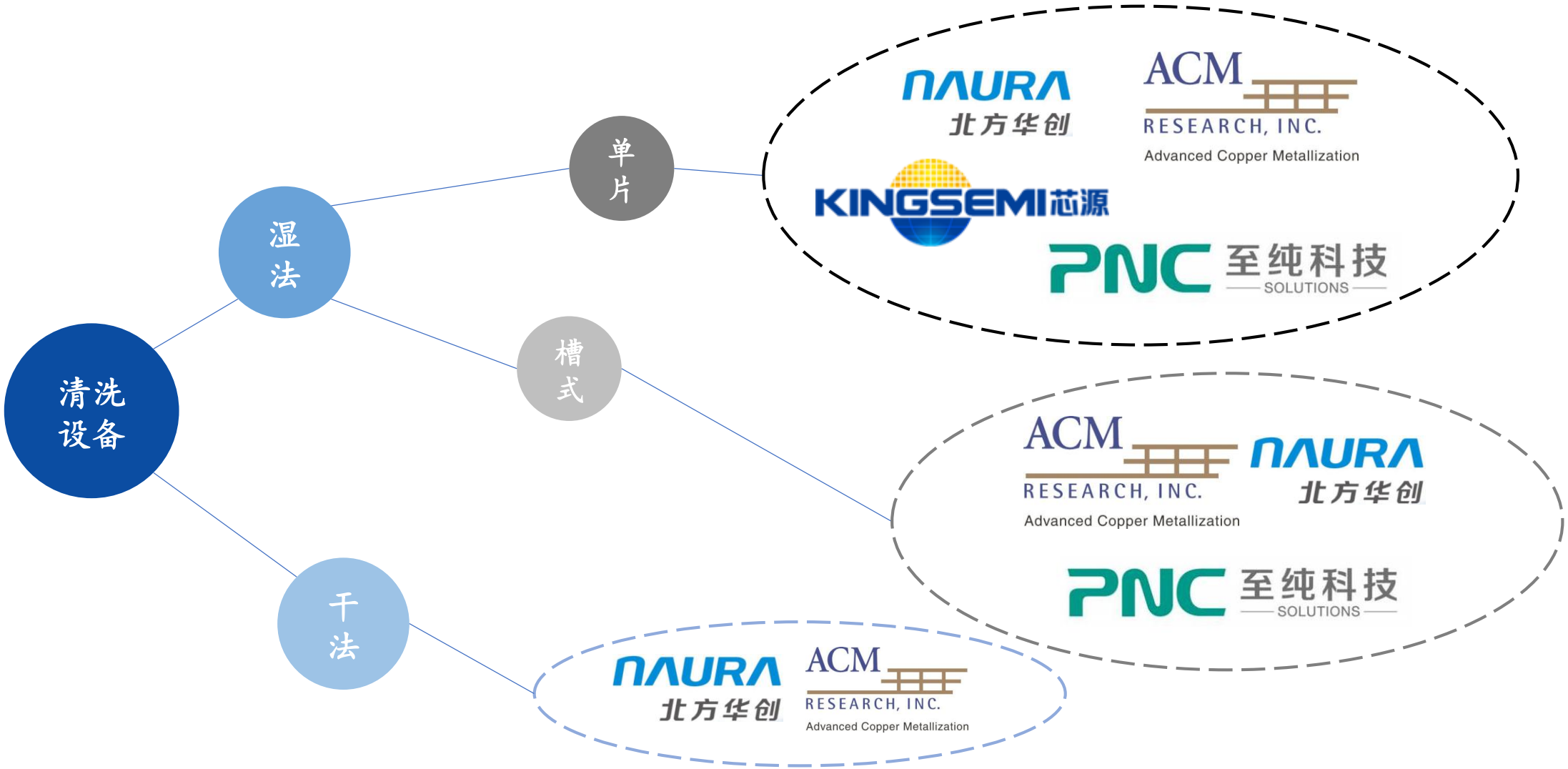
- 宽选择比工艺窗口清洗技术
- 高效的小孔洞底部清洗技术
- 底部轮廓可调清洗技术





资料来源：北方华创公司公告，国元证券研究中心

5.5国内清洗设备公司地图



5.6小结

- **清洗步骤随着工艺节点的推进越来越重要，而湿法清洗中的单晶圆清洗逐渐成为主流。**根据Gartner预测，未来几年清洗机市场将进一步扩大，行业保持高度集中
- 迪恩士是全球清洗设备市场的龙头企业，半导体设备尤其是清洗设备是其公司最重要的业务。迪恩士清洗设备技术领先、产品线全面，其连续多年占据各类清洗机细分市场份额第一名。
- **盛美半导体成为本土清洗设备市场的第二大供应商。**盛美半导体深耕单片式清洗设备，拥有全球首创的SAPS、TEBO兆声波清洗技术和Tahoe单片槽式组合清洗技术，产品适用于45nm以下节点；芯源微在光刻工艺拥有较完善的布局，单片去胶清洗设备主要是配合自身核心业务涂胶显影；北方华创通过收购美国Akrion Systems LLC实现槽式清洗设备产品布局，产品适用于28nm以上节点；至纯科技近年来通过在日韩团队的帮助下迅速成长，单片、槽式领域都具有一定竞争力。
- **随着晶圆代工龙头中芯国际14nm制程彻底打开国产芯片先进制程市场空间，之后的技术演进有望推进至7nm节点，清洗设备需求会持续增长，对国内清洗设备供应商来说是重大机遇。**

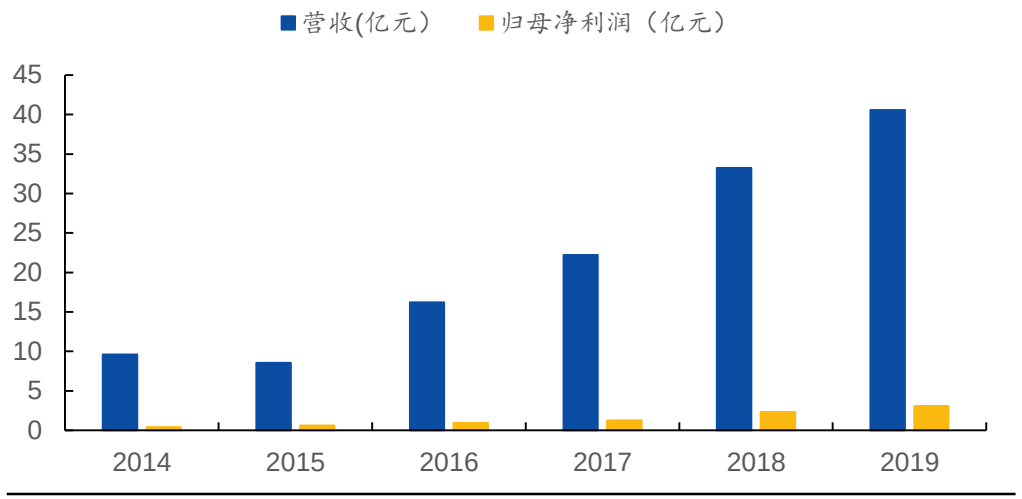
正文目录

- 第一部分：半导体设备是行业基石，国内企业即将迎来历史转折期
- 第二部分：芯片制造工艺流程拆分：薄膜工艺介绍及国内外龙头对比分析
- 第三部分：芯片制造工艺流程拆分：刻蚀工艺介绍及国内外龙头对比分析
- 第四部分：芯片制造工艺流程拆分：光刻工艺介绍及国内外龙头对比分析
- 第五部分：芯片制造工艺流程拆分：清洗工艺介绍及国内外龙头对比分析
- 第六部分：国产设备企业介绍

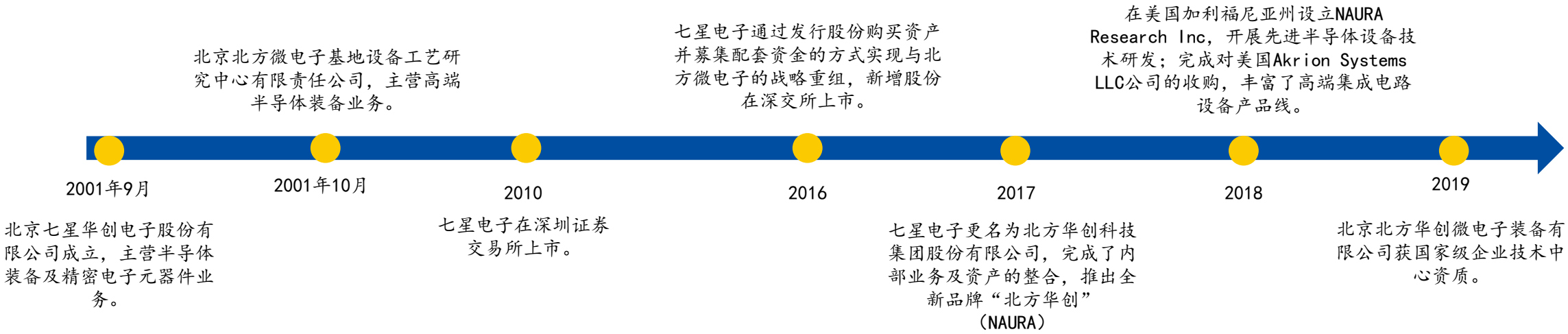
6.1北方华创：产品线最多的国产半导体设备航母

- 北方华创科技集团股份有限公司是由七星电子和北京北方微电子战略重组而成。产品包括刻蚀设备、PVD设备、CVD设备、氧化/扩散设备、清洗设备、新型显示设备、气体质量流量控制器等。
- 在集成电路领域，公司自主研发的14nm等离子硅刻蚀机、单片退火系统、LPCVD已成功进入集成电路主流代工厂；28nm Hardmask PVD、Al-Pad PVD设备已率先进入国际供应链体系；12英寸清洗机累计流片量已突破60万片大关；深硅刻蚀设备也于去年一举告捷东南亚市场。
- 2019年，公司78%的营收来自于电子工艺装备，20%营收来自于电子元件。公司自2015年重组以来营收持续提升。

