

华西电子团队一走进“芯”时代系列深度之四十“半导体前道设备”

# 2021年前道设备，再迎新黄金时代

孙远峰/熊军/王海维/王臣复

SAC NO:S1120519080005

2021年6月10日

请仔细阅读在本报告尾部的重要法律声明

## 1. 中国大陆Fab厂密集扩产，多重因素综合导致2021年开始，前道设备国产商迎来新机遇

- 半导体行业存在“一代设备，一代工艺，一代产品”，5G/IoT/AI等新技术兴起，促使半导体设备出现新一代设备更换需求。2020-2021年中国大陆Fab持续扩产，中国半导体设备市场规模达超2千亿元。目前许多国产半导体设备公司订单爆满，产品交货期普遍延长。

## 2. 前道设备行业价值量大且集中度高，光刻/刻蚀/CVD三项设备市场规模最大

- 前道设备行业价值量大且集中度高，一条Fab中70%的资本支出都用于购买前道设备，属于资金/人才/技术密集的行业，技术领先是行业竞争的关键。前道设备竞争格局为寡头垄断，行业领先者享有大部分利润，全球前五大半导体设备商占市场份额70%。前道设备共有九种设备，覆盖八类工艺，是将晶圆制成芯片的关键，前道三大设备为光刻、刻蚀和CVD沉积，市场规模分别为640亿元、770亿元、610亿元。PVD/清洗/量测设备市场规模位于第二梯次，市场规模分别为240亿元、250亿元、480亿元。

## 3. 国产设备商技术逐渐成熟，国内增存量替代空间大

- 新时期，我们判断设备供应商的产业价值，需要综合考虑：填补研发空白参与度、本土产能扩容配合度、设备选型广泛度、以及设备所需核心零部件供应链稳定性和掌控度，等等
- 目前中国半导体国产设备自给率仅约12%，其中前道设备中含金量最高的关键九类设备的国产化率皆<10%，甚至在高端工艺中的国产化率近乎为0。国产前道设备商还有极大的增长空间，前道设备也已成为国家的重点扶持方向。目前国产九类前道设备技术逐渐成熟，多数达14nm先进制程，其中国产商最具潜力的领域包括刻蚀、CVD、PVD、清洗、量测等，国内增存量替代空间大。
- **核心受益：**北方华创（炉式设备、刻蚀设备、CVD设备、PVD薄膜沉积设备、清洗设备）、晶盛机电（晶圆制造设备）、中微公司（刻蚀设备、CVD设备）、华峰测控（模拟&射频检测）
- **产业受益：**屹唐半导体（炉式设备）、上海微电子（光刻机）、沈阳拓荆（CVD设备）、中科信（离子注入机）、华海清科（CMP研磨设备）、盛美半导体（清洗设备）、上海睿励（量测设备）、精测电子（量测设备）、中科飞测（量测设备）
- **风险提示：**半导体需求低于预期、本土化配套进展低于预期、行业竞争加剧等风险、系统性风险

- 半导体前道设备的价值为何？
- 国产前道设备商迎来机遇——国内下游制造密集扩产、国产设备技术成熟
- 九类前道设备——国产商最具潜力的领域：刻蚀、CVD、PVD、清洗、量测
  - 一、光刻机：技术最难的曝光工艺，完成芯片设计图形转移
  - 二、刻蚀设备：多重图形刻蚀工艺，雕塑芯片往10nm以下微缩
  - 三、CVD设备：多重图形沉积工艺，堆叠芯片多层结构
  - 四、PVD设备：金属化沉积工艺，实现芯片导线互连
  - 五、离子注入设备：离子掺杂工艺，激活芯片生命力
  - 六、CMP研磨设备：化学机械抛光工艺，芯片结构平整化
  - 七、炉式设备：热处理工艺，芯片的氧化/扩散/退火
  - 八、清洗设备：清除各种污染物，提升芯片良率
  - 九、量测设备：优化各前道制程工艺，提升芯片良率
- 重点推荐：国产前道设备标的

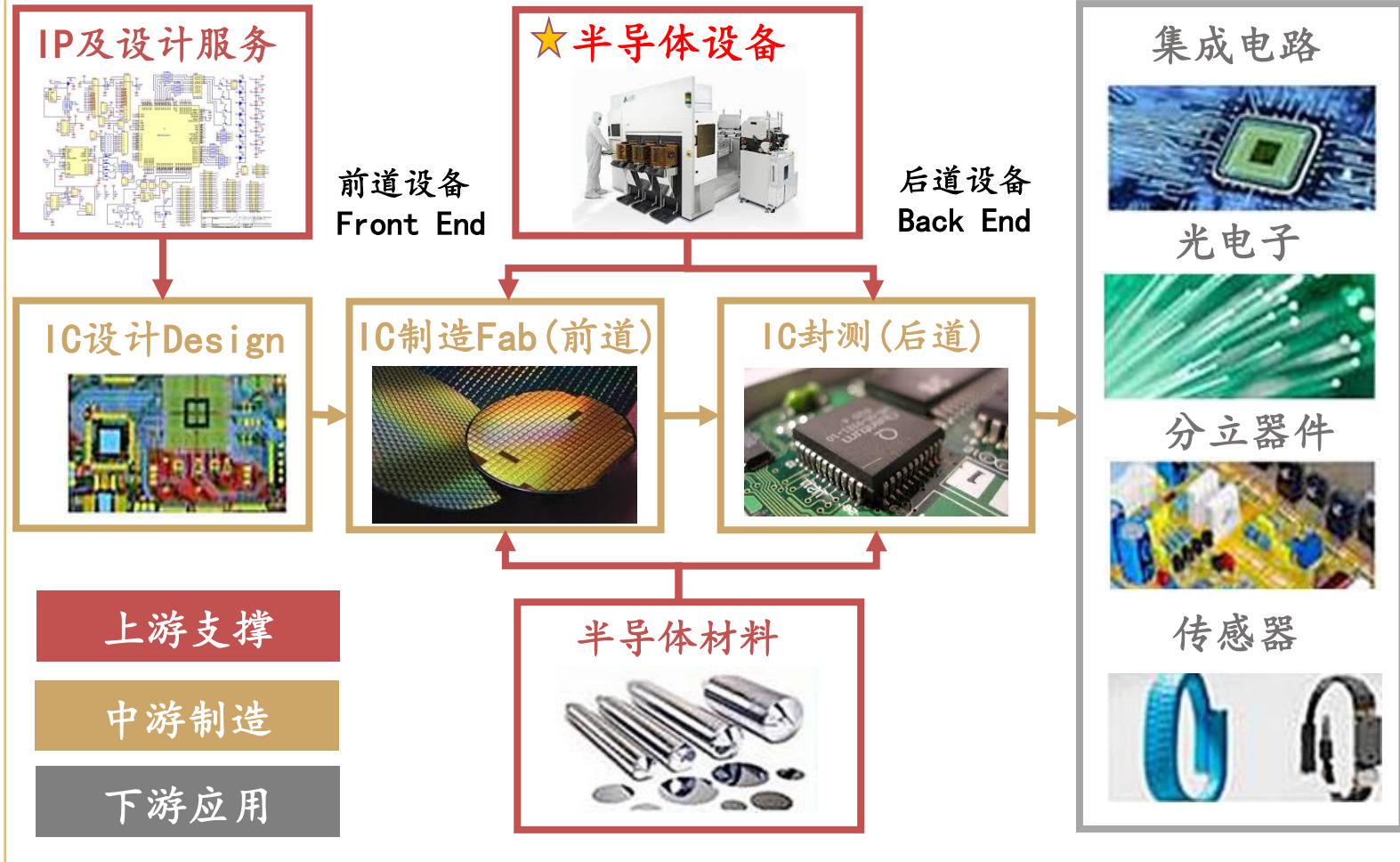
- 半导体前道设备全产业链梳理
- 前道九类设备在Fab总投资额中占比80%
  - 前道九类设备：分别应用于芯片制程中最复杂的八种工艺
  - 前道三大关键设备：多重图形工艺下光刻、刻蚀、CVD设备价值量增幅最大
- 前道设备价值增加：**摩尔定律十年内不会消失，SiP结合SoC延续技术革新**
  - 鳍式电晶体FET：实现芯片制程向7nm以下微缩的关键技术
  - 3D芯片制造技术：从设计实现高集成度三维结构芯片
  - 系统性封装技术：从封装实现集成各类芯片关键技术
- 每代Fab中前道设备资本支出平均提升30%，未来五年持续增加
  - 前道设备市场不断变大：芯片制造的材料/结构/工艺趋向复杂
  - 前道设备向先进制程转移：是未来发展必然趋势，台积电7nm/5nm领航
- 前道设备被龙头企业垄断，技术革新过程中行业集中度升高



# 前道设备：用于IC制造的半导体设备，主要用于集成电路领域

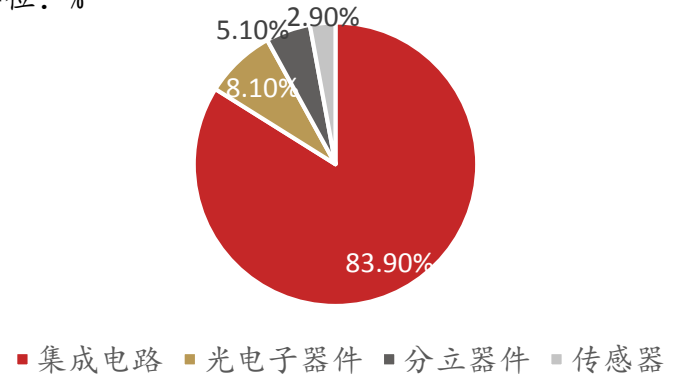
前道设备是用于芯片制造的核心设备，没有前道设备就没有芯片，是半导体产业链的关键支撑，其中又以集成电路为主要应用领域。

半导体全产业链：设计—制造（前道）—封装（后道）



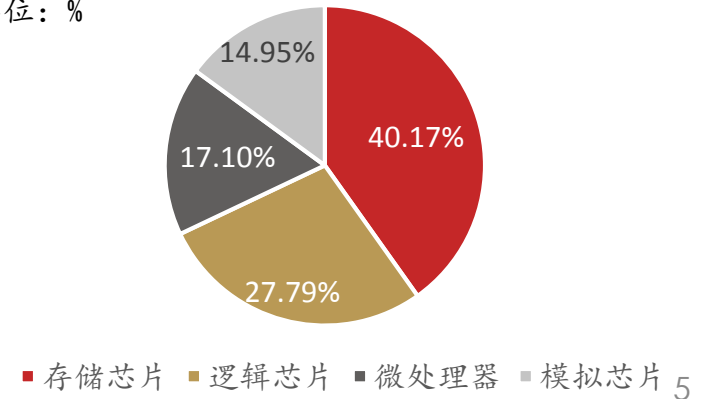
半导体下游主要应用为集成电路(2018)

单位：%



集成电路细分领域(2018)

单位：%

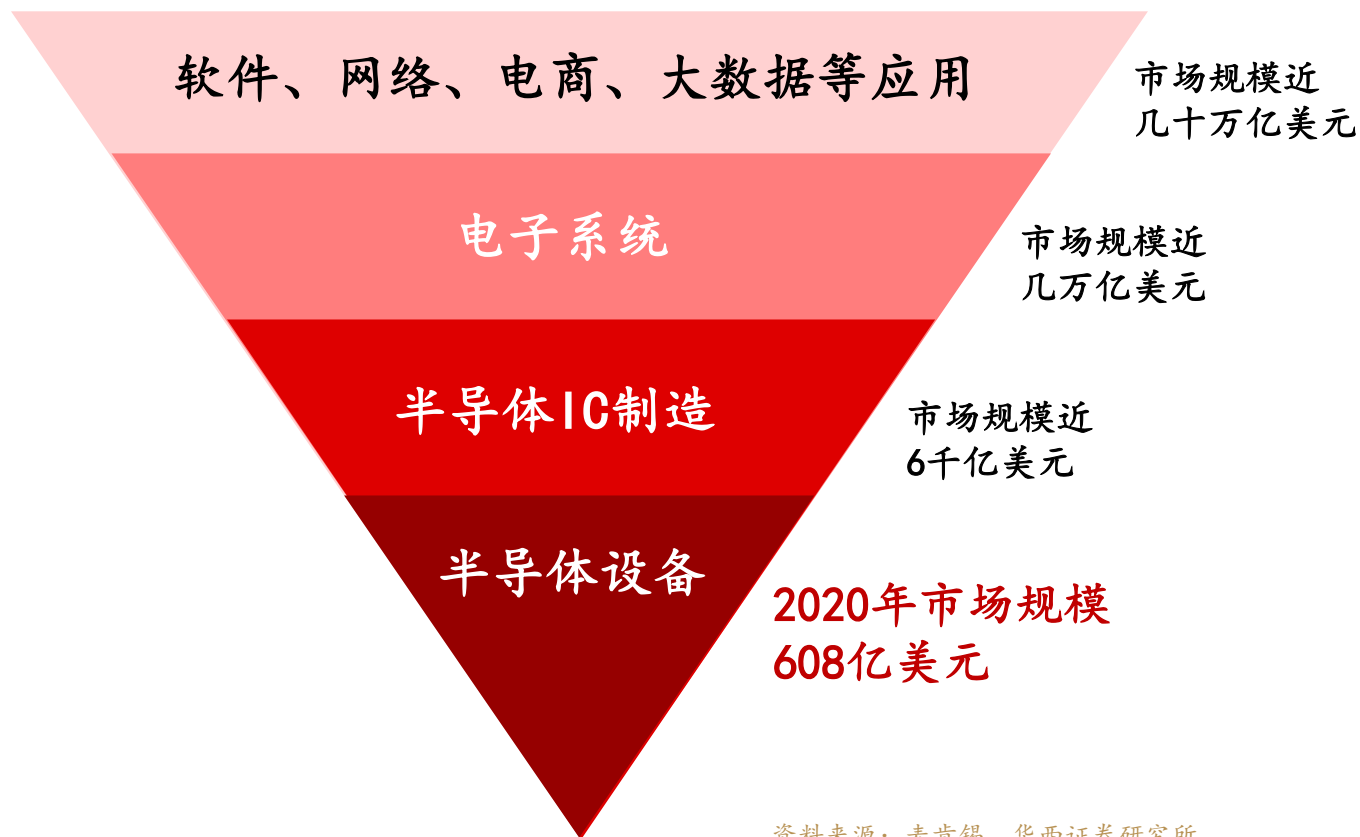


# 前道设备：行业价值量大且集中度高，占Fab资本支出的70%

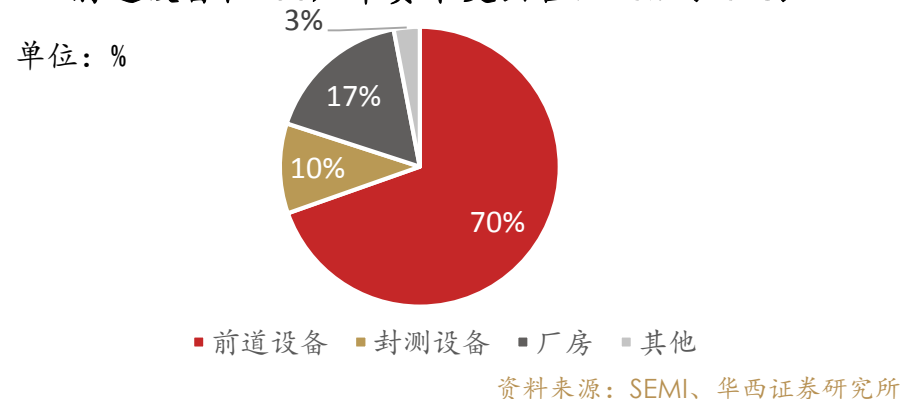
前道设备的价值量极高，一条Fab的资本支出中，70%用于购买前道制造设备，且前道设备的平均毛利率高（约50%）。

- 前道设备属于资金/人才/技术密集的行业，技术领先是行业竞争关键。根据SEMI数据，2020年全球半导体设备产值为608亿美元。前道设备在产业链中属于轻资产的技术密集型行业。技术领先的设备才能生产出先进制程的芯片，因此技术是垄断市场的关键。
- 前道设备竞争格局寡头垄断，行业领先者享有大部分利润：近年来芯片制造工艺已经发展至14nm以下的先进制程，对于前道设备的技术门槛要求很高，全球前五大设备企业占市场份额70%，形成寡头垄断的市场格局，行业中少数的企业享有大部分的市场利润。

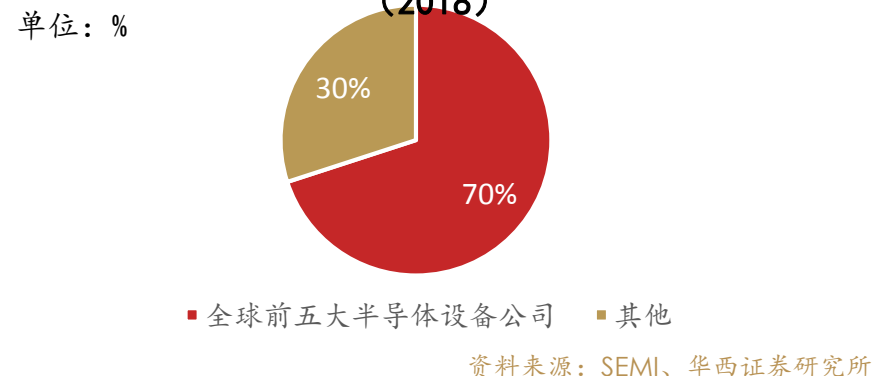
半导体设备支撑10倍大的芯片制造产业，具有重要放大作用



前道设备在Fab厂中资本支出占比70% (2018)



全球前五大半导体设备商占市场份额70% (2018)



# 前道设备：九种设备覆盖八类工艺，是将晶圆制成芯片关键

单晶硅片制造



拉单晶



磨外圆



切片



倒角



削磨/研磨



CMP粗抛

制造(前道工艺)

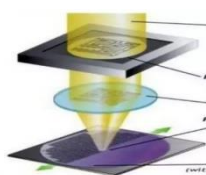
Fab  
投资额占比  
(70%)



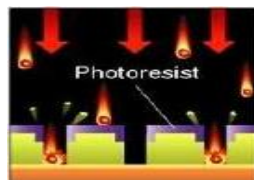
氧化退火



CVD沉积



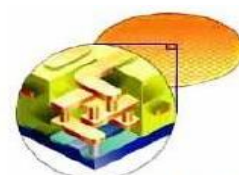
光刻曝光



刻蚀



离子注入



PVD镀膜



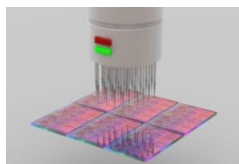
CMP抛光



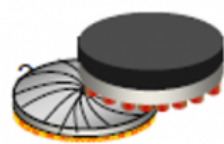
清洗

重复数十次：通过前道量测设备（反复控制工艺质量）

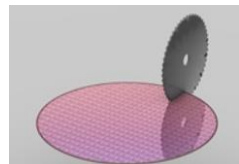
封测(后道工艺)



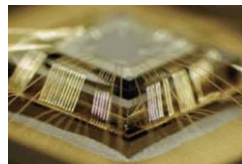
晶圆检测



背面减薄



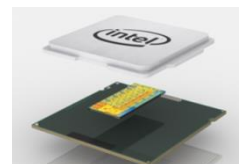
晶圆切割



引线键合



模塑







封装成型



装箱








# 前道九类设备：光刻/刻蚀/CVD三项设备市场规模最大

设备种类	图示	前道设备中市场份额 (%)	全球每年市场规模	具体工艺/涉及材料	国际和国内主要厂商
炉式设备		3%	120亿元	<ul style="list-style-type: none"> <li>氧化/扩散/退火工艺</li> <li>提供硅片氧化退火处理以达到要求的氧化环境</li> <li>硅片、氧气惰性气体等</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>国外厂商：AMAT、TEL、日立</li> <li>国内厂商：北方华创</li> </ul>
CVD化学气相沉积设备		19%	610亿元	<ul style="list-style-type: none"> <li>各种材质薄膜生长工艺</li> <li>通过化学反应将气体物质沉积在硅片上形成薄膜</li> <li>前驱气体、惰性气体</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>国外厂商：AMAT、LAM、TEL</li> <li>国内厂商：沈阳拓荆</li> </ul>
光刻机		20%	640亿元	<ul style="list-style-type: none"> <li>曝光工艺</li> <li>将掩模版上图形通过曝光/显影转移至光刻胶衬底上</li> <li>光刻胶、惰性气体等</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>国外厂商：ASML、Canon、Nikon</li> <li>国内厂商：上海微电子</li> </ul>
刻蚀设备		24%	770亿元	<ul style="list-style-type: none"> <li>各种材质刻蚀工艺</li> <li>干法刻蚀通过电浆将光刻胶上的图形转移至硅片上</li> <li>靶材、氧气、惰性气体</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>国外厂商：LAM、TEL、AMAT</li> <li>国内厂商：中微公司、北方华创</li> </ul>



# 前道九类设备：PVD/清洗/量测设备市场规模位于第二梯次

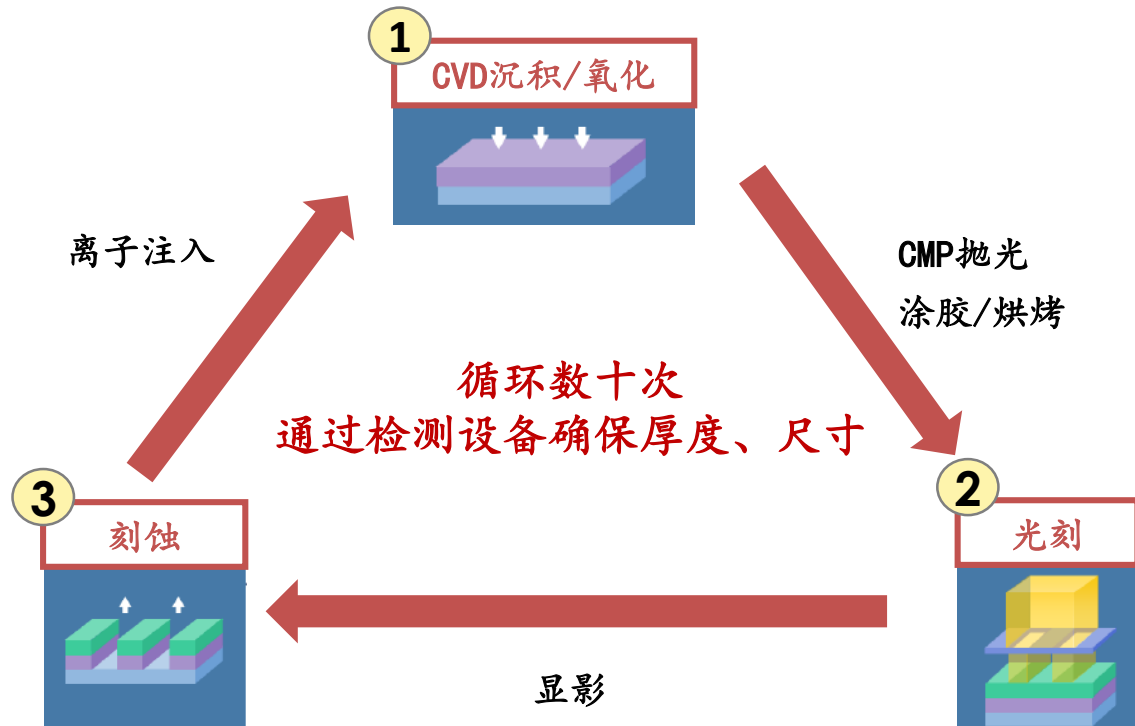
设备种类	图示	前道设备中市场份额(%)	全球每年市场规模	具体工艺/涉及材料	国际和国内主要厂商
离子注入设备		4%	108亿元	<ul style="list-style-type: none"> <li>离子参杂工艺</li> <li>对刻蚀好的硅片进行离子参杂，激活芯片</li> <li>特殊气体等</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>国外厂商：AMAT、Axcelis</li> <li>国内厂商：中科信</li> </ul>
PVD物理气相沉积设备		6%	240亿元	<ul style="list-style-type: none"> <li>溅镀沉积/金属化工艺</li> <li>通过物理反应将靶材溅射沉积在硅片上形成薄膜</li> <li>靶材、氧气、惰性气体</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>国外厂商：AMAT、Evatec、Ulvac</li> <li>国内厂商：北方华创</li> </ul>
CMP研磨设备		3%	120亿元	<ul style="list-style-type: none"> <li>表面研磨抛光工艺</li> <li>通过机械和化学研磨作用实现硅片导线平整化</li> <li>抛光液、抛光垫等</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>国外厂商：AMAT、Ebara</li> <li>国内厂商：华海清科</li> </ul>
清洗设备		7%	250亿元	<ul style="list-style-type: none"> <li>清洗工艺</li> <li>通过湿法清洗降低硅片各制程的交叉污染风险</li> <li>水和各种化学液体等</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>国外厂商：Screen、LAM、SEMES、TEL</li> <li>国内厂商：盛美半导体、至纯科技</li> </ul>
(保障前道工艺质量) 前道量测设备		12%	480亿元	<ul style="list-style-type: none"> <li>检测、量测工艺</li> <li>非制造用设备，但是重要性高，通过各制程的反复检测提升芯片最终良率</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>国外厂商：KLA、AMAT、日立</li> <li>国内厂商：上海睿励、精测电子、中科飞测</li> </ul>

# 前道三大关键设备：光刻/刻蚀/CVD沉积，决定芯片技术节点

先进制程芯片必须采用“多重图形工艺”反复循环“光刻、刻蚀、薄膜沉积”三项工艺，完成图形转移至芯片和缩小芯片线距。

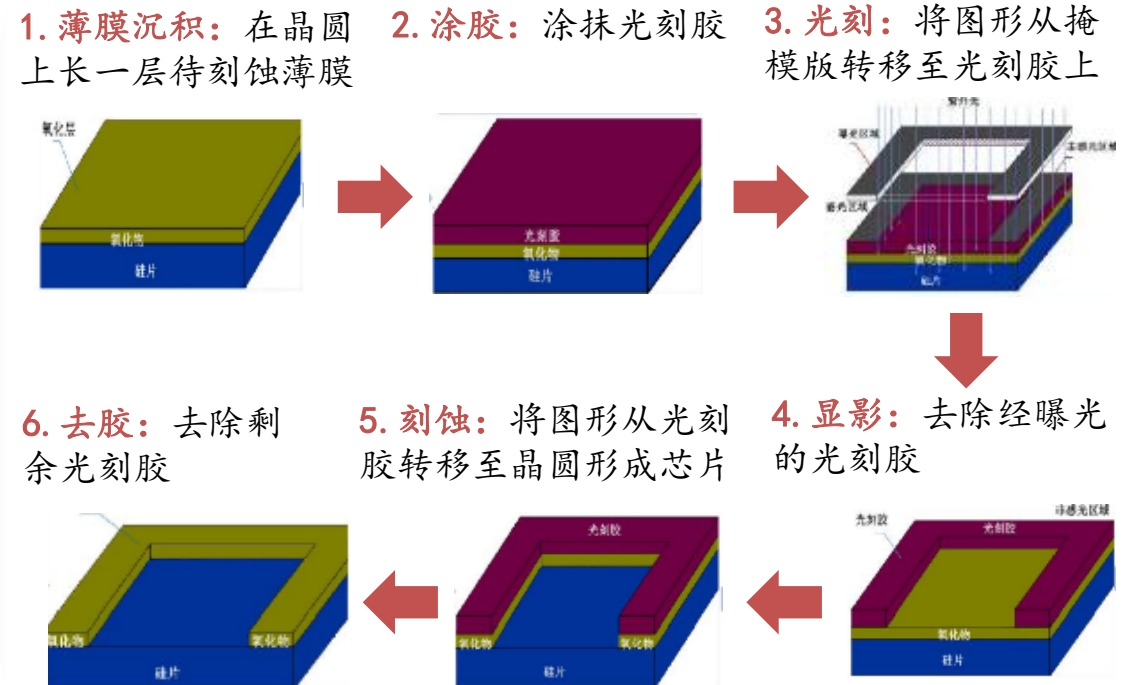
- 图形转移至芯片的制程如下：(1) 薄膜沉积工艺 (CVD/氧化) 在晶圆上沉积一层待处理的薄膜。(2) 光刻工艺：把光刻胶涂抹在薄膜上，再通过曝光光刻和显影将光罩上的图形转移至光刻胶 (3) 刻蚀工艺：刻蚀晶圆上未被光刻胶覆盖的区域，将光刻胶上的图形转移到晶圆商。最后去除光刻胶后，即完成图形从光罩到晶圆的转移。
- 先进制程采用多重图形工艺，实现芯片微缩：芯片的先进制程总共需要数十层掩模版和数百道的刻蚀和薄膜沉积工艺。在紫外光波长只有193nm的情况下，为了使得芯片达到14nm以下的线距，需通过反复循环刻蚀和薄膜沉积，逐层将掩模板上的细微结构图形转移到晶圆上。
- 多重图形工艺中，光刻/刻蚀/CVD工艺的步骤数量比例大致为 1：4：2。因此，刻蚀和CVD的工艺用量提升最多，光刻则是单次工艺的成本最高

多重图形工艺关键：仰赖于光刻/刻蚀/薄膜沉积循环微缩制程



资料来源：中微公司、华西证券研究所

光刻/刻蚀/薄膜沉积的制程细项流程



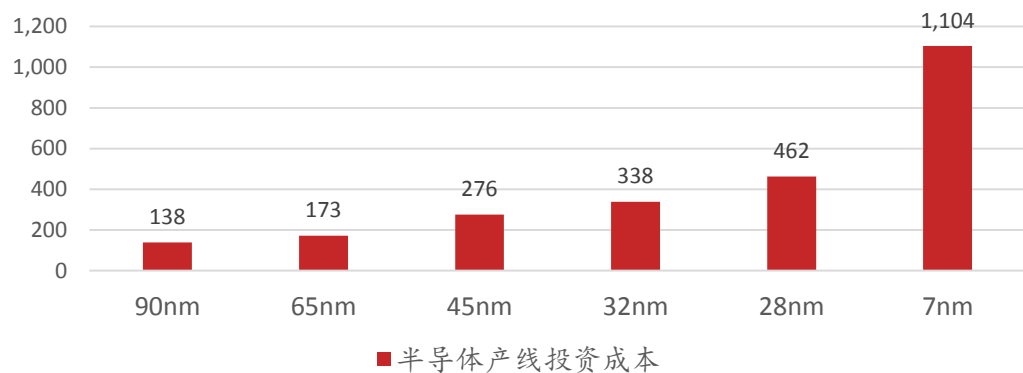
资料来源：中微公司、华西证券研究所

# 光刻/刻蚀/CVD设备：芯片制程微缩趋势下，价量提升最大

先进制程芯片的制造难度、工艺步骤数量提升→ Fab用于前道设备的投资金额大幅增加→刻蚀、CVD设备的用量大幅增加，光刻设备单价显著提升。

半导体Fab的投资金额随着制程微缩大幅增加

单位：亿元



资料来源：IC Insight、华西证券研究所

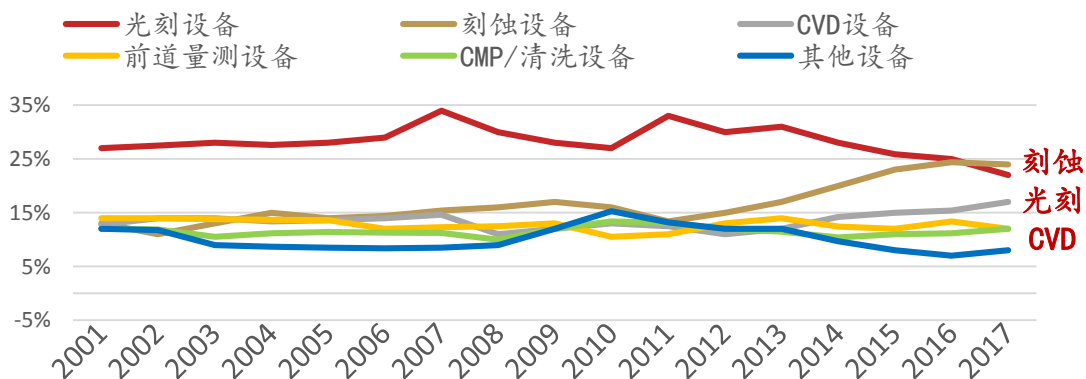
制程微缩：使得芯片制造难度、工艺步骤数量提升

应用领域	逻辑电路						
	40nm	28nm	20nm	14nm	10nm	7nm	5nm
技术节点	40nm	28nm	20nm	14nm	10nm	7nm	5nm
占头发丝直径	$\frac{1}{5000}$		$\frac{1}{5000}$	$\frac{1}{7000}$	$\frac{1}{10000}$	$\frac{1}{14000}$	$\frac{1}{14000}$
全工艺步骤数	-	-	1000	>1100	>1400	>1500	>2000
刻蚀工艺步骤数	35	40	>50	>60	>110	>140	>150

资料来源：SEMI、华西证券研究所

2017年前道设备价值占比：刻蚀、CVD提升最多 (%)

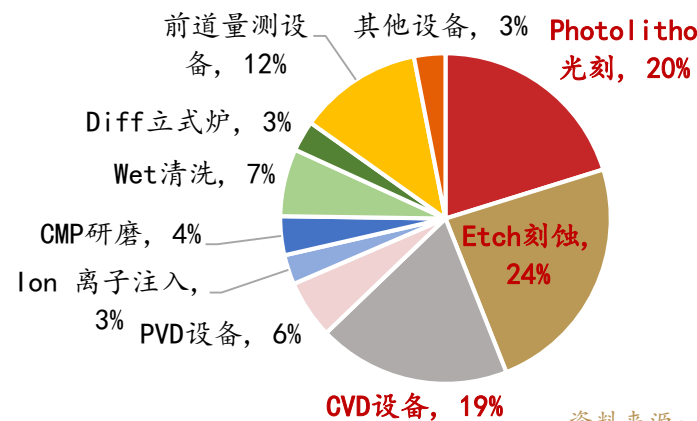
单位：%



资料来源：LAM、华西证券研究所

2018年前道制造设备价值占比：光刻/刻蚀/CVD为三大设备

单位：%



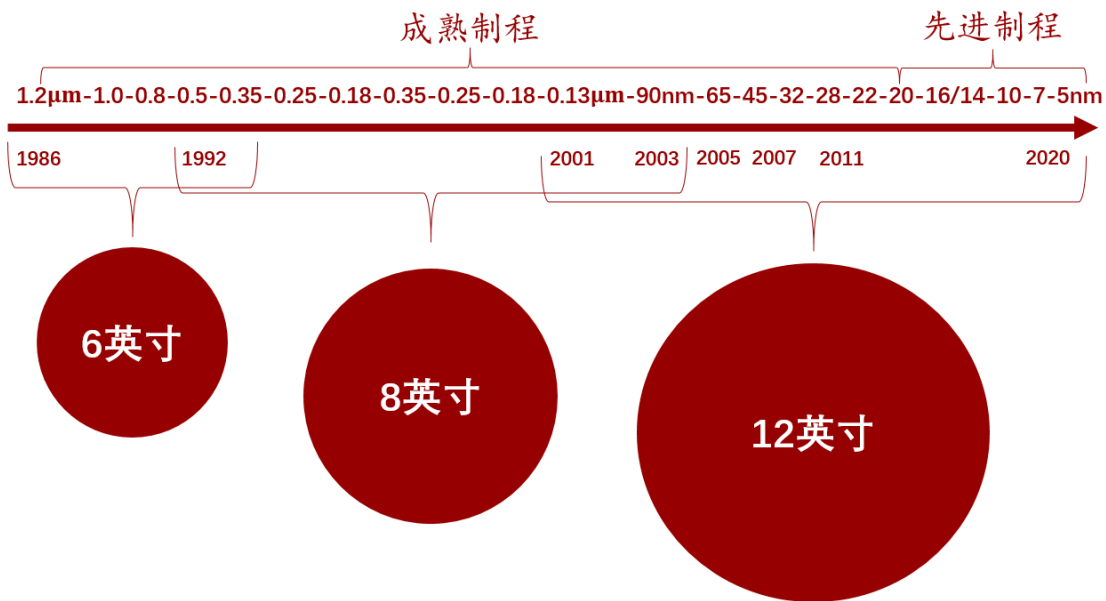
资料来源：SEMI、华西证券研究所

# 前道设备价值持续提升：摩尔定律使得每代芯片降本增效

摩尔定律下，每18至24个月芯片单位面积下晶体管数量将翻倍，进而提升芯片效能，降低单位制造成本，使得制造商愿意购入价格更高的前道设备。

- 前道设备的价值量未来十年可望随着摩尔定律持续提升。全球芯片制造龙头台积电已经计划在2025年以前陆续推出5nm/3nm/2nm制程芯片，2030年以前持续推进3D芯片制造和系统性封装技术。为了获得摩尔定律带来的红利，芯片制造企业将通过前道设备在单位面积内放入更多的电晶体。
- 未来十年，行业已经具备延续摩尔定律的技术工艺。即使行业部分声音认为半导体距离制程微缩的极限已经不远，摩尔定律将逐渐失效。但是纵观来看，只要科技持续创新，就仍然有方法提高电晶体的密度，例如：3D芯片制造技术和系统性封装技术。

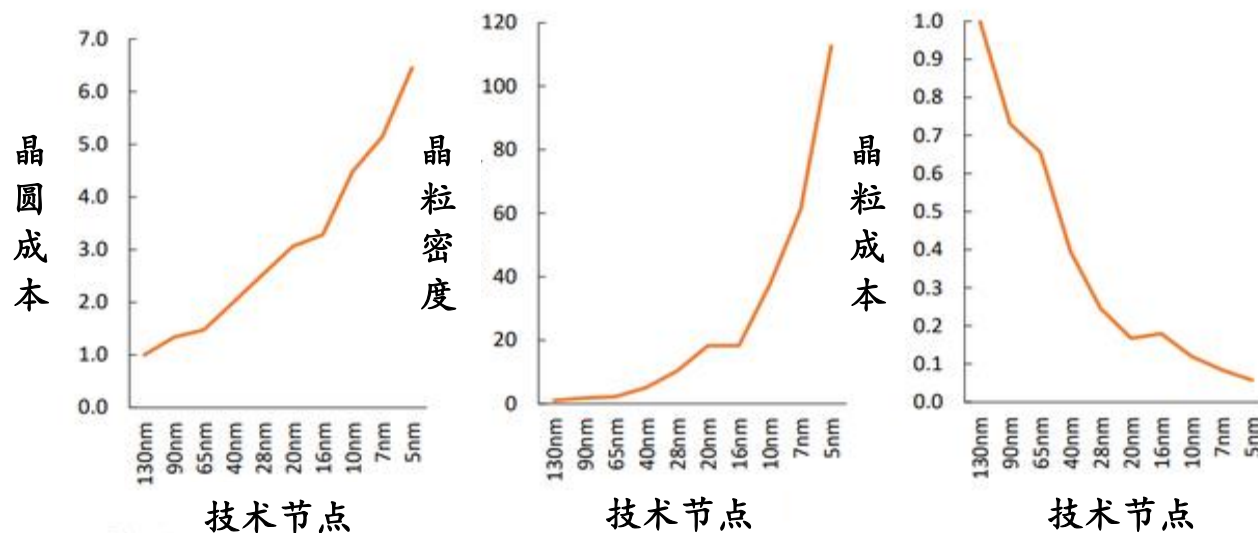
1986至2020年：逻辑芯片制程工艺趋势：从65nm缩小至7nm/5nm



资料来源：前瞻产业研究院、华西证券研究所

台积电为例：芯片制程从130nm至5nm，芯片效能提升、单位成本降低

## TSMC Cell Cost Trend

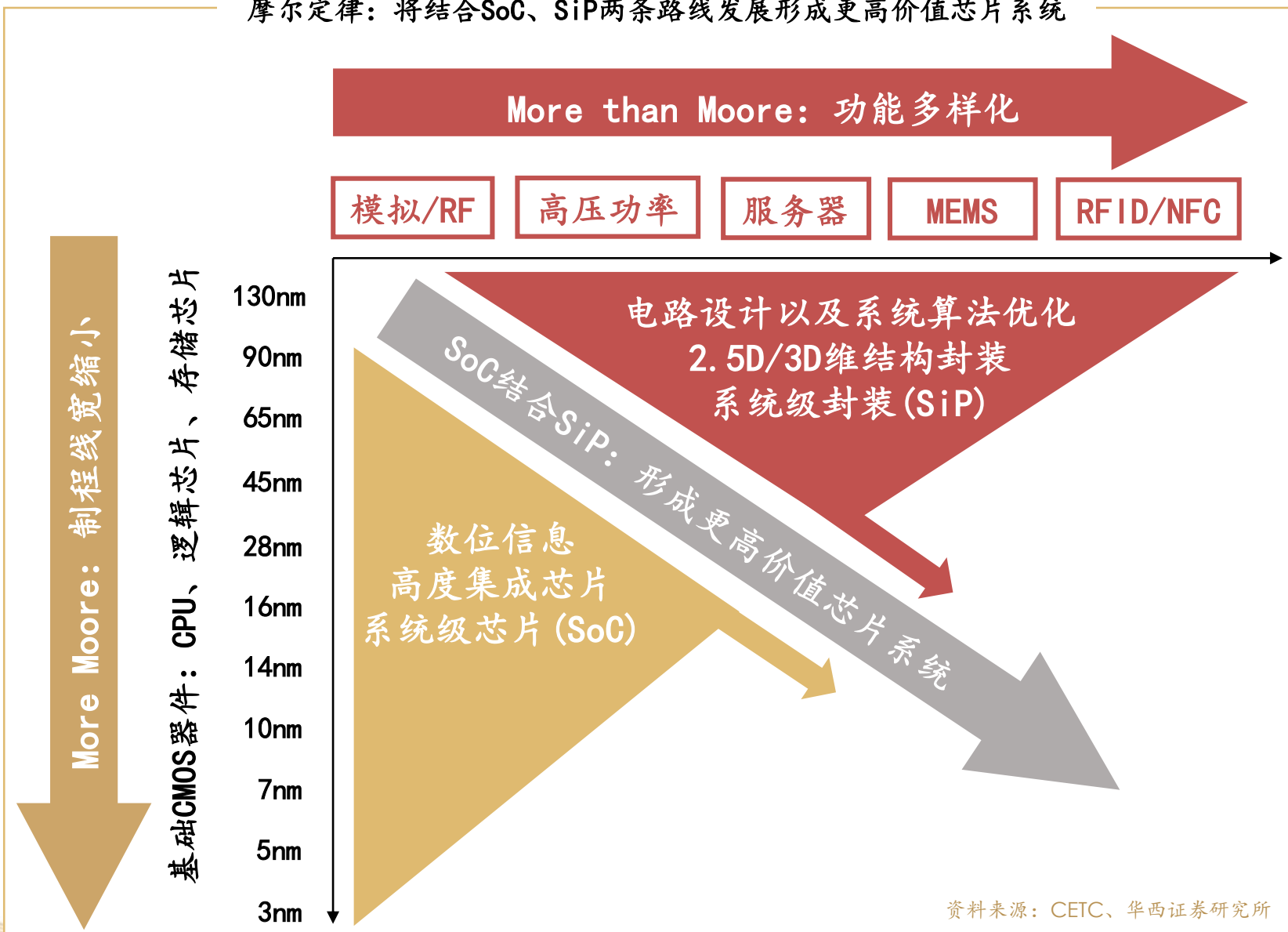


资料来源：IC Knowledge、华西证券研究所



# 摩尔定律十年内不会消失：SoC结合SiP技术延续工艺革新

摩尔定律：将结合SoC、SiP两条路线发展形成更高价值芯片系统



资料来源: CETC、华西证券研究所

摩尔定律十年内已经找到技术发展方向，未来主要将结合SoC和SiP两条路径，带动前道设备的需求：

## • SoC系统级芯片 (More Moore)

SoC是从设计角度出发，通过电路设计将系统所需的组件高度集成到一块芯片上，在一个芯片上集结了各种功能模块，拥有更高的芯片密度和运算能力。但是，近年来SoC芯片的生产成本越来越高，技术难度和障碍升高，逐渐出现技术瓶颈，因此行业开始同步发展SiP系统级封装技术，将SoC芯片和存储芯片或其他功能芯片封装集成为一颗新的芯片，提高芯片的性能和缩小尺寸。