图：北方华创营收及归母净利润（亿元）



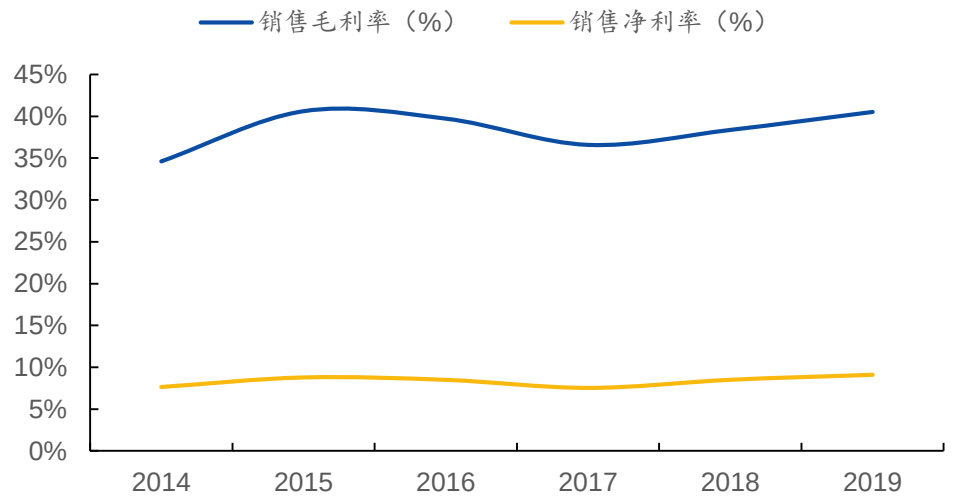
资料来源：Wind，国元证券研究中心



6.1北方华创：产品线最多的国产半导体设备航母

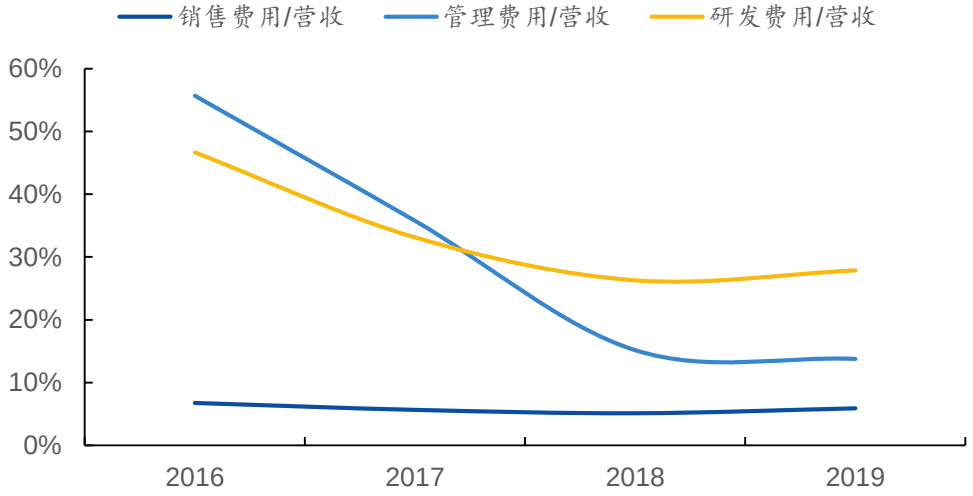
- 公司毛利率和净利率稳中有升。2016年至2019年，北方华创毛利率分别为39.73%、36.59%、38.38%、40.53%。其中，主营业务电子元件制造业毛利分别为44.56%、43.72%、49.44%、59.89%。公司主营业务毛利维持在较高水平。2016至2019年，公司净利率为8.50%、7.53%、8.51%、9.11%，净利率稳定。
- 公司销售费用和管理费用基本保持稳定，2016年公司管理费用的大幅增加是由于当年无形资产摊销、固定资产折旧及研发费用的增加所致。2017年-2019年公司管理费用率持续下降回归至30%以下。
- 公司大力投入研发，2015年以来研发投入持续上升。2015-2019年研发支出分别为5.12、7.57、7.36、8.73、11.37亿元，2019年研发支出占营收比达到28%。

图：北方华创毛净利率



资料来源：Wind，国元证券研究中心

图：北方华创费用情况

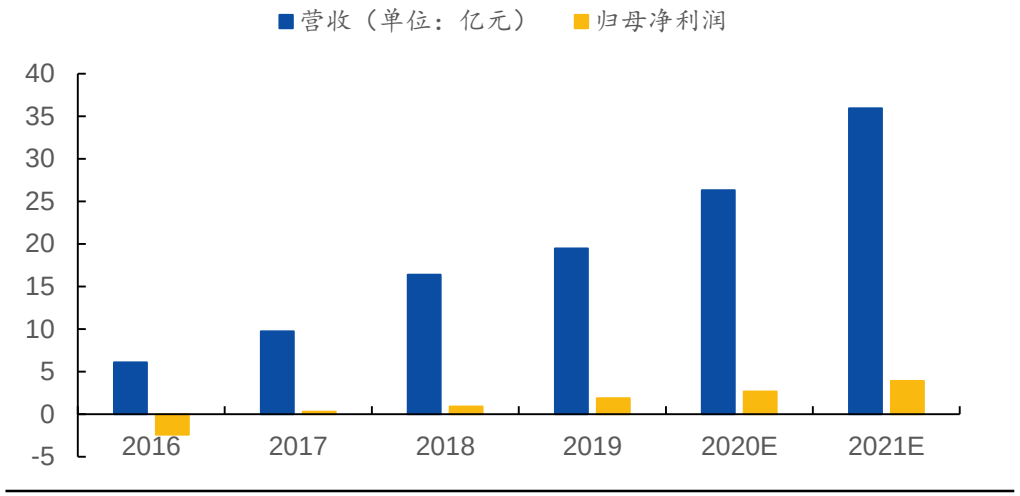


资料来源：Wind，国元证券研究中心

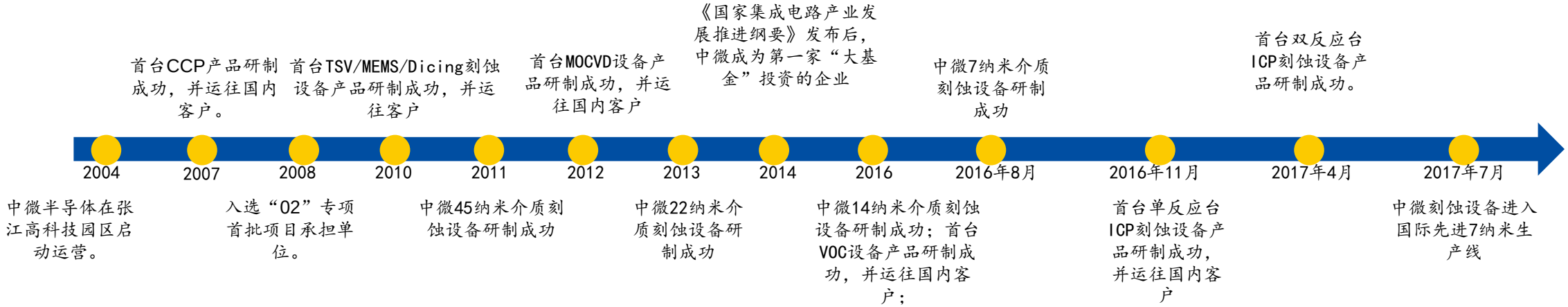
6.2中微公司：技术进展最快的刻蚀龙头

- 中微半导体成立于2004年。是一家以中国为基地、面向全球的高端半导体微观加工设备公司，为全球集成电路和LED芯片制造商提供极具竞争力的高端设备和高质量的服务。中微公司基于在半导体装备产业多年耕耘积累的专业技术，涉足半导体芯片前端制造、先进封装、LED生产、MEMS制造以及其他微观制程的高端设备领域，瞄准世界科技前沿，坚持自主创新。中微公司的等离子体刻蚀设备已被广泛应用于国际一线客户从65纳米到5纳米工艺的众多刻蚀应用。
- 自上市以来，中微公司的业绩稳步增长。2016年至2019年营收分别为6.1亿元、9.7亿元、16.4亿元、19.5亿元。2016-2018年公司营收增速维持在50%以上，2019年公司营收增速接近20%。

图：中微公司营收及归母净利润（亿元）



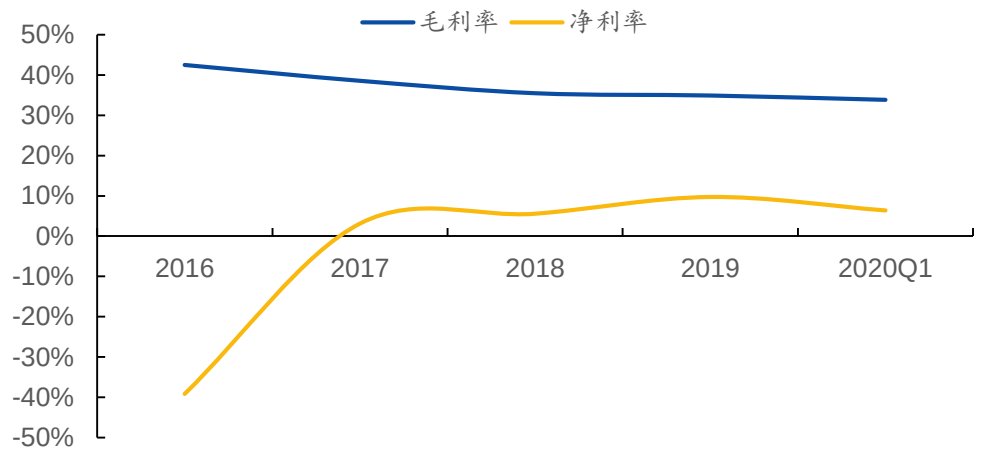
资料来源：Wind，国元证券研究中心



6.2中微公司：技术进展最快的刻蚀龙头

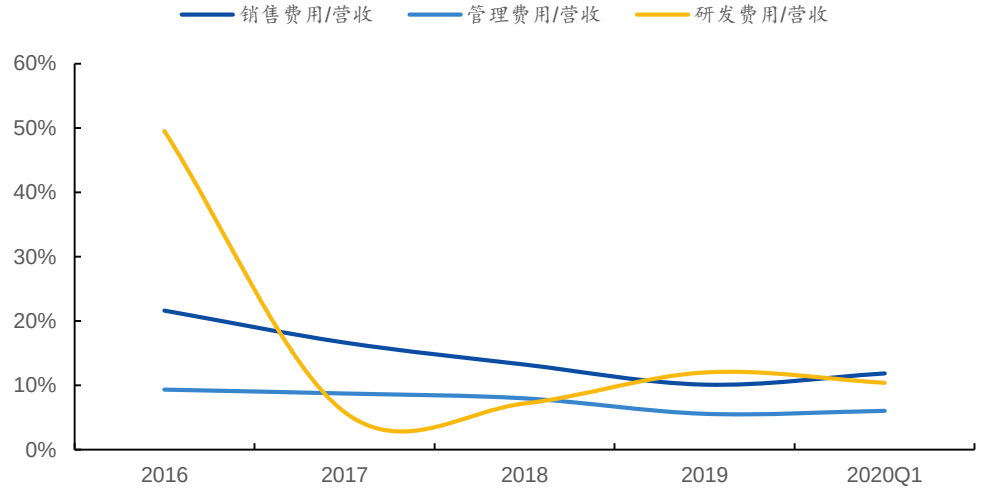
- 从利润率水平来看，中微公司主营业务的毛利率总体保持稳定。2016年至2020年Q1，公司的毛利率分别为42.52%、38.59%、35.5%、34.93%、33.86%。公司的毛利率长期能稳定在30%以上。公司的净利率自2016年至2020年Q1分别为-39.18%、3.08%、5.54%、9.69%、6.35%，公司净利率有小幅的上升趋势。
- 2016至2018年，中微公司的销售费用与管理费用呈现小幅上升趋势。2019年，公司销售费用、管理费用、财务费用相比上一年均有所下降，主要原因系股份支付费用较上年同期减少与利息收入增加所致。而研发费用同比上升了97.73%，主要原因是2019年新立项研发项目增加，以及2019年抵扣研发费用的政府补助减少所致。

图：中微公司毛净利率



资料来源：Wind，国元证券研究中心

图：中微公司费用情况

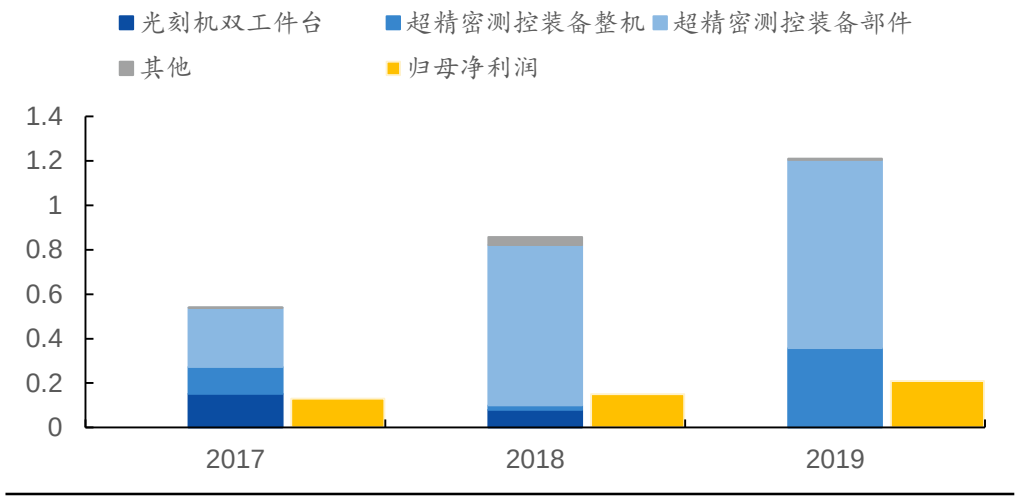


资料来源：Wind，国元证券研究中心

6.3华卓精科：光刻机核心部件双工作台技术突破者

- 公司主营业务为光刻机双工件台、超精密测控装备整机以及关键部件等衍生产品的研发、生产以及销售和技术服务。公司是国内领先的集成电路制造装备及其核心部件、精密/超精密运动系统及相关技术供应商，致力于在实现超精密机械与测控技术成果产业化的基础上成为中国乃至全球卓越的精密科技公司。2020年4月，华卓精科的科技公司与清华大学取得了合作，攻克了国产光刻机研制上的一个关键技术-双工件台，这将为国产光刻机的发展提供极大帮助，并有希望在未来攻破7nm技术。
- 公司主营业务收入主要来源于光刻机双工件台、超精密测控装备整机和超精密测控装备部件三项业务，合计占主营业务收入的比例分别为99.70%、95.81%和99.56%。

图：华卓精科营收及归母净利润（亿元）



资料来源：Wind，国元证券研究中心

2012 北京华卓精科科技股份有限注册成立，同年入驻清华科技园、新元科技园。

2014 完成股改并登录新三板；通过ISO9001质量体系认证；荣获中国专利优秀奖；荣获清华科技园钻石企业。

2016 半导体装备关键零部件研发制造项目启动；完成新三板登录后的首次增资。

2017 半导体装备关键零部件研发制造项目奠基；布局杭州青山湖科技城，启动长三角发展计划。

2018 全资子公司杭州天睿精密科技有限公司设立；半导体装备关键零部件研发制造项目开工建设；**超精密运动台产品**实现批量销售及供货；荣获2018年度北京市科技奖一等奖。

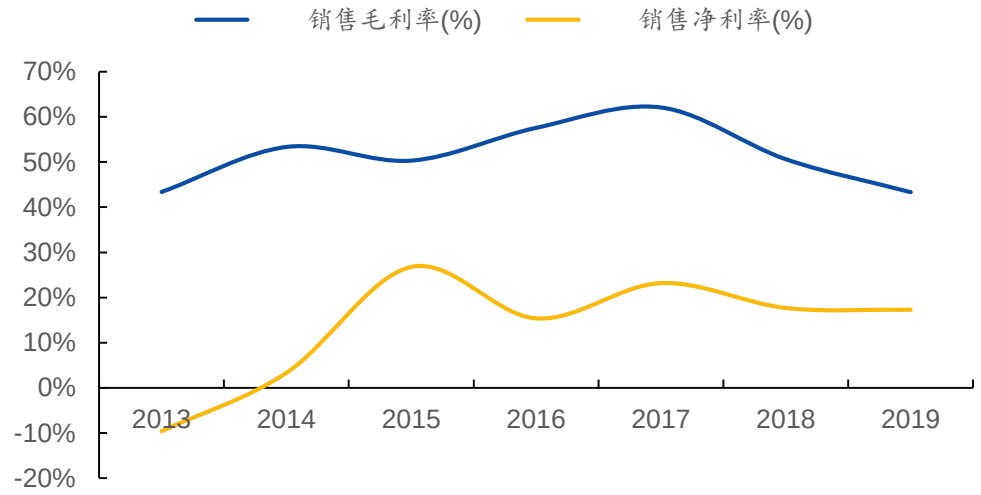
2019 荣获第20届中国专利银奖；IGBT激光退火设备实现量产应用；公司“半导体装备关键零部件研发制造项目”顺利封顶；杭州“超精密测控产品长三角创新与研发中心”开工建设。