## • SiP系统级封装 (More than Moore)

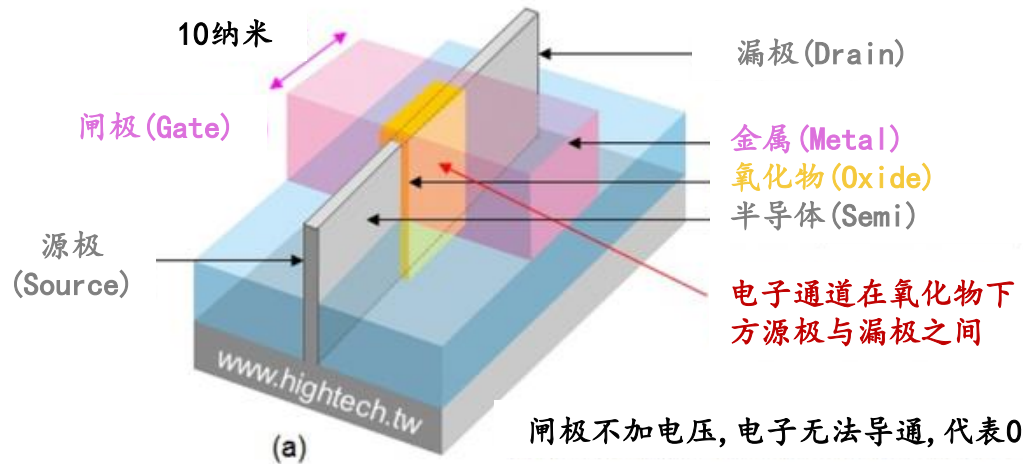
SiP是从封装的角度出发，把多个半导体芯片和元器件封装在同一个芯片内，组成一个系统级的芯片。例如将存储芯片和系统级芯片SoC通过穿孔的方式连接在一起，使得每单位集成更多晶体管，大幅提高芯片性能，缩小芯片尺寸。突破了传统封装PCB线宽尺寸较大的瓶颈。

# SoC系统级芯片：鳍式电晶体FET是实现7nm以下的关键技术

鳍式电晶体FET结构技术可以让闸级长度（芯片线距）持续微缩，目前7nm/5nm技术节点为FinFet，预计2022年后的5nm/3nm将往GAAFet发展。

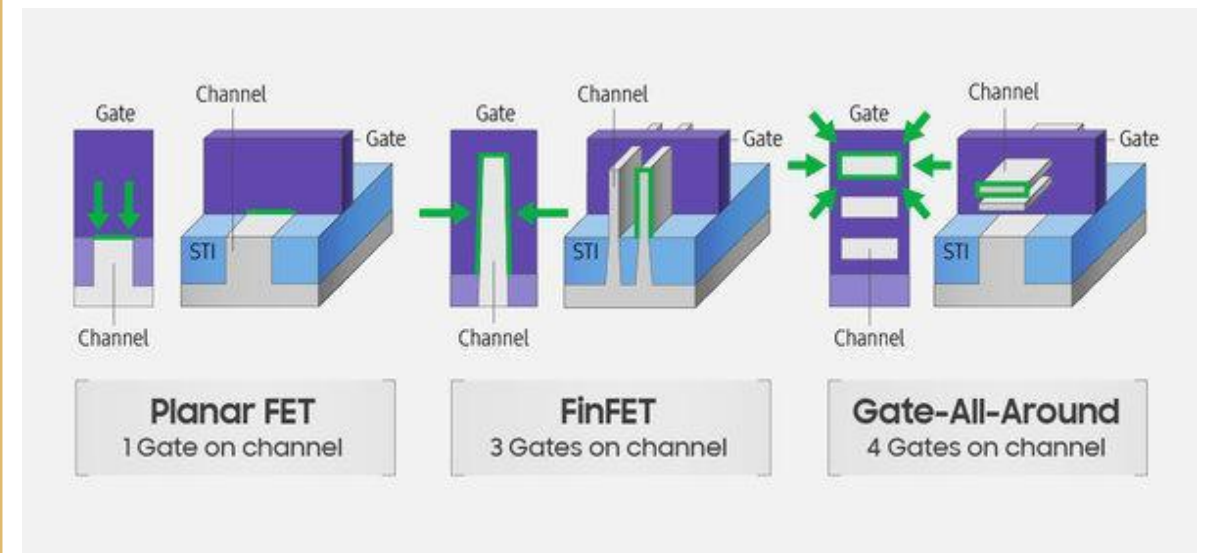
- **FinFet已成为14nm以下芯片主流结构**：在过去的制程节点推进中，主要是通过缩小电晶体的闸级长度来减少芯片尺寸。但是随着闸级长度变小（闸级和电子通道接触面积也变小）进而导致闸级电压调节能力变弱（导致短路），因此，FinFet立体结构可将闸级接触面积由二维增加为三维，让减少闸级长度的同时也能增加闸级接触面积， FinFet已成为14nm以下芯片主流结构。
- **GAAFet (Gate-All-Around)** 预计为3nm以下芯片的电晶体结构，有望在未来几年保持晶体管持续微缩发展：GAAFet是一种多闸极电晶体，通过环绕式电子通道设计，增加闸级的接触面积。 GAAFet是当前FinFet的进化版晶片生产技术，使晶片更小，处理速度更快且更省电，是一项全新的电晶体架构。根据行业预期，三星和台积电均已经投入GAAFet技术研发。

电晶体的闸极(Gate)长度：决定芯片纳米线宽



资料来源: ansforece、华西证券研究所

鳍式电晶体的多种结构：使得芯片闸极线宽可望至3nm以下微缩



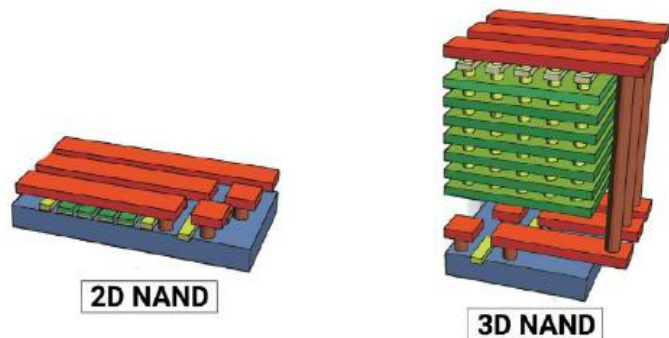
资料来源: Samsung、ansforece、华西证券研究所

# 3D芯片制造技术：从IC设计角度集成三维结构芯片提升效能

3D芯片制造技术已经领先应用于3D NAND存储芯片，未来将有更多芯片尝试往3D结构方向发展。

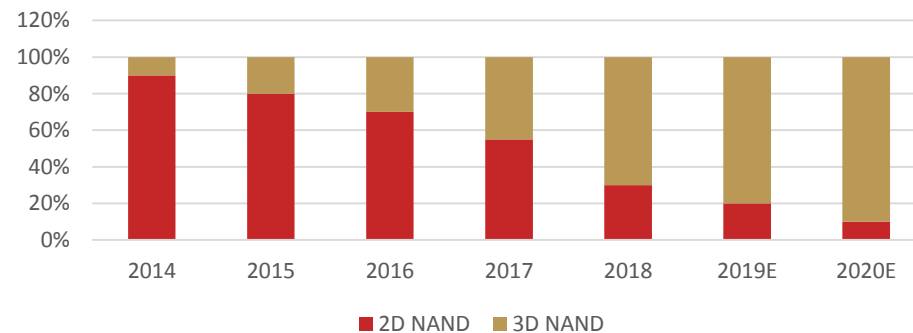
- 3D芯片制造技术，是除了3D封装技术以外，从设计角度集成三维结构芯片的方法，但是技术难度高，目前主要应用于存储芯片NAND和DRAM。
- 存储芯片通过三维结构增加存储容量和性能：（1）3D NAND技术节点包括64层/96层/128层，行业预期未来将叠加至500层，技术工艺还会持续推进。目前三星等国际厂商的技术节点即将退出128层结构的3D NAND。（2）DRAM技术节点包括1x/1y/1z，目前制程已朝向1y/1z的三维结构发展，未来随着存储容量提高和芯片尺寸缩小，结构的层数可望持续增加。

3D NAND比2D NAND需要叠加更多层



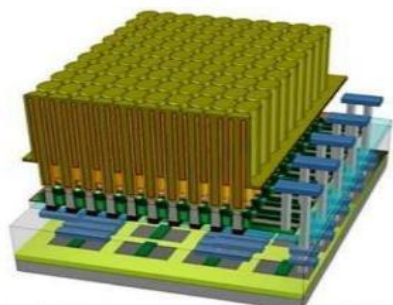
资料来源：中微公司、华西证券研究所

3D NAND 2014-2020年的市场占比逐年扩大



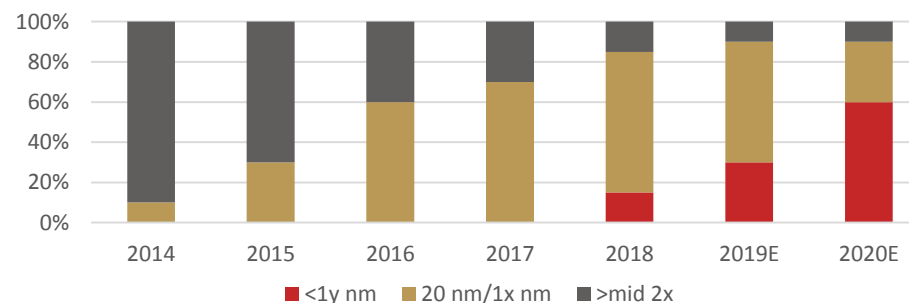
资料来源：Lam Research、华西证券研究所

DRAM朝向多层结构发展



资料来源：中微公司、华西证券研究所

DRAM先进制程的产品占比越来越高



资料来源：Lam Research、华西证券研究所

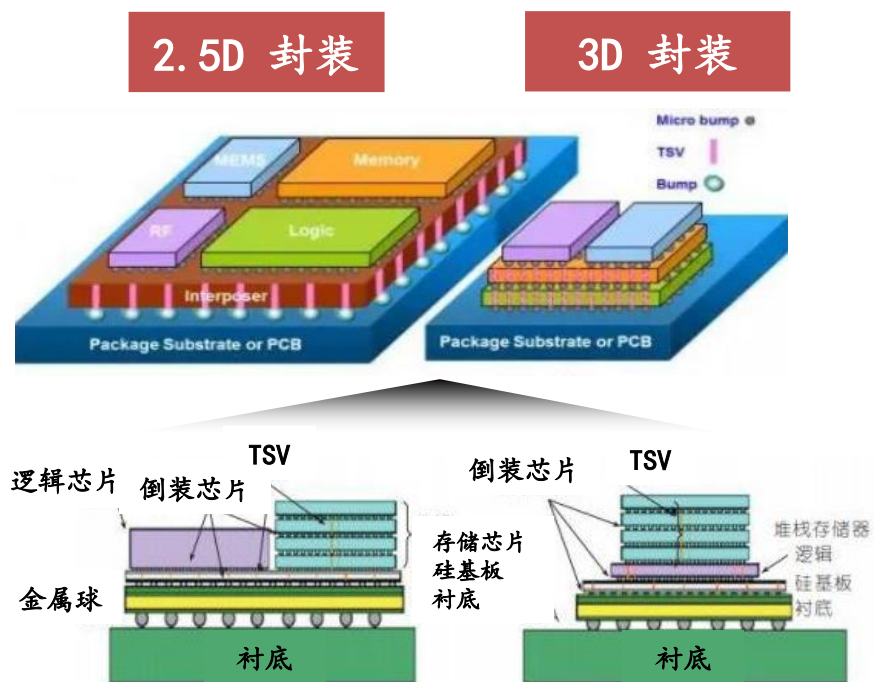


# SiP系统性封装：从封装角度提高芯片性能的关键技术

3D系统性封装SiP是在芯片线距微缩难度提升的情况下，延续摩尔定律单位电晶体集成度增加、提高芯片性能的关键技术。

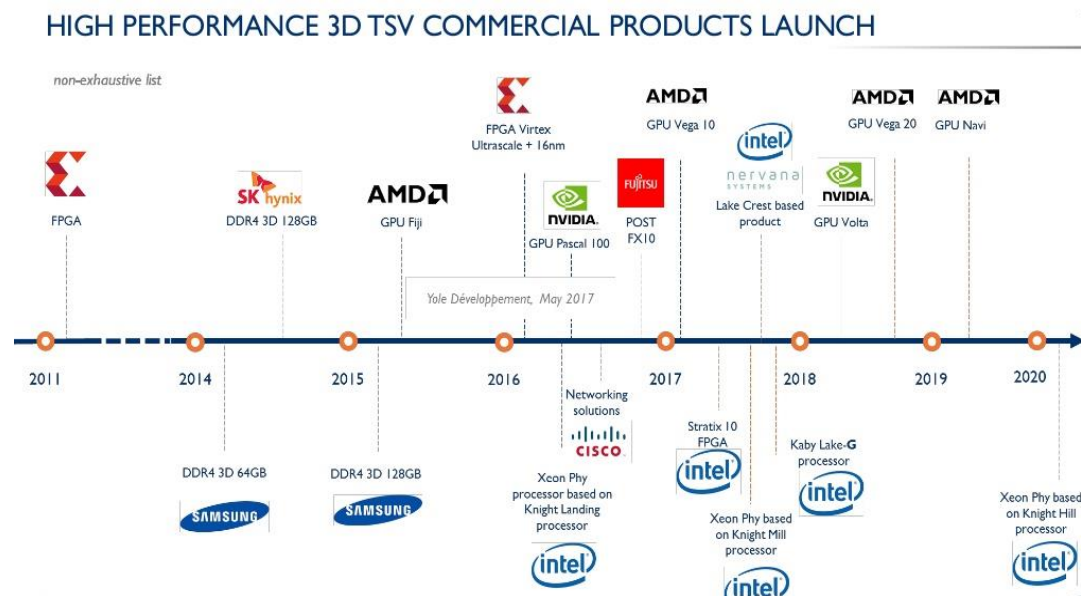
- 3D封装大幅提升芯片效能，是未来三至五年的关键发展方向。（1）2.5D封装的金属連線尺寸大約10微米。2.5D封装通过在硅基板上进行矽穿孔(TSV)，间接连接起逻辑芯片和存储芯片。（2）3D封装的金属连线尺寸大约为10nm。3D封装是将芯片堆叠进行层间穿孔，直接连接起逻辑电路和存储芯片。在芯片上直接穿孔的孔径比起在硅基板上穿孔的尺寸微小近千倍，因此，3D封装比起2.5D封装的技术难度非常大。
- 3D封装相比2.5D技术可缩短芯片尺寸、减轻重量达40-50倍；根据行业数据，在速度方面，3D封装可节约的功率使元件运转速度加快而不增加能耗同时，这种封装在集成度、性能、功耗等方面更具优势。虽然实际意义上的3D系统性封装技术尚处于研发阶段，但近几年可以看到越来越多的CPU、GPU、存储器开始应用TSV技术朝向三维结构发展，技术出现逐渐成熟的趋势。

系统性封装：芯片从2.5D往3D结构封装可望降低芯片尺寸



资料来源：半导体行业观察、华西证券研究所

2016-2020年多家国际芯片厂商持续推出3D IC结构芯片



资料来源：Yole、华西证券研究所

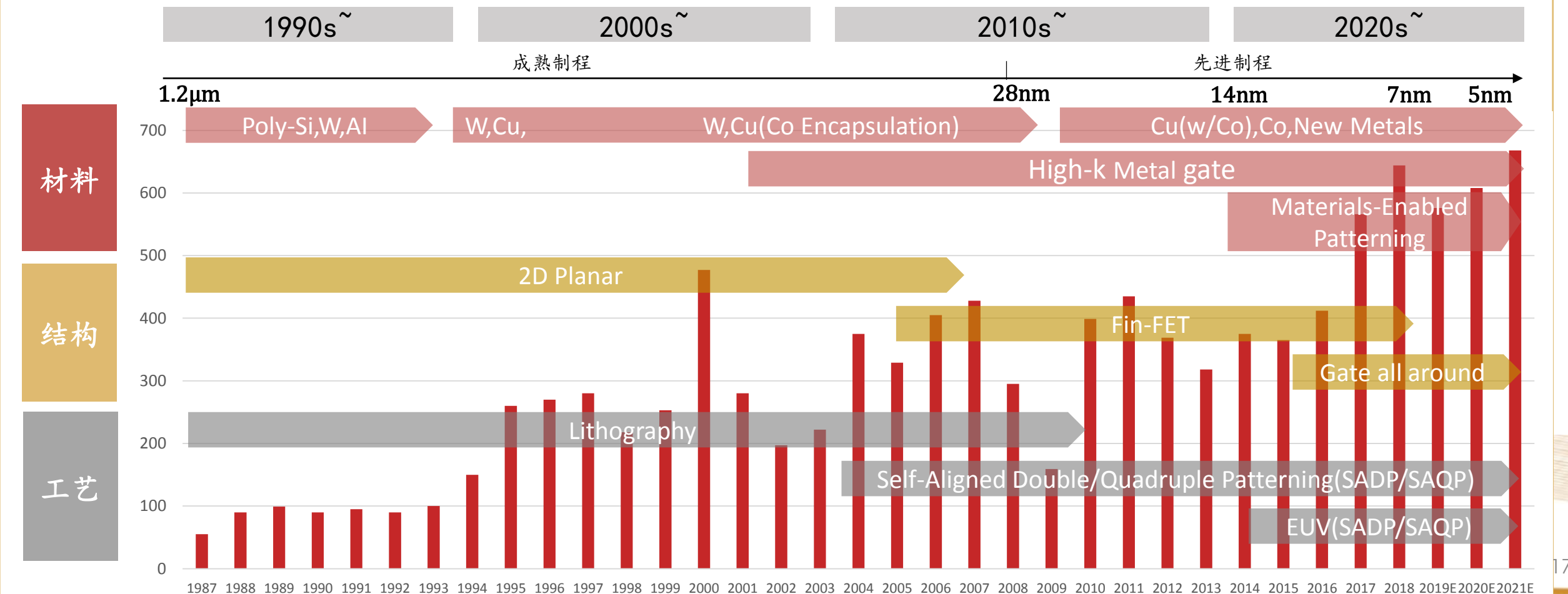


# 前道设备市场规模上升: 受益于芯片材料/结构/工艺趋向复杂

前道设备的市场规模随技术推动而持续上升，一代芯片技术依赖于二代工艺，而每代工艺都依赖于前道设备实现。

- 材料/结构/工艺的进步，使得前道设备的技术难度越来越高，1990至2020年半导体设备市场规模持续增长。(1) 材料种类进步: Poly-Si、钨、铝 → 钨、铜 → 钨、铜、钴 → 新材料。(2) 结构技术进步: 2D平面结构 → FinFet结构 → GAAFet结构。(3) 制程工艺进步: 光刻技术 → 多重图形工艺 → 深紫外EUV+多重图形工艺

半导体技术材料/结构/工艺的进步路径——全球半导体设备投资额 (亿美元)



资料来源: SEMI, AMAT, 华西证券研究所

# 前道设备技术节点推进：每代设备资本支出平均提升30%

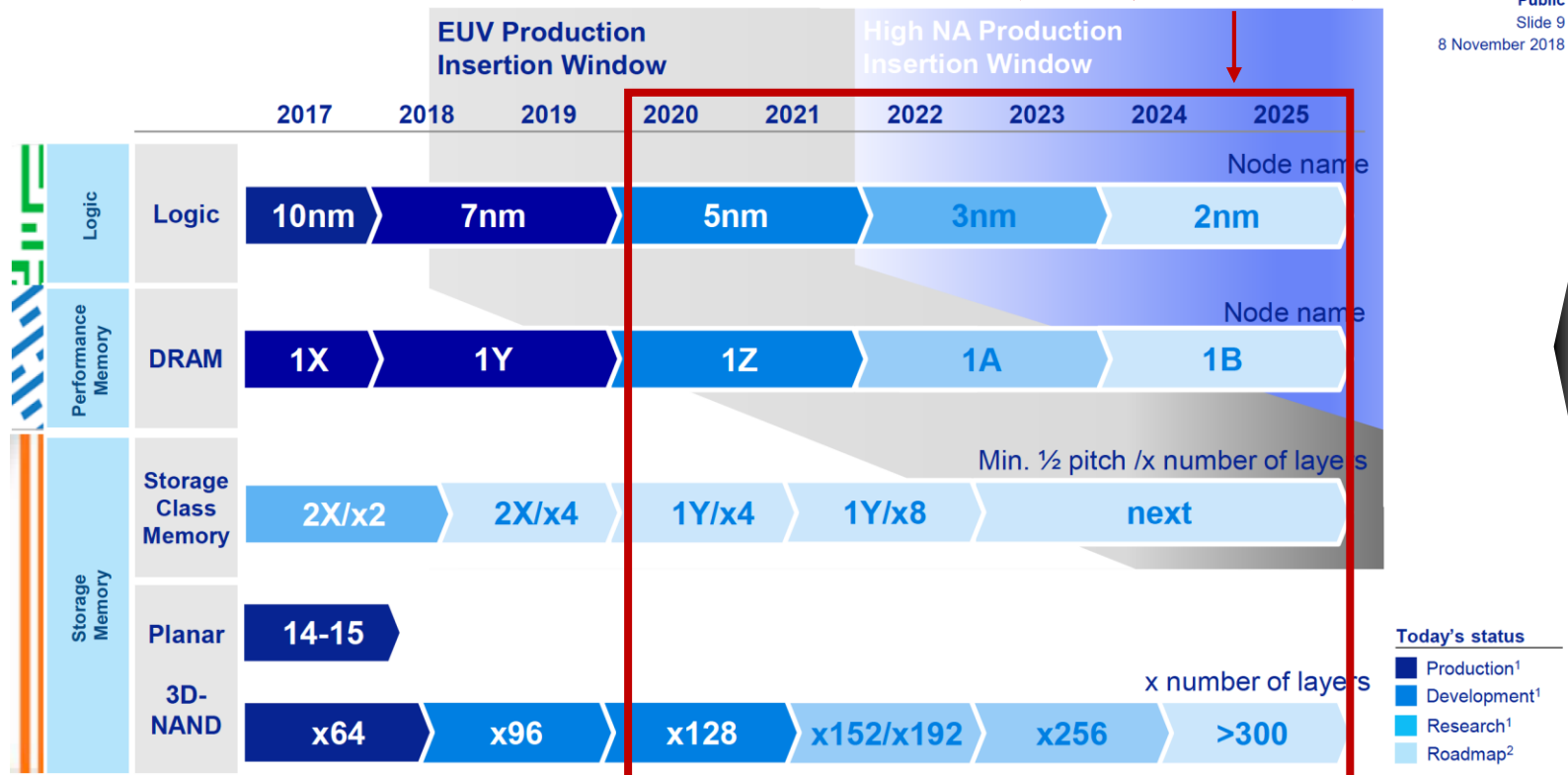
前道设备资本支出未来五年将大幅增加。逻辑芯片、DRAM和3D NAND未来五年技术持续革新，平均每代前道设备投资额增加30%。

- (1) 逻辑芯片从28nm至7nm设备投资额增加100%。
- (2) DRAM从25nm至16纳米设备投资额增加40%。
- (3) 3D NAND从2D至3D64层投资额增加60%。

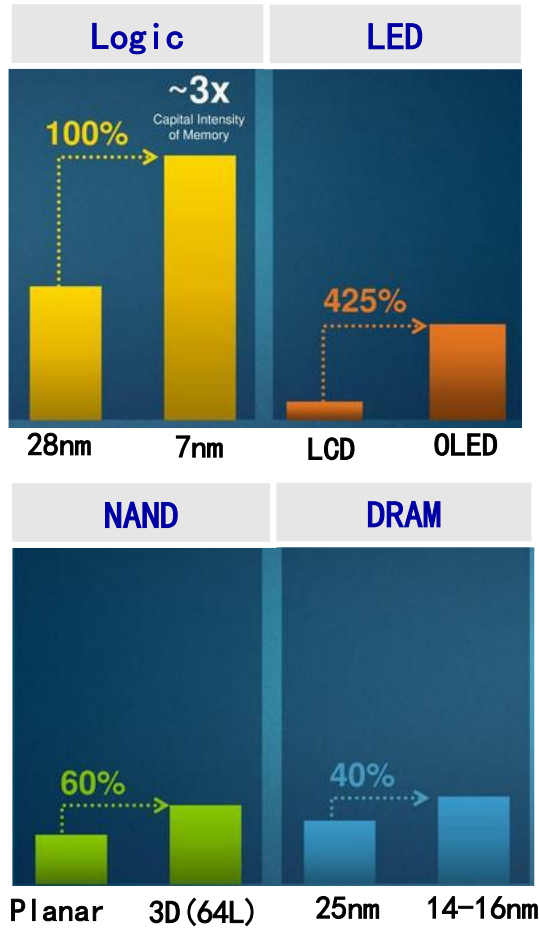
半导体技术工艺在集成电路各应用领域的发展情况

## Customers' scaling roadmaps continue

未来五年技术将持续革新



Fab的前道设备投资额大幅增加



资料来源：ASML、华西证券研究所

资料来源：AMAT、华西证券研究所

# 前道设备向先进制程转移，是未来发展必然趋势

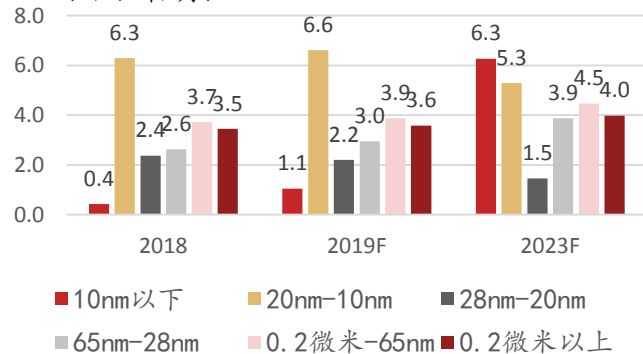
台积电引领全球芯片制造商往先进制程推移，先进制程芯片掌握行业大部分的利润。因此，先进制程用的前道设备将持续增加。

2015-2020年全球前六大主要集成电路制造商技术节点

	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020E	2021E	2022E	2023E	2025E
台积电	28nm			16nmFinFET 20nmBEOL		16nm FinFET	10nm FinFET	7nm	7nm+ (EUV)	5nm 6nm (EUV)	5+nm 3nm			2nm (GAAFET)
英特尔	22nm			14nm					10nm	10+nm	7nm (EUV)	7+ (EUV)	7++ (EUV)	
三星		28nm		20nm	14nmFinFET 20nmBEOL		10nm		7nm 6nm (EUV)	5nm FinFET	3nm (GAAFET)			
格罗方德			28nm	20nm	14nm		10nm		7nm (停滞)					
联电		28nm					14nm	因晋华案 停滞						
中芯国际	40nm				28nm				14nm					

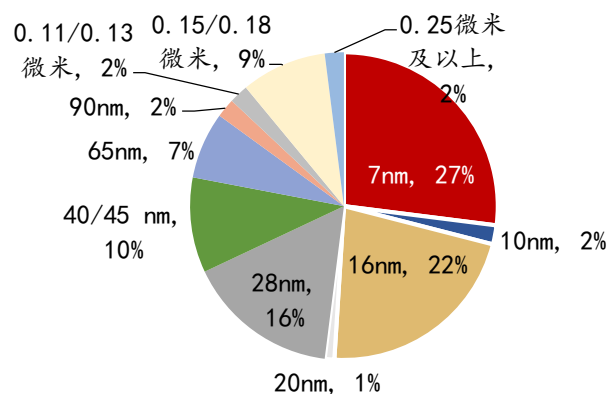
全球10nm以下制造设备装机量大幅提升

(百万片/月)



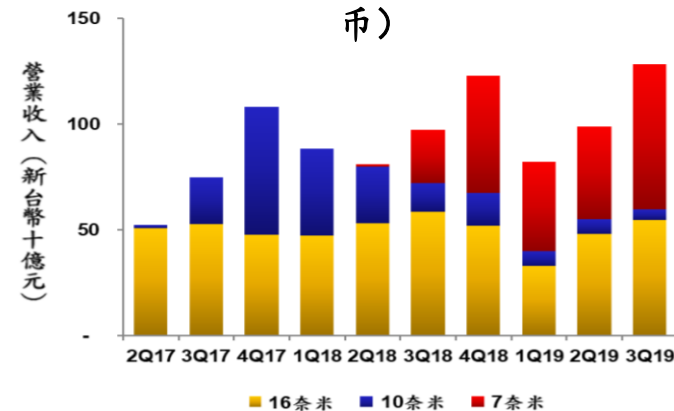
资料来源：IC Insight、华西证券研究所

2019Q3 TSMC 16nm以下营收占比达50%



资料来源：TSMC、华西证券研究所

2019Q3 TSMC 16nm以下营收 (十亿台币)














































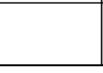
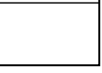





资料来源：TSMC、华西证券研究所 (奈米=纳米)

# 前道设备行业高度垄断：龙头企业以技术领先垄断前道设备

前道设备技术难度高、行业壁垒高，前五半导体设备商分别在不同前道设备细分领域具备技术优势：

- 前道设备的行业集中度增加：2018年全球前十大半导体设备商占据市场份额的80%，其中又以前道设备占比最大（占比80%），因此前十大半导体设备商皆以前道设备为主。前道设备的技术门槛随着技术革新越来越高，导致行业集中度越来越高。
- 前五名半导体设备商，掌握细分领域市场份额大的前道设备：(1) AMAT是薄膜沉积设备的CVD和PVD设备龙头。(2) LAM是刻蚀设备龙头。(3) 东京电子在刻蚀设备、CVD设备稳居第二名。(4) ASML是光刻机龙头。(5) 科磊半导体是检测设备龙头。因此，作为半导体设备商，前道设备是主要的竞争关键，

2014-2018年全球半导体设备供应商TOP10市占率情况

Rank	2014	2015	2016	2017	2018
1	Applied Materials 	Applied Materials 	Applied Materials 	Applied Materials 	Applied Materials 
2	ASML 	Lam Research 	Lam Research 	Lam Research 	ASML 
3	Tokyo Electron 	ASML 	ASML 	Tokyo Electron 	Lam Research 
4	Lam Research 	Tokyo Electron 	Tokyo Electron 	ASML 	Tokyo Electron 
5	KLA-Tencor 	KLA-Tencor 	KLA-Tencor 	KLA-Tencor 	KLA 
6	Screen Semiconductor Soluti 	Screen Semiconductor Soluti 	Screen Semiconductor Soluti 	Screen Semiconductor Soluti 	Screen Semiconductor Soluti 
7	Hitachi High-Technologies 	Hitachi High-Technologies 	Hitachi High-Technologies 	SEMES 	Hitachi Kokusai Electric 
8	Nikon 	Nikon 	Nikon 	Hitachi High-Technologies 	Hitachi High-Technologies 
9	Hitachi Kokusai Electric 	Hitachi Kokusai Electric 	Hitachi Kokusai Electric 	Hitachi Kokusai Electric 	SEMES 
10	ASM International 	ASM International 	ASM International 	Daifuku 	Daifuku 
Total Share	<b>78.6%</b>	<b>77.4%</b>	<b>78.6%</b>	<b>80.5%</b>	<b>81.0%</b>



# 前道九类设备：TOP3企业合计市场份额占比超80%

主要设备	第一名	第二名	第三名	Top3合计份额 (%)
光刻机	<b>ASML</b> 75.3%	<b>Canon</b> 11.3%	<b>Nikon</b> 6.2%	93%
刻蚀设备	<b>Lam</b> RESEARCH 52.7%	<b>TEL</b> 19.7%	<b>APPLIED MATERIALS</b> 18.1%	91%
CVD设备	<b>APPLIED MATERIALS</b> 29.6%	<b>TEL</b> 20.9%	<b>Lam</b> RESEARCH 19.5%	70%
PVD设备	<b>APPLIED MATERIALS</b> 84.9%	<b>evatec</b> 5.9%	<b>ULVAC</b> 5.5%	96%
离子注入	<b>APPLIED MATERIALS</b> 66.9%	<b>axcelis</b> 19.4%	<b>SENTECH</b> 10.3%	97%
氧化扩散	<b>APPLIED MATERIALS</b> 46.3%	<b>TEL</b> 20.7%	<b>KE</b> KOKUSAI ELECTRIC 6.4%	82%
CMP设备	<b>APPLIED MATERIALS</b> 70.3%	<b>EBARA</b> 26.9%	<b>TEL</b> 1.4%	99%
清洗设备	<b>SCREEN</b> 51.3%	<b>Lam</b> RESEARCH 17.6%	<b>TEL</b> 16.6%	85%
量测设备	<b>KLA Tencor</b> 63.3%	<b>APPLIED MATERIALS</b> 15.2%	<b>HITACHI</b> 7.0%	83%

资料来源：SEMI、赛迪、华西证券研究所

- 半导体前道设备的价值为何？
- 国产前道设备商迎来机遇——国内下游制造密集扩产、国产设备技术成熟
- 九类前道设备——国产商最具潜力的领域：刻蚀、CVD、PVD、清洗、量测
  - 一、光刻机：技术最难的曝光工艺，完成芯片设计图形转移
  - 二、刻蚀设备：多重图形刻蚀工艺，雕塑芯片往10nm以下微缩
  - 三、CVD设备：多重图形沉积工艺，堆叠芯片多层结构
  - 四、PVD设备：金属化沉积工艺，实现芯片导线互连
  - 五、离子注入设备：离子掺杂工艺，激活芯片生命力
  - 六、CMP研磨设备：化学机械抛光工艺，芯片结构平整化
  - 七、炉式设备：热处理工艺，芯片的氧化/扩散/退火
  - 八、清洗设备：清除各种污染物，提升芯片良率
  - 九、量测设备：优化各前道制程工艺，提升芯片良率
- 重点推荐：国产前道设备标的

- 5G/AI/IoT需求驱动，2020年全球半导体设备市场四千亿元
- 中国芯制造需求驱动，2020年中国半导体设备市场二千亿元
- 前道设备国产商迎来机遇，进入加速发展黄金时代
  - 产业转移：中国逐渐成为全球芯片制造中心，国家全力建构中国芯产业链
  - 政策推助：大基金二期保障前道设备自主可控，打造中国版应用材料、拉姆研究
  - 技术足够先进：国产前道设备技术节点多数已达国内最先进的14nm制程
  - 国内密集扩产：2020年起中国Fab进入前道设备密集扩产期
- 国内Fab的集成电路三大领域扩产情况：
  - 逻辑芯片：国产先进制程加速，制造商协同前道设备共建生态
  - 特色芯片：国产创新应用大幅增加，8寸前道设备供不应求
  - 存储芯片：国产技术突破超预期，前道设备迎来数十倍扩产需求
- 前道设备国产商技术成熟，进口替代逻辑正在加速验证
  - 长江存储3D NAND扩产：大量采购国产设备，国产设备市占率不断上升

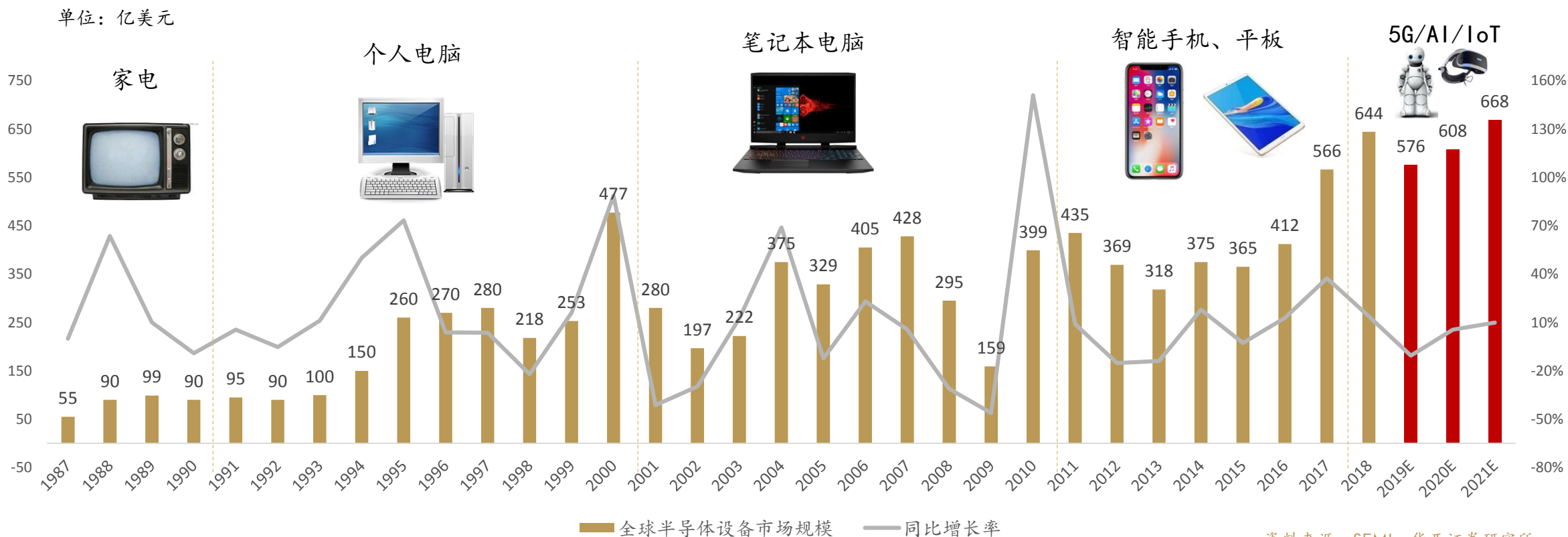


# 5G/IoT/AI应用驱动：2020年全球半导体设备市场四千亿

5G/IoT/AI等新技术和电子产品驱动半导体行业发展，2020-2021年前道设备进入增长爆发阶段，全球半导体设备市场超四千亿。

- 新技术和电子产品—>新一代的芯片工艺—>新一代前道设备需求。半导体设备行业拥有领先反映半导体行业变化的特质，半导体行业内存在“一代设备，一代工艺，一代产品”的经验，5G/IoT/AI等新技术兴起，将促使半导体设备出现新一代设备更换需求。
- 至2020年，全球半导体设备销售额预计将达600亿美元，近似于4000亿元人民币。根据SEMI研究数据，我们认为，半导体设备市场增长主要受益于三点：（1）新一代芯片制程工艺提升半导体设备的价格和数量。（2）5G/IoT/AI等新应用带来芯片制造商扩产需求。（3）中国半导体芯片自主可控趋势下，中国半导体Fab大规模扩产时对半导体设备的增量需求。

### 全球半导体设备销售额



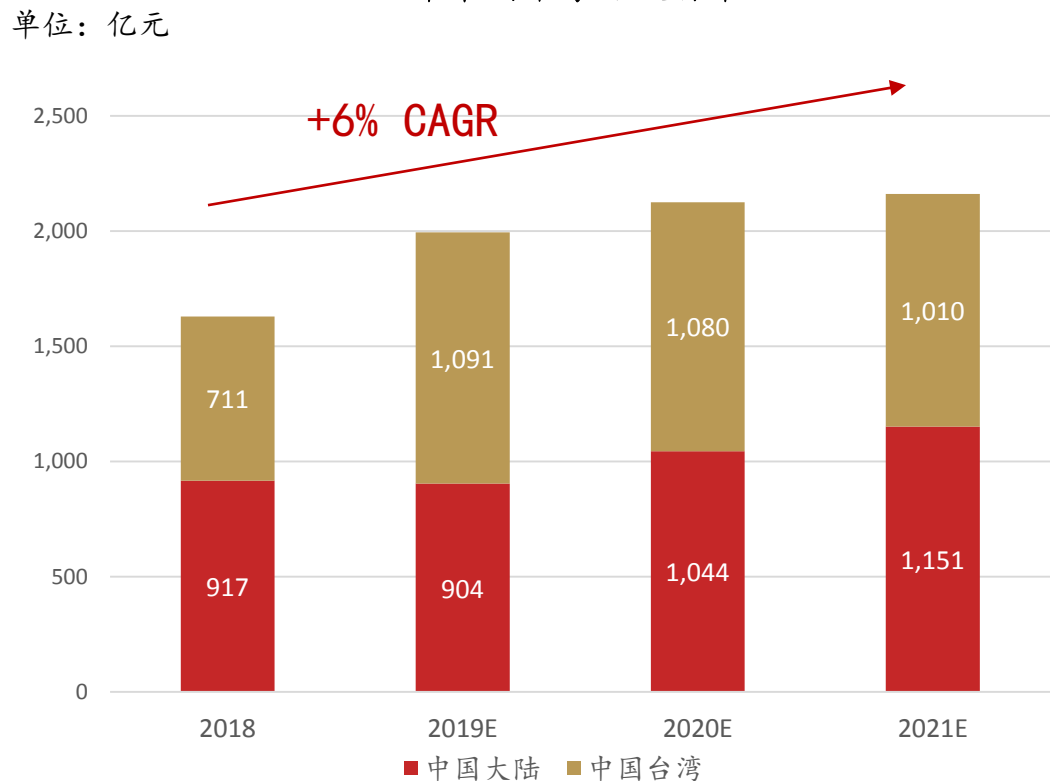
资料来源：SEMI、华西证券研究所

# 中国芯制造需求驱动：2020年中国半导体设备市场二千亿元

中国大陆Fab将持续扩产降低国内芯片贸易逆差，2020-2021年中国半导体设备市场规模达超2千亿元，但国产设备自己率仅12%，

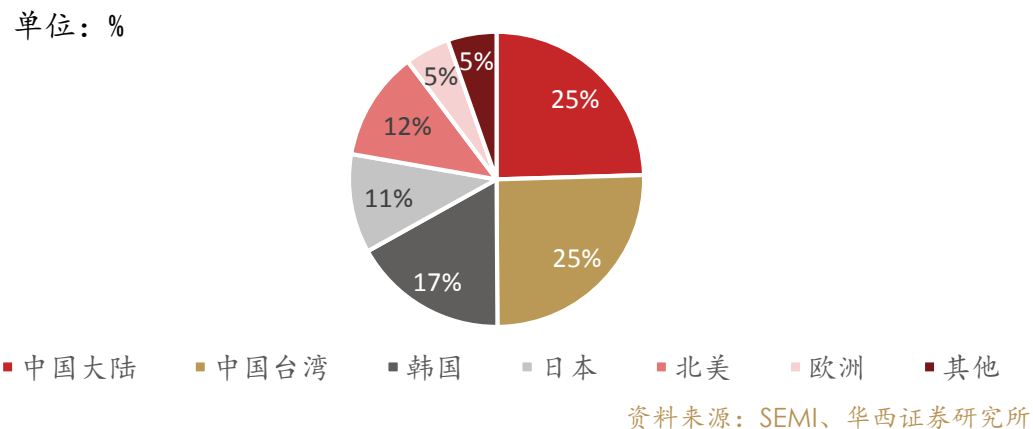
- 中国将成为全球最大的半导体设备销售市场，国产设备商迎来机遇。根据SEMI数据，至2021年，中国半导体设备销售额预计为2,161亿元。其中，中国大陆销售额预计为1,151亿元、中国台湾销售额预计为1,010亿元。国内巨大的市场需求为国产设备提供了发展机会。
- 中国半导体设备的整体国产化率仅12%，其中，前道设备中含氧量最高的关键九类设备的国产化率皆<10%，甚至在高端工艺中的国产化率近乎为0。因此，国产前道设备商还有极大的增长空间，前道设备也已成为国家的重点扶持方向。

### 2018-2021年中国半导体设备市场规模

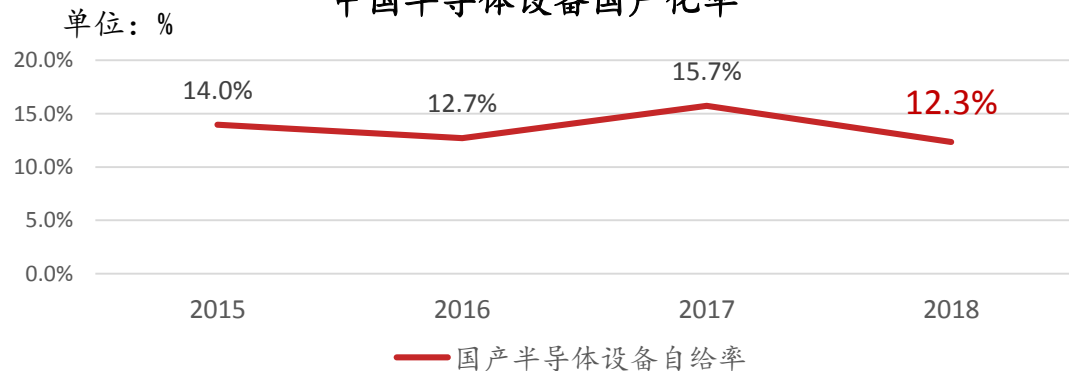


资料来源：SEMI、华西证券研究所

### 2020年全球半导体设备销售额市场占比



### 中国半导体设备国产化率



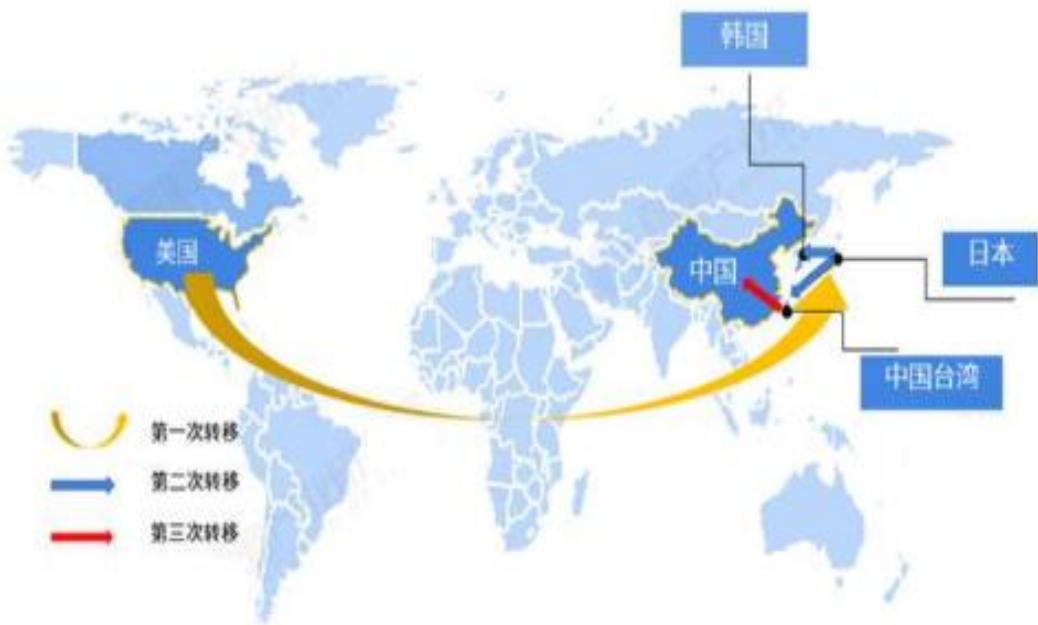
资料来源：中国电子设备协会、华西证券研究所

# 产业转移机遇：中国为芯片制造中心，全力建构中国芯产业链

全球半导体制程中心转移至中国大陆将持续至少10年，中国大陆将是全球半导体设备最大市场，但是芯片制造自给率仅15%。

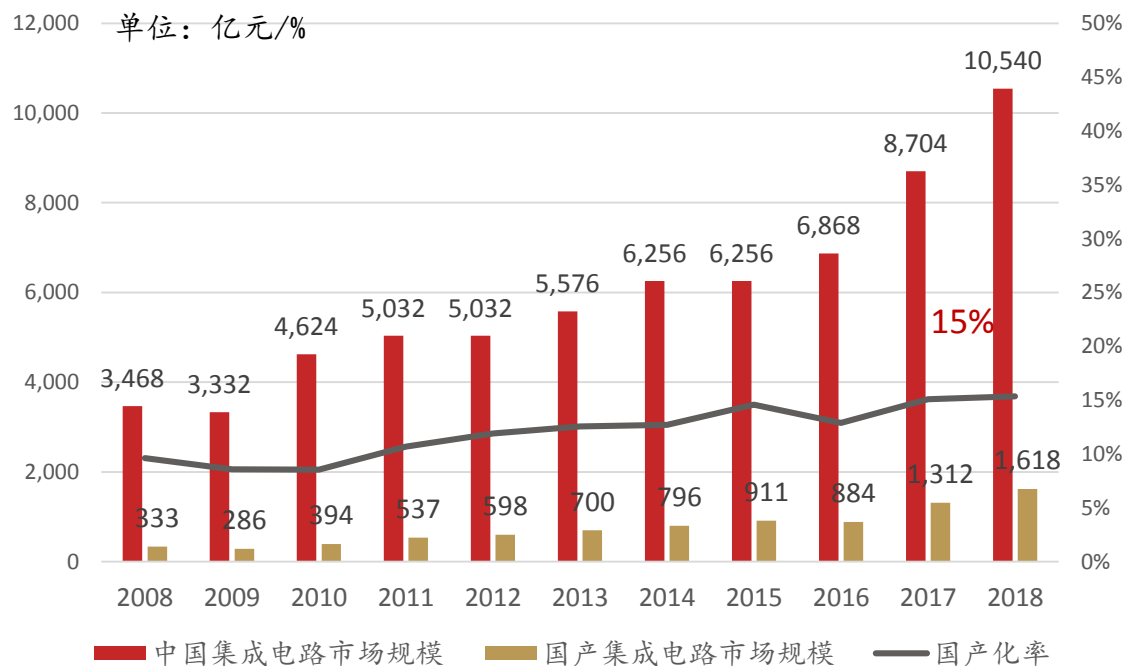
- 中国大陆正是第三次半导体产业链转移的目标地区。每一次半导体转移皆会形成世界级半导体设备公司。全球半导体三次转移过程如下：  
(1) 美国转至日本：在日本成就了一批世界级半导体材料企业，直至今日依然垄断全球半导体原材料供应。  
(2) 日本转至韩国和中国台湾：在韩国成就了三星、LG、海力士等存储芯片巨头，在中国台湾则成就了全球半导体制造龙头台积电。  
(3) 从中国台湾转移至中国大陆：国产化趋势将助力中国半导体巨头企业出现。我们预期中微公司将是此趋势下的核心受益者。
- 中国大陆的芯片自给率仅15%，为了实现国内半导体产业链安全，前道设备自主可控将是长周期趋势。根据SEMI数据，至2018年，中国大陆集成电路市场规模为10,540亿元，其中国产集成电路市场规模为1,618亿元，自给率仅15%。为了解决国内大规模的芯片贸易逆差，中国开始大规模投入芯片Fab制造，进而带动半导体设备的大量需求。

### 全球半导体产业链第三次转移将以中国大陆为核心



资料来源：前瞻产业研究院、华西证券研究所

### 2008-2018年中国大陆集成电路市场规模和国产化率



资料来源：SEMI、华西证券研究所

# 政策机遇：国家大基金二期，保障前道设备自主可控

半导体前道设备和材料已经列入大基金二期的重点支持对象，保障中国半导体芯片产业链自主可控

- 大基金二期的重点投资方向为：(1) 半导体设备、材料；(2) 存储芯片和芯片制造业；(3) 5G相关产业链
- 半导体设备投资额可望提升至10%以上，以前道设备为主，具体包括：刻蚀设备、CVD薄膜沉积设备、PVD薄膜沉积设备、清洗设备、量测设备。

## 国家大基金一期半导体产业已经投资情况

### 半导体设备材料（占比约6%）

北方华创、中微公司、上海睿励、长川科技、沈阳拓荆

### 封装测试（占比约10%）

长电科技、华天科技、通富微电、中芯长电等

### 芯片设计（占比约17%）

紫光展锐、中兴微电子、艾派克、兆易创新、国科微、北斗星通等

### 芯片制造（占比约67%）

中芯国际（逻辑芯片）、上海华虹（逻辑芯片）、士兰微（特色工艺）  
长江存储（存储芯片）、三安光电（光电子器件）、耐威科技等

资料来源：科技新闻、华西证券研究所

## 国家大基金二期将提升设备材料的投资比例

大基金二期重点投资半导体设备，我们预期设备投资额占比可望提升至10%以上

半导体  
设备、材料

重点投资方向

存储芯片  
IC制造业

5G  
相关产业

资料来源：科技新闻、华西证券研究所



# 大基金二期重点支持目标：打造中国版应用材料/拉姆研究

## 国家大基金二期 —— 重点投资前道设备三大方向

### 1. 支持龙头设备企业做大做强，提升成线能力

- 大基金二期将对**刻蚀机、薄膜沉积设备、测试设备和清洗设备**等领域已布局企业**保持高强度支持**，推动龙头企业做大做强，提升系统化、成套化设备产品
- 继续填补空白，加快开展**光刻机、CMP抛光研磨设备**等核心设备以及关键零部件的投资布局，保障产业链安全

### 2. 产业聚集，抱团发展，组团出海

- 推动建立专属的集成电路设备产业园区，吸引装备零部件企业集中投资研发中心或产业化基地，实现产业资源和人才聚集，加强上下游联系交流，提升研发和产业化配套能力，形成产业聚集的合力
- 积极推动国内外**资源整合、重组**，壮大中国大陆**“AMAT”或“LAM”**的企业苗子。(我们预期即北方华创、中微公司)

### 3. 持续推进国产设备、材料的下游应用

- 充分发挥基金在全产业链布局的优势，持续推进装备与集成电路制造、封测企业的协同，加强基金所投企业间的上下游结合，**加速半导体设备从“验证”到批量采购的过程**，为本土设备材料企业争取更市场机会，**督促国内制造企业提高国产设备验证及采购比例（我们预期为15%以上）**，为更多国产设备材料提供工艺验证条件，扩大采购规模。

资料来源：科技新闻、华西证券研究所

## 国内核心受益的前道设备制造商

半导体设备	国产化率 (%)	国内主要厂商	国外主要厂商
炉式设备	<10%	北方华创	应用材料(AMAT)、东京电子(TEL)
光刻机	<10%	上海微电子	ASML、Nikon、Canon
CVD薄膜沉积设备	10~15%	沈阳拓荆（中微持股15%）、北方华创	AMAT、LAM、TEL
刻蚀设备	<10%	中微公司、北方华创	拉姆研究(LAM)、AMAT、TEL
离子注入机	<10%	北京中科信、中电科48所	AMAT、Axcelis Technologies
PVD薄膜沉积设备	10~15%	北方华创	AMAT、Evatec、Ulvac
CMP抛光研磨设备	<10%	华海清科	AMAT、Ebara
清洗设备	<10%	上海盛美、北方华创	Screen、LAM、SEME等
前道量测设备	<10%	上海睿励（中微持股10%）	KLA、AMAT、日立

资料来源：前瞻产业研究院、华西证券研究所

# 国产设备商技术成熟：九类前道设备多数达14nm先进制程

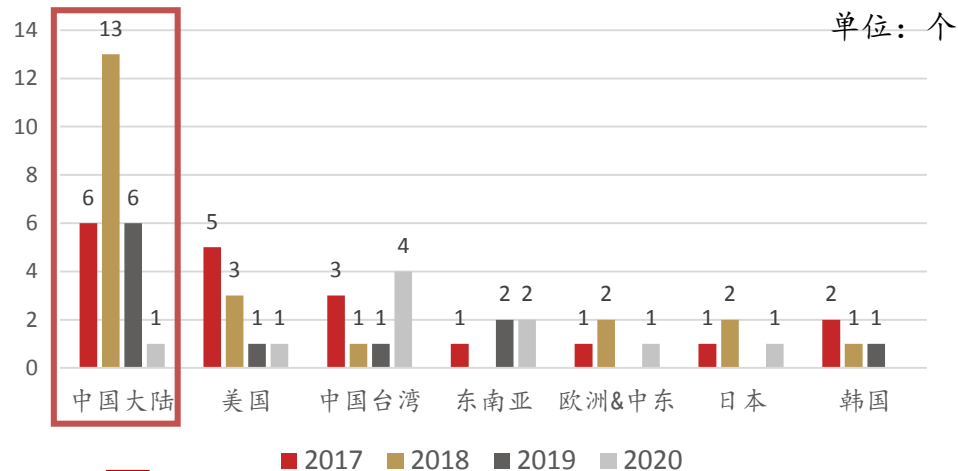
九类前道设备中的国产供应商和对应技术节点

设备种类	设备细分	工艺	是否国产化	技术节点 (nm)	重点企业
光刻机	光刻机	曝光	√	90	上海微电子
刻蚀设备	介质刻蚀			65/45/28/14/7	中微公司
	导体刻蚀 (包括硅刻蚀、金属刻蚀)	刻蚀	√	65/45/28/14	中微公司
				65/45/28/14	北方华创
CVD设备	PECVD化学气相沉积		√	65/28/14	沈阳拓荆
	ALD原子层沉积 (用于CVD和PVD之外的薄膜沉积领域)	薄膜沉积	√	28/14	北方华创
				28/14	沈阳拓荆
PVD设备	PVD物理气相沉积		√	65/45/28/14	北方华创
氧化扩散和热处理设备	氧化炉/LPCVD	氧化薄膜	√	65/28/14	北方华创
	退火炉、合金炉、单片退火	热处理		65/45/28	北方华创
离子注入设备	离子注入机	离子注入	√	65/45/28	北京中科信
清洗设备	镀铜/清洗			28/14	上海盛美
	清洗机	清洗	√	65/45/28	北方华创
CMP研磨设备	CMP化学机械抛光	研磨抛光	√	28/14	华海清科/盛美/45所
量测设备	光学检测 (OCD/薄膜)	检测	√	65/28/14	上海睿励、中科飞测
其他设备	匀胶机	涂胶显影		90/65	沈阳芯源
	清洗/CDS、Sortner、Scrubber	其他	√		至纯/上海新阳/京仪

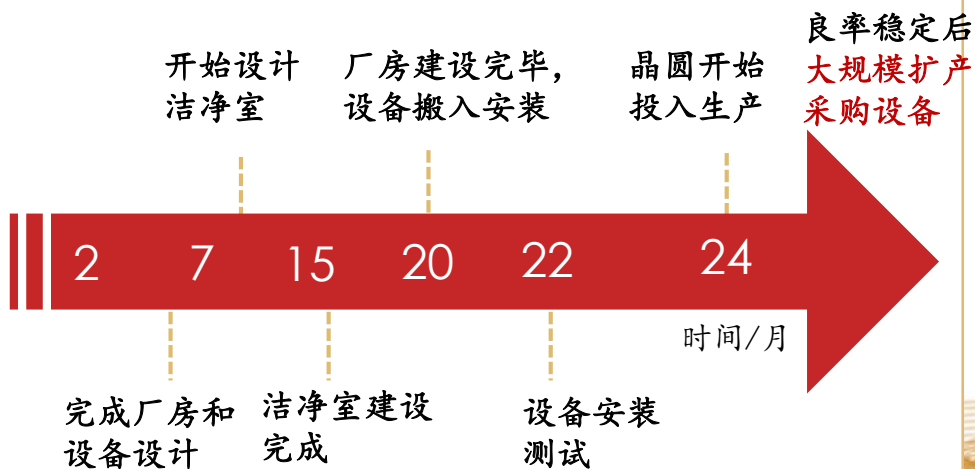
资料来源：赛迪咨询、华西证券研究所

# 国内扩产机遇：2020年起中国Fab进入前道设备密集扩产期

2017-2020年中国大陆开始投产的Fab数量全球最多



## 2020年后国内Fab按照投产规划将进入大规模扩产期



资料来源：SEMI、中国产业信息网、华西证券研究所

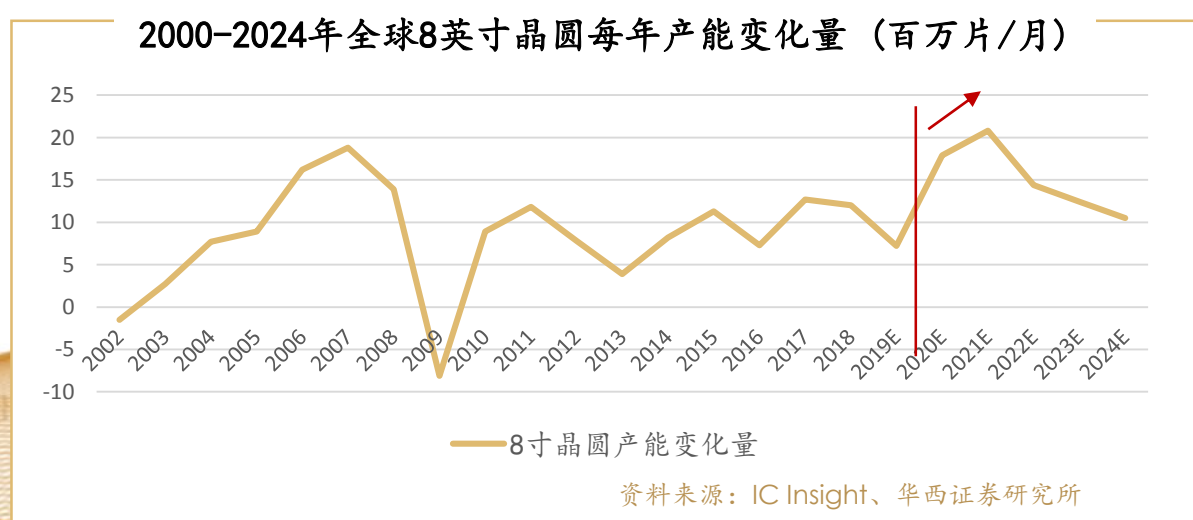
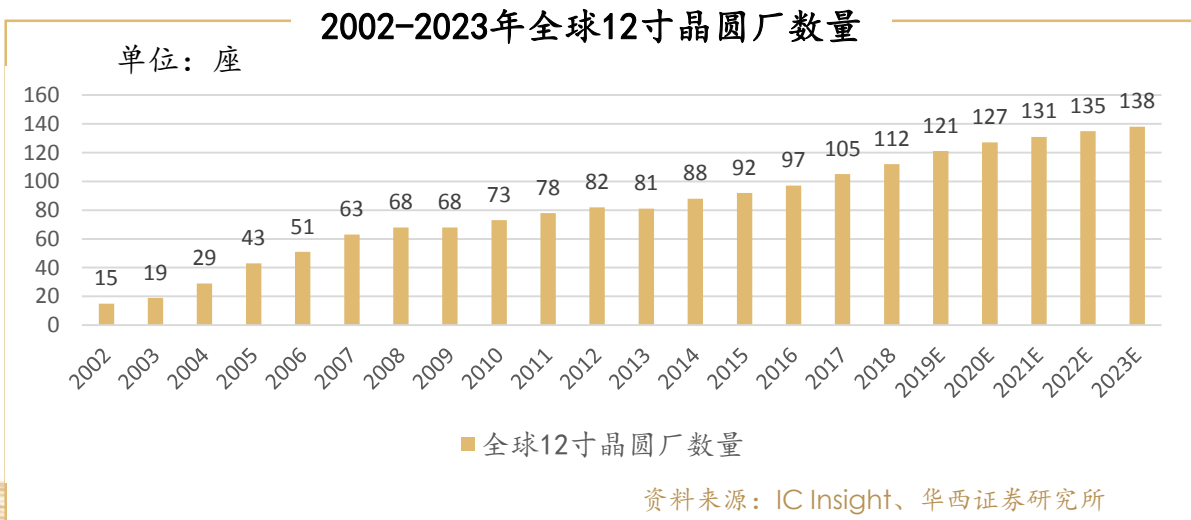
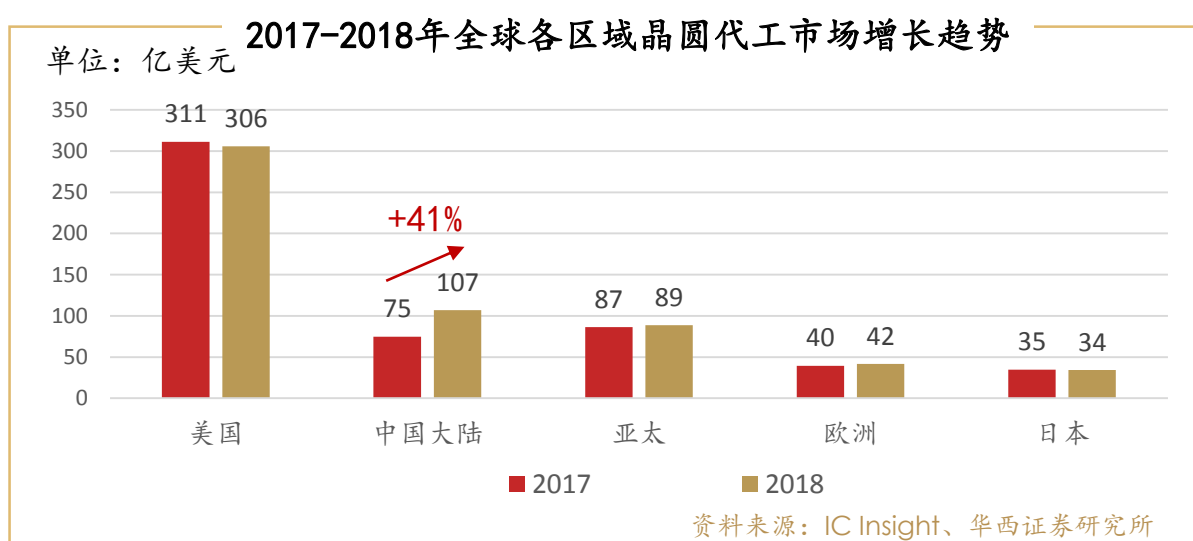
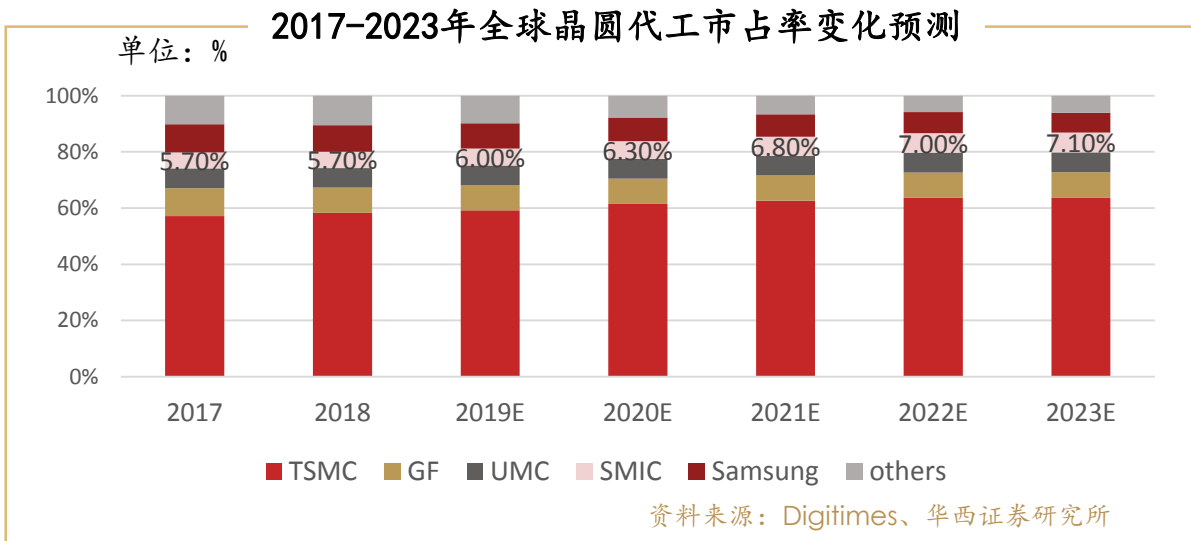
国内扩产主要跟踪厂商：中国主要各类型Fab发展情况

类型	技术线	Fab厂	投资额 (亿元)	产能 (K/M)	国产设备 占比 (%)	备注
逻辑芯片	5纳米	台积电	1,666	-	-	中微公司部分工艺在产线验证中
	7纳米	台积电	-	100	-	中微公司部分工艺在产线验证中
	14纳米	中芯9厂、华虹6厂	865	70+15	<3%	中微公司已经验证通过部分工艺
	28纳米	中芯B2、华虹6厂、联芯	467	70	~18%	28纳米产能过剩，总体投资额不大
	65-40纳米	中芯B2B、B3、华虹7厂、晶合、武芯	965	127	~26%	国产设备应该在90nm以下及特殊工艺部分争夺更多市场份额
特色芯片 功率器件	Special	重庆万国、芯恩、粤芯、积塔、厦门士兰	904	277	~37%	
	8寸	耐威、中芯宁波、中芯绍兴、天津、中车	772	623	~44%	工艺要求低，好验证，是国产厂商未来争夺重点
存储芯片	3D-NAND	长江存储、紫光集团	520	500	~10%	工艺非常难，国产设备经验和验证少，但是突破空间比较大
	DRAM	合肥长鑫	496	125	<5%	

资料来源：各公司官网、芯思想、华西证券研究所

# 逻辑芯片：技术难度高，制造商有望协同前道设备共建生态

2019年开始全球12英寸和8英寸的晶圆产能都将上升，主要来自于芯片代工市场增长。国内逻辑芯片主要制造商为中芯国际、华虹集团，由于目前28nm制程已经相对饱和，我们预计未来逻辑芯片领域将加速往14nm/7nm迭代，至2023年，中芯国际的市占率持续上升将来自于先进制程，国产设备商的技术节点正位于14nm，制造商有望协同前道设备共同发展先进制程。





# 逻辑芯片：国产前道设备在国内代工厂具地缘优势

全球前十名半导体晶圆代工厂商中有六家为中国厂商

排名	公司	地区	2019Q3营业收入 (百万美元)	2018Q3营业收入 (百万美元)	同比增长率 (%)	制程 节点	2019Q3市占率 (%)	备注
1	台积电	中国台湾	9,152	8,548	7%	7nm	50.50%	全球市占率排名第一，台积电7纳米制程产能利用率已近满载，加上部分成熟制程的需求回温下，第三季营收较去年同期成长约7%
2	三星	韩国	3,352	3,244	3%	10nm	18.50%	Samsung10纳米在晶圆代工方面凭借自家产品需求，及细分代工纳米节点以提供客户在选择上的弹性力抗产业跌势，第三季营收较去年同期成长约3.3%
3	格罗方德	美国	1,505	1,606	-6%	14nm	8.73%	GlobalFoundries厂房出售后可能使营收减少，加上AMD积极布局7纳米产品线，恐影响GlobalFoundries在12/14纳米制程营收表现
4	联电	中国台湾	1,209	1,293	-6%	14nm	6.70%	联电第二季受惠通讯类产品，包括低、中端手机AP，开关组件与路由器相关芯片等需求助力，产能利用率提升与出货量稳定增加，第三季可望维持营收成长
5	中芯国际	中国大陆	799	851	-6%	14nm	4.40%	中芯国际第二季受惠智能手机、物联网及相关应用带动需求，其55/65与40/45纳米制程营收表现出色，加上28纳米需求同样复苏中，第三季营收将可望持续成长。另外，中芯国际开发中的14纳米制程良率若能维持一定水平，在政策辅导与内需市场加持下，预估海思与紫光展锐将有机会在中芯国际14纳米制程投片
6	高塔半导体	以色列	312	323	-3%	45nm	1.70%	-
7	华虹半导体	中国大陆	128	241	-47%	28nm	1.30%	华虹半导体受惠功率与电源管理组件等内需市场帮助，预估第三季营收将维持稳定成长
8	世界先进	中国台湾	229	254	-10%	0.11um	1.30%	世界先进因电源管理产品营收表现亮眼，带动7月营收来到2019年高点，此需求将持续利好第三季营收，可望减缓驱动IC转投12寸趋势的冲击
9	力晶	中国台湾	227	341	-33%	45nm	1.30%	主要产品为NAND Flash 和DRAM
10	东部高科	韩国	146	160	-9%	90nm	0.80%	-
其他							4.40%	
前十家公司合计			17,059	16,861			95.5%	

# 逻辑芯片：国内前道设备扩产投资额1961亿元

2019年国内逻辑代工芯片厂规划情况：

公司名称	城市	晶圆尺寸	主要产品	总投资 (亿)	目标产能 (K/M)	开工情况 (时间/状态)	备注	
中芯国际	北京	B1	12"	90-55nm	130	45	投产	中芯国际为中国半导体第一大龙头，目前14nm先进逻辑技术进入风险量产，是华为等终端客户的重要供应商
		B2A	12"	40-28nm	231	35	投产	
		B2B	12"	CIS, NAND	35	投产		
		B3	12"	55nm CIS	263	50至70	厂房建好	
	上海	8厂	12"	14-7nm		22	研发/投产	
		9厂	12"	14-7nm Logic	675	70	2016-10	
		S1&2	8"			105	投产	
		深圳	G1/2	8"&12"	Logic, CIS,pmic	165	50/50	
天津	T2	8"	0.35~0.157um Logic	100	45/110	2016-10		
宁波		8"	HV 模拟, RF,光电	55	43			
绍兴		8"	MEMS, PMIC	58.5	20	2020年投产		
华虹集团	上海	Fab1-3	8"	0.25~0.13um Logic	-	175	已完工投产	华虹集团是国家“909”工程的载体，28nm级制程已进入量产，正在向14nm冲击
		Fab5	12"	0.13um~0.55um Logic	387	30	研发/投产	
		Fab6	12"	28-14nm Logic	40	2016-12		
	无锡	Fab7	12"	90/65/55nm	175	40	2017-09	
联芯	厦门	Fab-12	12"	55-28nm Logic IGBT/HKMG	408	50	2015-03	受母公司台湾联电的技术支持，2016年第四季度进入量产
晶合集成	合肥		12"	65/55nm LCD driver	135	40	2015-10	2017年10月进入量产，目前晶圆月产量2万片
ICRD	上海		12"	研发	659	70	---	关注半导体共性技术研发，目前正在攻克研发14-10-7nm关键共性工艺
台积电	南京	Fab16	12"	16nm FinFET	200	20	2016-06	2018年10月进入量产阶段，预计2020年月产能达到2万片

扩产投资额（增量市场）依照投资完成度推算：

1961

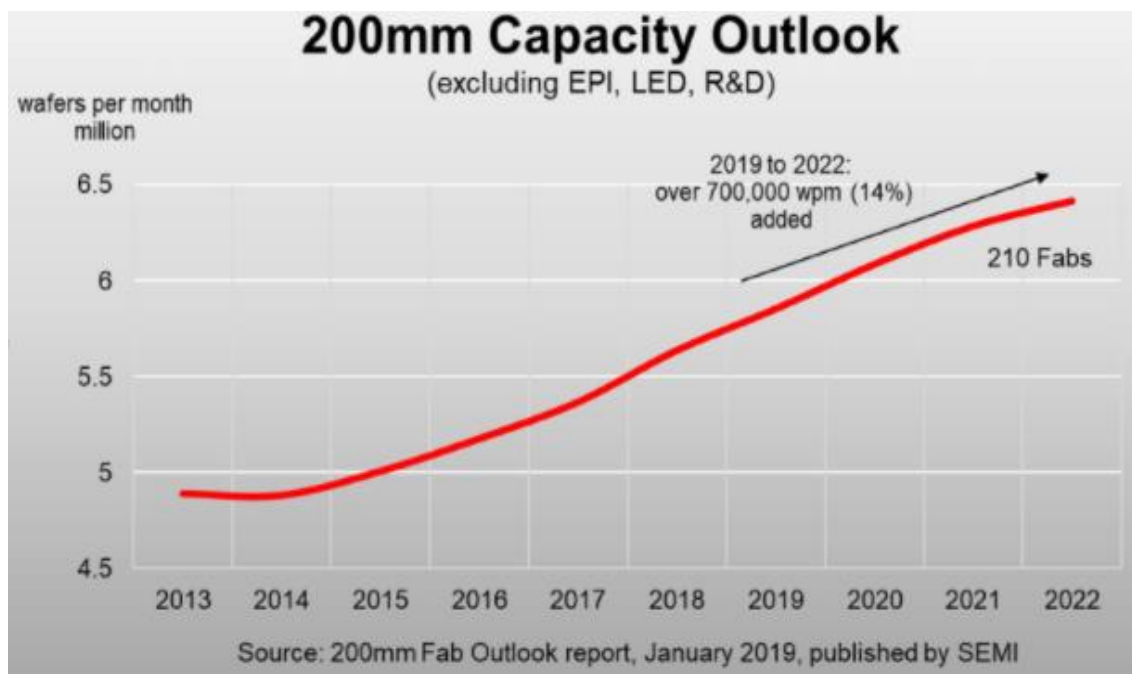
资料来源：各公司官网、芯思想、华西证券研究所

# 特色芯片：受益于物联网应用增加，加上外国设备商退出市场，8寸设备供不应求

功率半导体、特色工艺领域芯片需求旺盛，由于技术工艺已经成熟，外国厂商已退出市场，是国产设备的优势领域。

- 特色工艺芯片的前道设备需求量大。功率器件市场增速达到23%，MEMS传感器达到18%，MCU/混合信号IC/射频IC/智能卡IC增速在5-12%之间。因此，据SEMI预测，2019年-2022年期间，8英寸产能将增长14%，约70万片/月。从需求方面来看，汽车电子、物联网MCU和PMIC（电源管理芯片）大量在8英寸厂投片；分立器件、MEMS、指纹识别IC等应用使得8英寸需求持续增长；部分MOSFET由6英寸厂转至8英寸厂投片
- 外国厂商退出市场，8英寸设备趋紧，国产设备迎机遇。从供给侧来看，国内大厂的产能利用率均在90%以上，台积电、联电、世界先进的8英寸晶圆代工产能满载，均有扩产计划；此外，8英寸新设备较少且二手设备供应不足导致设备价格在过去的几年内迅速上涨。国产设备商在8寸领域已经具备技术成熟的优势，随着大陆扩产热潮，未来在特色工艺领域国产设备的前景令人期待。

2013-2022年全球200mm（8英寸）晶圆产能展望



资料来源：SEMI、华西证券研究所

8英寸晶圆代工厂供不应求

## 需求端

- 车用芯片及物联网MCU及PMIC大量在8英寸厂投片
- 分立器件、MEMS、指纹识别IC等应用8英寸需求持续
- 部分MOSFET由6寸厂转至8英寸厂投片

## 供给端

- 大厂的产能利用率90%以上
- 8英寸新设备较少，二手设备供应不足
- 核心设备的紧缺是8英寸晶圆产能扩张的瓶颈



资料来源：北方华创，珠海集成电路峰会，华西证券研究所

# 特色芯片：国内前道设备扩产投资额897亿元

2019年国内特色芯片工艺厂规划情况

公司名称	城市	晶圆尺寸	主要产品	总投资(亿)	目标产能(K/M)	开工情况(时间/状态)	备注	
重庆万国	重庆	12"	Power device	66	70	投产	重庆万国是全球第一家集12英寸芯片生产及封装测试于一体的功率半导体企业	
芯恩	青岛	一期	8"	MEMS/IGBT/RF	50	60	2018-05	2019年底一期项目预计投产，独创CIDM（共享共建）模式
		二期	12"	MCU/MPC/	100	40		
粤芯	广州	12"	Analog, PMIC	70	40	-	国内第一座以虚拟IDM (Virtual IDM) 为营运策略的12英寸芯片厂	
积塔半导体	上海	8"&12"	IGBT	448	30	设备采购中	2019年12月，首台光刻机入场	
士兰集昕	杭州	一/二期	8"	IGBT, Power Device	15	430	一期竣工投产	目前已开工产品线先预计达产产值6.4亿元
士兰微	厦门	12"	90-65nm MEMS/Power	170	200		2019年12月底士兰微12英寸芯片产线封顶、化合物半导体产线试产	
中车时代	株洲	8"	IGBT		50		生产厂房2017年8月交付使用，12月SiC芯片生产线完成了工艺设备技术调试，2018年1月首批芯片试制成功。	
		6"	6英寸SiC芯片生产线					
燕东微电子	北京	8"	HV、Power、RF	48	50	2019一期	2019年6月首批设备入场，预计年底出晶圆2万片	