2020 公司申报科创板；团队规模逐步扩大。

6.3华卓精科：光刻机核心部件双工作台技术突破者

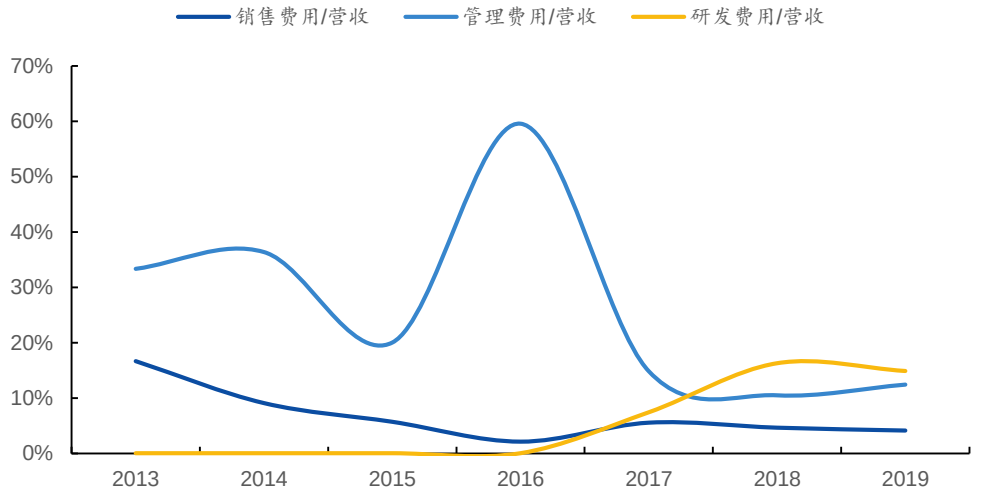
- 2017年至2019年，华卓精科综合毛利率分别为62.08%、50.61%和43.31%。其中，主营业务毛利率分别为62.08%、50.61%和43.30%，毛利率水平较高。2017年至2019年，公司净利率分别为23.16%、17.65%、17.25%，净利率水平较为稳定。
- 随着公司业务规模扩大、客户数量增加、研发投入增加，公司销售费用、管理费用和研发费用呈现稳步增长趋势。2016年以来，公司销售费用呈上涨趋势，主要系公司业务规模扩大，公司运输费用、职工薪酬、专利提成费大幅增加所致。公司2019年管理费同同比增长511万元，主要系管理人员薪酬增加以及随着租赁面积增加导致租赁费及物业费增加所致。2017年至2019年，公司研发费用大幅增加，主要系公司研发人员投入增加导致人工成本增加所致。2017年前，公司研发投入计入02专项政府补助，自2017年1月1日起，公司对收到的02专项政府补助款项采用净额法核算。

图：华卓精科毛净利率



资料来源：Wind，国元证券研究中心

图：华卓精科费用情况

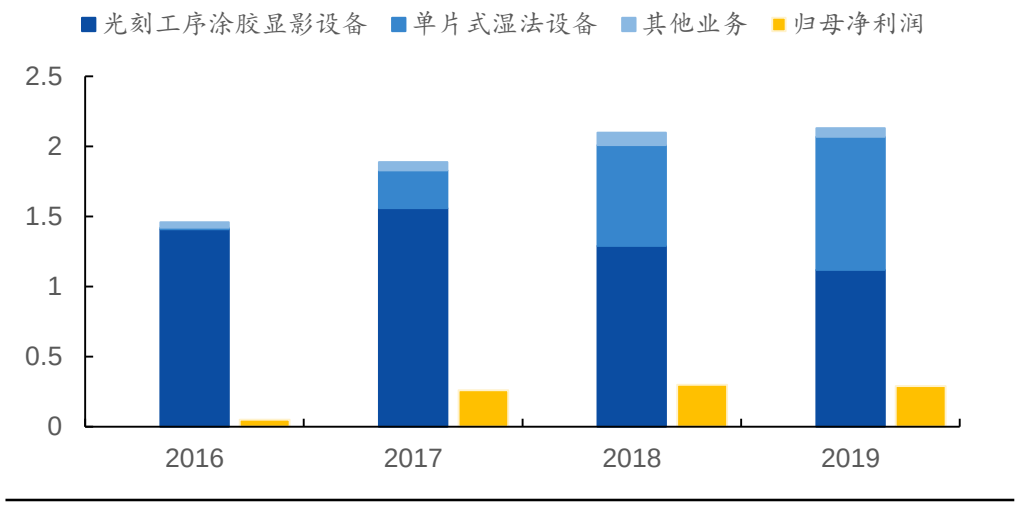


资料来源：Wind，国元证券研究中心

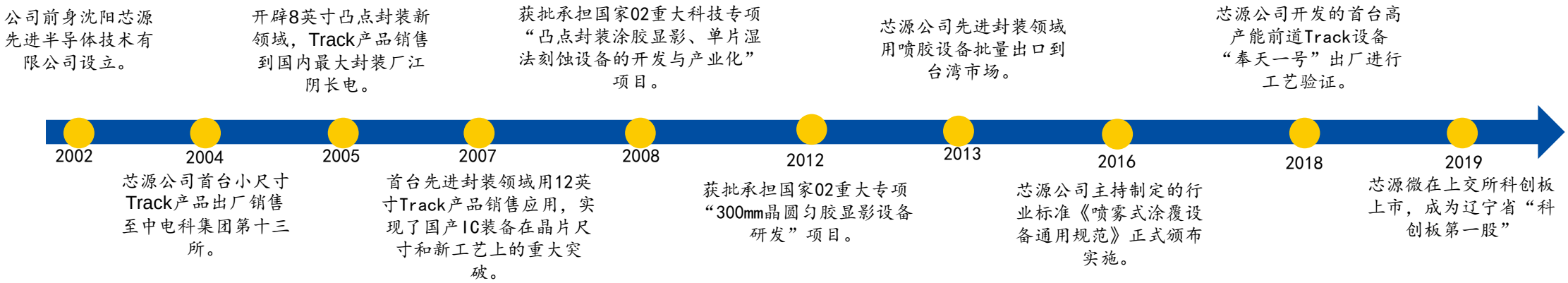
6.4芯源微：国产光刻工艺涂布显影龙头

- 沈阳芯源微电子设备股份有限公司成立于2002年，是由中科院沈阳自动化研究所发起创建的国家高新技术企业，专业从事半导体生产设备的研发、生产、销售与服务，致力于为客户提供半导体装备与工艺整体解决方案。
- 芯源微开发的涂胶机、显影机、喷胶机、去胶机、湿法刻蚀机、单片清洗机等产品广泛应用于半导体生产、高端封装、MEMS、LED、OLED、3D-IC TSV、PV等领域。可满足300mm前道制程及300mm先进封装厚胶工艺制程。
- 2016年公司主要营收来源于光刻工序涂胶显影设备。近三年，单片湿法设备在公司营收中所占的比重持续上升，2019年光刻工序涂胶显影设备贡献1.12亿元营收，单片湿法设备贡献0.95亿元营收。