资料来源：各公司官网、芯思想、华西证券研究所



# 特色芯片：国内前道设备扩产投资额897亿元（续）

2019年国内特色工艺芯片厂规划情况（续）

公司名称	城市	晶圆尺寸	主要产品	总投资(亿)	目标产能(K/M)	开工情况(时间/状态)	备注
矽力杰	青岛	12"	90-65nm模拟芯片	180	40		致力于高功率密度高效率电源芯片的研发
吉林华微	吉林	8"	MOSFET芯片, IGBT	10	240	规划	2019年4月配股完成项目建成后具备加工8英寸芯片24万片/年的加工能力
华润微电子	重庆	12"	MOSFET、IGBT、PowerIC	100	40	2018-11签约	落户重庆西永微电园，享有产业集聚优势
华润上华	无锡	8"	90-65nm Power IC	-	40	已完工投产	公司8英寸生产线目前月产能已达6.5万片，制程技术将提升至0.13微米。
耐威科技	北京	8"	0.35-0.11um MEMS	20	30	2017-05	2019年12月，耐威科技北京8英寸MEMS国际代工线首台设备搬入
海康驰拓	杭州	12"	MRAM	13	1	2017-01	磁旋存储器(MRAM)是一种新型高端存储器，其特点为纳秒级读写速度、极高重写次数、掉电数据不丢失、能耗低等。
时代芯存	淮安	12"	PCM	130	100	2018-03	2019年8月发布首款基于相变材料的2兆位电擦除可编程只读相变存储器
中恒微	合肥		IGBT			一期投产	项目规划分为两期建设，一期已于2019年8月投产，可实现30万只IGBT模块生产；二期规划2020年开工建设，全部建成后年产达100万只IGBT模块。

扩产投资额（增量市场）依照投资完成度推算：

897

# 存储芯片：国内NAND 2016年投入，2019年扩产打破国外垄断

2019年开始是长江存储国产3D NAND打破外国垄断的元年，未来5年国产设备商可望受益于长江存储的扩产增量。

- 3D NAND行业CR6达99.5%，长期被外国厂商垄断。2019年可谓是国产存储芯片元年，经过几年大规模投资研发历程，国产存储逐渐从研发走向投产，19年9月初，长江存储全球首款基于Xtacking®架构的64层256 Gb TLC 3D NAND闪存正式量产，以满足固态硬盘、嵌入式存储等主流市场应用需求，为我国存储产业的发展注入新动能。若此次收购北京矽成完成后，有望为NAND FLASH国产化进程添砖加瓦。

NAND Flash: 2019Q3全球前六大企业占据99.3%市场份额

排名	公司	地区	2019Q2营收 (百万美元)	2019Q1营收 (百万美元)	环比增长率 (%)	2019Q2市占率 (%)	
1	三星	韩国	3,987	3,766	6%	33.50%	96层256/512GB量产、128层研发中：从产能分析，三星仍照原计划逐季缩减Line12的2D NAND产品，并在持续转进新制程的同时，维持相同的3D NAND投片规模。在新产能方面，西安二期仍依规划于2020年上半年投产，而平泽二厂预定明年下半年开始营运
2	铠侠	日本	2,227	1,948	14%	18.70%	96层256/512GB量产、128层研发中：从产能方面观察，四日市厂区虽已恢复全线营运，但已影响其今年位元产出增长低于其他竞争者。在2020年规划方面，岩手县K1厂已于10月竣工，预计最快在2020年上半年提供产出，有助于位元产出的市场占比回到跳电前水平
3	西部数据	美国	1,632	1,506	8%	13.70%	从产能规划来看，新产线的部分，西数第三季在岩手县K1厂投资达6,400万美元，预计2020年起提供BiCS4或更先进制程的产出
4	美光	美国	1,530	1,461	5%	12.90%	96层256/512GB量产、128层研发中：在产能方面，美光于八月宣布新加坡新厂正式投入营运，将对转进新制程结构有助益，至于其他在新加坡以及Manassas的产能则未有太多变化
5	英特尔	美国	1,290	940	37%	10.90%	96层256/512GB量产、128层研发中：在产能方面，英特尔大连厂仍将维持原产能直至年底，目前亦未提及2020年有增产规划
6	海力士	韩国	1,146	1,106	4%	9.60%	96层256/512GB量产、128层研发中：128层研发中：以产能规划而言，受到2D NAND产能缩减影响，今年SK Hynix整体产能呈现逐季递减，而主流的3D NAND则小幅扩产，新增产能主要设于M15
7	其他					0.73%	
前六家公司合计			11,812	10,727		99.1%	

资料来源：拓璞产业研究中心、华西证券研究所

# 存储芯片：国内DRAM对标NAND，目标实现国产进口替代

2019年开始长鑫存储国产DRAM打破外国垄断的元年，未来5年国产设备商可望受益于长鑫存储的扩产增量。

- DRAM行业CR6达99.1%，长期被外国厂商垄断，截至2019年二季度，DRAM的国产化率为0。2019年9月20日长鑫存储的DRAM项目投产则打破了“0”自制现状，若此次收购北京矽成完成后，公司将成为国内存储芯片的龙头企业，加速存储芯片国产化的进程，成为中国存储产业发展历史上又一次重要的里程碑。

DRAM：2019Q2全球前六大企业占据99.1%市场份额

排名	公司	地区	2019Q2营收 (百万美元)	2019Q1营收 (百万美元)	环比增长率 (%)	2019Q2市占率 (%)	备注
1	三星	韩国	6,783	6,968	-3%	45.70%	三星今年以来的投片规划大致维持不变，平泽厂今年将维持在60K左右的投片规模，而Line17与平泽厂的二楼仍将持续转换1Ynm，只是目前库存水位仍偏高，因此转换速度并不快
2	海力士	韩国	4,261	4,877	-13%	28.70%	SK海力士的部分，1Xnm第二季占出货比重已突破4成，并将于下半年加速将2Ynm和2Znm旧制程转移至10nm级新制程
3	美光	美国	3,041	3,760	-19%	20.50%	美光方面，中国台湾美光存储器（原瑞晶）已全数以1Xnm做生产，下一目标将跳过1Ynm直接以1Znm生产，不过实际贡献将落在2020年；中国台湾美光晶片科技（原华亚科）已有过半比例引入1Xnm，并于今年开始缓步提升1Ynm比重
4	南亚科	中国台湾	400	369	8%	2.70%	南亚科第二季受惠于销售位元替换量明显增长超过30%的带动下，即使报价下降，仍拉抬其营收较前一季增长8.4%。加上报价跌幅幅度较大的同业小，或称为获利率跌幅幅度较小，毛利率与营业利益率分别由第一季的40.7%与26.6%，减少至34.9%与22.5%
5	华邦	中国台湾	149	149	0%	1.00%	根据华邦方面，因与客户的议价价中长期，进行营运表现或略微平稳，DRAM营收比例上个季约略持平
6	力晶	中国台湾	83	98	-15%	0.60%	力晶科技方面，即使营收计算主要为力晶本身生产之标准型DRAM产品而不包含DRAM代工业务，而受到客户端库存水位偏高影响，力晶本季替换量减小，也必须营收衰退15.3%
7	其他					0.90%	
前六家公司合计			14,717	16,221		99.1%	

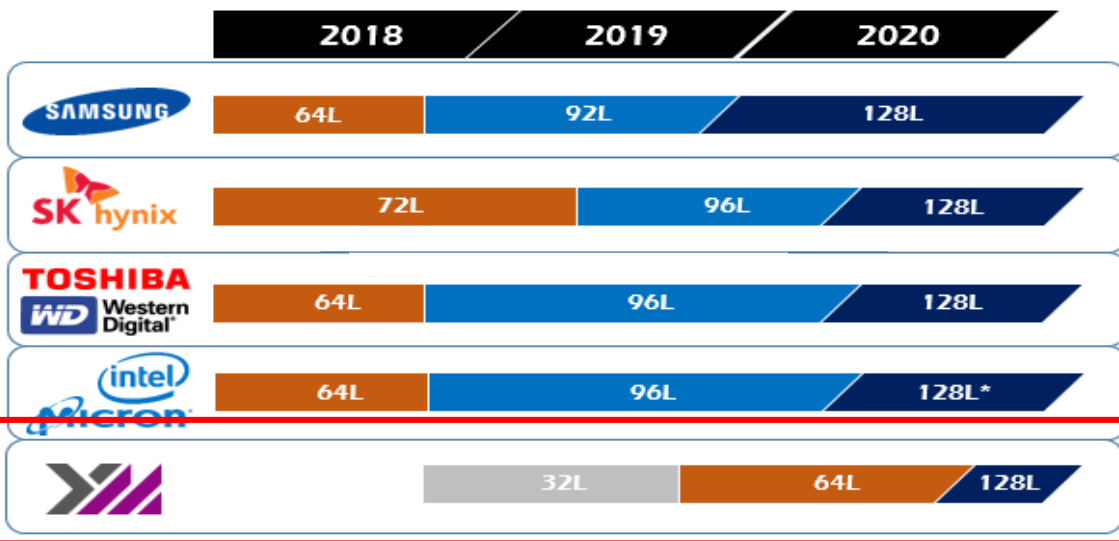
# 存储芯片：国产NAND技术突破超预期、DRAM蓄势待发

2019年国产存储芯片商的产能和投产情况

项目	合肥长鑫	长江存储	清华紫光
设厂地点	合肥	武汉	重庆、成都、南京
芯片类别	DRAM	NAND Flash	DRAM/NAND Flash
技术节点	1X (19nm)	3D NAND 64层已经量产, 128层研发中	-
投资金额	496亿元	1,581亿元	3,000亿元
投产时间	2019年(扩产中)	2019年(扩产中)	2021年(建设中)
2019年产能(月)	1万片	2万片	-
目标产能(月)	12.5万片	30万片	30万片
待扩产能(月)	11.5万片	28万片	30万片

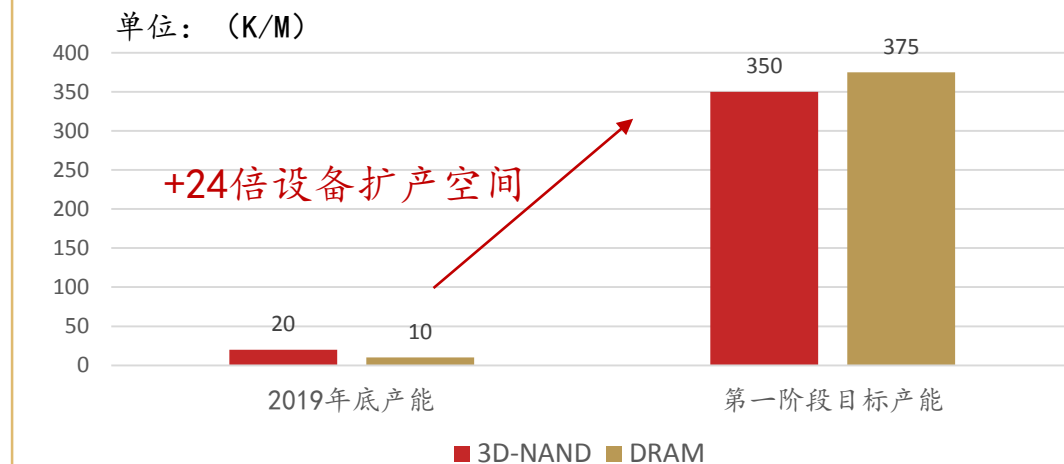
资料来源：各公司官网、华西证券研究所

## 长江存储3D NAND扩产64层同时研发128层，力拼达到国际水平



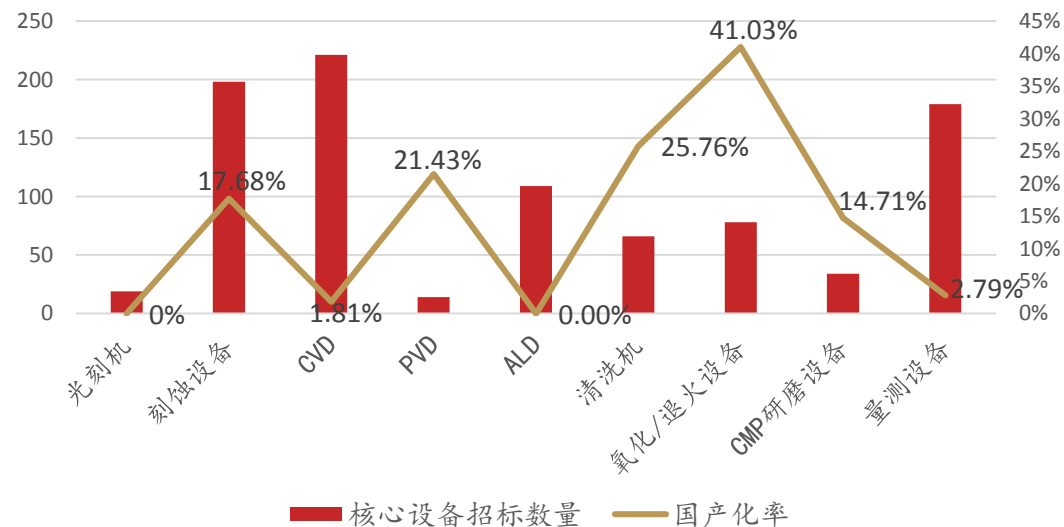
资料来源：TrendForce各公司官网、芯思想、华西证券研究所

2020年起国产存储芯片商将有数十倍扩产空间



资料来源：各公司官网、芯思想、华西证券研究所

## 2019长江存储产线中刻蚀、PVD、清洗设备的国产化率提升



资料来源：必联网、长江存储官方网站、华西证券研究所



# 存储芯片：国内前道设备重点市场，扩产投资额5249亿元

2019年国内存储芯片厂规划情况

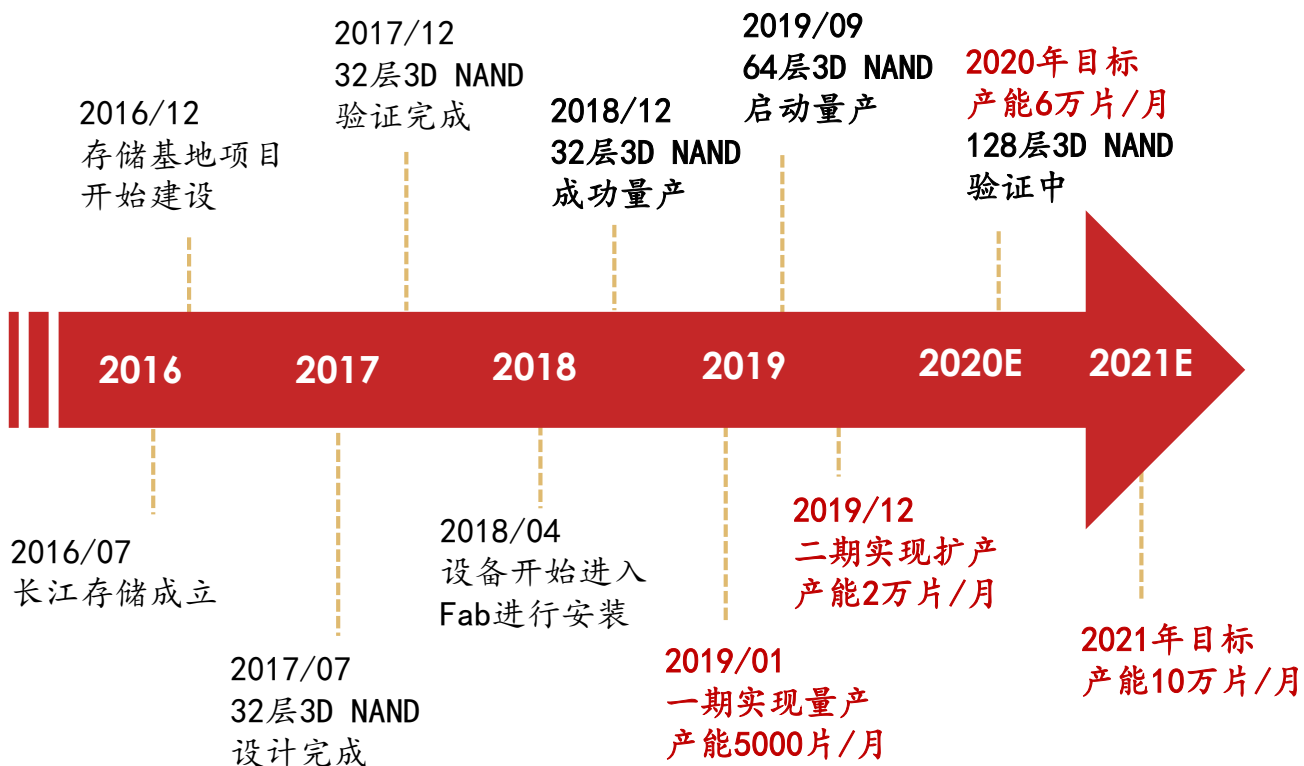
公司名称	城市	晶圆尺寸	主要产品	总投资(亿)	设计产能 (K/M)	开工时间	备注
武汉新芯	武汉	Fab1	12" 2D/3D NAND、DRAM	240	20		武汉新芯是头部NOR Flash晶圆制造商，目前两座工厂月产能已达6万片
		Fab2	12" TSV, MCU	135	100	2018-09	
长江存储	武汉	Fab1	12" Logic, 3D-NAND	527	100	2016-03	2017年10月，成功设计制造了中国首款3D NAND闪存；2019年9月，64层3D NAND实现量产
		Fab2	12" 3D-NAND	527	100	2016-12	
		Fab3	12" DRAM	527	100	TBD	
紫光集团	重庆	12"	DRAM	714	100	2019-12	紫光集团已是中国最大的综合性集成电路企业，全球第三大手机芯片设计企业
	成都	12"	3D-NAND	1600	100	2018-10	
	南京	12"	3D-NAND, DRAM	700	100	2018-9	
合肥长鑫	合肥	12"	19-17nm DRAM	496	125	2017-05	目前长鑫存储的月产能约为2万片晶圆，预计到2020年底，其10nm级工艺技术的产能为12万片晶圆
福建晋华	福建	12"	32-20nm DRAM	370	60	2016-07	2018年10月开始试产投片，受中美贸易冲突影响较重，与技术合作方联电存在分歧
Intel	大连	F68	12" 3D-NAND	363	50	投产	144层QLC和全新傲腾有望在大连工厂生产
Samsung	西安	一期	12" NAND, DRAM	735	120	投产	三星技术储备充分，2019Q4实现了第六代128层512Gb TLC 3D NAND的量产，计划于2020年投入到SSD等市场应用，且正在针对5年内达到500层或更多层的堆栈进行研究。
	西安	二期	12" 100层+ 3D NAND	544		一阶段：2018年； 二阶段：2019年12月	
海力士	无锡	HC1	12" NAND	237	40	2017-07	SK海力士为全球存储行业龙头，其量产的128层4D NAND终端产品2020年下半年亮相，并且在10月份宣布开发第三代10纳米DDR4 DRAM
		HC2	12" 10nm DRAM	568	200	2017-10	
			8" PMIC, Sensor			2018-09	

# 扩产案例：国产设备商机遇，2019-2021年长江存储 3D NAND的目标月产能为5K/60K/100K

长江存储核心任务是推动产能爬坡提升，将尽早达成64层三维闪存产品月产能10万片并按期建成30万片/月产能

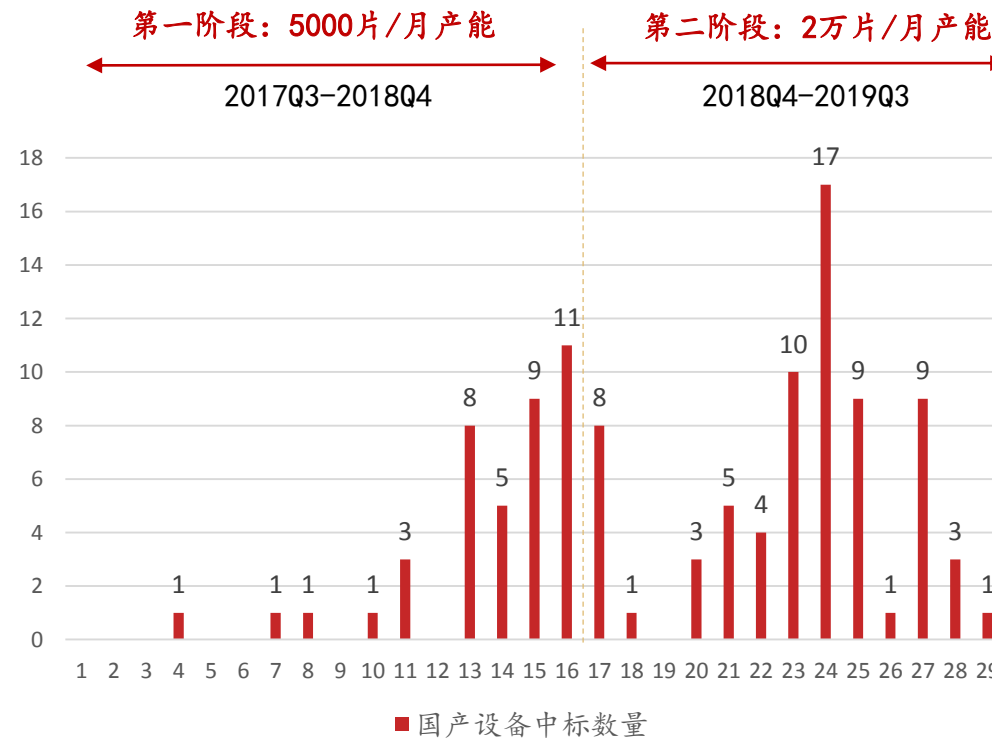
- 长江存储的扩产是先进制程Fab中前道设备进口替代情况的风向标，反映出各个细分领域国产厂商的竞争力。
- 2017Q3至2019Q3，长江存储采购依照产能释放的时间节点可划分为第一阶段和第二阶段，第二阶段国产设备的采购量显著上升，我们认为系国产设备在长江存储产线上的验证情况良好。截至2020年1月20日，长江存储还在持续新一轮设备采购。其中以刻蚀设备和量测设备的国产化率提升最为显著。在刻蚀设备方面，2019Q4中微公司获得3台订单，2020年1月2日，中微公司再新增中标9台刻蚀设备订单

2020年开始：长江存储将进入密集扩产期



资料来源：必联网、长江存储官方网站、华西证券研究所

长江存储扩产阶段：国产设备采购量持续增加（台）



资料来源：必联网、长江存储官方网站、华西证券研究所

# 长江存储扩产期间：对国产前道设备采购占比大幅增加

长江存储的国产设备采购比例（第一阶段至第二阶段）显著上升（%）



刻蚀设备		成膜设备					
		CVD (61%)		ADL (22%)		PVD (5%)	
Lam	53.3%	58.1%	应用材料	40.4%	19.8%	75.0%	83.3%
中微公司	15.0%	16.1%	Lam	25.8%	23.5%	12.1%	4.0%
TEL	13.1%	4.8%	TEL	20.2%	40.7%	27.8%	24.0%
应用材料	10.3%	8.2%	日立国际	12.4%	9.9%	60.6%	72.0%
Screen	6.5%		沈阳拓荆	1.1%	3.7%		
Mattson	0.9%		ASM		2.5%		
北方华创		4.8%	北方华创			25.0%	16.7%

清洗设备		氧化/退火设备				泵			
		氧化设备		退火设备					
Screen	29.5%	北方华创	37.5%	72.7%	27.3%	38.9%	Edwards	63.2%	77.0%
Lam	22.7%	日立国际	37.5%	27.3%			沈阳拓荆	36.8%	23.0%
盛美半导体	18.2%	应用材料	12.5%		18.2%	22.2%			
TEL	11.4%	TEL	12.0%		50.0%	38.9%			
ULVAC	4.5%	Mattson			4.5%				
北方华创	4.5%								

研磨抛设备		量测设备				温控/气体设备			
		膜厚/CD (38%)		表面/缺陷 (32%)					
应用材料	100.0%	75.0%	KLA	21.5%	65.50%	21.10%	DAS	33.3%	13.3%
华海清科		25.0%	Nanometrics	40.0%	58.8%		北京科仪	35.8%	48.6%
			应用材料	13.8%	8.8%	9.40%	15.80%		
			日立高新	7.7%	20.6%				
			Rudolph	3.1%	5.9%	9.40%	26.30%		
			睿励科技						
			中科飞测				10.50%		

第一阶段招标:   
第二阶段招标: 

资料来源：必联网、华西证券研究所

- 半导体前道设备的价值为何？
- 国产前道设备商迎来机遇——国内下游制造密集扩产、国产设备技术成熟
- 九类前道设备——国产商最具潜力的领域：刻蚀、CVD、PVD、清洗、量测
  - 一、光刻机：技术最难的曝光工艺，完成芯片设计图形转移
  - 二、刻蚀设备：多重图形刻蚀工艺，雕塑芯片往10nm以下微缩
  - 三、CVD设备：多重图形沉积工艺，堆叠芯片多层结构
  - 四、PVD设备：金属化沉积工艺，实现芯片导线互连
  - 五、离子注入设备：离子掺杂工艺，激活芯片生命力
  - 六、CMP研磨设备：化学机械抛光工艺，芯片结构平整化
  - 七、炉式设备：热处理工艺，芯片的氧化/扩散/退火
  - 八、清洗设备：清除各种污染物，提升芯片良率
  - 九、量测设备：优化各前道制程工艺，提升芯片良率
- 重点推荐：国产前道设备标的

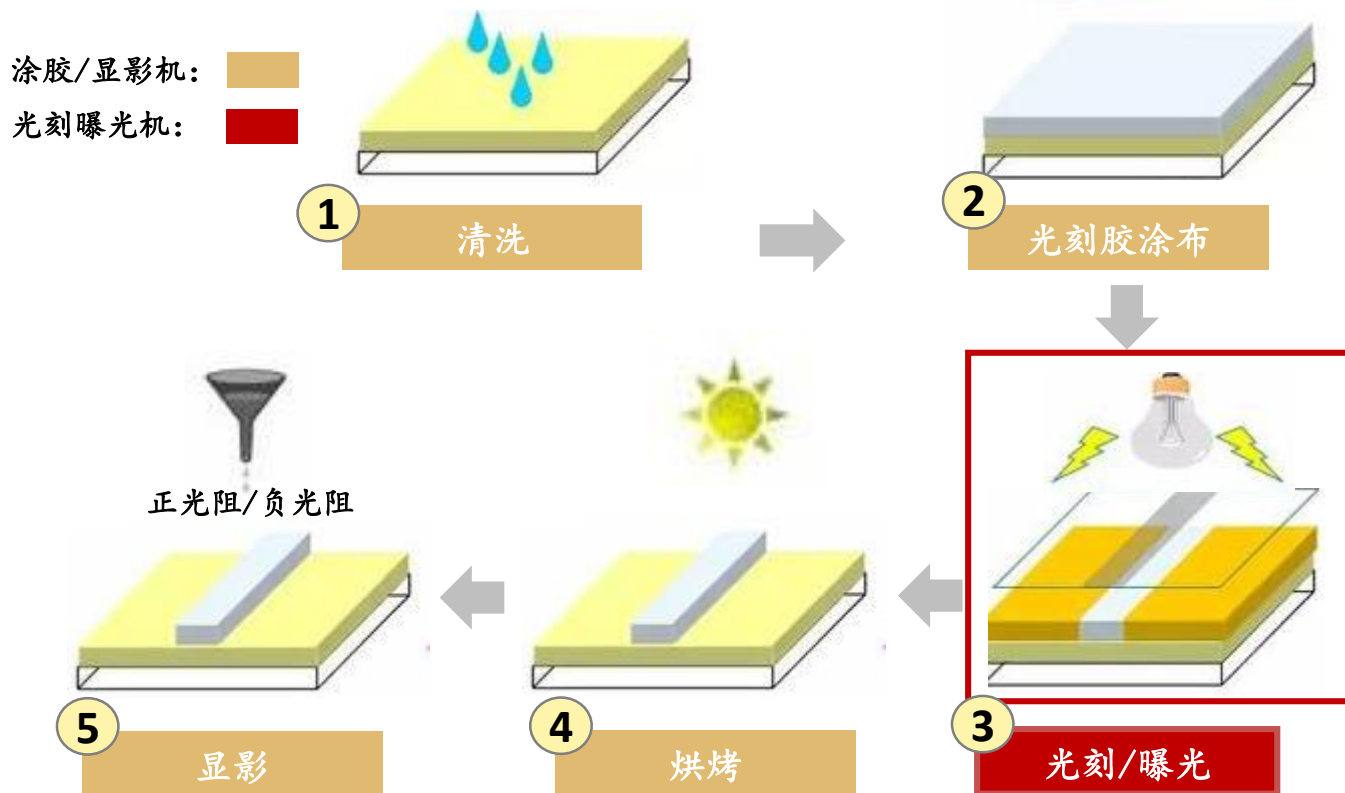


# 光刻机：芯片设计图形转移工艺，全球市场份额每年近640亿元

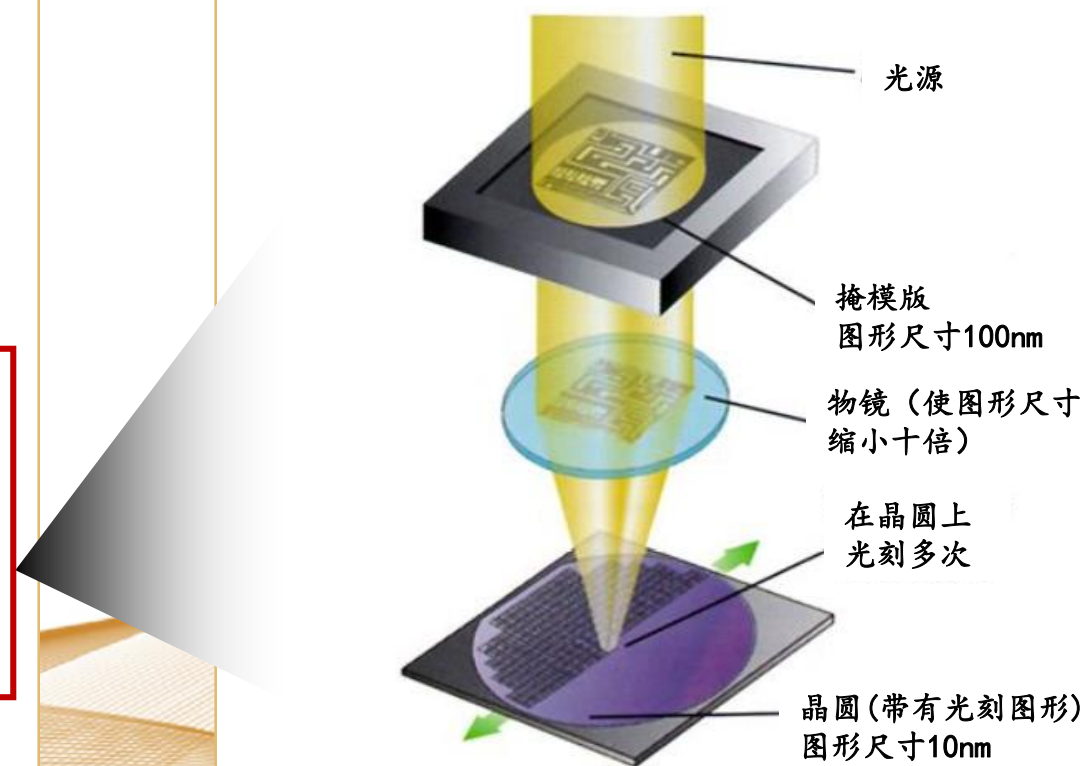
光刻机的曝光工艺：通过紫外光源照射掩模版，将掩模版上的图形缩小十倍刻印在覆盖晶圆的光刻胶之上，完成图形从掩模版转移至芯片。

- 光刻工艺的流程为(1)光刻胶涂抹：将光刻胶按照离心力均匀涂抹在晶圆上；(2)前烘烤：软烤光刻胶；(3)光刻曝光：使用光学系统，以紫外光照射掩模版，使得光刻胶上没有掩模版遮蔽的区域化学键会遭到破坏，过程中光源从掩模版投影到晶圆上的图形节点大约会缩小4至10倍，因此，光刻曝光是芯片制程微缩的关键工艺。例如10nm的芯片是通过100nm的掩模版投影形成；(4)后烘烤：硬烤光刻胶。(5)化学显影：使用显影液将化学键被破坏的光刻胶溶解去除，在光刻胶上显影出芯片图形，分为正光阻和负光阻两种，现在普遍使用正光阻；
- 光刻工艺的设备主要分为两种(1)光刻曝光设备；(2)涂胶显影设备。其中曝光光刻设备的技术难度和价值较高，是关键前道设备之一。

光刻工艺可分为涂胶显影/曝光两种，其中光刻机用于曝光图形转移



曝光是将掩模版的芯片图形转移至晶圆的工艺

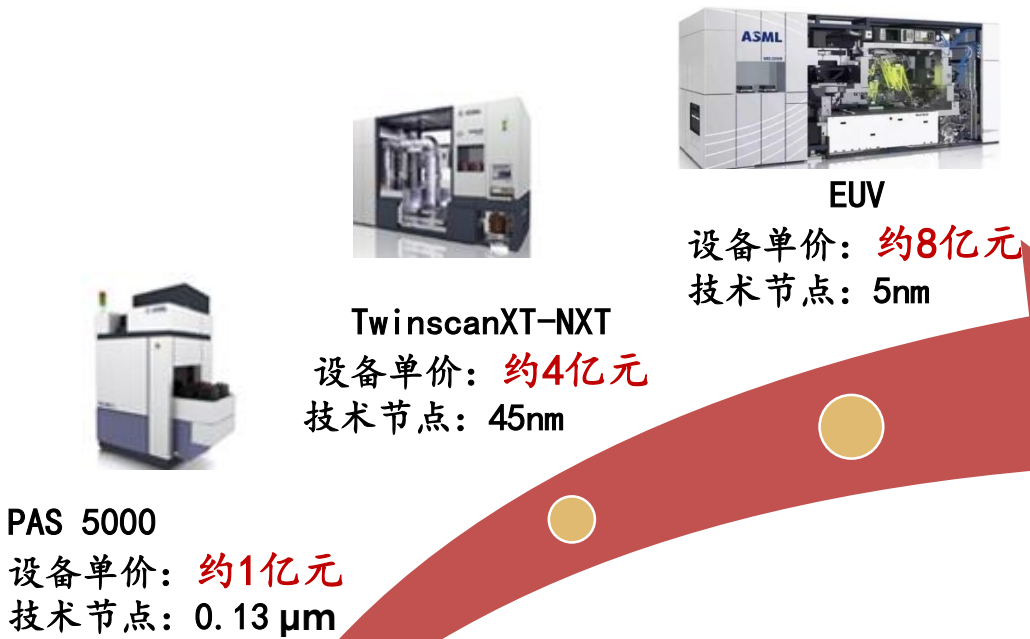


# 光刻机：技术精度要求高，设备单价随技术革新翻倍增长

光刻机是Fab中价格最贵的设备；芯片生产中需要20至30次光刻，耗费时间约为全部工艺的40%至60%；工艺成本极高，约为整个芯片制造工艺的30%。

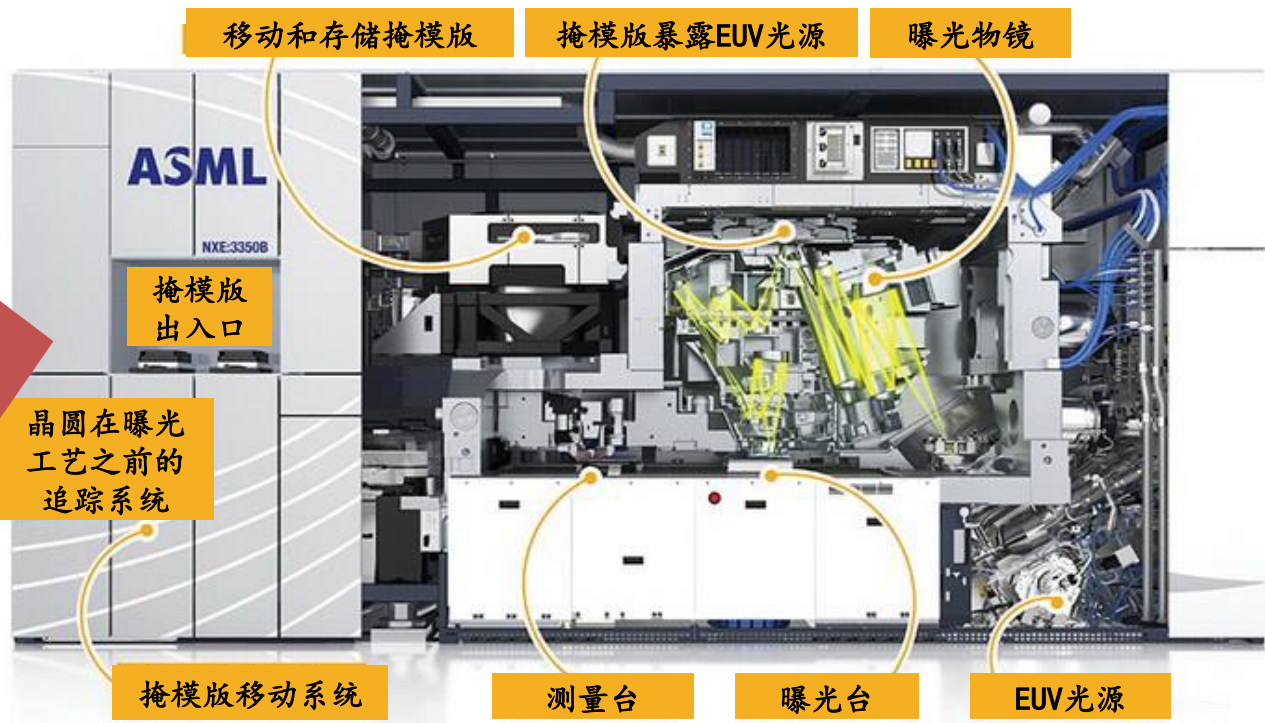
- 光刻机的价格随技术工艺革新翻倍增长：12寸0.13微米制程的光刻机价格约为1亿元，而12寸45纳米沉浸式光刻机约为4亿元，12寸5纳米极紫外光(EUV)的光刻机更高达8亿元，超过一台F22战斗机的价格，由于光刻机的技术高、生产难的特性，全球只有ASML能提供先进制程的光刻设备。
- 光刻机的制造技术难点：在于将光学系统应用于纳米级制程时，光学系统将非常复杂，技术涉及精密光学、精密轨迹运动控制、高精度环境控制等多项先进技术，且每一项技术的精密程度皆会影响工艺的结果，因此，即使价格高昂产能依旧不足，最先进的EUV光刻设备甚至呈现供不应求。

## 光刻机设备单价随技术节点推进翻倍增长



资料来源：ASML、华西证券研究所

## ASML深紫外EUV光刻机结构示意图



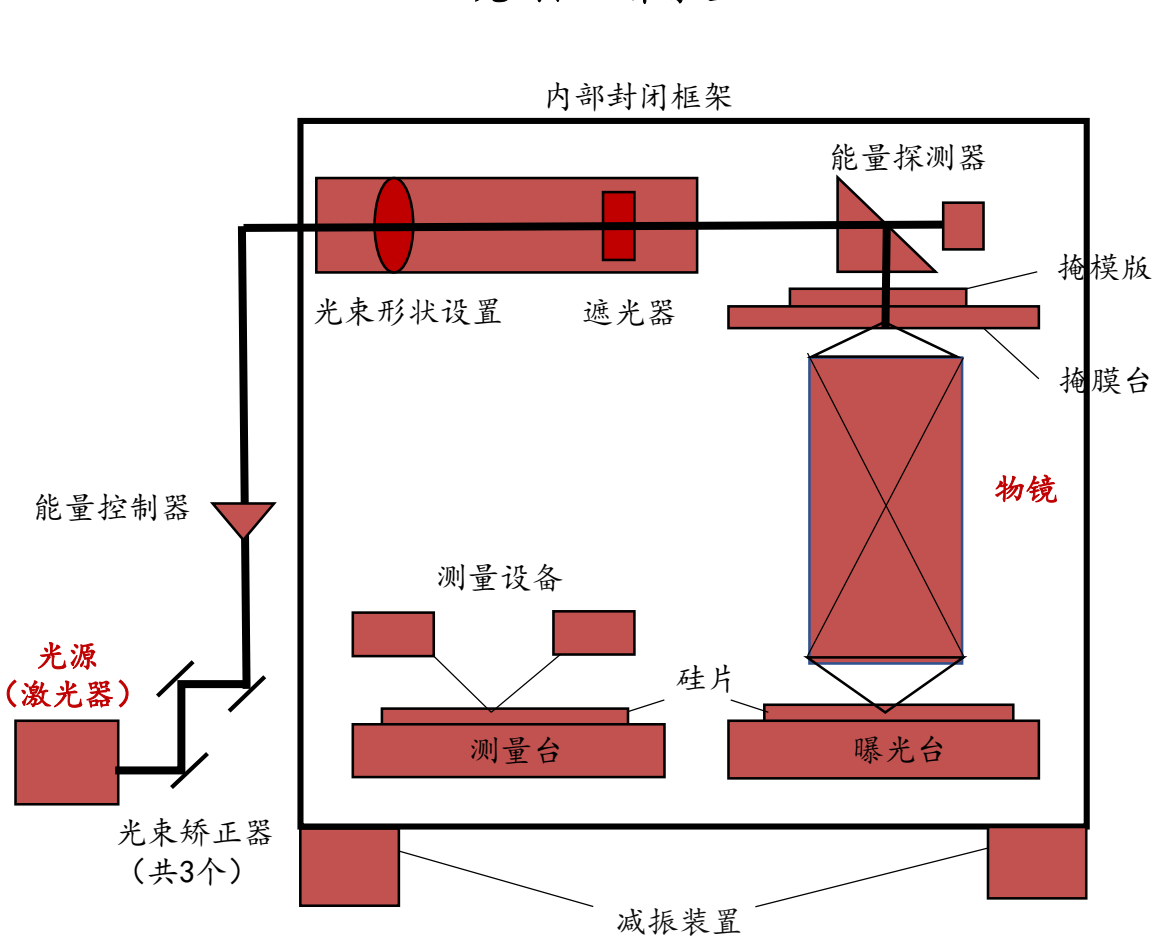
资料来源：ASML、华西证券研究所

# 光刻机：核心零部件为光源、物镜、精密控制系统

光刻机中主要的装置为光学系统，其中光源、物镜是最关键的零部件，分别掌握着光源波长和数值孔径，是影响芯片制程线距的关键。

- **光刻原理：**光源产生光束经由矫正器和能量控制器达到适当能量，照射在掩模版上，通过物镜补偿光学误差，将图形缩小映射在涂抹光刻胶的晶圆上。

光刻机工作原理



资料来源：电子说、华西证券研究所

光刻机主要零部件和功能

光刻机零部件	作用
测量台与曝光台	光刻机通常只有一个工作台，需要先测量对准之后再曝光。行业龙头ASML开发出两个工作台的光刻设备，可以实现测量与曝光同时进行，提高光刻机的工作效率
<b>光源</b>	光刻机的核心零部件，光源由准分子雷射形成，光源所代表的光波长会直接影响曝光时的分辨尺寸，进而决定芯片的线距
光束矫正器	用于矫正光束射入的角度，让光束可以正确的角度射入
能量控制器	控制最终照射到硅片上的光束能量，若是能量不足导致曝光不足会严重影响成像质量
光束形状设置	设置光束形状，不同装束状态有不同的光学特性
遮光器	再不需要曝光的时候，组织光束照射到硅片
能量探测器	检测光束最终入射能量是否符合曝光要求，并反馈给能量控制器进行调整
掩模板	刻着线路设计图的掩模板，通常由芯片设计商或芯片制造商制造完成后，在用于光刻工艺的制造
掩膜台	在掩模板进行光刻蚀，负责承载掩模板扫描光刻时候的运动轨迹，由于光刻精度为纳米级，运动情况会影响光刻精度
<b>物镜</b>	光刻机核心零部件，物镜由20多块200nm至300nm的镜片组成，主要作用是把掩模板上的电路设计图按比例缩小，再投射到硅片涂抹的光刻胶上面，并且物镜还要补偿各种光学误差。技术难就在于物镜的设计难度大，要求精度高，全球只有蔡司能做
封闭框架减振器	将工作台与外部隔离，保持水平，减少振动干扰，维持光刻工艺稳定进行

资料来源：集微网、华西证券研究所 46



# 光源：ArF沉浸式紫外光(14nm)至EUV极紫外光(10nm以下)

ArF紫外光源在沉浸式光刻技术拓展下的物理极限是45nm，即使通过多重图形工艺可以延续至14nm，但是10nm以下势必将采用EUV光源。

- 光源的创新和投影系统的改进是光刻机性能增加的关键。每一次光源改进都大幅提升了芯片的制程节点，从ArF紫外光进步至EUV紫外光，光源波长更是大跃进缩短(从193nm至13.5nm)，即使EUV光刻机因技术困难而产能受限，但随着技术成熟，EUV光刻机势必为先进制程的关键设备。

光刻机技术革新：光源和投影设备的进步路线

年份	光源种类		光源波长 (nm)	分辨率/节点 (nm)	对应投影系统设备	备注	
	1982	汞灯	G-line	436	800-250	接触式光刻机	接触式光刻设备的掩模版容易受到光刻胶污染
1994	800-250				接近式光刻机	接近光刻设备分辨率较差	
1999	第二代	I-line	365	800-250	接触时光刻机	接触式光刻设备的掩模版容易受到光刻胶污染	
2006				800-250	接近式光刻机	接近光刻设备分辨率较差	
2017	第三代	KrF	248	180-131	步进扫描投影光刻机	通过物镜投影增加分辨率掩模版不直接接触光刻胶	
				130-65	步进扫描投影光刻机	通过物镜投影增加分辨率掩模版不直接接触光刻胶	
2017	第四代	准分子雷射	ArF	193	45-22	沉浸式步进扫描投影光刻机	首次采用沉浸式光刻技术，得以突破光源极限，实现45nm制造以下的分辨率
				193			
2017	第五代	电浆雷射	EUV	13.5	<22	极紫外光刻机	光源波长大幅降低，可大幅提升10nm以下制程生产效率

资料来源：ansforce、各公司财务报表、华西证券研究所

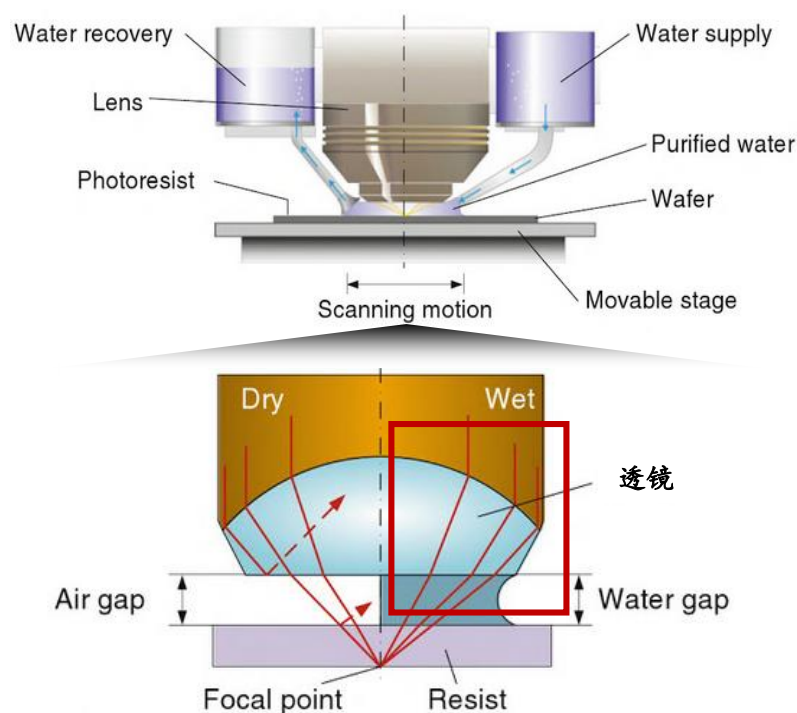


# ArF沉浸式紫外光+多重图形工艺：制程从1.6 μm缩至14nm

ArF沉浸式紫外光结合多重图形工艺突破光源波长的技术极限，实现芯片制程微缩至14nm，为2020年国内芯片制造商量产14nm芯片的主要光刻技术。

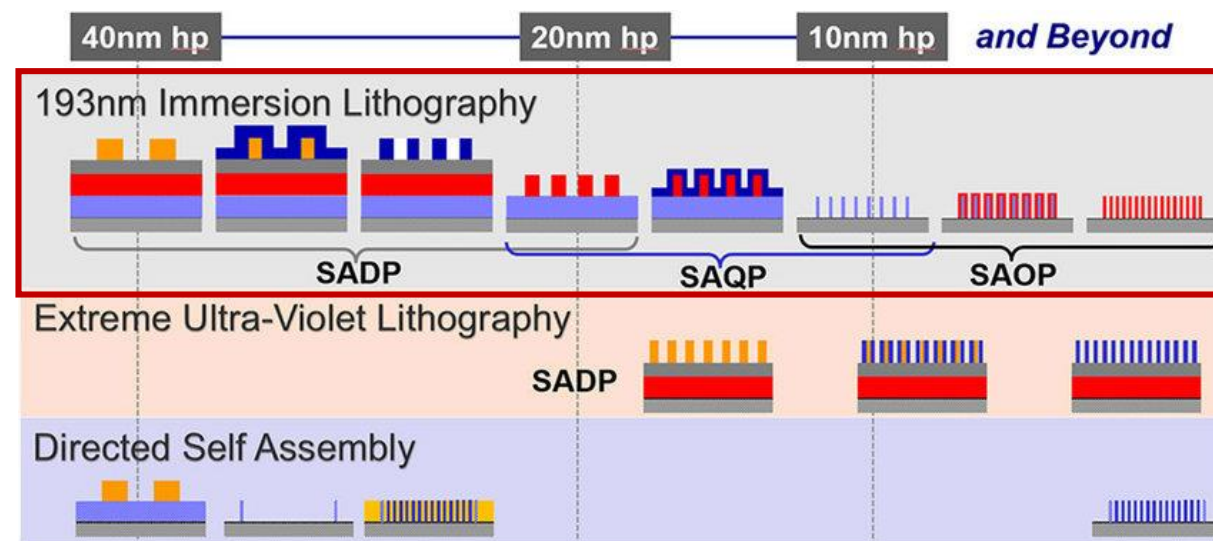
- 沉浸式光刻技术：2000年，ArF紫外光的193nm成为技术瓶颈，继续向下缩短光源波长非常难，难以再通过降低曝光波长提高分辨率。因此，ASML联手台积电在2007年开发出沉浸式光刻技术，由于透镜的折射率在水中的差异比空气中小，通过将透镜和晶圆浸入水中，紫外光经由透镜与水之间反射截面较小，数值孔径可从传统光刻的0.3提升为沉浸式光刻的1.35，使得芯片制程从65nm得以向下微缩至40nm。
- 多重图形工艺是沉浸式光刻技术下芯片制程从40nm向下微缩至14nm的关键。多重图形工艺可分两种：以多次光刻为主的间距分离技术（LELE）和以多次刻蚀加上薄膜沉积工艺为主的间距分割技术（SAMP），由于前者需经过多次重复曝光，对于对准精度要求苛刻，导致成本较高；相比之下，SAMP技术只需一次高等级光刻工艺，剩余芯片微缩主要通过刻蚀和沉积工艺完成，从二重图形（SADP）跨越至四重图形（SAQP）在成本上也不会增加太多，因此已成为目前芯片从40nm向下微缩至14nm的关键工艺。

沉浸式技术将投影透镜和晶圆局部泡在水中提高分辨率



资料来源：电子工程专辑、华西证券研究所

多重图形工艺通过重复刻蚀和沉积使得芯片微缩至10nm



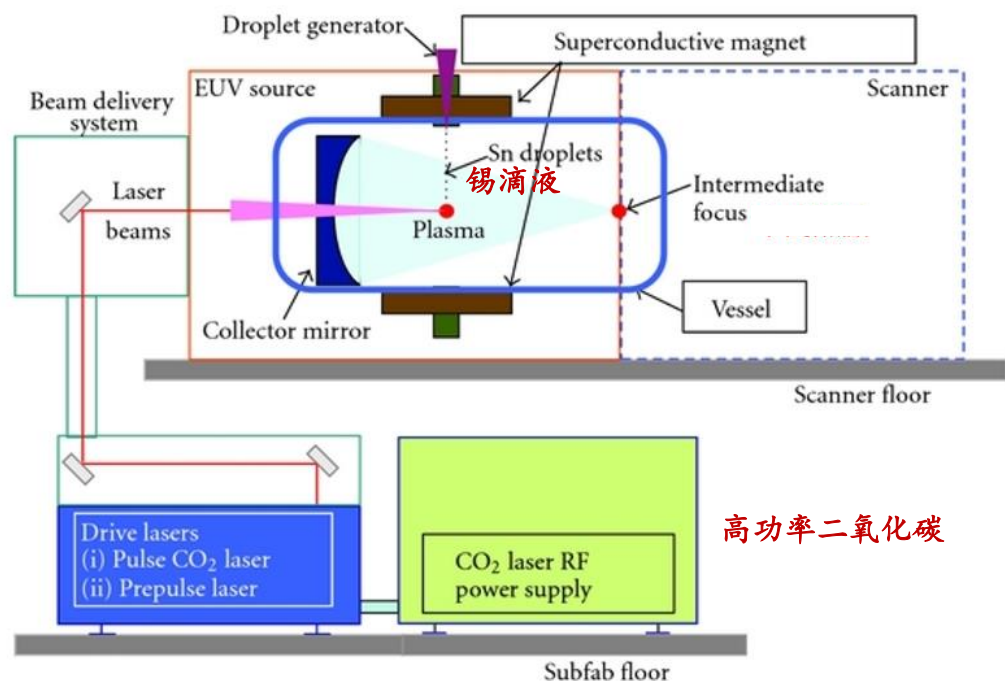
资料来源：ResearchGate、华西证券研究所

# EUV极紫外光:10nm以下制程关键, 2020年进入需求爆发期

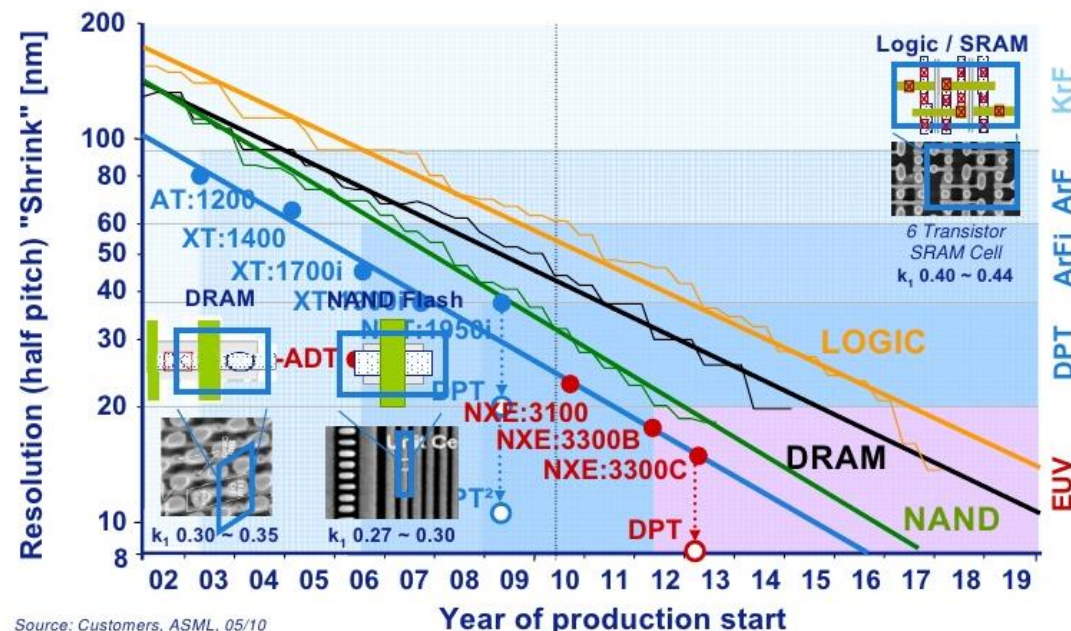
EUV极紫外光刻机可望迎来需求爆发期, 台积电2019年已经成功基于EUV极紫外光量产7nm+芯片, 全球主要芯片制造商也陆续进入14nm以下先进制程。

- 集成电路领域的逻辑芯片/存储芯片 (DRAM/NAND) 皆需要使用波长为13.5nm的极紫外光EUV, 实现先进制程10nm/7nm/5nm/3nm的芯片生产。
- EUV技术在产能和功耗等效能正在逐渐提升: EUV紫外光刻机的技术原理是将高功率的二氧化碳激光以每秒5万次打在直径为30微米的锡液滴上, 通过高功率激光蒸发锡滴, 使得电子脱落激发电浆产生极紫外光。极紫外光设备造价昂贵在于其技术难度非常高。技术难点包括: (1) 极紫外光的收集: 极紫外光容易被镜头玻璃和各种材料吸收, 因此需在真空环境下操作, 并使用布拉格反射镜代替透镜, 一台EUV光刻机得经过十几面反射镜, 将光从光源一路反射至晶圆, 但是过程中光线也会被镜面不断吸收, 导致最后的光线剩下2%。(2) 射线功率提升: 光线被多重吸收导致损耗过多功率不足。(3) 掩模版和光刻胶的技术革新: EUV光刻机采用不同的光源和反射光进行光刻, 因此掩模版和光刻胶的化学反应将不同, 材料也需要对应改进。(4) 产能的提升: 2017-2019年EUV光刻机产能从125片/H提升至155片/H, 但相较于沉浸式光刻机的275片/H, 还有提升空间。

EUV极紫外光刻机的技术原理



2020年集成电路开始往10nm以下发展, 对EUV光刻机需求爆发



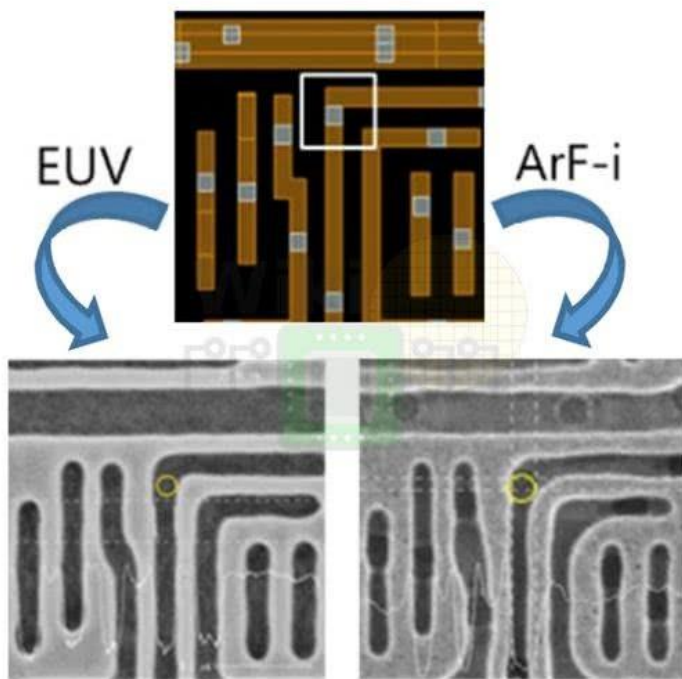


# EUV极紫外光:提升光刻图形的分辨率, 芯片制造高效化

EUV极紫外光刻机相较于上一代ArF沉浸式紫外光源在图形分辨率、制造时间、芯片设计的空间和芯片布局面积等皆具有优势。

- **EUV技术导入芯片图形保真度可望提升70%、图形面积减小50%**：根据三星数据，采用EUV技术的光刻图形，保真度显著优于ArF的多重曝光工艺，其差距达到70%。在版图设计方面，EUV可以简化布线，甚至降低设计复杂性，EUV技术与ArF的多重图形技术相比，面积可缩小达50%。
- **EUV技术大幅精简光刻次数且成像效果更好**：EUV可以刻出更细微的图形，减少多重图形工艺步骤数，使芯片微缩制造更为简单、成像效果更佳。
- **EUV技术节省制造时间**：单次EUV曝光可以取代3次或更多的光学曝光，每个掩膜层制造可以节省大约1.5天时间

EUV极紫外光的光刻图形辨识度显著优于ArF紫外光

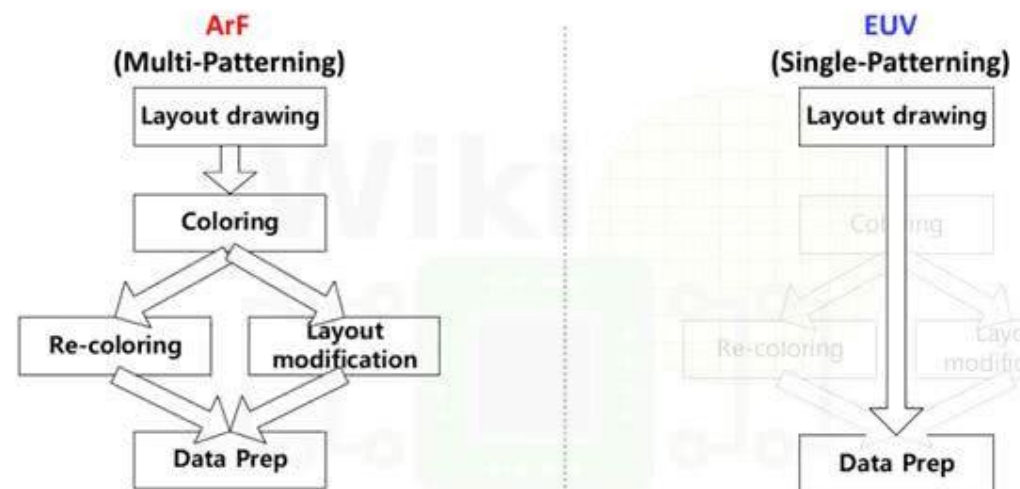


EUV极紫外光使得芯片制造流程简单化、高效化

## Why EUV in 7nm ? - Simple

ArF needs multi-patterning for the smaller pitch

EUV provides the competitive pitch with simple methodology



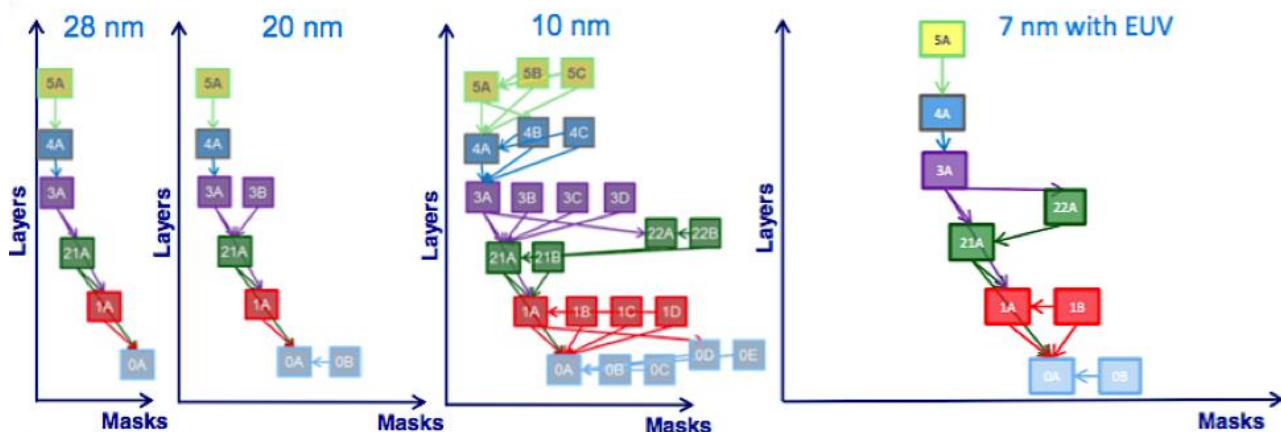
# EUV极紫外光：支撑多重图形工艺延续，降低芯片制作成本

EUV极紫外光刻机大幅降低多重图形工艺的步骤数，进而降低芯片制造的成本和难度，提升芯片良率。

- EUV光刻机导入7nm先进制程后大幅降本增效，是7nm以下制程不可替代的关键设备
- 减少50%以上的工艺步骤数量和复杂度，提升产品良率：采用EUV光刻机刻出更细的图形，取代过多的多重图形工艺。在多重图案工艺下，从二重图形/四重图形/八重图形的循环过程中，制程复杂度呈现几何级别上升。因此，多重图形工艺执行的越多，良率的问题倍数和困难度将指数增加。：在实际制造流程中，EUV+SADP（双重图形工艺）可以取代 ArF沉浸式光刻+SAQP（四重图形工艺），使得工艺数量减少一半以上。
- 降低50%以上的生产成本：EUV降低了芯片制造过程中成本最高的光刻次数，有效降低多重图形工艺导致成本倍增的情况。

## EUV极紫外光大幅降低多重图形工艺的步骤数量和复杂度

Patterning complexity reduced with EUV through less patterning and metrology steps

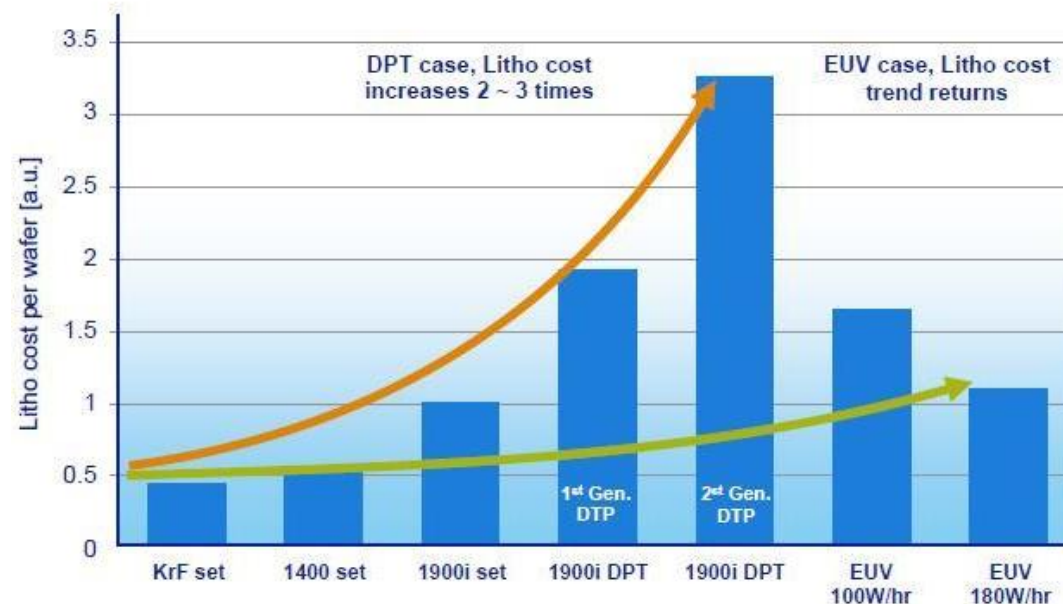


Node	28 nm	20 nm	10 nm	7 nm all immersion	7 nm all EUV
#: lithography steps	6	8	23	34	9
→: critical alignment overlay step	7	9-11	36-40	59-65	12

资料来源：ASML、华西证券研究所

## EUV光刻机有效降低先进制程芯片的单位制造成本

Litho costs back to normal with EUV >100 W/hr



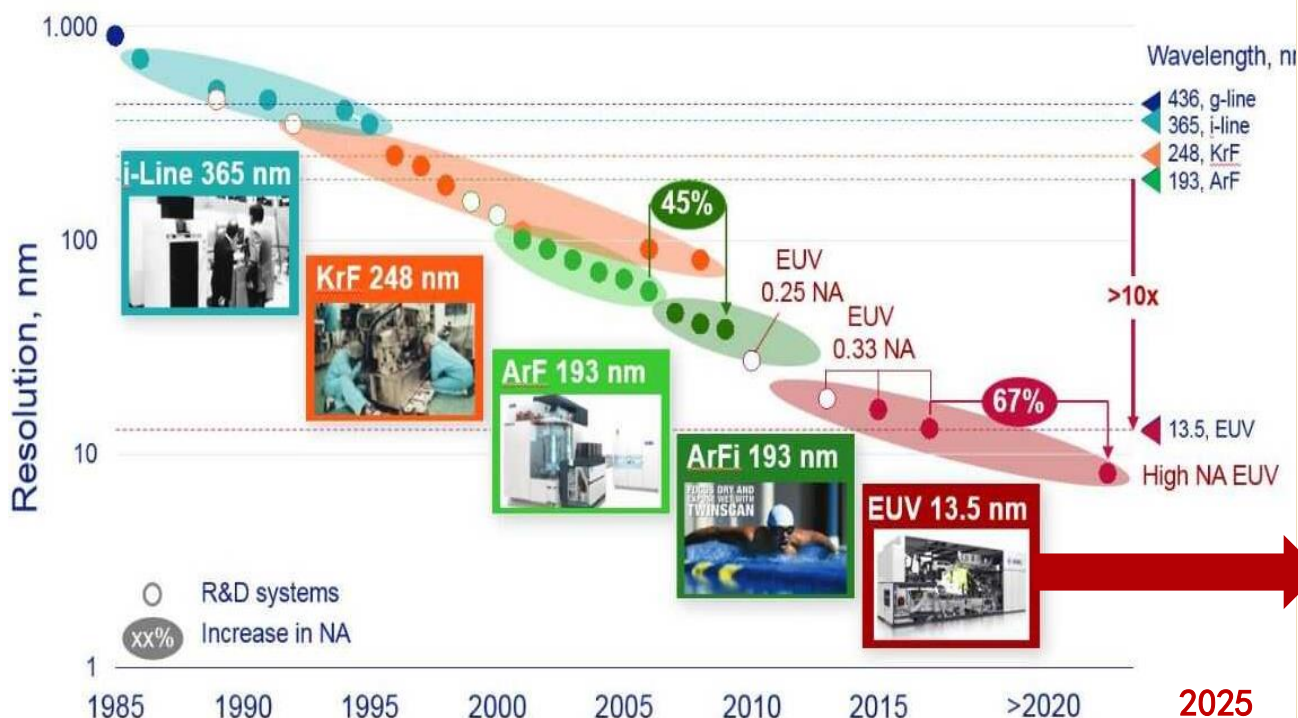
资料来源：ASML、华西证券研究所



# EUV极紫外光刻机：未来五年芯片制程技术节点推进关键

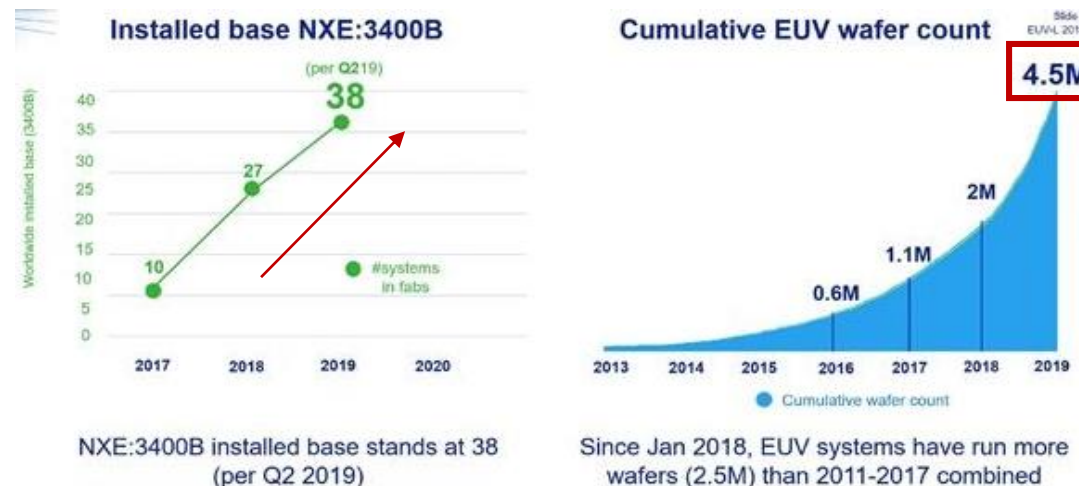
2020年EUV极紫外光刻机安装量将持续快速增长，新一代High NA EUV光刻机可望于2025年量产赶上3nm/2nm技术节点，随技术进步效能提升70%。

2020年开始EUV光刻机将是未来五年的制造节点推进的关键



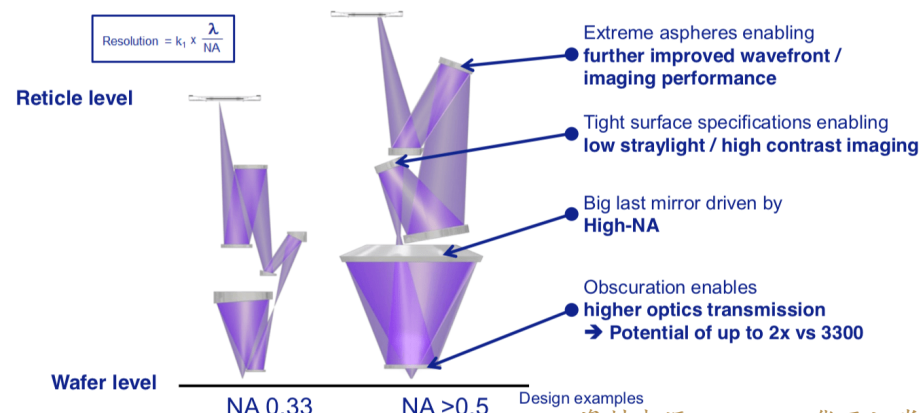
资料来源：ASML、华西证券研究所

2017-2019Q2年EUV的出货量和产能快速增加



资料来源：ASML、华西证券研究所

新一代 High NA EUV光刻机配备高数值孔径透镜：效能提升70%



资料来源：ASML、华西证券研究所

# 国际VS国内:ASML垄断全球先进制程, SMEE突破国内中低市场

ASML技术领先垄断集成电路用高端光刻机, Nikon和Canon转往中低端市场和面板市场, 国产SMEE(上海微电子)在国内中低端应用领域持续突破。

- 国际光刻机厂商: ASML垄断EUV和ArF沉浸式光刻机, 全球集成电路用高端出货占比达99%, 使得Nikon和Canon转往封测/LED/面板中低端市场。
- 国产光刻机厂商: 上海微电子(SMEE)是国内唯一的集成电路领域光刻机制造商, 技术节点正在持续突破。根据芯思想数据, SMEE在国内封测/LED领域市占率均为第一名, 且首台面板光刻机正在客户验证中, 未来有机会实现国内FPD面板光刻机的进口替代。

## 光刻设备: 国际和国内主要厂商



国际厂商



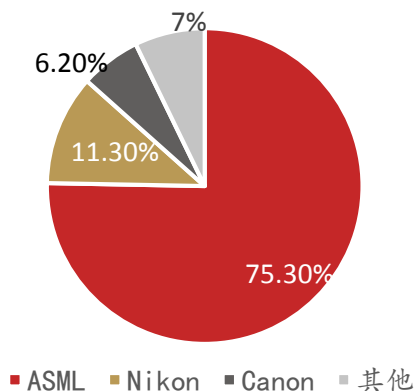
国内厂商

## 2018年全球光刻机出货情况: SMEE在各应用领域均有突破

	光源类型	ASML	NIKON	CANON	SMEE (上海微电子)
半导体用 光刻机	EUV	18	0	-	-
	ArFi	86	5	-	-
	ArF	16	9	-	ICRD验证中
	KrF	78	5	-	-
	i-line	26	17	114	50-60
面板用光刻机		0	70	69	验证中
总计		224	106	183	50-60

资料来源: 芯思想、华西证券研究所

## ASML/Nikon/Canon高度垄断, 市场份额合计占比93%



资料来源: SEMI、华西证券研究所

## 2019年长江存储64层3D NAND招标尚无采购国产光刻机

光刻机类型	招标数量	中标公司	国家
沉浸式扫描光刻机	4	ASML	荷兰
Arf扫描光刻机	2	ASML	荷兰
Krf扫描光刻机	2	ASML	荷兰
紫外光步进式光刻机	2	Canon	日本
iline扫描光刻机	2	Canon	日本
iline扫描光刻机	1	ASML	荷兰
iline扫描光刻机	1	ASML	荷兰
248光刻机	3	ASML	荷兰
365光刻机	2	Canon	日本

资料来源: 必联网、华西证券研究所

# 国际VS国内：SMEE在技术节点尚有差距，但已突破至90nm



公司	型号	曝光方式	最小分辨率 (nm)	曝光光源	最大数值孔径	图片尺寸 (nm)	套刻精度 (nm)	产出率 (片/h)	
ASML	NEX3300B	EUV曝光	<22	EUV13.5nm	0.33		<3	125	
	NXT1980Di	双台浸没式步进扫描曝光	<38	ArF准分子激光器193nm	1.35	300	<1.6	275	
	NXT1950i						<2.5	175	
	XT1450H	双台干式步进扫描曝光	<65	KrF准分子激光器248nm	0.93	200	<5	162	
	XT1000K						<80	<6	180
	XT860K						<110	<12	210
	XT400K						<350	<35	220
	PAS5500/1150C	单台步进扫描曝光	<90	ArF准分子激光器193nm	0.75		<12	135	
	PAS5500/850D	-	<110	KrF准分子激光器248nm	0.8		<15	145	
	PAS5500/450F	-	<220	高压汞等光源365nm	0.65		<25	150	
Nikon	NSR-S631E	浸没式步进扫描曝光	<38	ArF准分子激光器193nm	1.35	200、300	<1.7	270	
	NSR-S621D						<2	200	
	NSR-S322F	步进扫描曝光	<65	KrF准分子激光器248nm	0.92		<2	230	
	NSR-S210D						<110	KrF准分子激光器248nm	0.86
Canon	FPA-6300ES6a	步进扫描曝光	<90	KrF准分子激光器248nm	0.86	200\300	<8	200	
SMEE	SSA600/20	步进扫描曝光	<90	ArF准分子激光器193nm	0.75		SMO<15nm MMO<25nm	80	
	SSC600/10	步进扫描曝光	<110	KrF准分子激光器248nm	\	200\300	\	\	
	SSB600/10	步进扫描曝光	<280	高压汞等光源365nm	\		SMO<15nm MMO<25nm	80	

资料来源：各公司官网、华西证券研究所



# 国际：ASML全球光刻机龙头，EUV光刻机的唯一制造商

ASML（阿斯麦）是全球领先的光刻机制造商，且以引入三星/台积电/Intel作为股东获得研发资金，有鉴于目前无第二家厂商具备EUV光刻技术，未来十年ASML的行业霸主龙头将难以被撼动。

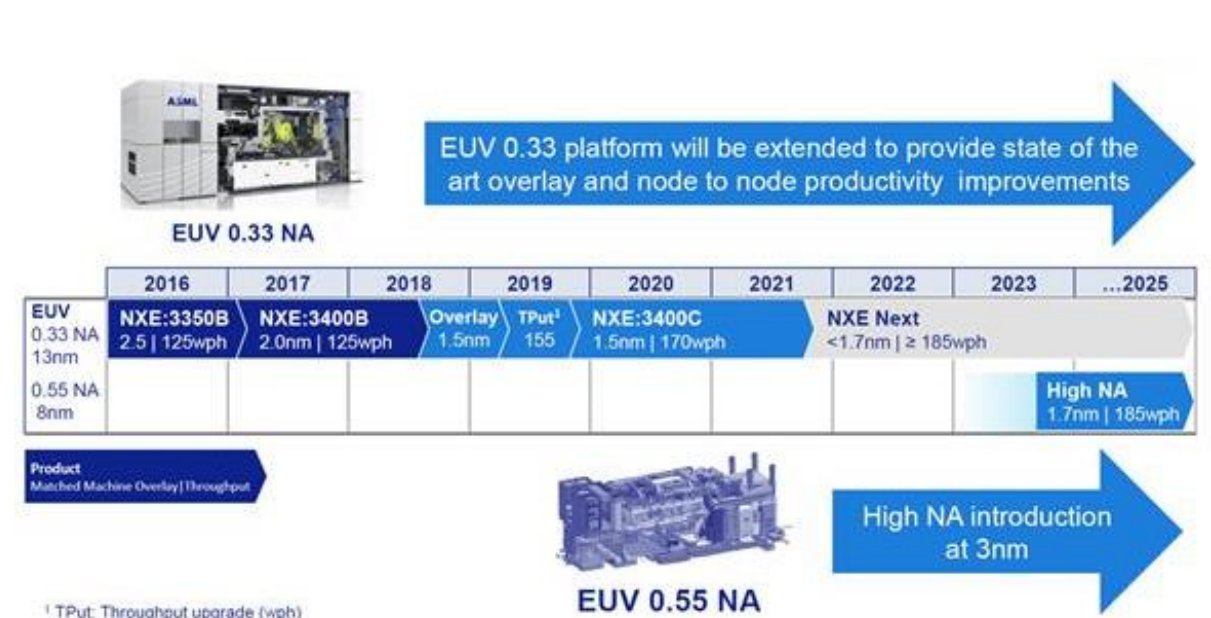
- 2018年公司营业收入129.26亿美元，净利润31.94亿美元，为全球第二大半导体设备商。
- 发展机遇一：台积电联合ASML投入研发沉浸式光刻机，ASML在技术路径上选择正确，拉开和Nikon、Canon之间的技术差距，之后便一路领先。
- 发展机遇二：1997年加入美国EUV LLC集结美国三大国家实验室的顶级研究资源，为现今的EUV光刻技术奠定基础。
- 发展机遇三：在正确时间节点并购或入股上游供应链，形成完整产业链，并购标的包括光源大厂Cymer、电子束检测设备HMI、镜头龙头蔡司。

## ASML从ArF沉浸式紫外光刻机开始引领全球光刻机发展



资料来源：ASML、华西证券研究所

## EUV极紫外光刻机将助力ASML未来十年持续稳坐行业龙头



资料来源：ASML、华西证券研究所



# 国内：上海微电子光刻机在集成电路领域技术持续突破

上海微电子是国内唯一专门从事光刻机的研发、生产和销售半导体设备商，主要控制人是上海市国资委，持股占比达53.49%。

- 发展机遇一、国家大基金二期重点投入填补光刻机领域的空白，公司在国家02专项的支持下，可望吸引尖端人才实现光刻机技术的赶超
- 发展机遇二、国内制造商扩产带来光刻机进口替代需求。虽然公司光刻机在集成电路领域尚有差距，但在特色工艺和其他应用表现不俗，在封测领域国内市占率达到80%，全球市占率为40%；在LED/MEMS/特色工艺性价比领先，LED领域市占率第一；此外，公司面板光刻机也已在客户端验证中。
- 发展机遇三、根据证监会公布，上海微电子在2017年底签署券商辅导协议，未来可望在科创板IPO上市，借助资本力量加大研发投入。