图：芯源微营收及归母净利润（亿元）



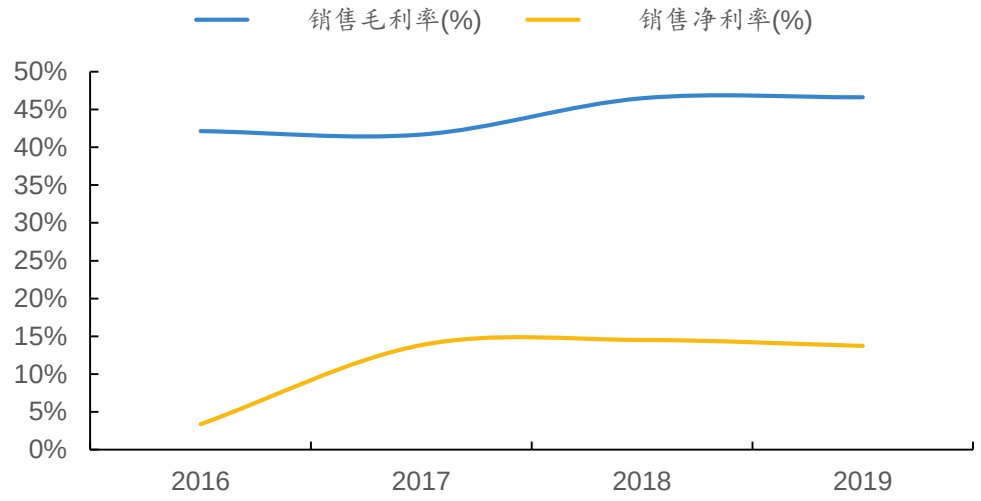
资料来源：Wind，国元证券研究中心



6.4芯源微：国产光刻工艺涂布显影龙头

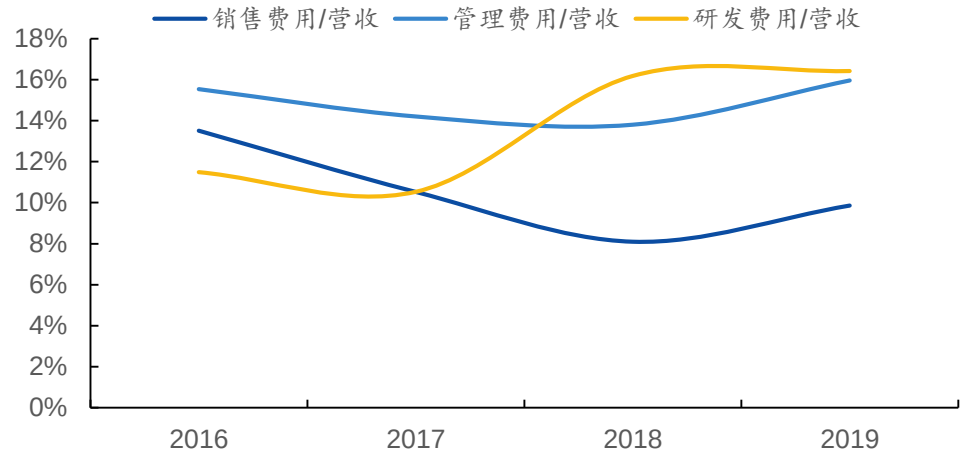
- 得益于半导体产业下游应用的持续扩张，芯源微业绩稳步增长。2016年-2019年公司营收分别为1.48、1.9、2.1、2.13亿元。公司2019年营收增速下滑的原因为公司前道产品处于验证阶段，对收入贡献相对有限，公司在手订单中世源科技相关机台合同金额为1,779.29万元，原计划验收时间为2019年，但因客户现场暂不具备安装调试条件，验收时间推迟至2020年二季度。
- 公司毛利率与净利率相对稳定。2016年至2019年，公司毛利率为42.14%、41.68%、46.49%、46.62%。2016至2018年间，公司的净利率呈现上升趋势，但2019年净利率稍有下降，原因是2019年费用较高。
- 2019年公司销售费用增加原因主要是公司持续加大前道产品市场开拓力度及提升售后服务等所致，而管理费用增加原因主要是管理人员薪酬增加及公司上市导致中介机构费用增加所致。
- 2019年公司研发费用0.35亿元，同比增加了2.46个pct。公司十分重视核心技术的自主研发，拥有一系列具有自主知识产权的核心技术，并广泛应用于公司产品的批量生产中。

图：芯源微毛净利率



资料来源：Wind，国元证券研究中心

图：芯源微费用情况

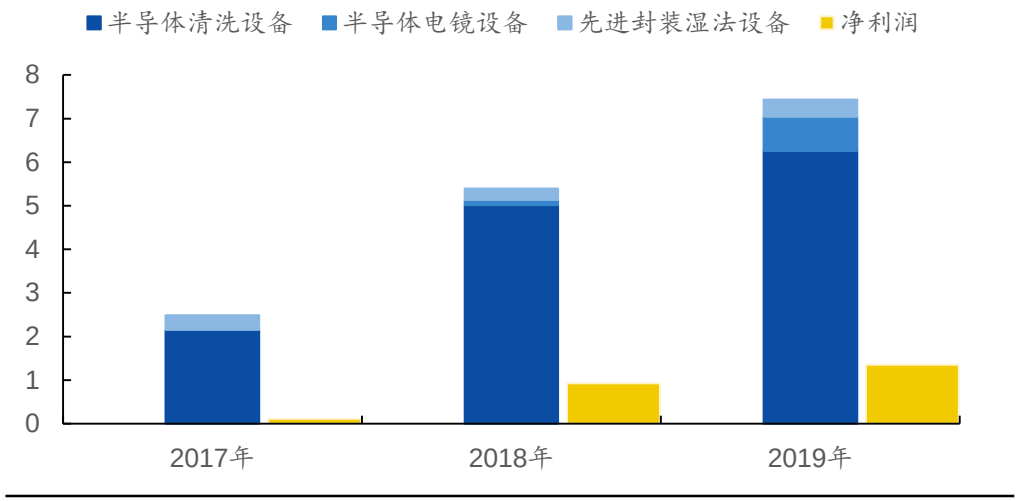


资料来源：Wind，国元证券研究中心

6.5盛美半导体：国产单片清洗设备龙头

- 盛美半导体1998年成立于美国，2006年成立上海子公司，开始植根内地。公司创始人、董事长兼任CEO王晖为大阪大学半导体设备及工艺博士，国家千人专家。
- 盛美半导体是全球单晶清洗设备的重要供应商，也是国内最大的单片清洗设备供应商。公司主要从事半导体专用设备的研发、生产和销售。
- 盛美半导体主要产品为半导体清洗设备，包括单片SAPS兆声波清洗设备、单片TEB0兆声波清洗设备、单片背面清洗设备、单片刷洗设备、槽式清洗设备和单片槽式组合清洗设备，2019年此项营收占比84%。此外也逐渐开展半导体电镀设备和先进封装湿法设备业务，产品线较为丰富，此两项占比有逐年升高的趋势。
- 公司总营业收入和净利润连续三年上升，2019年度营业收入超过7.5亿元，净利润超过1.3亿元。

图：盛美半导体营收及归母净利润（亿元）



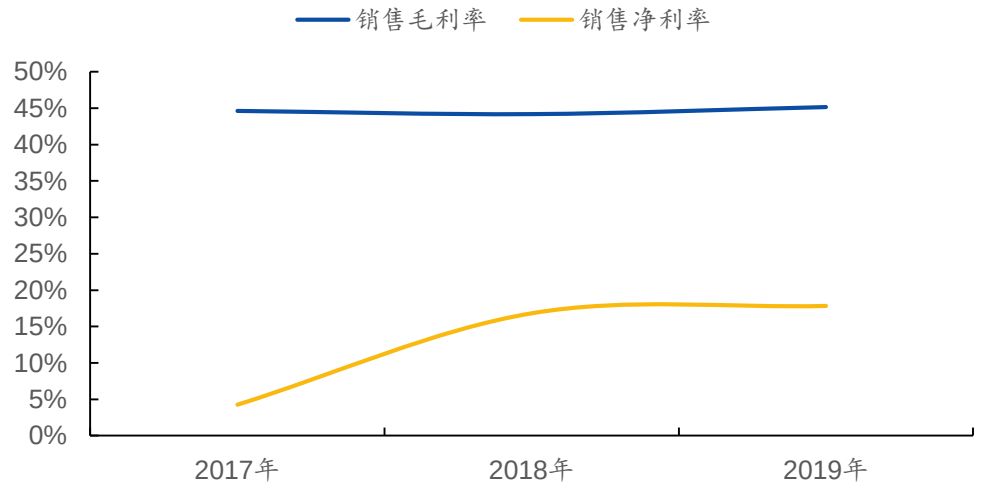
资料来源：Wind，国元证券研究中心



6.5盛美半导体：国产半导体单片清洗设备龙头

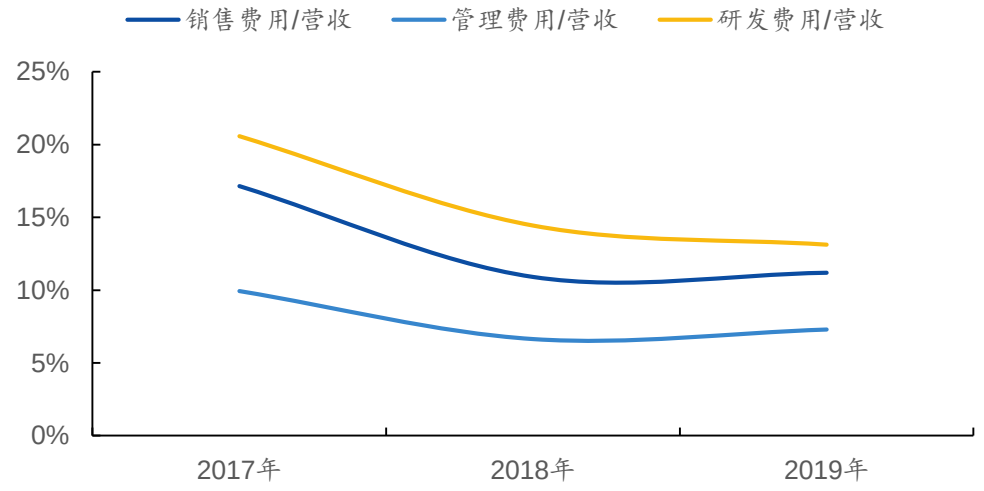
- 盛美半导体净利润连年上升，净利率随之总体走高，从2017年的4%上升到2019年的18%。毛利率保持稳定稳定，2017年至2019年，公司毛利率分别为45%、44%和45%，维持在较高水平，与行业平均水平均相当。
- 报告期内，公司研发费用金额分别为5,217.24万元、7,941.50万元和9,926.80万元，占营业收入的比例分别为20.57%、14.43%和13.12%，年均复合增长率37.94%，公司持续加大研发投入并且保持在较高水平。公司销售费用率、管理费用率、研发费用率有所下滑，很大程度上由于公司今年营收的快速上升。
- 公司立足自主创新，通过多年的技术研发和工艺积累，成功研发出全球首创的SAPS、TEBO兆声波清洗技术和Tahoe单片槽式组合清洗技术，可应用于45nm及以下技术节点的晶圆清洗领域。截至2019年12月31日，公司及控股子公司拥有已获授予专利权的主要专利232项。

图：盛美半导体毛净利率



资料来源：Wind，国元证券研究中心

图：盛美半导体费用情况

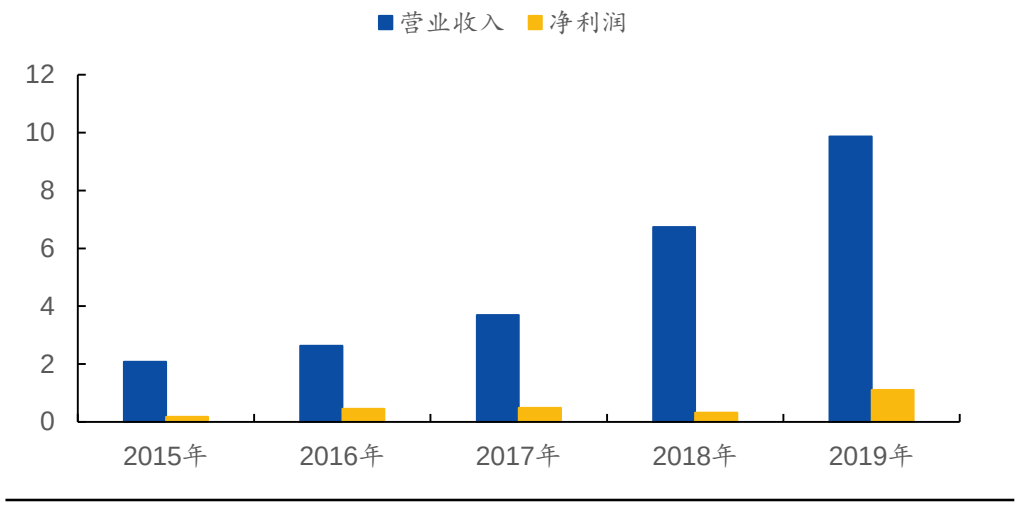


资料来源：Wind，国元证券研究中心

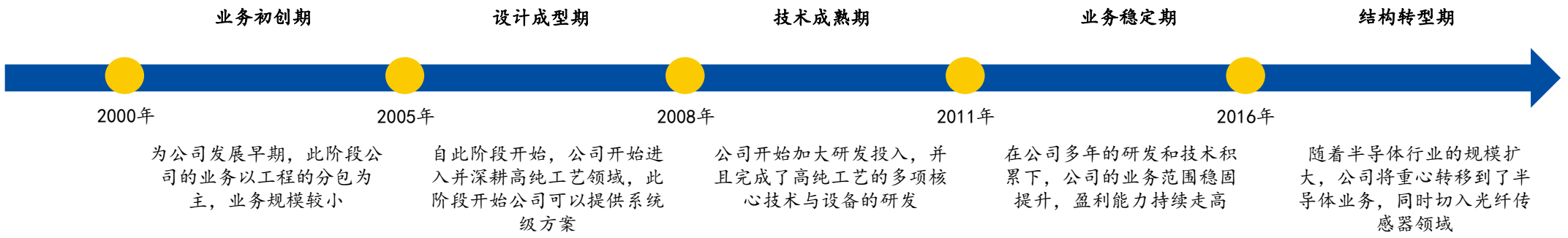
6.6至纯科技：高纯工艺系统龙头，切入至湿法清洗设备

- 至纯科技创立于2000年，其业务变革经历了五大时期，自早期的工程分包，到2016年后的结构转型，公司将重心转移到了半导体行业，并成为目标行业的领军企业
- 公司的主营业务主要包括高纯工艺系统的设计、制造和安装调试；半导体湿法清洗设备研发、生产和销售。此外，公司于2018年完成对波汇科技的收购，增加了光传感光电子业务板块
- 公司营业收入连年增长，2019年公司营业收入为9.86亿元，较去年同期增长46.34%，主要是收购波汇科技并表其光传感及光器件收入，以及公司半导体设备业务板块收入所贡献。净利润除2018年轻微下滑外，总体呈上升趋势

图：至纯科技营收及归母净利润（亿元）



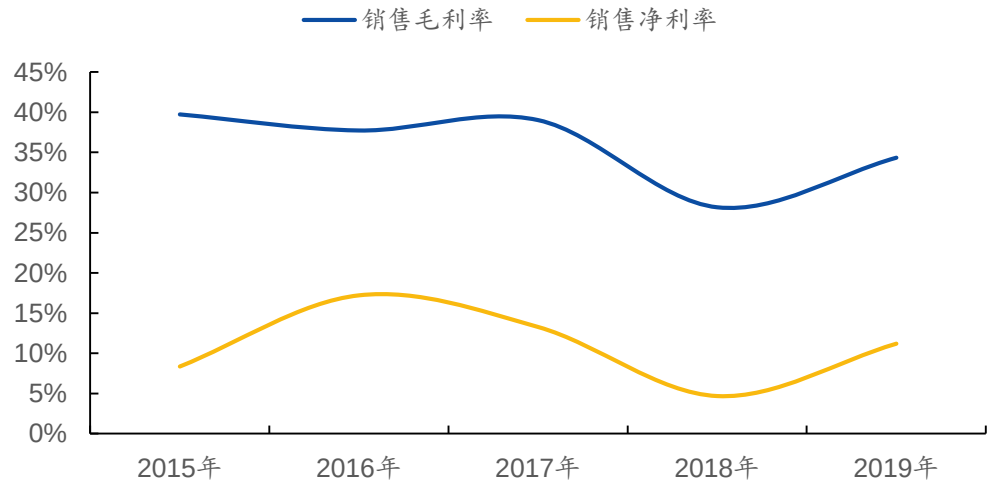
资料来源：Wind，国元证券研究中心



6.6至纯科技：高纯工艺系统龙头，切入至湿法清洗设备

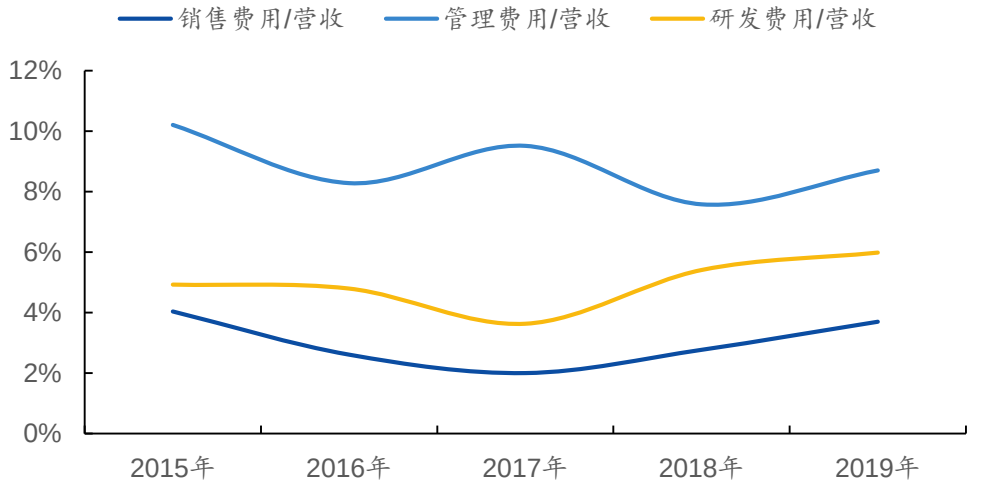
- 公司的盈利情况在2018年受到半导体行业工程毛利率下滑影响，经历短暂下行。2019年在湿法工艺设备和光传感器期间业务的拉动下，盈利能力的重新抬头焕发活力，销售毛利率从2018年的28.19%上升至2019年的34.35%，提高了6个百分点。2015年至2019年的销售净利率分别为8.35%、17.21%、13.27%、4.67%和11.19%，与毛利率基本同期变化
- 公司的费用情况总体管控较好，研发投入连年大幅提高。销售和管理费用有轻微上升，主要是由新业务的扩张所致，研发费用连续五年上升，2019研发投入为0.72亿元，2015年至2019年的研发费用率分别为4.93%、4.80%、3.63%、5.41%和5.99%。至2019年末，已经完成了多个工艺的8英寸及12英寸全自动槽式装备，8英寸及12英寸4腔单片装备，12英寸12腔先进工艺单片装备的研发及制造