## 上海微电子SMEE的IC制造光刻机技术节点达90nm



SSX600系列步进扫描投影光刻机采用四倍缩小倍率的投影物镜、工艺自适应调焦调平技术，以及高速高精的自减振六自由度工件台掩模台技术，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。该设备可用于8寸线或12寸线的大规模工业生产。

型号	SSA600/20	SSC600/10	SSB600/10
分辨率	90nm	110nm	280nm
光源类型	ArF	KrF	i-line
镜头倍率	1:4	1:4	1:4
硅片尺寸	200nm或300nm		

资料来源：SMEE、华西证券研究所

## 上海微电子SMEE技术实力雄厚，奠定长期发展机遇



- SMEE直接持有各类专利及专利申请超过3000项，同时通过建设并参与产业知识产权联盟，进一步整合共享了大量联盟成员知识产权资源，涉及光刻机、激光与检测、特殊应用类等各大产品技术领域，全面覆盖了SMEE产品的主要销售地域。
- SMEE于2015年通过GB/T29490-2013国家知识产权管理体系审核认证，体系涵盖了产品的预研、设计、制造以及市场投放等全过程

资料来源：SMEE、华西证券研究所

# 上海微电子：封装/特色工艺/面板领域实现进口替代

上海微电子的光刻机在中低端领域和Nikon和Canon的技术差距相对较小，具备性价比优势，且中低端应用领域的光刻机市场规模正不断增加。

- 封测/MEMS/LED/面板领域光刻机需求量逐年增长，给与SMEE切入市场打提升光刻技术的机会。
- 面板领域中国制造商多，进口替代需求大。DSCC数据，2022年全球70%面板是中国制造，SMEE可望借鉴LED成功经验，实现FPD面板光刻机进口替代。

## SMEE的IC后道先进封装用光刻机——500系列



SSB500/40



SSB500/50

SSB500系列步进投影光刻机不仅适用于晶圆级封装（Fan-In WLP, Fan-Out WLP）的重新布线（RDL）以及Flip Chip 工艺中常用的金凸块（Gold Bump）、焊料凸块（Solder Bump）、铜柱（Copper）等先进封装光刻工艺，还可以通过选配背面对准模块，满足MEMS 和2.5D/3D封装的TSV光刻工艺需求。

资料来源：SMEE、华西证券研究所

## SMEE的TFT曝光用光刻机——500系列



SSB225



SSB245

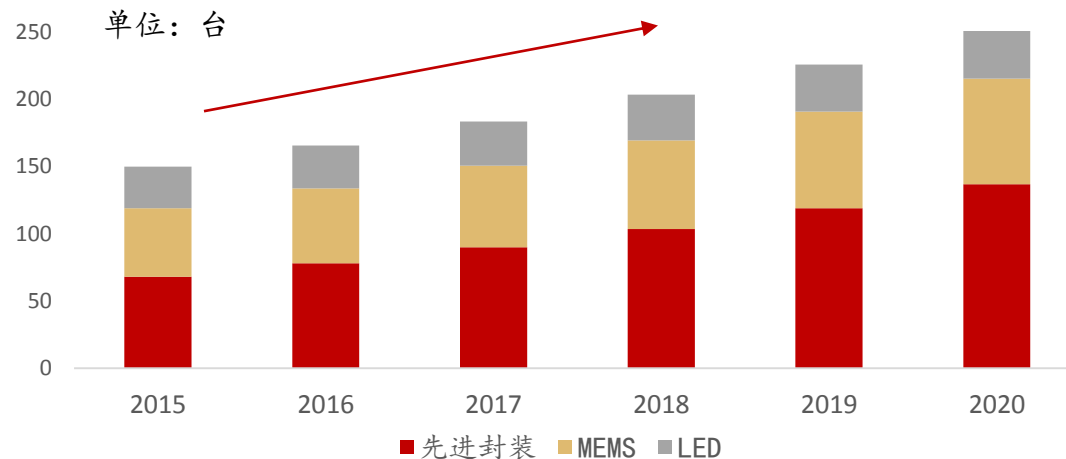


SSB260

SSB200系列投影光刻机采用先进的投影光刻机平台技术，专用于AM-OLED和LCD显示屏TFT电路制造，可应用于2.5代~6代的TFT显示屏量产线。该系列设备具备高分辨率、高套刻精度等特性，支持6英寸掩模，显著降低用户使用成本。

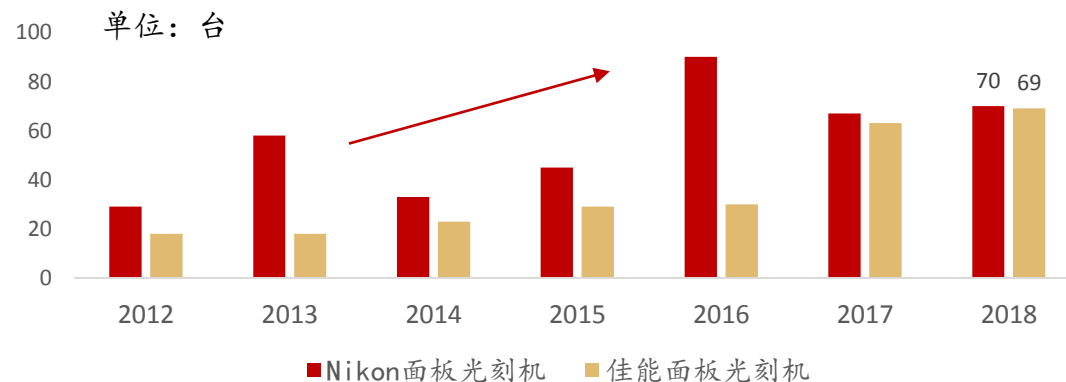
资料来源：SMEE、华西证券研究所

## 光刻机在封装/MEMS/LED领域的出货量



资料来源：YOLE、华西证券研究所

## Nikon和Canon的FPD面板光刻机出货量



资料来源：Canon、Nikon、华西证券研究所

- 半导体前道设备的价值为何？
- 国产前道设备商迎来机遇——国内下游制造密集扩产、国产设备技术成熟
- 九类前道设备——国产商最具潜力的领域：刻蚀、CVD、PVD、清洗、量测
  - 一、光刻机：技术最难的曝光工艺，完成芯片设计图形转移
  - 二、刻蚀设备：多重图形刻蚀工艺，雕塑芯片往10nm以下微缩
  - 三、CVD设备：多重图形沉积工艺，堆叠芯片多层结构
  - 四、PVD设备：金属化沉积工艺，实现芯片导线互连
  - 五、离子注入设备：离子掺杂工艺，激活芯片生命力
  - 六、CMP研磨设备：化学机械抛光工艺，芯片结构平整化
  - 七、炉式设备：热处理工艺，芯片的氧化/扩散/退火
  - 八、清洗设备：清除各种污染物，提升芯片良率
  - 九、量测设备：优化各前道制程工艺，提升芯片良率
- 重点推荐：国产前道设备标的

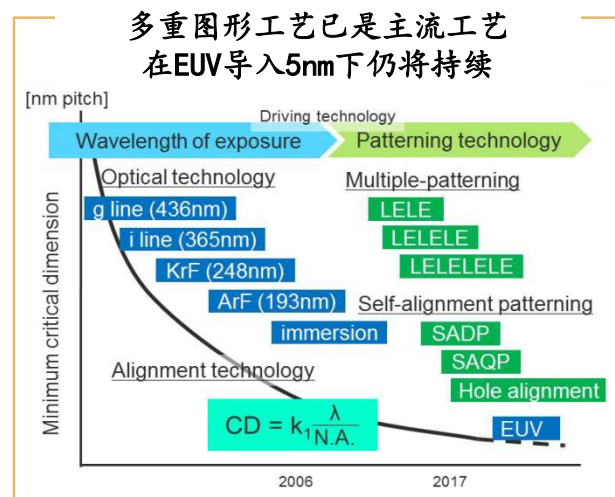
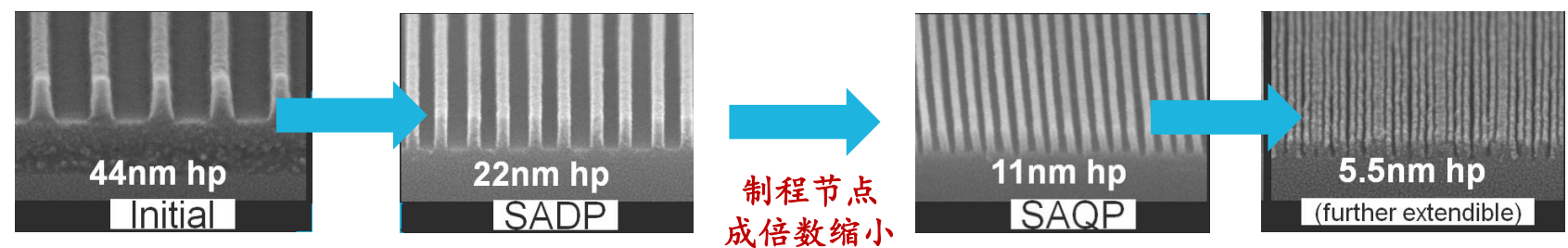
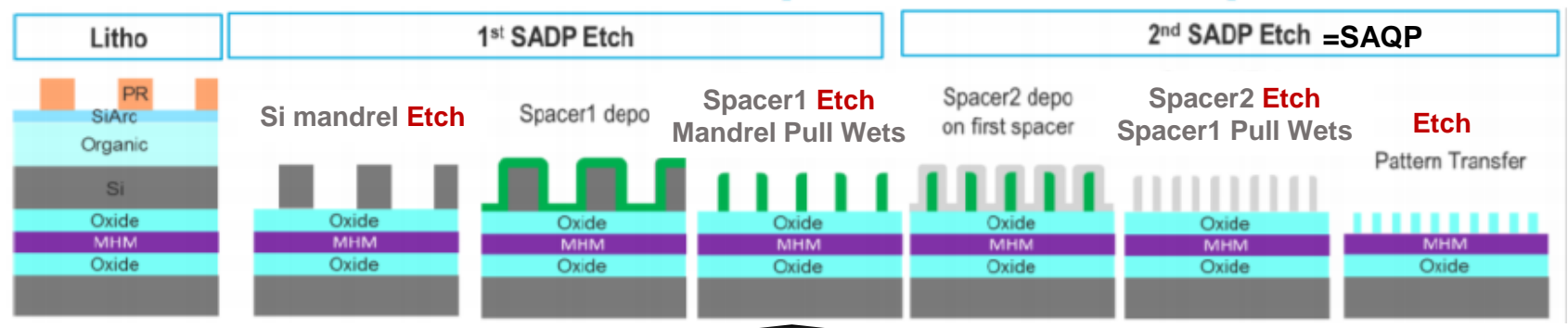


# 刻蚀设备：雕塑芯片使制程微缩，全球市场份额每年近770亿元

刻蚀工艺：通过多重图形工艺“多次刻蚀”，使先进制程芯片线距得以持续微缩。预计2020年EUV光刻机导入后，多重图形工艺仍然将继续沿用。

- 刻蚀工艺在先进制程大量采用：SAMP间距分割技术（也称侧壁图像转移技）是多次刻蚀为主的多重图形工艺。SAMP通过一次高等级光刻，结合多次刻蚀和CVD沉积工艺制作出芯片的细微图形，相较于LELE多重曝光技术，SAMP在10nm以下的复杂制程更具成本优势，已成为先进制程芯片的主流技术工艺。SAMP可分为SADP和SAQP两种，其中，SADP二重图形工艺是通过刻蚀将原图形的制程缩小2倍，SAQP四重图形工艺是将图形缩小为4倍。
- 刻蚀工艺数量大幅增加：在广泛应用的四重图形工艺中，光刻/刻蚀/CVD的工艺数量比例大致为1：4：2，因此刻蚀的工艺数量大幅增加。
- 刻蚀设备需求量快速增长：受益于多重图形工艺，先进制程Fab的刻蚀工艺步骤增加，为了保障工艺稳定，一道刻蚀工艺即由一台刻蚀设备负责。

反复刻蚀：先进制程的多重图形工艺，是在光刻后通过反复刻蚀和沉积微缩芯片线距



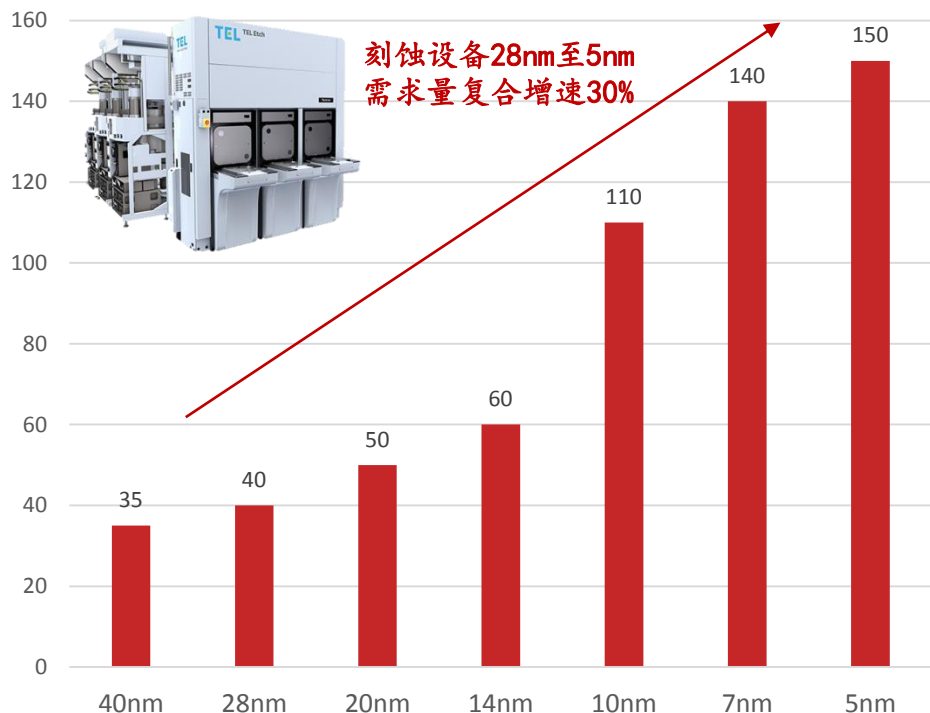
### 刻蚀技术难点

- 先进制程芯片为多层结构，如果要建立60层复杂结构，就需要1000加工步骤。单个步骤合格率即使达99%，1000个步骤后合格率近于零。
- 只有1000个步骤合格率均达到99.99%才能实现总体合格率90%以上，制造出合格良率的芯片。

# 刻蚀设备：先进制程工艺推动刻蚀设备数量提升

逻辑芯片先进制程Fab的刻蚀设备需求量显著增加

单位：台



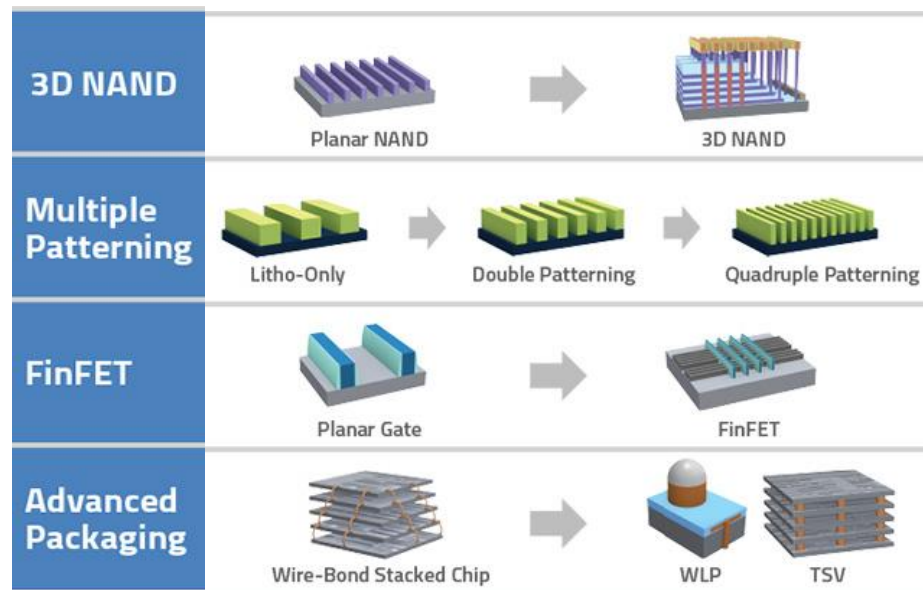
刻蚀设备28nm至5nm  
需求量复合增速30%

■ 每代Fab中刻蚀设备需求量 (产能1万片/月)

备注：刻蚀设备需求量依照刻蚀步骤数量测算得出，有鉴于刻蚀工艺复杂且难度高，一项刻蚀工艺通常由一台刻蚀设备负责

资料来源：SEMI、华西证券研究所

刻蚀工艺愈趋关键——芯片材料/工艺/结构更复杂



结构/工艺进步：  
刻蚀的次数变多  
刻蚀的难度增加

资料来源：google、华西证券研究所

逻辑芯片/NAND/DRAM先进制程中的刻蚀次数显著增加

终端产品	工艺	刻蚀次数/应用占比
逻辑芯片	16nm/14nm	60
	10nm/7nm	110-140
	5nm	150
NAND	2D Planar	<15%
	3D NAND	>50%
DRAM	M1d	3-4
	-20nm	20-30
	1x/1y	35-45

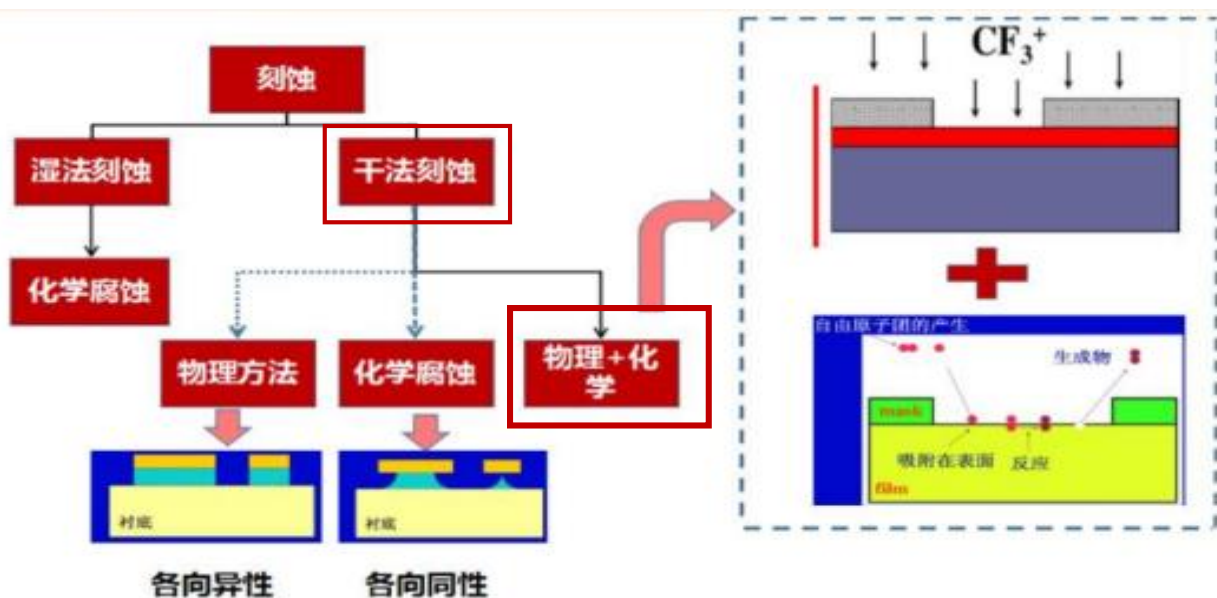
资料来源：LAM、SEMI、华西证券研究所

# 刻蚀技术：等离子体刻蚀（干法）是先进制程的主流工艺

等离子体刻蚀技术（干法刻蚀）可以刻蚀出“纳米”级别的孔槽，因此，在集成电路先进制程中已成为目前主流技术，占比95%以上。

- 干法刻蚀是应用等离子体技术的刻蚀方法，通过反应腔生成电浆与硅片发生物理或化学反应（或两种反应结合），从而去掉暴露的表面材料。干法刻蚀的优点在于图形保真度好、图形分辨率高，且可用于湿法刻蚀很难刻蚀的薄膜如氮化硅等材料，但设备复杂昂贵，是集成电路领域主要刻蚀技术。
- 湿法刻蚀是以液体化学试剂以化学方式（如酸、碱和溶剂等）去除硅片表面的材料。湿法刻蚀的化学反应拥有选择比高（正确的去除要刻蚀的材料而不影响其他材料），反应速度快（刻蚀效率高）等优势，但是化学反应不具有方向性（各项同性的刻蚀），难以控制物质和器件的反应面积，因此刻蚀图形保真度低、清除性差，大多只使用在刻蚀尺寸较大（3微米以上）的图形上。目前在大规模集成电路制造中，正被干法刻蚀所替代。

## 刻蚀技术主要以等离子体(干法刻蚀)为主



资料来源：《半导体制造技术》、华西证券研究所

## 等离子体刻蚀的特性适用于先进制程集成电路领域

项目	湿法刻蚀	干法刻蚀
同异向性	图形保真度差 PR Film Substrate	★ 图形保真度好 PR Film Substrate
刻蚀类型	化学反应	★ 等离子电浆
最小刻蚀尺寸	> 2 $\mu$ m	★ > Single nm
选择比	High > 100x	Low < 10x
刻蚀速率	High (Batch)	Low (Single Wafer)

资料来源：google、华西证券研究所

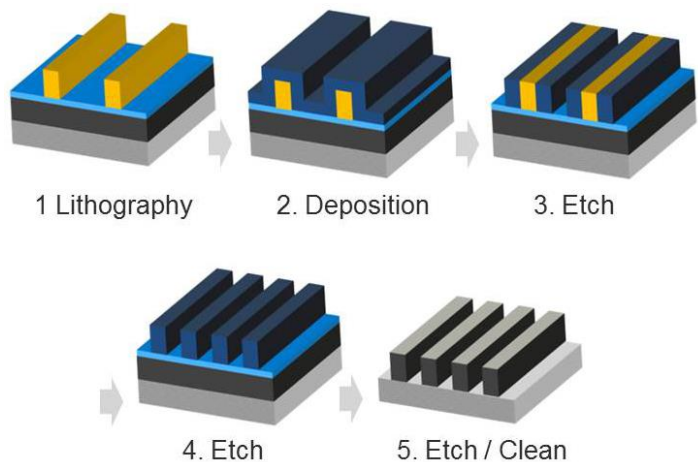


# ALE原子层刻蚀：较等离子体刻蚀精准的新一代刻蚀技术

原子层刻蚀是新一代刻蚀技术，用于刻蚀精细图形结构，有鉴于其刻蚀速率慢、成本较高，并不会取代传统等离子体刻蚀，而是作为技术互补。

- 等离子体刻蚀遇到困难，多重图形工艺使得芯片结构更小更复杂：等离子体刻蚀通过高温高压轰击进行刻蚀，虽然快速高效，但是容易损坏芯片结构，且在反复刻蚀循环后，一个电晶体闸极结构可微缩至10nm，制程中只允许在1nm范围变化，等离子体刻蚀在深宽比/选择比/均匀性上出现难关。
- 原子层刻蚀（ALE）具备超高选择比和均匀性，可以更精准控制刻蚀区域。ALE技术将刻蚀工艺分为：一、改变表面性质(将氯气分子吸附材料表面形成氯化层)；二、去除已变化的表面物质(引入氩离子去除表面的氯化层)两个步骤，此刻蚀技术具备自限制性，表面饱和及反应停止。因此，刻蚀工艺的控制性高、均匀度好且为各项同性。目前，主要应用于传统刻蚀无法处理的细微的孔洞和结构，随着结构精细化，未来应用场景可望增加。

多重模板工艺步骤数量增加：传统刻蚀技术出现难关



深宽比不一

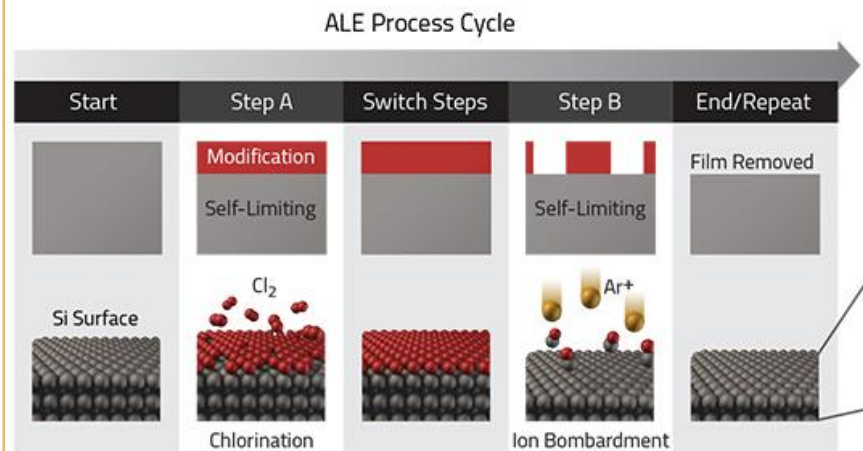
低选择比

均匀性差



资料来源：TEI, LAM, 华西证券研究所

ALE原子层刻蚀：在多重模板工艺循环下仍然维持精准刻蚀



ALE有选择地去除原子尺度上的目标材料，而不会损坏结构的其他部分，可以蚀刻出具有或5个原子宽度间隙的沟槽（0.1nm）

Transmission electron microscope (TEM) image of a silicon surface after ALE



选择比/均匀性效果优异，且深宽比等量刻蚀



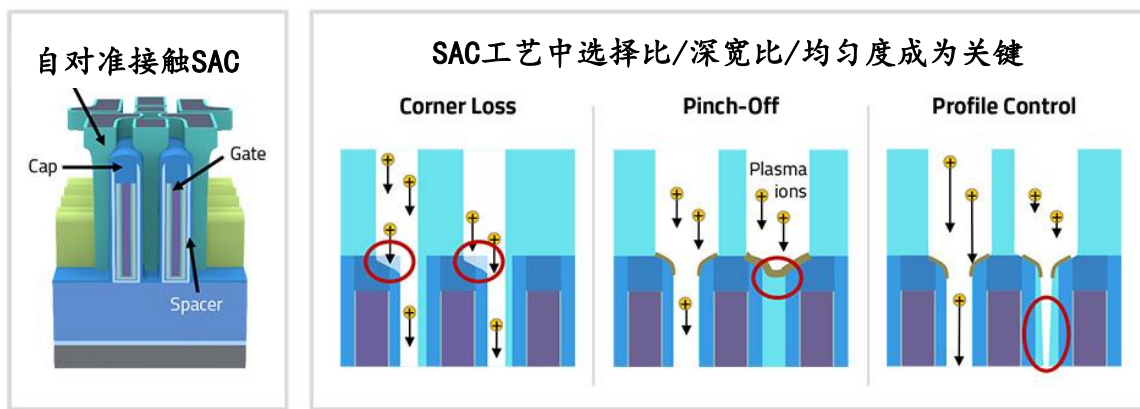
资料来源：LAM、华西证券研究所

# ALE原子层刻蚀：在先进工艺精细结构的应用需求日益增长

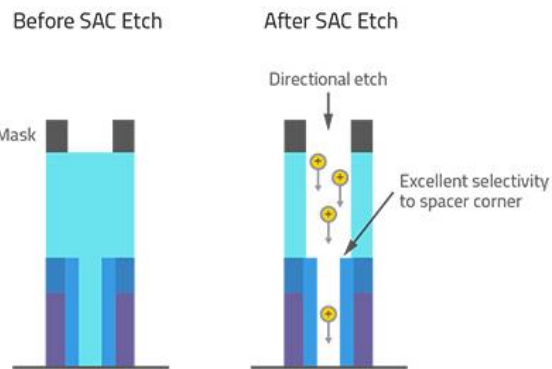
原子层刻蚀目前可应用在电晶体SAC结构、EUV光刻、GAAFet工艺，随着芯片更精细和出现三维结构（FinFet和3D NAND），ALE的应用需求正日益增长。

- 原子层刻蚀在先进制程工艺中用于要求精细的结构，2020年市场规模达4.5亿美元。（1）电晶体SAC工艺应用：SAC工艺在晶体管栅极上方添加保护性介电层，防止触点对栅极短路。ALE可用于精准塑造出接触孔轮廓，而不损伤间隔层；（2）EUV光刻工艺应用：导入EUV光刻后EUV掩模版会引起线边源粗糙，目前可用ALE的高均匀度将边源粗糙变平滑。（3）GAAFet工艺应用：需要制作系硅锗和硅交替层组成的超晶格机构。在工艺过程中，硅锗层必须被去除而不接触硅层。此工艺目前只能通过ALE完成。综上所述，根据晨星公司数据，至2020年，ALE在内的选择性刻蚀市场达4.5亿美元。

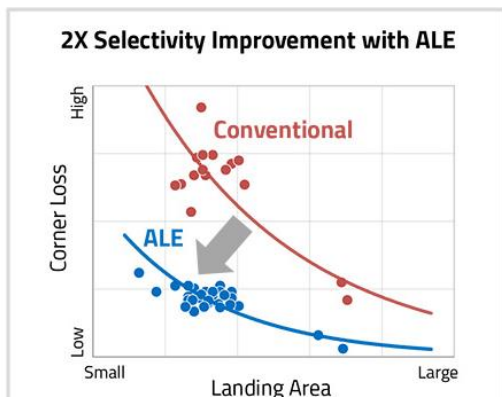
## ALE在电晶体SAC工艺中表现较传统刻蚀优异



### ALE精准刻蚀接触孔而不伤害隔层

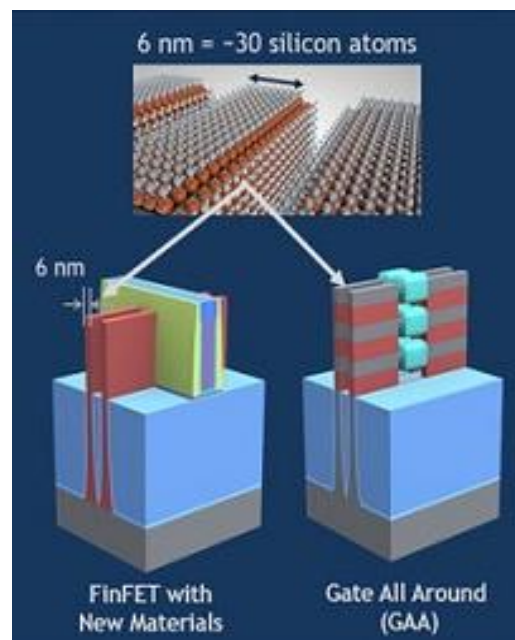


### ALE刻蚀选择比是传统刻蚀的两倍



资料来源：LAM、华西证券研究所

## ALE在鳍式电晶体中刻蚀的沟槽“显著优于”传统刻蚀



资料来源：LAM、华西证券研究所

# 国际VS国内:LAM技术全球领先, 国产中微和北方技术紧追

LAM刻蚀技术领先占据全球第一, TEL和AMAT分居第二。国产方面: 中微公司、北方华创分别在介质和导体刻蚀接近国际水平, 技术节点达5nm和14nm。

- 国际刻蚀设备商: LAM的刻蚀设备技术水平全球领先, 市场份额稳定在50%; AMAT和TEL凭借在CVD和PVD的产品组合优势紧追在后。
- 国产刻蚀设备商: 中微公司的介质刻蚀设备已经打入台积电7nm/5nm产线, 是全球唯一进入台积电产线的国产刻蚀设备商。北方华创的14nm导体刻蚀设备已经通过ICRD验证, 进入中芯国际14nm产线验证中。整体而言, 刻蚀设备是目前国内和国际的技术差距最小的高端前道设备。

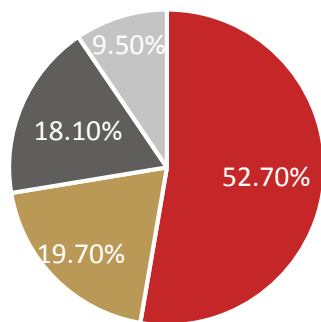
## 刻蚀设备: 国际和国内主要厂商



国际厂商

国内厂商

LAM/TEL/AMAT高度垄断, 前三大市场份额合计占比90.5%



■ LAM ■ TEL ■ AMAT ■ 其他

资料来源: SEMI、华西证券研究所

## 中微公司、北方华创的刻蚀设备技术节点已接近国际水平

项目	应用领域	关键尺寸	拉姆研究	东京电子	中微公司	北方华创
导体刻蚀	槽刻蚀		√	√	√	√
	栅极		√	√	√	√
	硅通孔		√	√	√	√
	平面		√	√	-	-
	窄线条		√	√	-	√
	金属掩膜		√	√	-	√
		28nm-14nm	已量产	已量产	已量产	已量产
		14nm-7nm	已量产	已量产	客户验证中	客户验证中
		7nm-5nm	已量产	已量产	研发中	研发中
介质刻蚀	通孔		√	√	√	-
	接触孔		√	√	√	-
	侧墙		√	√	√	-
			28nm-14nm	已量产	已量产	已量产
		7nm	已量产	已量产	客户验证中	-
		5nm	客户验证中	客户验证中	客端验证中	-
		3nm	研发中	研发中	研发中	-
原子刻蚀	精密结构	14nm以下	已量产	已量产		

备注: 各家厂商技术不同, 实际应用领域有所差异, 仅供参考

资料来源: 各公官网整理搜集、华西证券研究所



# 国产刻蚀设备验证通过比例高, 长江存储大量采购

国产刻蚀设备通过验证的工艺占比为93.1%，技术突破使得国产化率大幅增加。截至2020年1月，长江存储64层3D NAND产线采购刻蚀设备共200余台，其中，中微公司中标介质刻蚀设备38台，北方华创中标硅刻蚀设备9台。长江存储采购的国产刻蚀设备占比近23%，远超前于以往平均低于10%的水平。

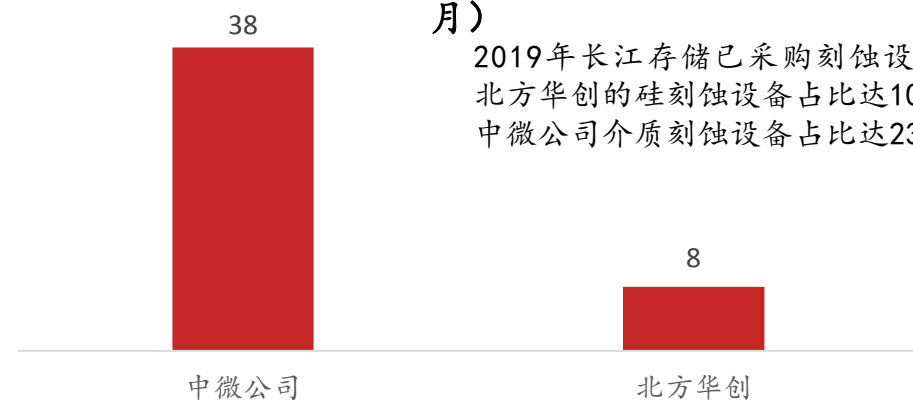
## 中微、北方已通过和验证中的刻蚀工艺占比达93.1%

应用名称	数量	是否国产	比重	公司
1 Poly Gate (多晶硅栅极工艺)	1	验证	8.60%	北方/中微
2 STI (浅槽隔离工艺)	1	量产	9.90%	北方/中微验证
3 Spacer (侧壁工艺)	2	验证	9.90%	北方
4 Metal Gate (金属闸极刻蚀)	2	无	-	-
5 Hard Mark (金属硬掩膜层)	X-1	验证	12.80%	北方
6 Al-Pad (铝金属层)	1	量产	6.60%	北方
7 Contact (孔刻蚀)	1	无	6.90%	-
8 Dielectric (介电质工艺、氧化物和氮化物刻蚀)	X2/X4	量产	45.30%	中微

长江存储64层3D NAND技术节点约为20nm，国产刻蚀设备商技术相对成熟。在技术验证通过下，实现大规模进口替代

备注：图中的刻蚀应用比重是以28nm芯片制程节点的占比进行测算得出，有鉴于各个应用领域和技术节点的芯片结构和工艺均有区别，因此仅供参考  
 资料来源：半导体工艺技术、华西证券研究所

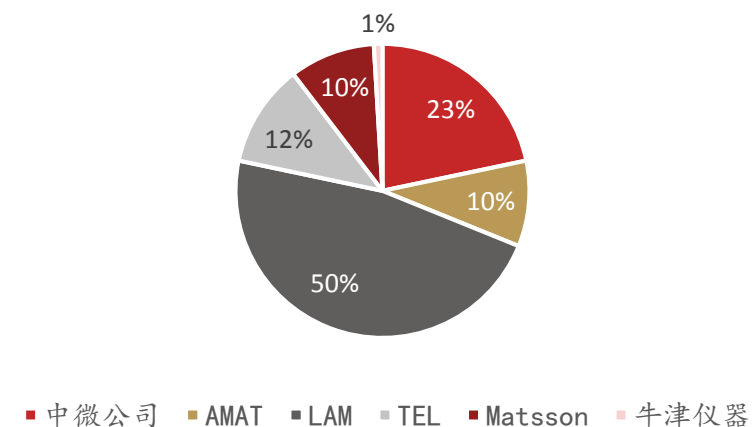
## 长江存储的国产刻蚀设备中标数 (2020年1月)



2019年长江存储已采购刻蚀设备：北方华创的硅刻蚀设备占比达10%  
 中微公司介质刻蚀设备占比达23%

资料来源：必联网、华西证券研究所

## 中微在长江存储中标的介质刻蚀设备占比第二名



资料来源：必联网、华西证券研究所

# 长江存储的刻蚀设备国产化率提升，中微公司增量最显著



2017Q3-2020Q1长江存储3D NAND扩产的刻蚀设备国产化情况

采购目标：  
实现2020年产  
能6万片/月

采购目标：  
实现2019年底  
产能2万片/月

采购目标：  
实现2019Q1  
产能5000片/月

当期采购的刻蚀设备国产化率	时间	设备	数量(台)	公司
33%	2019/1/10	硅通孔刻蚀设备	2	中微公司
	2019/1/10	硅槽刻蚀设备	2	北方华创
	2019/1/10	Pad Dry Etch	2	Mattson
	2019/1/10	非晶碳和氧化硅刻蚀设备	7	中微公司
	2019/7/26	多晶硅等离子刻蚀设备	1	北方华创
	合计			11
22%	2019/4/4	介质等离子孔润刻蚀设备	2	中微公司
	2019/4/4	介质等离子掩膜刻蚀设备	2	中微公司
	2019/4/4	介质等离子氧化层刻蚀设备	2	中微公司
	2019/3/29	硅槽刻蚀设备	3	北方华创
	2019/3/19	氧化硅刻蚀	1	中微公司
	2019/3/19	超深接触孔刻蚀	1	中微公司
	2019/3/19	通孔(via)刻蚀设备	1	中微公司
	2019/3/11	接触孔刻蚀设备	1	中微公司
	2018/11/12	通孔(via)刻蚀设备	5	中微公司
	2018/9/20	介质等离子刻蚀设备	1	中微公司
	2018/9/14	穿通阵列区接触孔刻蚀	1	中微公司
	2018/9/14	氧化硅刻蚀	1	中微公司
	2018/9/14	超深接触孔刻蚀	1	中微公司
合计			22	累计招标100
9.6%	2018/4/14	介质等离子刻蚀设备	2	中微公司
	2017/11/9	接触孔刻蚀设备	2	中微公司
	2017/11/9	顶层通孔刻蚀设备	2	中微公司
	2017/9/6	等离子刻蚀机	1	Mattson
	2017/8/9	等离子刻蚀机	1	中微公司
	合计			8

资料来源：必联网、华西证券研究所

# 国际：LAM全球刻蚀龙头，覆盖介质/导体/原子层技术平台

LAM（拉姆研究）的刻蚀设备技术全球领先（覆盖介质/导体/原子层刻蚀），同时也在薄膜沉积设备和清洗设备占据第三市场份额。

- 2018年公司营业收入110.77亿美元，净利润29.85亿美元，为全球第三大半导体设备商
- 发展机遇一、聚焦性投入研发：LAM成立于1980年，晚了当时龙头AMAT成立二十年，但凭借专注投入研发刻蚀技术，成为刻蚀技术领航者。
- 发展机遇二、成功的横向并购：LAM在横向并购中获取了优秀的规模效应和产品协同效应，尤其是2012年并购诺发系统（Novellus Systems），使其补充了表面处理的技术平台，为如今的刻蚀、薄膜沉积、清洗三大产品线奠定基础。
- 发展机遇三、刻蚀、CVD沉积工艺数量大幅增加：LAM的核心产品刻蚀和CVD，在多重图形工艺下数量大幅增加，大量的市场需求使其快速增长。

## LAM和主要产品线包括：刻蚀/薄膜沉积/清洗设备

Deposition	Etch	Clean
		
#1 in Copper ECD	#1 in Conductor	#1 in Bevel Clean
#1 in Tungsten CVD	#2 in Dielectric	#1 in BEOL SW Clean
#2 in PECVD & HDP		
#2 in ALD*		

资料来源：LAM、华西证券研究所

## LAM专注于刻蚀技术：形成全球领先的刻蚀设备平台

产品系列	刻蚀设备的应用领域	刻蚀技术
DSIE	MEMS、功率元件、被动元件、传感器	TSV硅通孔、晶圆级封装
FLEX	电晶体、逻辑芯片互联结构、存储芯片、3D NAND	介质刻蚀、ALE
KIYO	电晶体、逻辑芯片多重图形结构、存储芯片、3D NAND	导体刻蚀、ALE
SYNDION	CMOS、MEMS	TSV硅通孔
VERSYS METAL	电晶体后端金属层	金属刻蚀

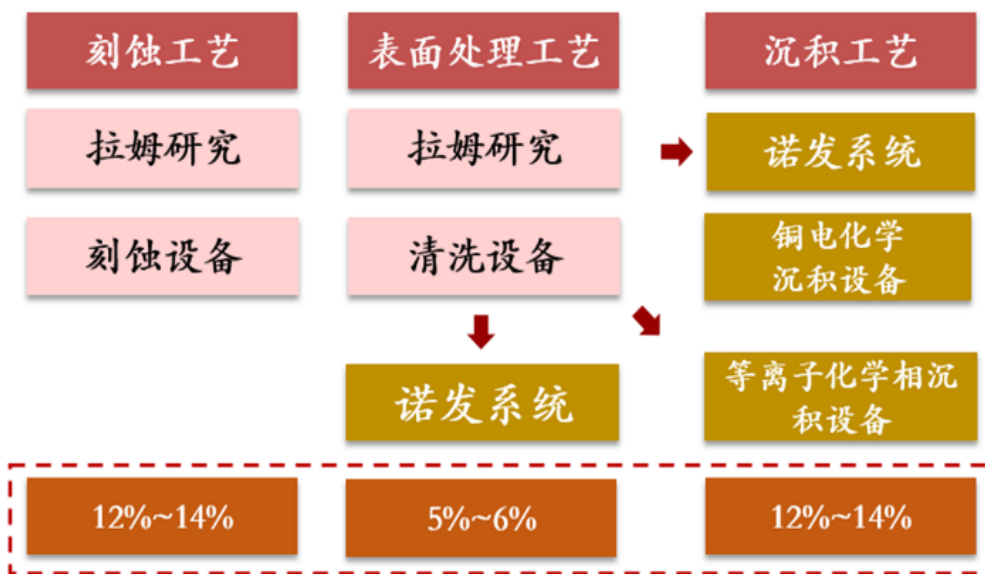
资料来源：LAM、华西证券研究所



# LAM并购诺发补齐前道设备产品线，营收快速增长

LAM在2012年并购诺发系统以后，产品的协同效应和规模效应带来的增效显著；2014年起，公司营收增速成功超越其他国际半导体设备巨头。

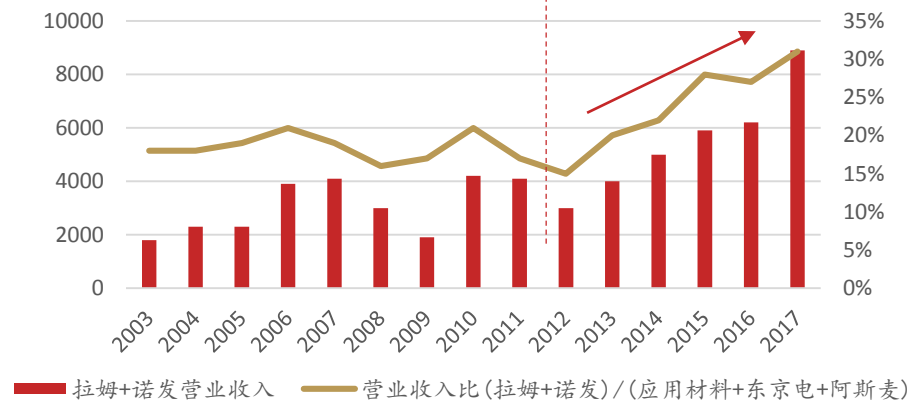
## LAM并购诺发系统后：补齐薄膜沉积和清洗设备产品



占所有晶圆制造设备比重约32%

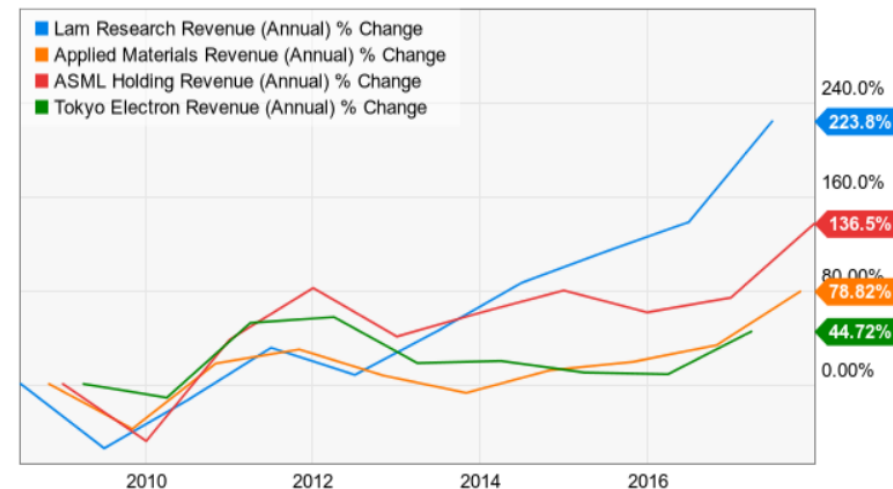
资料来源：LAM、华西证券研究所

## LAM并购诺发系统后：营业收入大幅提升（单位：百万美元）



资料来源：LAM、华西证券研究所

## LAM并购诺发系统后：营收超于其他国际半导体设备巨头



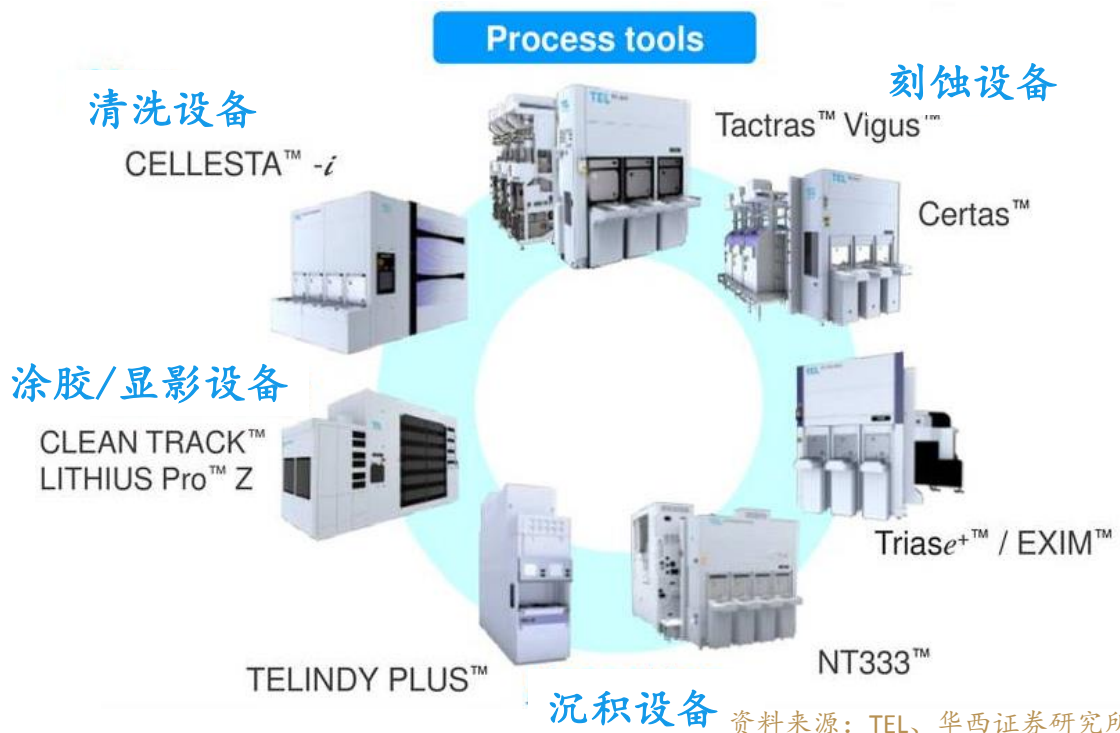
资料来源：各公司官网、华西证券研究所

# 国际：TEL全球第二刻蚀设备，日本全方位半导体设备商

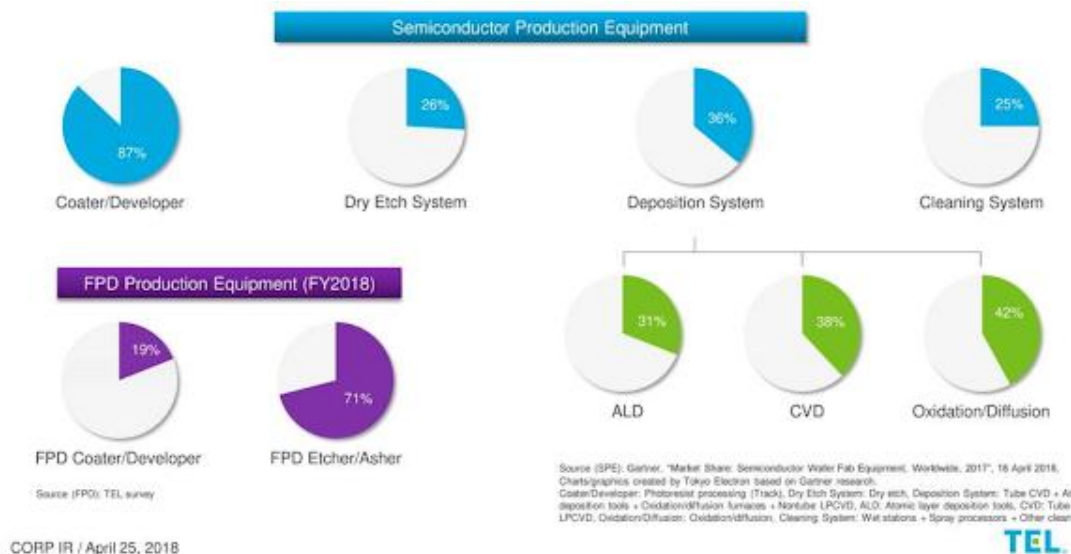
TEL（东京电子）具备四大设备体系，在刻蚀/薄膜沉积/清洗领域的全球市场份额均占据第二名位置，是日本综合性半导体设备龙头。

- 2018年营业收入105亿美元，净利润18.46亿美元，是全球第四大半导体设备商。
- 东京电子产品四大体系：涂胶显影设备（全球占比87%）、刻蚀（全球占比28%）、薄膜沉积/氧化扩散（全球占比36%）、清洗设备（全球占比25%）
- 发展机遇一、日本国产化助力研发：1970年日本政府发展半导体产业，东京电子顺势转型半导体设备商。
- 发展机遇二、引进美国技术横向发展出四大产品体系：1980年东京电子和美国成立合资公司，引进先进技术，加上适逢日本半导体产业蓬勃发展，成为日本最顶尖的半导体设备公司之一。2018年，公司围绕四大设备体系，成为全方位的半导体设备公司。

## TEL四大设备体系：刻蚀、清洗、薄膜沉积、涂胶/显影



## 2018年TEL四大设备均占有25%以上的市场份额



# 国内：中微公司刻蚀技术领先，有望成为中国版的LAM

中微公司具备导体刻蚀和介质刻蚀设备，其刻蚀设备在国产设备商出货量占据第一名位置，同时具备薄膜沉积MOCVD设备和发展CVD设备的潜力。

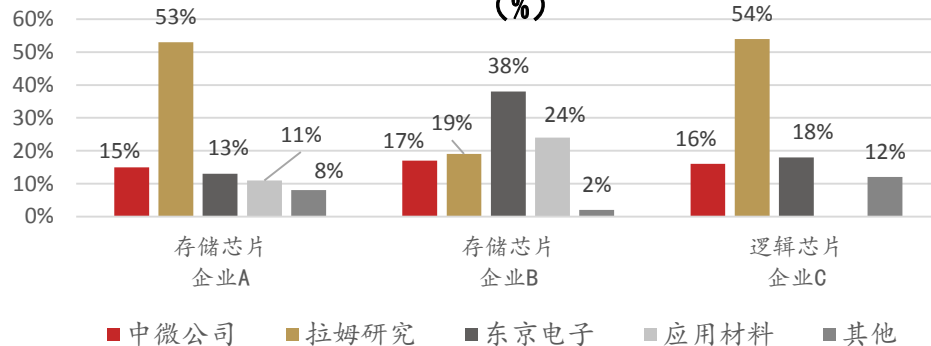
- 2018年营业收入16亿元，净利润0.9亿元，是国内领先的半导体刻蚀设备商。
- 发展机遇一、国产大基金二期重点支持：公司核心产品半导体刻蚀设备是大基金二期重点支持的前道设备之一。
- 发展机遇二、打入台积电7nm/5nm产线：公司介质刻蚀设备在是国内唯一在台积电7nm/5nm产线验证中和技术节点达到10nm以下的前道设备。
- 发展机遇三、长江存储扩产大量采购：公司的介质刻蚀设备在长江存储份额占比达到23%，大幅增厚了公司营收和利润。

## 中微公司设备体系：刻蚀设备、薄膜沉积设备

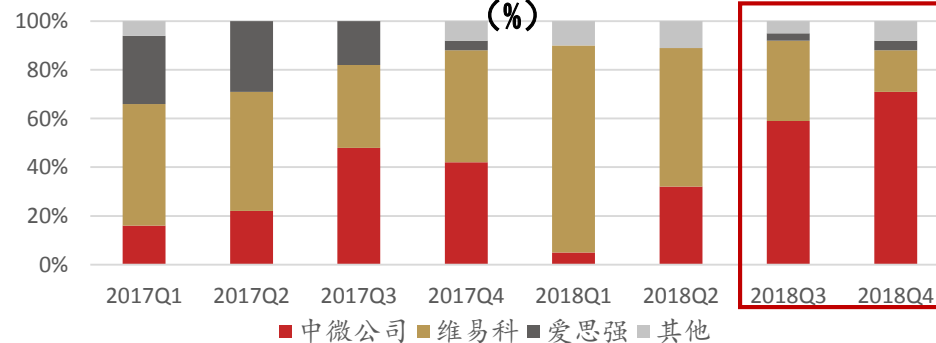


资料来源：中微公司、华西证券研究所

## 2018中微的刻蚀设备在国内客户市占率进入前三名 (%)



## 2018中微的MOCVD设备全球市占率达到第一名 (%)



资料来源：中微公司、华西证券研究所



# 中微公司：主要产品刻蚀设备、MOCVD设备技术达国际水平

## 中微公司主要产品

产品类别	图示	型号	产品特点	应用领域/技术
CCP刻蚀设备		Primo D-RIE	65-16纳米逻辑IC制造。双反应腔主机系统，可以装置三个双反应腔，每个反应腔可以加工两个晶圆	介质刻蚀：集成电路制造中氧化硅、氮化硅及低介电系数膜层等电介质材料的刻蚀。 应用领域：逻辑IC、3D NAND芯片、DRAM芯片。
		Primo AD-RIE Primo AD-RIE-e	45/7/5纳米逻辑IC制造。第二产品，同样可配置双反应腔主机，应用于40-7纳米后端制程和10纳米前段制程的开发和量产	
		Primo SSC AD-RIE Primo HD-RIE	16纳米以下DRAM、2D闪存、64-128层3D闪存。可配置6个单反应台，对应存储器接触通孔和深孔刻蚀	
		Primo iDEA	结合两个双反应台D/AD-RIE和一个远程等离子体源除胶剂(DsA)反应腔整合在同一个平台，减少占地面积和成本20%以上	
ICP刻蚀设备		Primo nanova	14纳米以下逻辑IC制造；19纳米以下存储器件和3D闪存芯片制造；可配置六个反应腔和两个可选除胶反应腔	导体刻蚀：集成电路制造中单晶硅、多晶硅等材料的刻蚀 应用领域：逻辑芯片、3D NAND芯片、DRAM芯片。
		Primo TSV	深硅刻蚀孔径从1微米-几百微米，可应用于8寸/12寸硅通孔刻蚀设备，可装置三个双反应腔，每个反应腔可以加工两个晶圆	应用领域：先进封装、CMOS图像传感器、CIS、MEMS、功率器件和等离子切割等
MOVCD设备		Prismo D-Blue	可配置四个反应腔，同时加工232片2英寸晶片或56片4英寸晶片，工艺能力还能延展到生长6英寸和8英寸外延晶片。	应用领域：LED外延片及功率器件生产、高温氮化铝和深紫外LED生长的关键设备
		Prismo A7	工艺能力生长8英寸外延晶片，产量为Prismo D-Blue的两倍	
		Prismo HiT3	专为深紫外LED量产而设计	

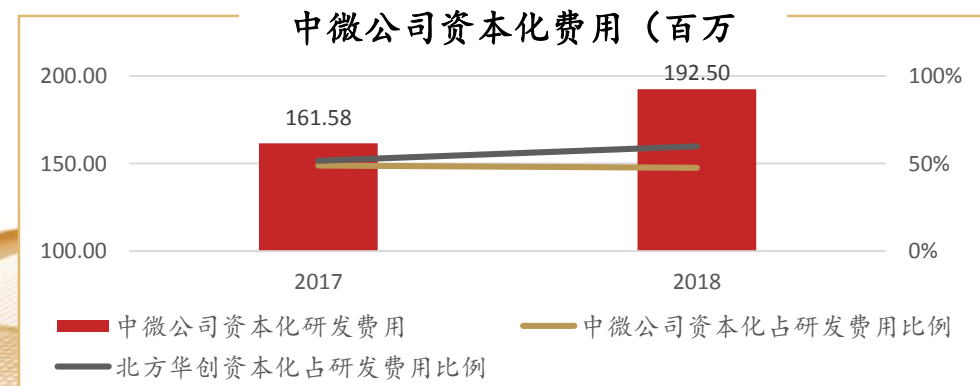
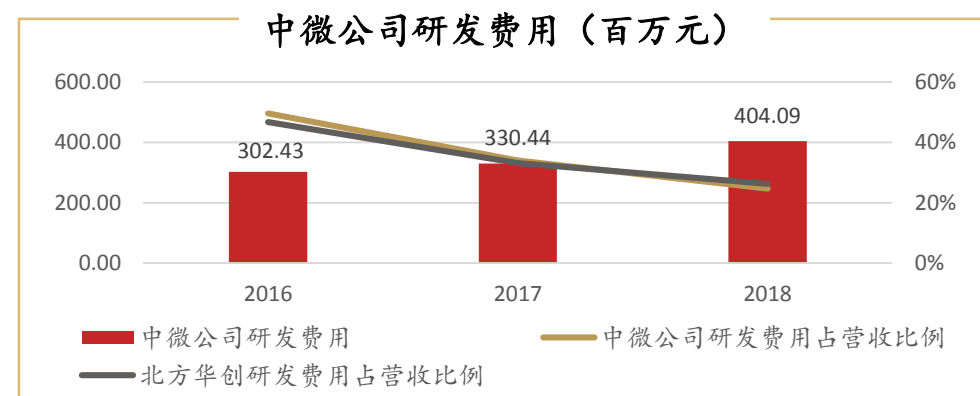
# 中微公司：拥有近千项技术专利，构筑行业壁垒

专利储备助力国内专利战无不胜。研发投入持续加大，技术实力正逐渐达到国际水平。

- 公司核心产品CCP和ICP的刻蚀设备、MOCVD设备均有自主专利保护。截至2019年3月，公司注册专利达951项，其中应用于核心产品专利超100项。丰富的专利布局让公司在2007、2009、2017年和拉姆研究、应用材料的商业秘密侵权诉讼中取得胜诉。
- 公司研发费用和资本化金额合理。2019Q3公司研发费用为1.35亿元，同比增长101%，公司持续加大研发投入保持技术领先优势。2016-2018年，公司研发费用分别为3.02亿元/3.30亿元/4.04亿元，在营收占比分别为49%/34%/24%，公司的研发投入持续转化为业绩表现。在研发费用资本化方面，中微公司资本化标准严格，项目的技术和设备需达到一定成熟度，在各方面皆具备较大商业化可行性并可实现经济利益，对比同业半导体设备可比公司北方华创，中微公司的研发费用资本化比例合理。

## 中微公司核心产品皆为自主研发，且获得多项专利

项目	CCP刻蚀设备	ICP刻蚀设备	MOCVD薄膜沉积设备
专利保护	已获专利35项 申请中专利11项	已获专利14项 申请中专利4项	已获专利39项 申请中专利5项
技术名称	双反应台高产出率技术	低电容耦合线圈技术	双区可调控工艺气体喷淋头
	接触式电极喷淋板技术	抗损耗氧化钨镀膜技术	高温均匀性加热器和带锁托盘驱动技术
	晶圆边缘区域气帘技术	反应腔对称抽气技术	高精度可编程托盘传输技术
	脉冲阻抗匹配技术	-	智能化温控技术
技术来源	自主研发	自主研发	自主研发

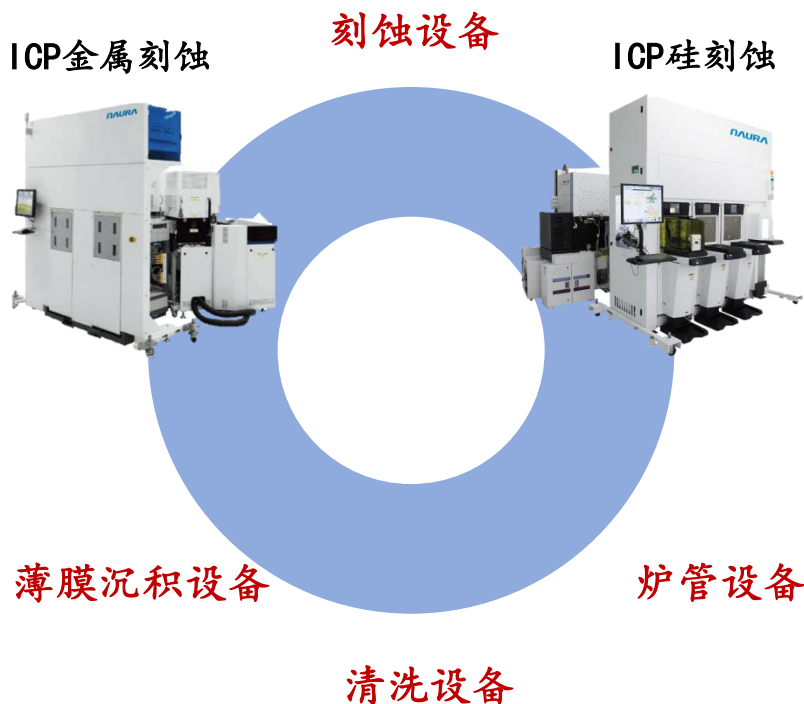


# 国内：北方华创ICP刻蚀设备领先者，14nm通过ICRD验证

北方华创的硅刻蚀、金属刻蚀设备在国内导体刻蚀领域技术领先，其ICP刻蚀设备已通过ICRD的14nm验证，正在中芯国际14nm FinFet产线验证中。

- 北方华创具备四大前道设备，是国内综合型前道设备的领军者，刻蚀设备是公司的四大核心设备之一，可应用于集成电路、封装、LED等领域。
- ICP刻蚀设备在14nm先进制程取得重大突破。北方华创刻蚀设备的应用尺寸包括8英寸和12英寸，在技术节点方面，65-28nm制程已经实现量产。根据ICRD发布信息，ICRD采用北方华创NMC612D ICP刻蚀设备完成了14nm鳍式电晶体的多重图形工艺（例如：SADP等）的自主研发，各项工艺指标均已达到量产要求，在集成电路14nm的核心工艺技术上取得重大进展。

北方华创ICP刻蚀设备是其四大核心前道设备之一



资料来源：北方华创、华西证券研究所

北方华创刻蚀设备应用于多项领域



资料来源：北方华创、华西证券研究所



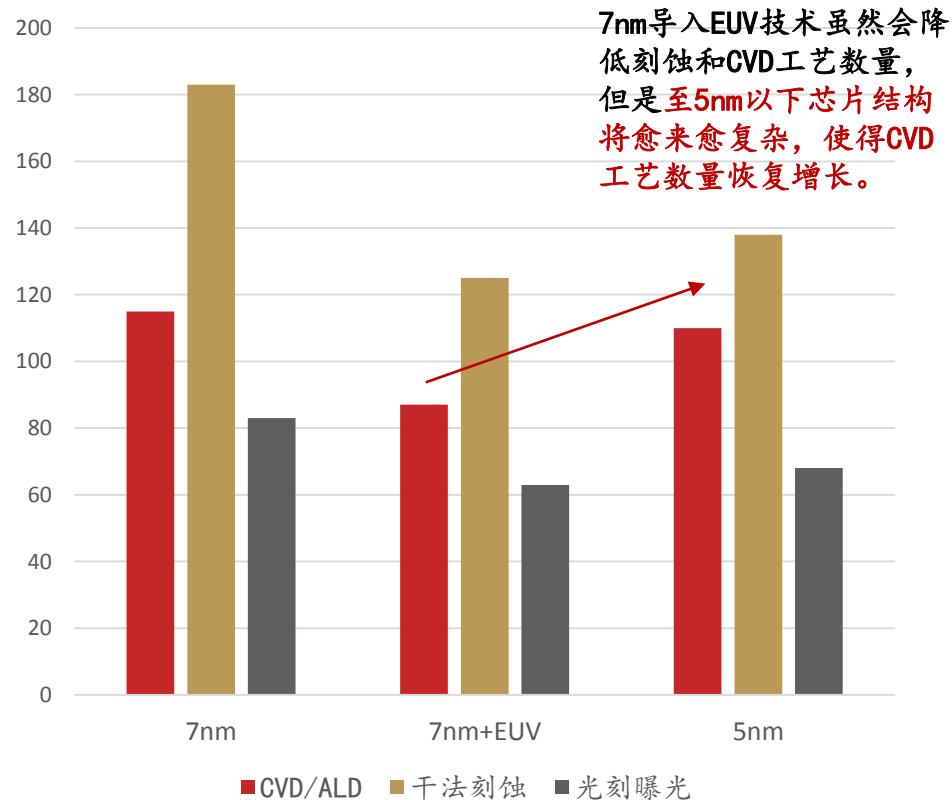
- 半导体前道设备的价值为何？
- 国产前道设备商迎来机遇——国内下游制造密集扩产、国产设备技术成熟
- 九类前道设备——国产商最具潜力的领域：刻蚀、CVD、PVD、清洗、量测
  - 一、光刻机：技术最难的曝光工艺，完成芯片设计图形转移
  - 二、刻蚀设备：多重图形刻蚀工艺，雕塑芯片往10nm以下微缩
  - 三、CVD设备：多重图形沉积工艺，堆叠芯片多层结构
  - 四、PVD设备：金属化沉积工艺，实现芯片导线互连
  - 五、离子注入设备：离子掺杂工艺，激活芯片生命力
  - 六、CMP研磨设备：化学机械抛光工艺，芯片结构平整化
  - 七、炉式设备：热处理工艺，芯片的氧化/扩散/退火
  - 八、清洗设备：清除各种污染物，提升芯片良率
  - 九、量测设备：优化各前道制程工艺，提升芯片良率
- 重点推荐：国产前道设备标的

# CVD设备: 多重图形工艺+金属层堆叠, 推动CVD工艺持续增加

CVD薄膜沉积是先进制程芯片关键工艺：前端制程多重图形工艺复杂化—>后端制程的金属层增加（介电质材料、金属导线）—>CVD工艺量大幅增加

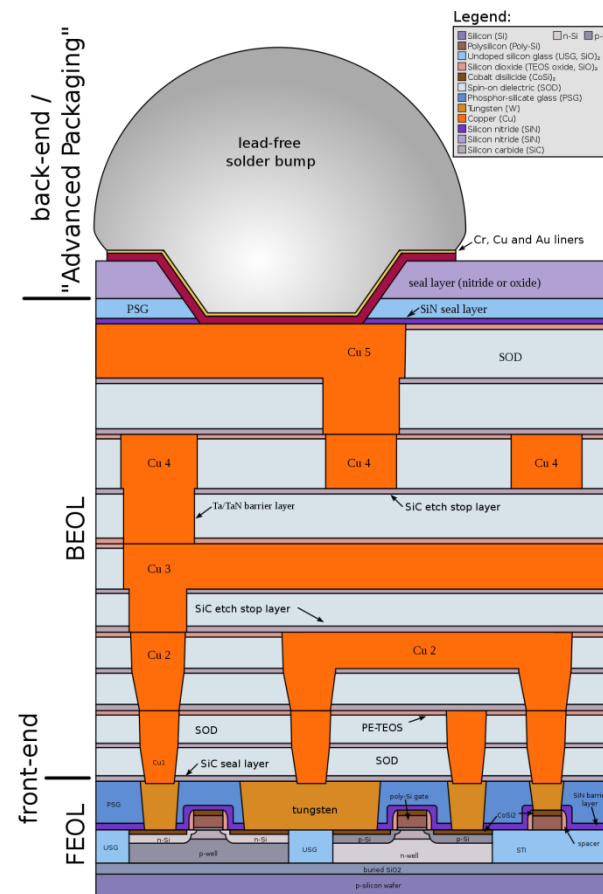
- 技术节点愈先进的芯片金属层数愈多，大幅提升CVD工艺的介电质薄膜沉积的用量。金属层的介电质材料需通过CVD逐层沉积，例如0.18微米的芯片工艺金属层数为4至8层，65nm工艺为11层，先进制程20nm以下的芯片金属层数可达20层以上。通过CVD工艺增加金属层数可以使得芯片单位面积内的连线密度增加，从而减少芯片的总体面积；有利于设计出充裕供电的电源网络；解决布线拥塞的问题。

CVD工艺步骤数量持续增加：先进制程芯片结构复杂化



资料来源：EUV技术详解、华西证券研究所

结构复杂化：先进制程芯片的CVD用量增加



随着摩尔定律发展：先进制程芯片中的金属层数（介电质材料和金属导线）结构将愈来愈多，进而带动CVD化学薄膜沉积的大量需求。

后段制程（BEOL）：建立芯片上的金属层数（介电质材料和金属导线）。在每层金属布线前，需要分别将每层的介电层做好，一般使用CVD（化学气相沉积）设备

前段制程（FEOL）：在芯片上沉积构建出MOS电晶体结构，多重图形工艺采用CVD沉积

资料来源：百度百科、华西证券研究所

# ALD原子层沉积:较等离子体CVD精准的新一代薄膜沉积技术

ALD原子层沉积是下一代的化学薄膜沉积技术，具备表面自限制、自饱和吸附的特点，制备出来的薄膜具有优异的精细度，在先进制程中被广泛应用。

- **ALD原子层沉积工艺流程：**（1）首先将第一种前驱体注入反应腔中，使得基材（一般是晶圆）表面皆吸附上前驱体，此反应具有自限制性的特性，一旦晶圆全区域被覆盖，吸附会随即停止，过剩的前驱体不会再进行反应，（2）清除多余未反应的前驱体及副产物。（3）将第二种前驱体注入并吸附基材表面，和第一层的表面附着物发生化学反应，进而生成所需的薄膜材料，此反应也是自限制的，一旦前驱体耗尽，反应将立即停止，因此控制性较高。（4）清除多余未反应的前驱体和副产物。通过反复进行以上工艺，将可以生成出制程所需的薄膜厚度。
- **ALD原子层主要分为两种，传统加热ALD、等离子体ALD：**传统ALD技术由热能驱动前驱体完成反应。等离子体辅助式ALD技术则是目前新兴技术，可以在更低温的环境下，制作过去无法实现的特殊薄膜材料。

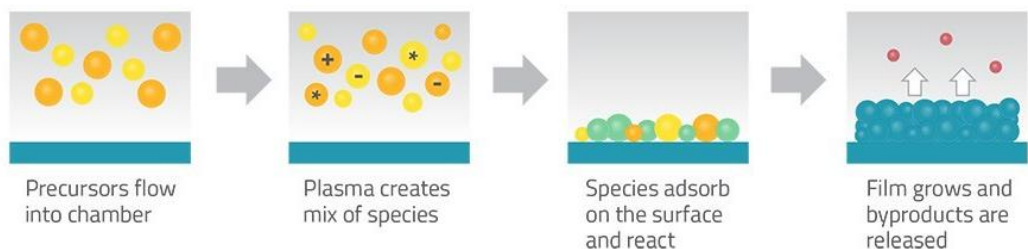
## ALD原子层沉积的薄膜更加精准

### ALD沉积过程



VS

### PECVD沉积过程



资料来源：LAM、华西证券研究所

## ALD和CVD薄膜沉积的优劣势比较

沉积类型	前驱体	均匀性	沉积速率	薄膜厚度
ALD原子层沉积	高反应活性；各种前驱体在衬底表面分别反应；在沉积温度下不能分解，前驱体可过量	可单层成膜 由表面化学饱和吸附、自限制生长机制决定；工艺表面控制性强	低 纳米/每分钟	依赖于工艺 反应循环次数
CVD化学气相沉积	反应活性低；前驱体在衬底表面同时反应；在沉积温度下分解；前驱体量需严格控制	由反应室设计、气流和温度均匀性决定；工艺参数控制	高 微米/每分钟	需精确的工艺控制

资料来源：LAM、华西证券研究所



# 国际VS国内:AMAT技术全球领先,国产沈阳拓荆技术急起直追

AMAT的CVD设备协同效应占据第一,大致和LAM、TEL三分天下;国产方面:沈阳拓荆在集成电路领域技术领先,14nm技术节点接近国际技术水平。

- 国际刻蚀设备商: AMAT的薄膜沉积设备技术水平全球领先,凭借产品组合的协同优势占据第一,但整体而言,各家大厂的CVD设备技术在伯仲之间。
- 国产刻蚀设备商: 国内CVD设备供应商有沈阳拓荆、北方华创、中微公司。其中,沈阳拓荆是国内唯一具备供应于12寸晶圆厂的先进制程集成电路领域的CVD设备供应商,技术节点已达到14nm。北方华创CVD设备主要用于8寸晶圆厂各个领域。中微公司的MOCVD设备主要用于LED芯片的制备。

## CVD设备: 国际和国内主要厂商



国际厂商

国内厂商

## 沈阳拓荆的CVD设备: 涵盖PECVD、ALD技术的集成电路应用

PECVD



ALD

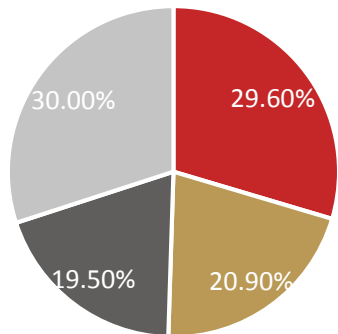


PECVD—3D NAND



资料来源: 沈阳拓荆、华西证券研究所

## AMAT/LAM/TEL三分天下,前三大市场份额合计占比70%



■ AMAT ■ LAM ■ TEL ■ 其他

资料来源: SEMI、华西证券研究所

## 2019年长江存储64层3D NAND已采购: 5台沈阳拓荆CVD设备

2019年长江存储已采购CVD设备,沈阳拓荆的CVD设备占比达2%

中标公司	分类	具体设备	数量
沈阳拓荆 (第二批)	PECVD	前端等离子体增强方式氮化硅薄膜化学沉积设备	2
		后端等离子体增强方式氮氧化硅薄膜化学沉积设备	2
		后端等离子体增强方式以硅酸四乙酯作反应物的二氧化硅薄膜化学沉积设备	1
沈阳拓荆 (第一批)	PECVD	后端等离子体增强方式氮化硅薄膜化学沉积设备	1

资料来源: 必联网、华西证券研究所

# 国内：沈阳拓荆专注薄膜技术，CVD/ALD设备领航者

沈阳拓荆是国内专门从事化学气相薄膜沉积设备研发、生产和销售的半导体设备商，主要控制人是国家大基金和上海国投，持股合计占比达59.6%。

- 发展机遇一、国家大基金二期重点投入CVD设备，公司已承接国家政府专项，是国内领先CVD设备用于集成电路先进制程，可望获得政府重点支持。
- 发展机遇二、公司具备PECVD、ALD、PECVD (3D NAND) 三个系列产品，技术节点已达14nm，可广泛应用于集成电路、TSV封装、光波导、LED等领域。
- 发展机遇三、公司获得中微公司投资股权占比15%，为公司除政府基金以外的最大股东，刻蚀和CVD为半导体三大制程的其中两项，中微公司的入股可望为沈阳拓荆带来协同效应，提升公司的发展速度和产品竞争力。

## 沈阳拓荆的CVD设备齐全

PECVD



ALD



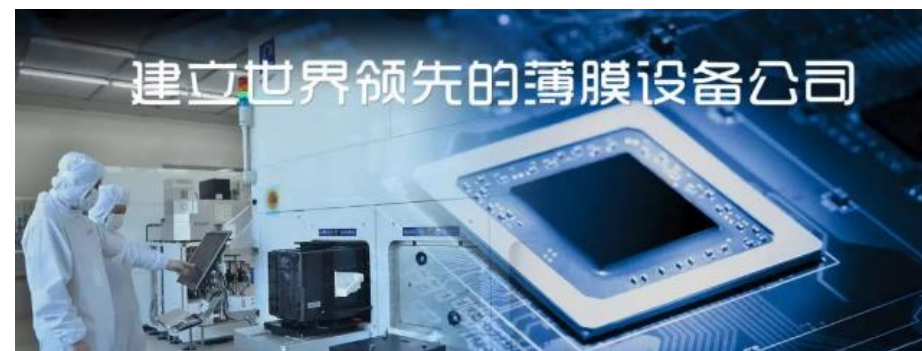
PECVD—3D NAND



型号	PT300T	FT-300T	NF-300H
设备类型	PECVD	ALD	PECVD
技术节点	40-28nm成熟 14nm验证中	14nm以下 验证中	64层成熟 128层验证中
应用领域	集成电路、先进封装	集成电路领域 FEOL前道工艺	3D NAND存储 芯片
硅片尺寸	300mm (12寸) 或200mm (8寸)		

资料来源：SMEE、华西证券研究所

## 沈阳拓荆技术实力雄厚，奠定长期发展机遇



- 沈阳拓荆拥有产品100%自主知识产权，现已申请专利318项，其中发明专利220项，国际专利25项，已授权专利105项。填补了国内CVD化学气相薄膜沉积领域多项空白，2017年公司获评为国家知识产权优势企业。
- 沈阳拓荆现有员工总数近300人，其中，本科学历以上员工占总数90%，硕士以上员工占总数的41%。公司拥有国际一流的专家团队，现有14名海外专家，其中国家“千人计划”专家3名。

资料来源：SMEE、华西证券研究所

- 半导体前道设备的价值为何？
- 国产前道设备商迎来机遇——国内下游制造密集扩产、国产设备技术成熟
- 九类前道设备——国产商最具潜力的领域：刻蚀、CVD、PVD、清洗、量测
  - 一、光刻机：技术最难的曝光工艺，完成芯片设计图形转移
  - 二、刻蚀设备：多重图形刻蚀工艺，雕塑芯片往10nm以下微缩
  - 三、CVD设备：多重图形沉积工艺，堆叠芯片多层结构
  - 四、PVD设备：金属化沉积工艺，实现芯片导线互连
  - 五、离子注入设备：离子掺杂工艺，激活芯片生命力
  - 六、CMP研磨设备：化学机械抛光工艺，芯片结构平整化
  - 七、炉式设备：热处理工艺，芯片的氧化/扩散/退火
  - 八、清洗设备：清除各种污染物，提升芯片良率
  - 九、量测设备：优化各前道制程工艺，提升芯片良率
- 重点推荐：国产前道设备标的

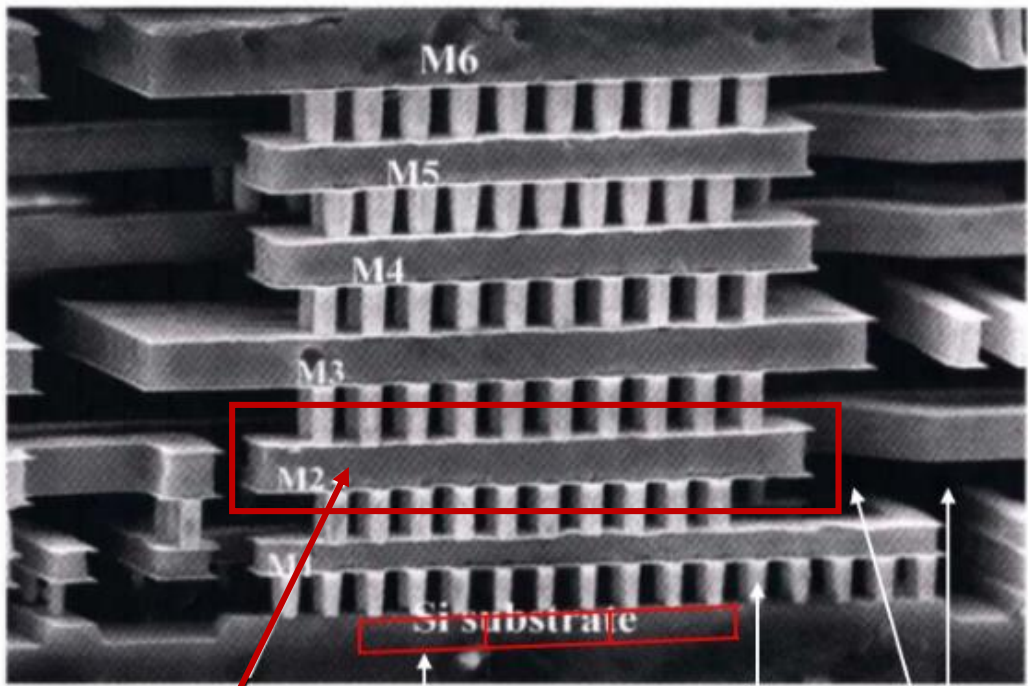


# PVD设备：互连工艺中铜是金属导线主要材料

铜是互连层之间的主流金属导线材料，在现有材料中具备较低的电阻、更快的传输速度、较高的可靠性和性价比。

- 铜互连的技术难度随金属层数增加而提升：铜金属导线是金属层之间互连的关键，随金属层数增加，技术制备随着制程微缩而变难，在铜导线的制备过程中还需沉积钽(Ta/TaM)薄膜作为阻挡层，用来防止铜污染介电质层，阻挡层的薄膜越来越小越来越窄，因此技术难度高。
- 铜取代铝，采用大马士革工艺制备金属导线：铜是近二十年来金属导线的主流工艺，铜的导电性比铝更好，且在先进制程微缩中铜导线可以随着晶体管尺寸进行缩放。铜导线制程一般采用PVD电镀工艺，又称为大马士革工艺，将铜镶嵌在刻蚀好的介电质图形中。铝金属导线的缺点：铝为在铜以前的几十年主要的互连线材料，但是铝容易产生尖楔现象，引发PN结失效造成短路，因此逐渐被铜取代。