图：至纯科技毛净利率



资料来源：Wind，国元证券研究中心

图：至纯科技费用情况

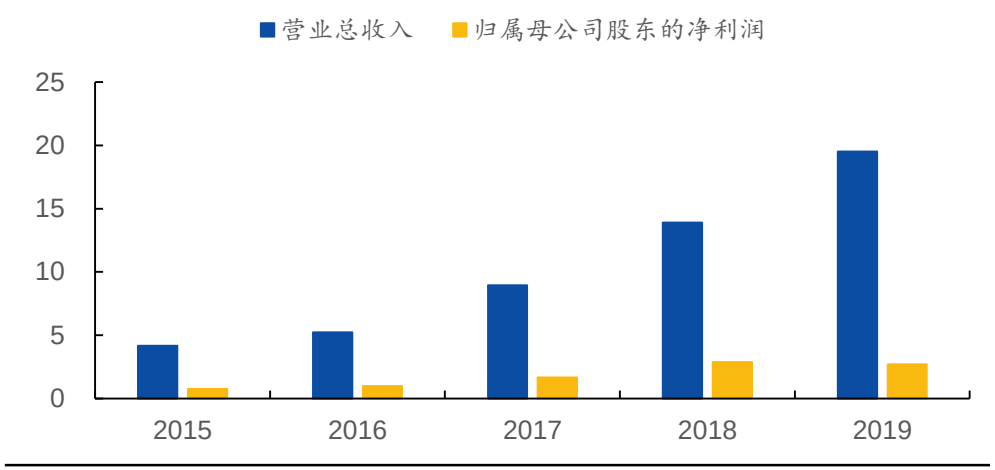


资料来源：Wind，国元证券研究中心

6.7精测电子：面板检测系统龙头，进军半导体前道检测

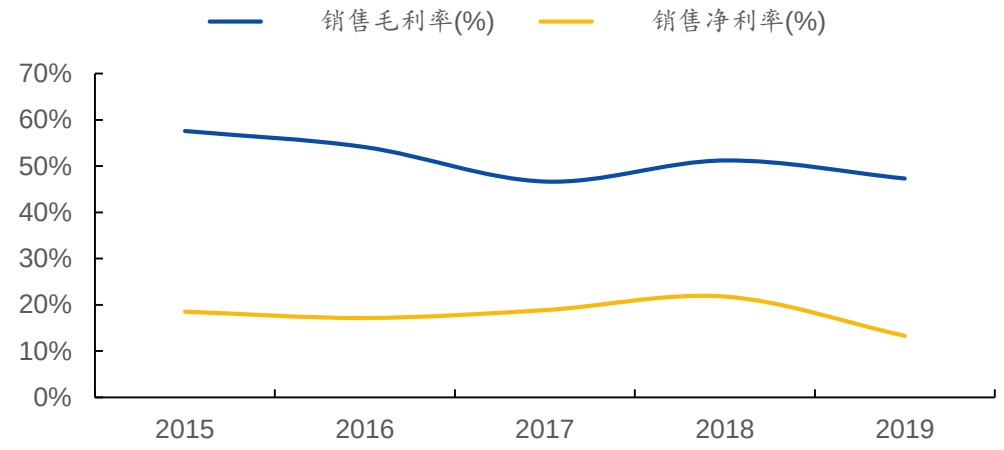
- 公司成立于2006年，创业初期定位于液晶行业检测设备，2008年战略调整为面板检测中的电信号检测领域，2013年公司已经成为国内面板Module段电测龙头。之后公司又进入AOI光学检测系统和面板自动化设备市场，承揽平板检测中前段Array和Cell工序所需检测设备。
- 2018年设立全资子公司上海精测半导体，正式进军半导体前道检测设备市场。以椭圆偏振技术为核心开发了适用于半导体工业级应用的膜厚量测以及光学关键尺寸量测系统，电镜设备计划于 2020 年投入市场。

图：精测电子营收及归母净利润（亿元）



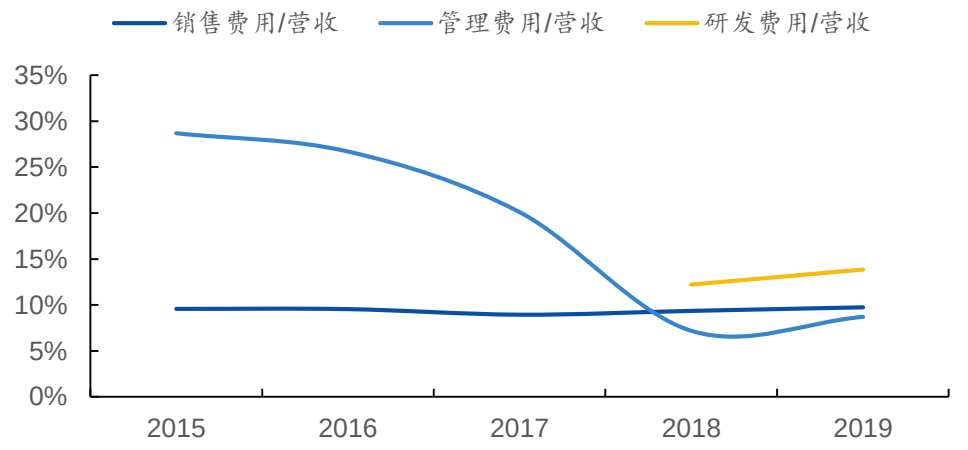
资料来源：Wind，国元证券研究中心

图：精测电子毛净利率



资料来源：Wind，国元证券研究中心

图：精测电子费用情况

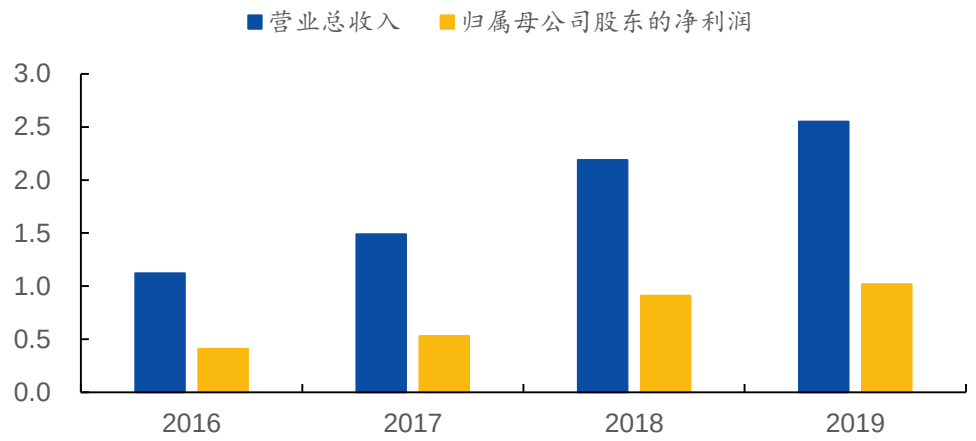


资料来源：Wind，国元证券研究中心

6.8华峰测控：后道检测龙头

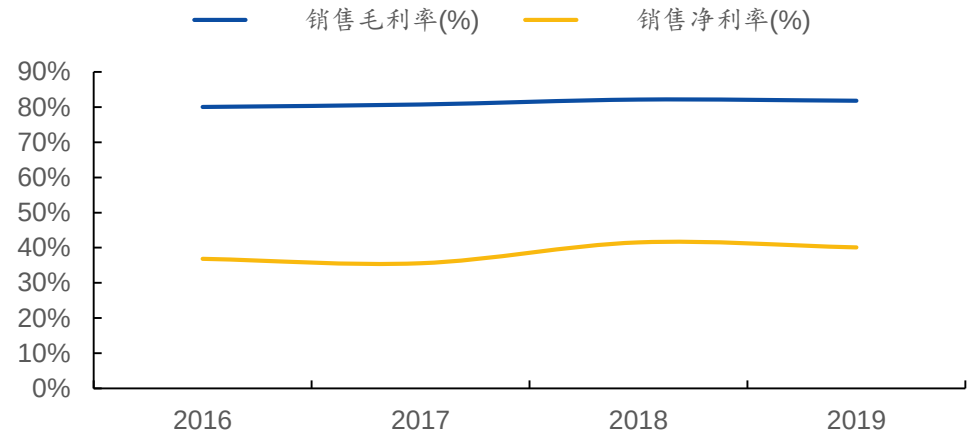
- 北京华峰测控技术股份有限公司（简称华峰测控），作为国内最早进入半导体测试设备行业的企业之一，公司在行业内深耕二十余年，聚焦于模拟和混合信号测试设备领域。
- 公司凭借产品的高性能、易操作和服务优势等特点，在模拟及数模混合测试设备领域打破了国外厂商的垄断地位，在营收和品牌优势方面均已达到了国内领先水平。产品不但在中国境内批量销售还外销至中国台湾、美国、欧洲、韩国、日本等境外半导体产业发达地区，截至目前，全球累计装机量突破2,600台。
- 公司目前为国内前三大半导体封测厂商模拟测试领域的主力测试平台供应商，还拥有上百家集成电路设计企业客户资源，也与超过三百家以上的集成电路设计企业保持了业务合作关系，未来中国自主芯片发展为公司快速成长提供重大机遇。

图：华峰测控营收及归母净利润（亿元）



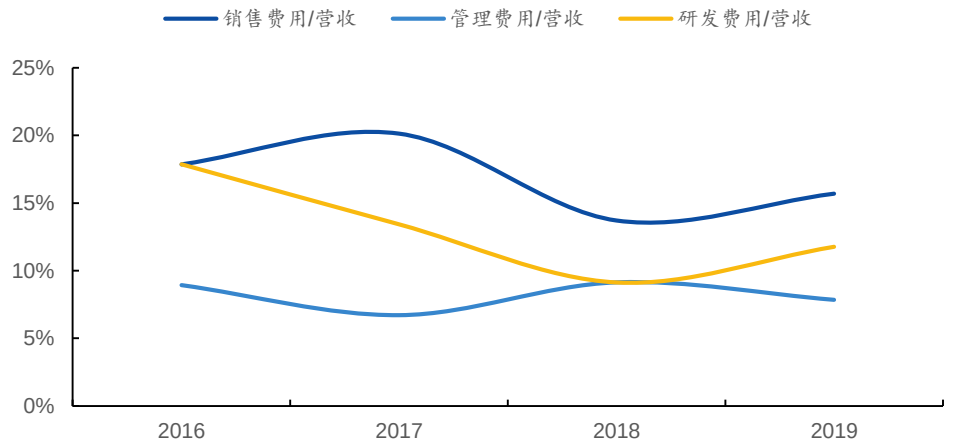
资料来源：Wind，国元证券研究中心

图：华峰测控毛净利率



资料来源：Wind，国元证券研究中心

图：华峰测控费用情况



资料来源：Wind，国元证券研究中心

6.9万业企业：收购优质资产凯世通，进军离子注入行业

- 公司成立于1991年，主营业务为房地产住宅类项目。2018年12月收购离子注入机设备公司凯世通，积极深化战略转型，切入半导体高端装备赛道。凯世通主营泛半导体中离子注入机及配套服务，是全球唯一一家全领域离子注入设备公司，产品覆盖光伏、集成电路、AMOLED、IGBT等，目前公司在光伏离子注入机全球市占率第一。
- 目前实际控制人及第三大股东分别为上海浦东科投有限公司和国家大基金，其中浦东科投在集成电路、医疗健康等高科技产业有着多年的成功投资经验，叠加国家大基金的政策和基金支持，将有助于公司顺利转型，未来有望成为国产离子注入设备龙头。

表：凯世通产品介绍

型号	IonSolar	iPV-2000	iPV-3000
产品图片			
定型时间	2012年	2014年	2017年
尺寸	6.0m*3.5m*3.5m	4.5m*2.5m*3.0m	5.5m*2.5m*3.0m
惨杂源	低压磷烷	固态磷源	固态磷源
惨杂源消耗	3.4分/片	0.3分/片	0.3分/片
离子源数量	单离子源	单离子源	双离子源
离子束大小	30mA	120mA	160mA*2
注入能量	5-25keV	5-15keV	5-15keV
产能	1500WPH	2000WPH	3000WPH
特点	精准的质量分析，提升惨杂纯度	真空环境高速皮带水平传送硅片；省去昂贵的磷烷，使用固态磷	选择性惨杂；可同步实现P型和N型注入

资料来源：公司官网，国元证券研究中心

万业企业

- 1991 万众企业前身，上海众城实业股份有限公司成立
- 2006 三林万业成为控股股东
- 2015 浦东科技成为第一大股东，设立向集成电路产业领域转型的战略目标
- 2017 牵头成立上海半导体装备材料产业投资基金
- 2018 收购凯世通。进军离子注入机行业
- 2019 拟设立集成电路装备集团有限公司

Semiconductor KINGSTONE

- 2009 五位国际知名的离子注入设备专家创立凯世通
- 2006 太阳能制程用高端离子注入机研发成功
- 2015 股份公司成立
- 2017 IPV2000量产
- 2018 全国股转系统挂牌
- 2019 万众企业收购凯世通
- 2019 iPV6000发布

资料来源：公司官网，《万业企业发行股份购买资产报告书（草案）（修订稿）》，国元证券研究中心

6.10赛腾股份：智能装备制龙头，收购Optima进军半导体检测

- 赛腾股份成立于2007年的高新技术企业，深耕智能装备制造行业多年，处于智能制造产业链下游，主要提供自动化组装设备、自动化检测设备和治具类产品。目前公司产品常应用于消费电子行业，主要客户有苹果、JOT公司、广达集团、三星电子、纬创资通、英华达集团等。公司于2011年通过苹果供应商认证，并为其提供自动化设备、治具类产品及相关技术服务。
- 2018年，公司相继收并购菱欧科技、无锡昌鼎等多家公司股权。其中，菱欧科技从事汽车等行业的自动化生产和检测设备的生产，协助公司切入汽车板块，无锡昌鼎在半导体封测自动化设备领域有着丰富的客户资源和技术储备，帮助公司切入半导体自动化设备行业。
- 2019年募集资金收购日本Optima株式会社75%的股权，将公司产品线向高端半导体设备领域进一步延伸。前五大客户销售额占比从2014年96.3%降低至2019年的54.9%，大大降低对重要客户的依赖程度，主要得益于2018、2019 年公司积极收并购，客户基础和业绩随之得到扩充。

表：Optima产品介绍

产品名称	型号	功能	对应工艺环节	产品图例
Wafer Edge Inspection System	RXW-1200	检测和分类晶圆边缘缺陷，以及测量硅片或者器件制造过程中所需的零件尺寸	到角、单面研磨、双面抛光、沉积、光刻、CMP抛光等	
Backside Marcro Wafer Inspection System	BMW-1200	在晶圆背面缺陷/污染检测中具有高灵敏度特点，并能在器件制造过程中对提取的缺陷进行三维的精确测量	沉积、光刻、刻蚀、CMP等	
Edge and Front/Back Surface Inspection Equipment	RXM-1200	用于晶圆边缘各种缺陷的检测，在硅片抛光或者外延处理中两面出现的缺陷都能检测	到角、单面研磨、双面抛光、清洗、外延等	
Pinhole Defect Inspection Equipment	RXP-1200	采用内部或者背面的红外光束检测在硅晶体生长过程中产生的针孔缺陷	晶体生长、切片、单面研磨、双面抛光等	

资料来源：国元证券研究中心

风险提示

- 风险提示：

（1）设备开发进度不及预期；

（2）在建及规划新产线投放进度不及预期；

（3）外部冲击导致市场拓展不及预期等。

（1）公司评级定义		（2）行业评级定义	
买入	预计未来 6 个月内，股价涨跌幅优于上证指数 20%以上	推荐	预计未来 6 个月内，行业指数表现优于市场指数 10%以上
增持	预计未来 6 个月内，股价涨跌幅优于上证指数 5-20%之间	中性	预计未来 6 个月内，行业指数表现介于市场指数±10%之间
持有	预计未来 6 个月内，股价涨跌幅介于上证指数±5%之间	回避	预计未来 6 个月内，行业指数表现劣于市场指数 10%以上
卖出	预计未来 6 个月内，股价涨跌幅劣于上证指数 5%以上		

分析师声明

作者具有中国证券业协会授予的证券投资咨询执业资格或相当的专业胜任能力，以勤勉的职业态度，独立、客观地出具本报告。本人承诺报告所采用的数据均来自合规渠道，分析逻辑基于作者的职业操守和专业能力，本报告清晰准确地反映了本人的研究观点并通过合理判断得出结论，结论不受任何第三方的授意、影响。特此声明。

证券投资咨询业务的说明

根据中国证监会颁发的《经营证券业务许可证》（Z23834000),国元证券股份有限公司具备中国证监会核准的证券投资咨询业务资格。

证券投资咨询业务是指取得监管部门颁发的相关资格的机构及其咨询人员为证券投资者或客户提供证券投资的相关信息、分析、预测或建议，并直接或间接收取服务费用的活动。证券研究报告是证券投资咨询业务的一种基本形式，指证券公司、证券投资咨询机构对证券及证券相关产品的价值、市场走势或者相关影响因素进行分析，形成证券估值、投资评级等投资分析意见，制作证券研究报告，并向客户发布的行为。

一般性声明

本报告仅供国元证券股份有限公司（以下简称“本公司”）的客户使用。本公司不会因接收人收到本报告而视其为客户。若国元证券以外的金融机构或任何第三方机构发送本报告，则由该金融机构或第三方机构独自为此发送行为负责。 本报告不构成国元证券向发送本报告的金融机构或第三方机构之客户提供的投资建议，国元证券及其员工亦不为上述金融机构或第三方机构之客户因使用本报告或报告载述的内容引起的直接或连带损失承担任何责任。

本报告是基于本公司认为可靠的已公开信息，但本公司不保证该等信息的准确性或完整性。本报告所载的信息、资料、 分析工具、意见及推测只提供给客户作参考之用，并非作为或被视为出售或购买证券或其他投资标的的投资建议或要约邀请。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。本公司建议客户应考虑本报告的任何意见或建议是否符合其特定状况，以及（若有必要）咨询独立投资顾问。

在法律许可的情况下，本公司及其所属关联机构可能会持有本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投资银行业务服务或其他服务。

市场有风险，投资需谨慎。

免责条款：

本报告是为特定客户和其他专业人士提供的参考资料。文中所有内容均代表个人观点。本公司力求报告内容的准确可靠，但并不对报告内容及所引用资料的准确性和完整性作出任何承诺和保证。本公司不会承担因使用本报告而产生的法律责任。本报告版权归国元证券所有，未经授权不得复印、转发或向特定读者群以外的人士传阅，如需引用或转载本报告，务必与本公司研究中心联系。网址:www.gyzq.com.cn