互连工艺：密布在金属层之间实现电晶体间的互连



金属互连层  
金属导线  
(铜)

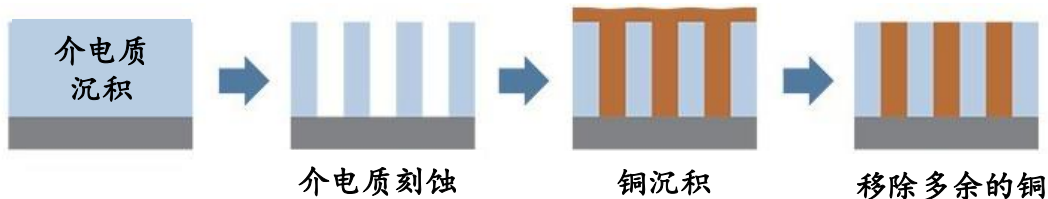
MOS电晶体

接触孔

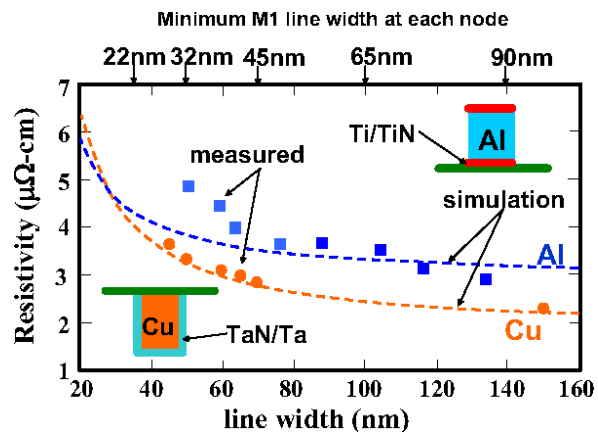
电介质  
(Low K)

资料来源：ansforce、华西证券研究所

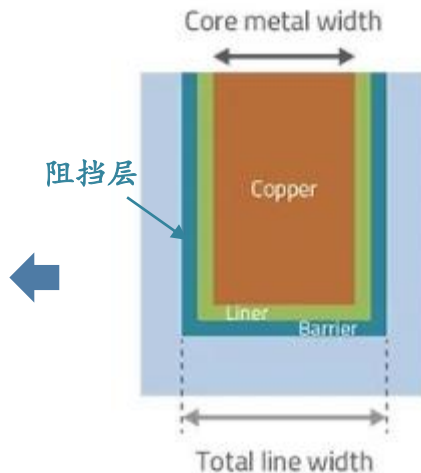
铜互连大马士革工艺：沉积介电质层后填充铜金属导线



铜的导电率优于铝



铜导线外需沉积阻挡层



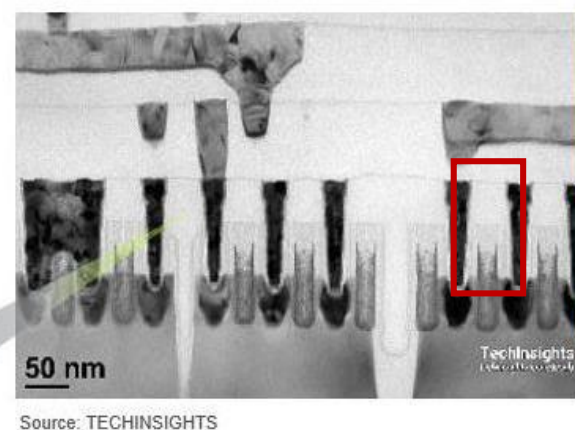
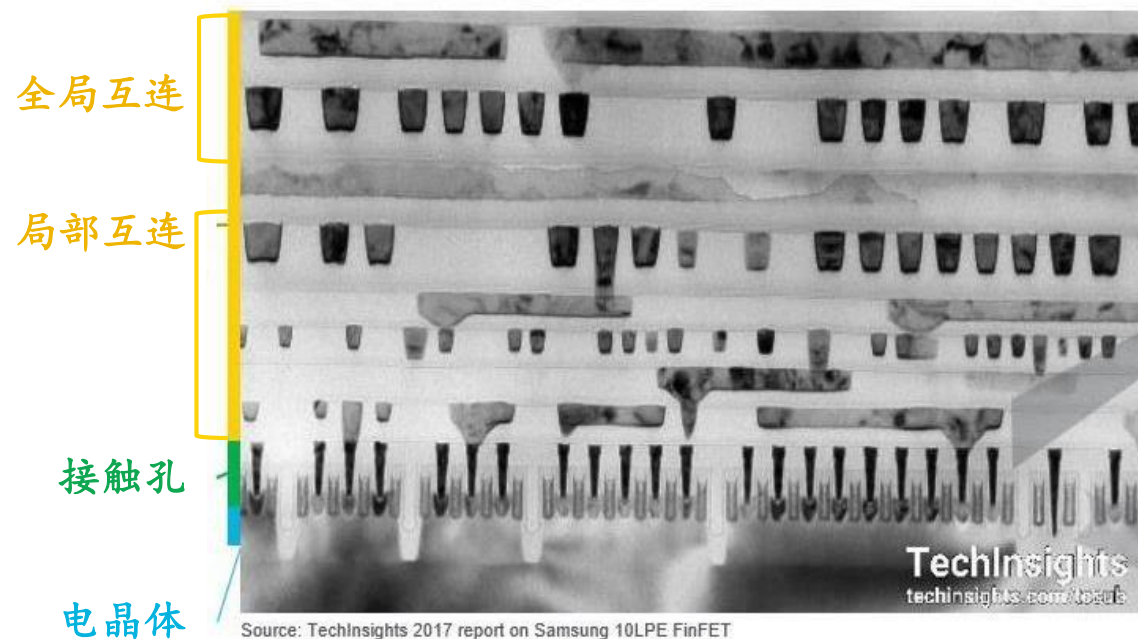
资料来源：TechInsight、华西证券研究所

# 钨：用于局部互连和连接电晶体的接触孔主要材料

钨是局部互连层和接触孔主流材料(以CVD制备)，具有较低电阻率而广泛应用，但是随制程推进，接触孔越来越小且窄，钨在12nm制程遇到物理极限。

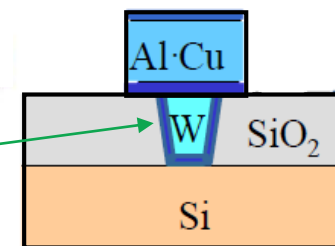
- 钨沉积薄膜的厚度已经遇到物理限制，随着晶体管微缩至12nm后，钨无法再进一步缩小。因此，10nm以下的先进制程芯片钨开始被钴部分取代。

互连层主要结构：金属导线（铜）、接触孔（钨）

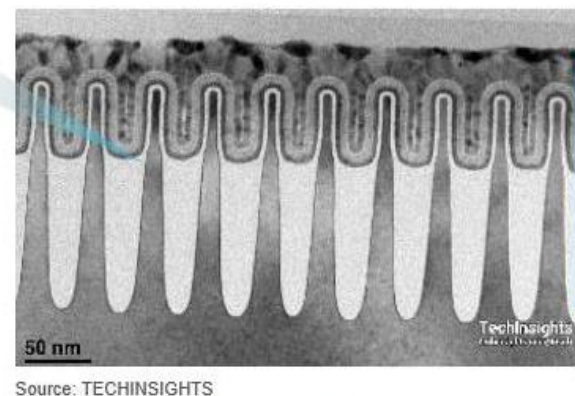


局部互连

接触孔



钨：用作局部互连和接触孔的关键材料，主要由CVD工艺制备



金属闸极

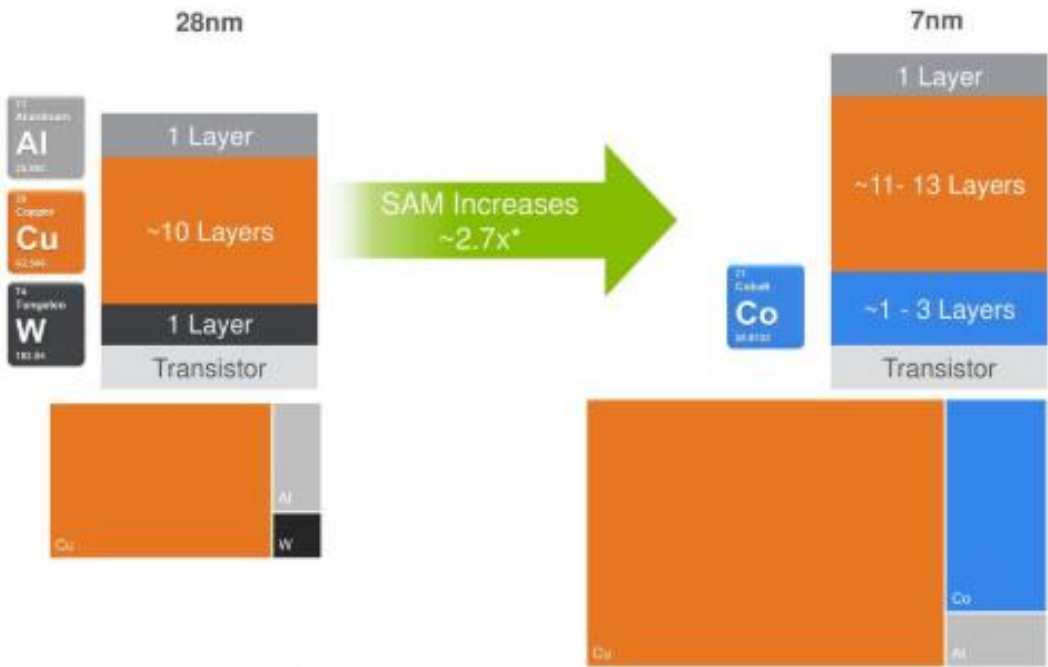
鳍  
FinFET



# 钴：较钨和铜电性更好，是10nm以下先进制程关键材料

钴金属材料可以突破现有金属材料的物理限制，释放10nm以下先进制程芯片的性能，是先进制程的关键材料。

钴金属材料：在7nm先进制程芯片中取代部分铜和钨



- **钴是7nm先进制程的关键材料**：当制程微缩至10nm技术节点，原本用作局部互连的铜金属导线和接触孔的钨金属，在间隙填充、电阻、可靠性等方面的性能将逐渐受限，因此7nm以上制程采用钴可以突破制程限制和过多使用铜和钨导致的成本上升。
- **钴在互连工艺中具备更薄的阻挡层**：可以满足芯片的小尺寸要求，具备更好的导电效率和稳定性，因此在局部互连和接触孔的最小导电层取代部分的铜和钨。

资料来源：AMATs、华西证券研究所

钴金属材料：具备综合效能优势



- 电阻较低
- 间隙填充佳
- 适合细微尺寸
- 可靠性优于铜
- 适合量产

资料来源：AMAT、华西证券研究所

钴金属材料：在先进制程中还有极大的发挥空间

	Narrow Features (<20 nm) (Contact / Local Interconnect)				Wide Features (>30 nm) (Interconnect)	
	74 Tungsten W 183.84	13 Aluminum Al 26.982	29 Copper Cu 63.546	27 Cobalt Co 58.9332	13 Aluminum Al 26.982	29 Copper Cu 63.546
间隙填充度	■	■	■	■	■	■
电阻率	■	■	■	■	■	■
可靠性	■	■	■	■	■	■

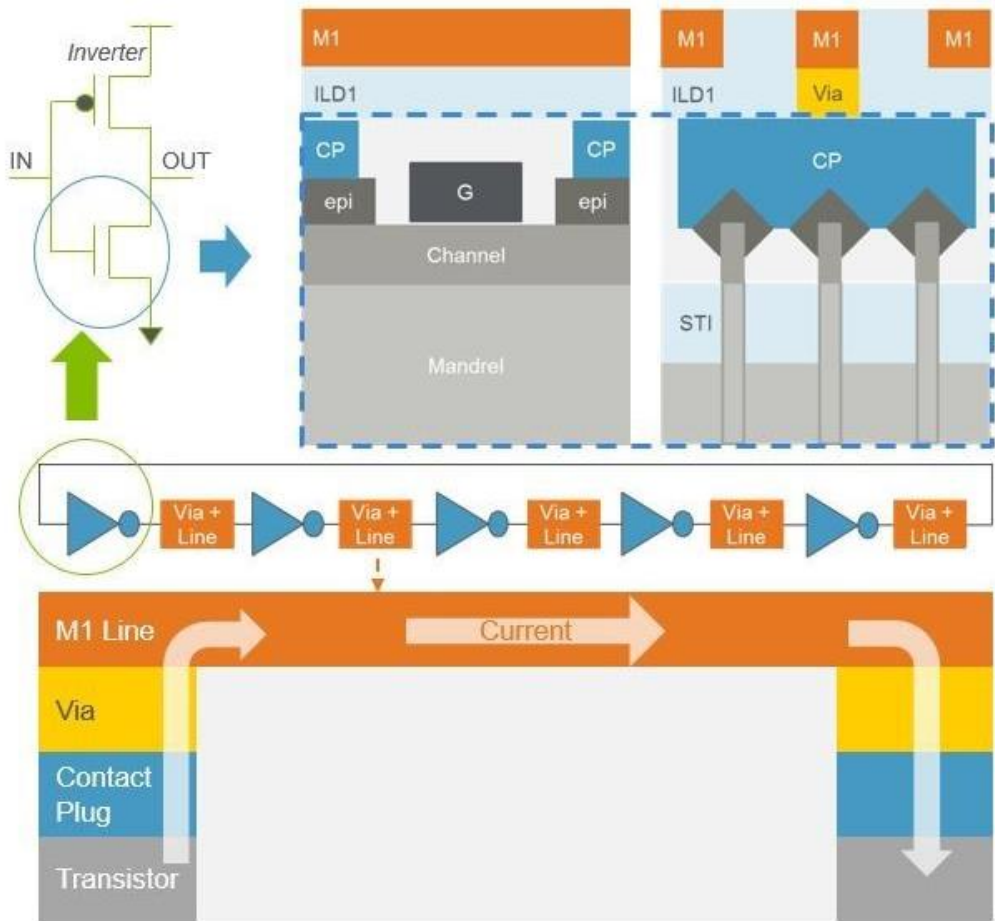
资料来源：AMAT、华西证券研究所



# 钴：先进制程导入钴材料，使芯片运行速度提升

钴材料使得先进制程芯片效能显著提升

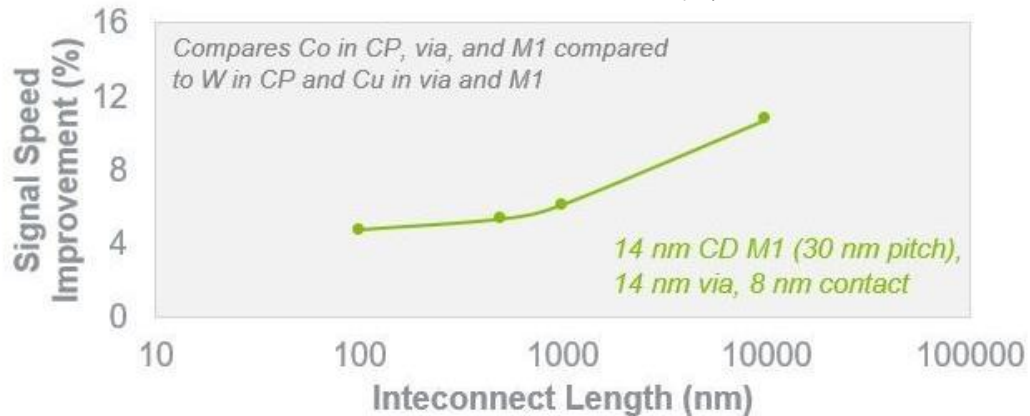
金属互连线的流通过程



降低电容电阻的延迟时间



钴可用于更多层的金属导线互连



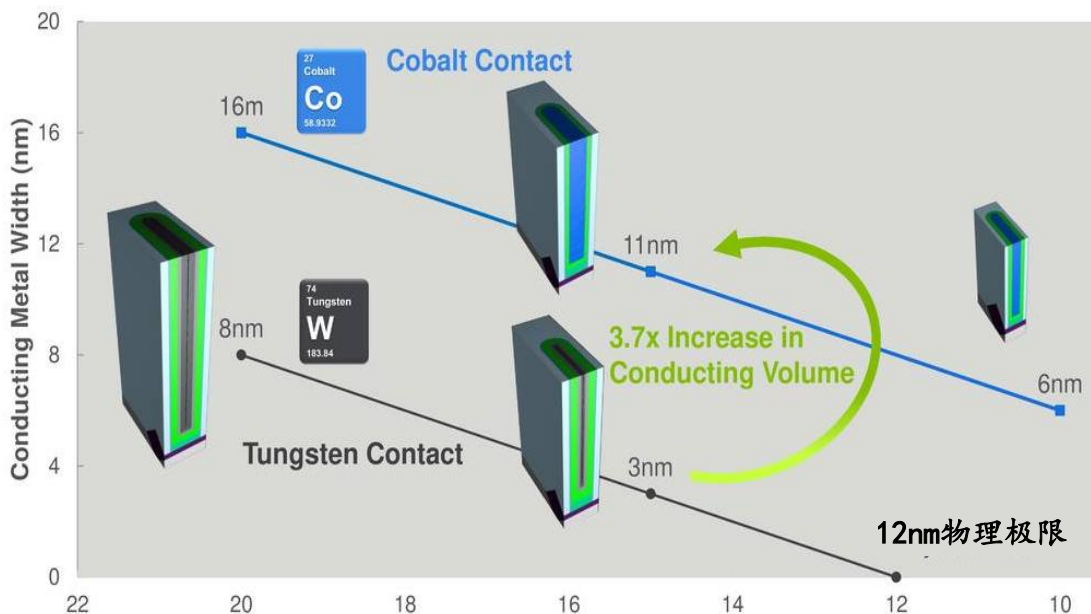
资料来源：AMAT、华西证券研究所

# 钴：已经在7nm制程取代钨和铜的部分应用

摩尔定律下芯片材料必须满足技术制程微缩，得以改善芯片性能、功耗和单位面积成本，如今钴将取代钨和铜延续摩尔定律发展。

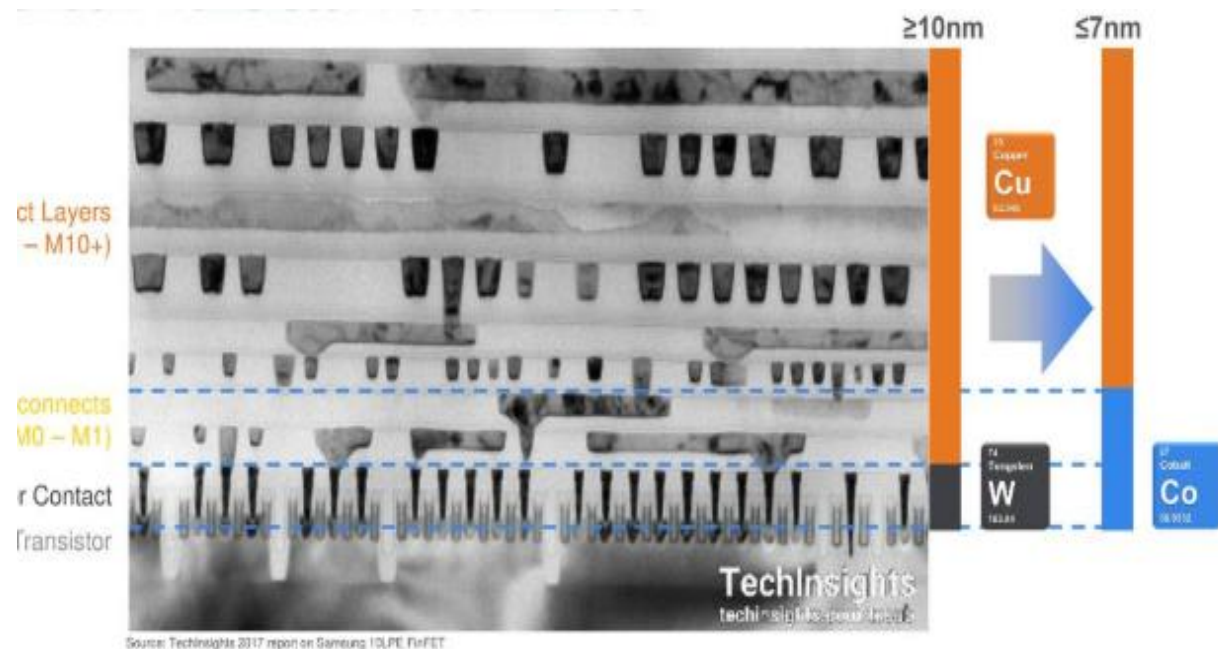
- 铜和钨在12纳米的局部互连和接触孔迎来物理极限，导致释放FinFET工艺芯片出现瓶颈，钴金属有望在10nm以下先进制程中延续摩尔定律发展。
- 钴目前只会取代部分的钨和铜，不会完全取代：根据TEM数据，7nm制程芯片中的接触孔，钴只有取代一半（下层）的接触孔，另外一半（上层）依然采用钨，由于在实际应用上制程尚未成熟，钴在接触孔还无法完全取代钨，但是应用量可望持续增长。

## 钴突破钨的物理极限成为新一代导体材料



资料来源：AMAT、华西证券研究所

## 钴在7nm先进制程取代铜、钨成为新的局部互连、接触孔材料



资料来源：AMAT、华西证券研究所

# 国际VS国内:AMAT技术全球领先,国产北方华创验证迎来突破

AMAT的PVD设备技术领先几乎垄断市场, Ulvac和Evatec分居第二; 国产方面: 北方华创为国内领航者, 14nm技术已在中芯国际产线验证中。

- 国际刻蚀设备商: AMAT的薄膜沉积设备技术水平全球领先, 具备CVD/PVD/ALD全方位薄膜沉积设备的解决方案, 凭借产品组合的协同优势占据第一。
- 国产刻蚀设备商: 北方华创是国内唯一具备供应于12寸晶圆厂的先进制程集成电路领域的PVD设备供应商, 14nm设备正在中芯国际产线验证中。我们预期, 公司有机会通过铜互连工艺, 进一步提升公司PVD设备的市场份额。

## PVD设备: 国际和国内主要厂商



国际厂商



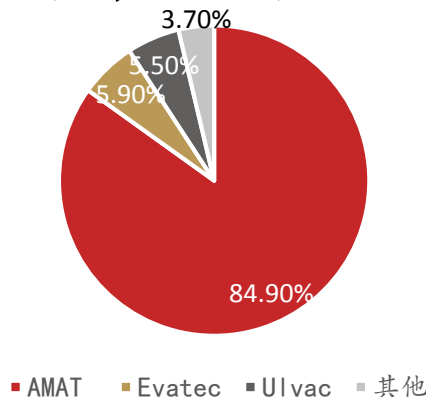
国内厂商

## 北方华创PVD验证通过情况

应用名称	金属薄膜	验证情况	应用比重
Contact	Ti+TiN+CVD W	研发	11.0%
Hard Mask	TiN	量产	8.5%
CuBS	TaN+Ta+Cu	量产	34.8%
ECP	电镀Cu	验证中	6.8%
Al-Pad	Ti+TiN+AL	量产	7.8%
总计			68.9%

资料来源: 必联网, 华西证券研究所

AMAT几乎垄断市场, 前三大市场份额合计占比96%



资料来源: SEMI, 华西证券研究所

## 2019年长江存储64层3D NAND已采购: 6台北方华创PVD设备

2019年长江存储已采购PVD设备  
北方华创的AL-PLD PVD 设备占比达100%; Cu-BS PVD设备占比达21%

中标公司	分类	具体设备	数量
北方华创	PVD	铝垫物理气相沉积设备	3
北方华创	PVD	铜互连物理气相沉积设备	3

资料来源: 必联网, 华西证券研究所

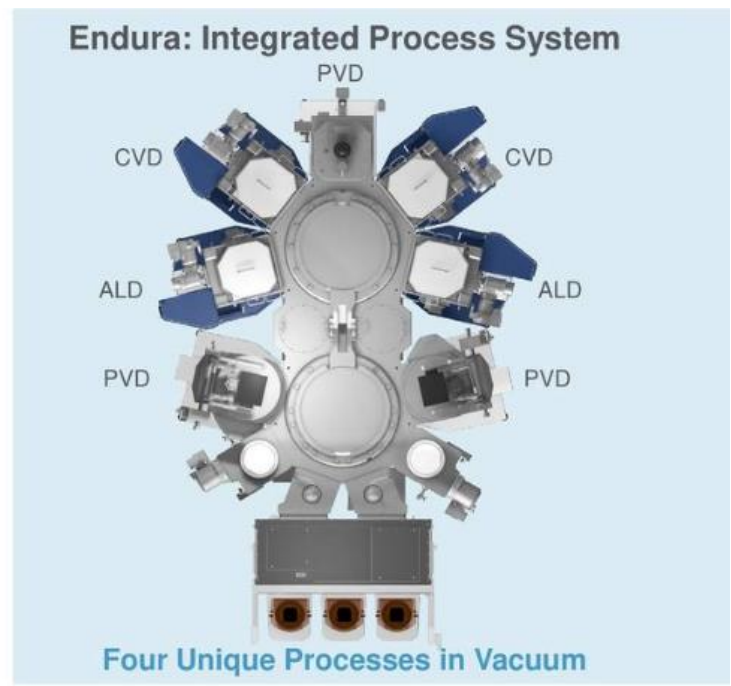


# 国际：AMAT全球薄膜沉积龙头，提供CVD/PVD/ALD解决方案

AMAT（应用材料）是全球领先的薄膜沉积设备供应商，同时也是产品线最齐全的全方位前道设备供应商，除了薄膜沉积设备以外，公司还提供刻蚀设备、氧化扩散设备、清洗设备、离子注入设备等前道设备。

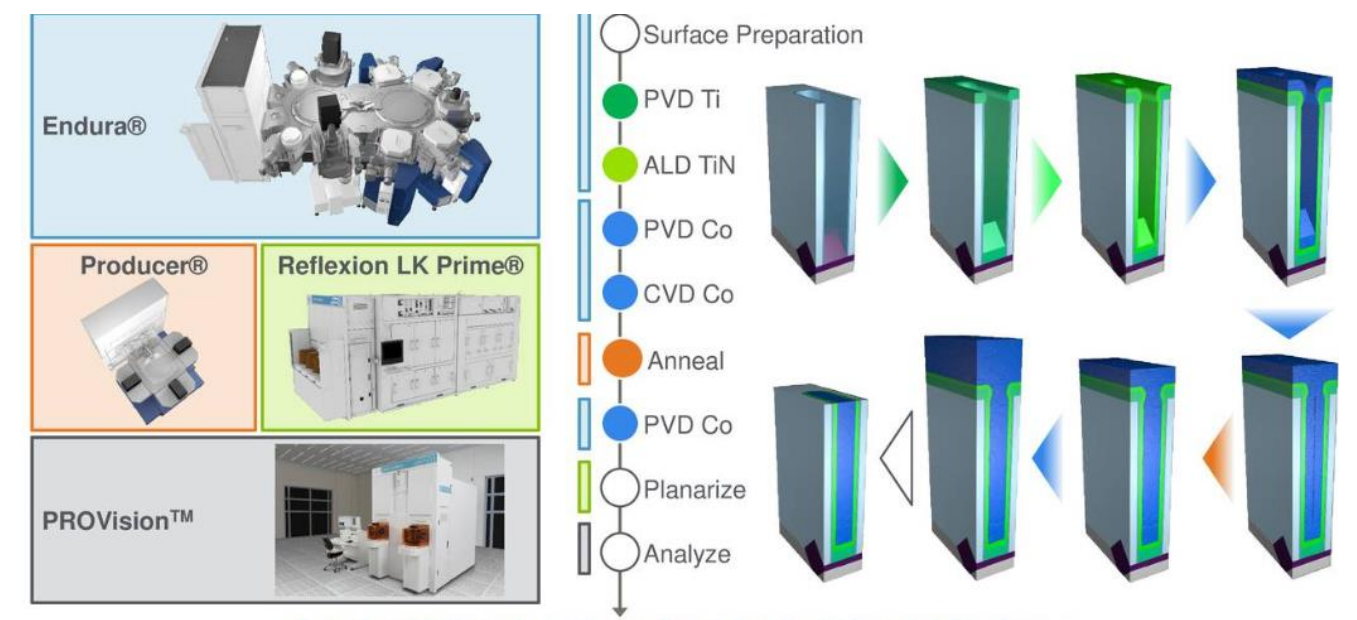
- 2018年公司营业收入172.53亿美元，净利润33.13亿美元，为全球最大的半导体设备商。
- 发展机遇一：1967年成立，深耕半导体设备五十年，每年投入占营收比例超12%研发费用，积累丰富专利建立技术壁垒，领导半导体设备技术发展。
- 发展机遇二：1990至2010年间积极开展并购，经历十几次并购后形成全方位的前道设备供应商，产品间的协同效应开始发酵。
- 发展机遇三：围绕薄膜沉积设备的技术领先，以一站式的解决方案带动公司离子注入设备、氧化扩散设备、刻蚀设备的销售量。

## AMAT充分发挥PVD/CVD/ALD薄膜沉积技术的协同效应



资料来源：AMAT、华西证券研究所

## AMAT针对钴互连应用提供一站式的解决方案



资料来源：AMATL、华西证券研究所

# 国内：北方华创PVD设备领航者，CVD/ALD设备技术追赶中

北方华创PVD是国内唯一可应用于12寸晶圆的先进制程集成电路领域，也是国内唯一备齐了PVD/CVD/ALD三大薄膜沉积设备的国产设备商。

- **PVD设备**：集成电路的设备目前有两款，分别用于TiN金属掩膜和AL PaD铝垫沉积，14nm铜互连制程正在验证中，有望在近期通过验证。
- **CVD设备**：北方华创CVD设备类型抓哟包括LPCVD和PECVD，LPCVD系列可用于28nm的集成电路领域和功率器件制作，PECVD系列和APCVD系列用于LED/MEMS和光通讯器件领域的应用。
- **ALD设备**：2017年12月5日，12寸晶圆ALD原子层沉积设备进驻上海集成电路发展中心，补足了公司薄膜沉积设备的最后一块拼图。

北方华创ICP刻蚀设备是其四大核心前道设备之一

PVD物理薄膜沉积



CVD化学薄膜沉积



ALD原子层薄膜沉积



ICP刻蚀设备

薄膜沉积设备

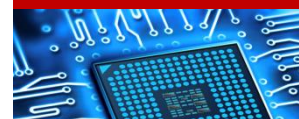
炉管设备

清洗设备

资料来源：北方华创、华西证券研究所

北方华创PVD/CVD设备应用于多项领域

集成电路



先进封装



LED



功率器件



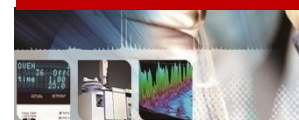
MEMS



分析仪器



光通信器件



资料来源：北方华创、华西证券研究所

- 半导体前道设备的价值为何？
- 国产前道设备商迎来机遇——国内下游制造密集扩产、国产设备技术成熟
- 九类前道设备——国产商最具潜力的领域：刻蚀、CVD、PVD、清洗、量测
  - 一、光刻机：技术最难的曝光工艺，完成芯片设计图形转移
  - 二、刻蚀设备：多重图形刻蚀工艺，雕塑芯片往10nm以下微缩
  - 三、CVD设备：多重图形沉积工艺，堆叠芯片多层结构
  - 四、PVD设备：金属化沉积工艺，实现芯片导线互连
  - 五、离子注入设备：离子掺杂工艺，激活芯片生命力
  - 六、CMP研磨设备：化学机械抛光工艺，芯片结构平整化
  - 七、炉式设备：热处理工艺，芯片的氧化/扩散/退火
  - 八、清洗设备：清除各种污染物，提升芯片良率
  - 九、量测设备：优化各前道制程工艺，提升芯片良率
- 重点推荐：国产前道设备标的

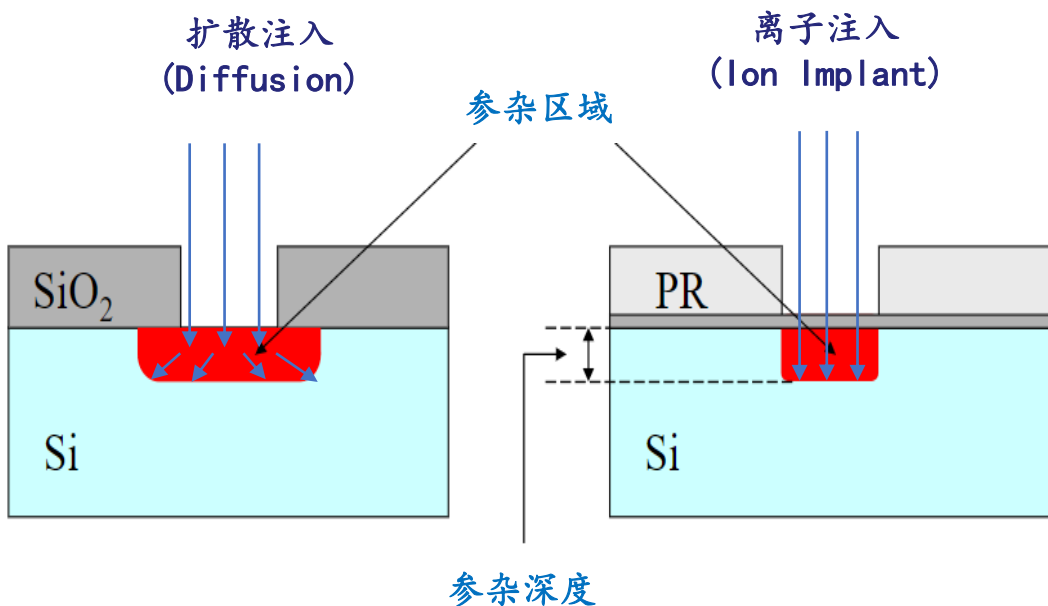


# 离子注入设备：取代扩散技术成为纳米级芯片主流掺杂工艺

离子注入技术已经逐渐取代扩散技术，受益其技术特性在先进制程芯片的注入参杂物浓度和深度轮廓分布更为精密。

- 离子注入已经成为主流掺杂技术：掺杂制程可分为扩散和离子注入两种技术，掺杂制程是指在硅晶圆中加入杂质元素，进而改变晶圆衬底材料的电学性质，是半导体制程中关键的工艺技术。根据掺杂的技术原理，掺杂可分为热扩散和离子注入两种，由于在现代先进集成电路生产环节中，需要更精密的参杂物浓度、掺杂能量、扩散情况等参数控制，离子注入的技术特性相当符合，已成为芯片主要掺杂方式。
- 离子注入技术具备低温和精密度高的优势，可以在芯片制成尺寸更小、空间结构更复杂的情况下实现元素掺杂，但是会对晶格产生损伤。

离子注入技术相较于扩散技术的掺杂更精密



资料来源：离子注入制造技术、华西证券研究所

离子注入是先进制程主要的掺杂工艺

型号	扩散注入	离子注入
技术特点	高温，氧化硅掩膜	低温，光刻胶掩膜
技术精度	不能独立精确控制参杂量	静态控制参杂量和深度
技术节点	应用大于0.35微米的制程	应用小于0.35微米的制程
固溶度	受到固溶度限制	不受到固溶度限制
扩散情况	横向扩散严重	较无横向扩散
生产速度	批量生产	批量生产和单片生产
破坏情况	没有参杂破坏	注入造成晶格损伤

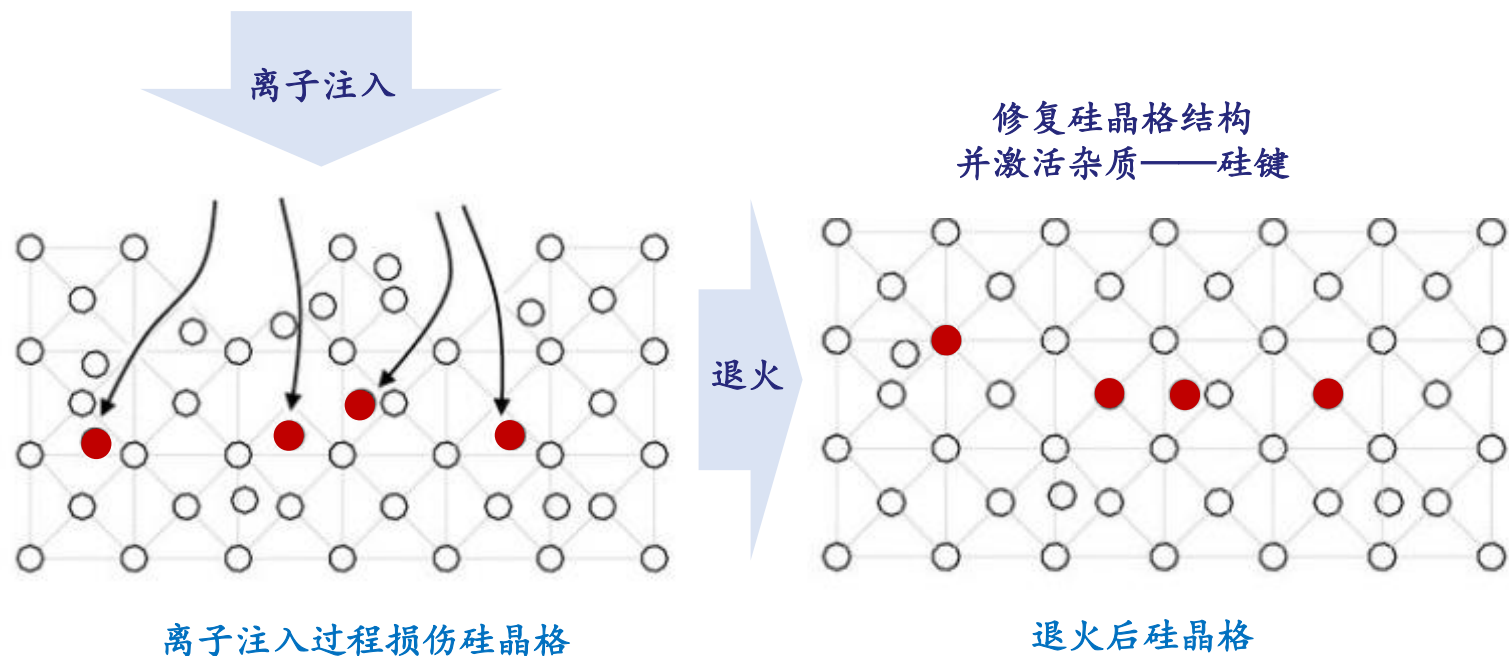
资料来源：离子注入制造技术、华西证券研究所

# 离子注入技术：通过退火工艺修补注入时造成的电晶体损伤

离子注入工艺过程中的离子轰击会导致的硅晶格被破坏，必须通过退火工艺修复硅晶格才能激活掺杂后的电晶体。

- 离子注入工艺导致晶格损伤。离子注入工艺中，带有能量的正离子束轰击掺杂，同时导致硅原子撞击出晶格结构而损伤硅片晶格。如果注入的杂质量较多，还可能使得注入层比拿出非晶结构，导致间隙杂质无法表现出相应的电学性质，因此需通过高温退火过程后才能激活掺杂的杂质元素，
- 退火工艺被用于修复晶格损伤。通过快速热处理设备RTP，用极快的升温和在目标温度1000度C左右短暂的持续时间对硅片进行处理，快速的升温过程和短暂的持续时间能够修复晶格缺陷，进而激活杂质，优化芯片在离子注入工艺后的导电性能。

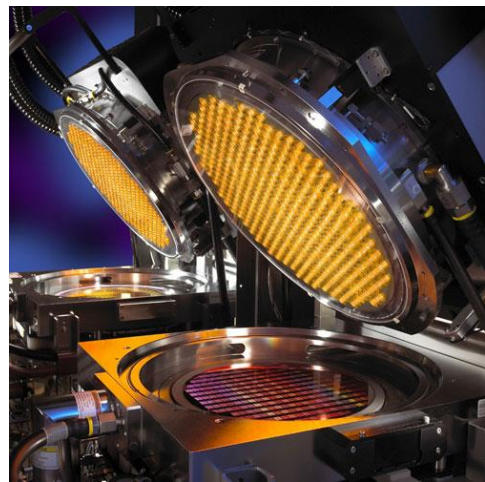
## 离子注入后需通过退火工艺修复晶格



资料来源：离子注入制造技术、华西证券研究所

## RTP热退火设备

极快升温到目标温度（1000度）  
在短暂持续时间对硅片进行处理



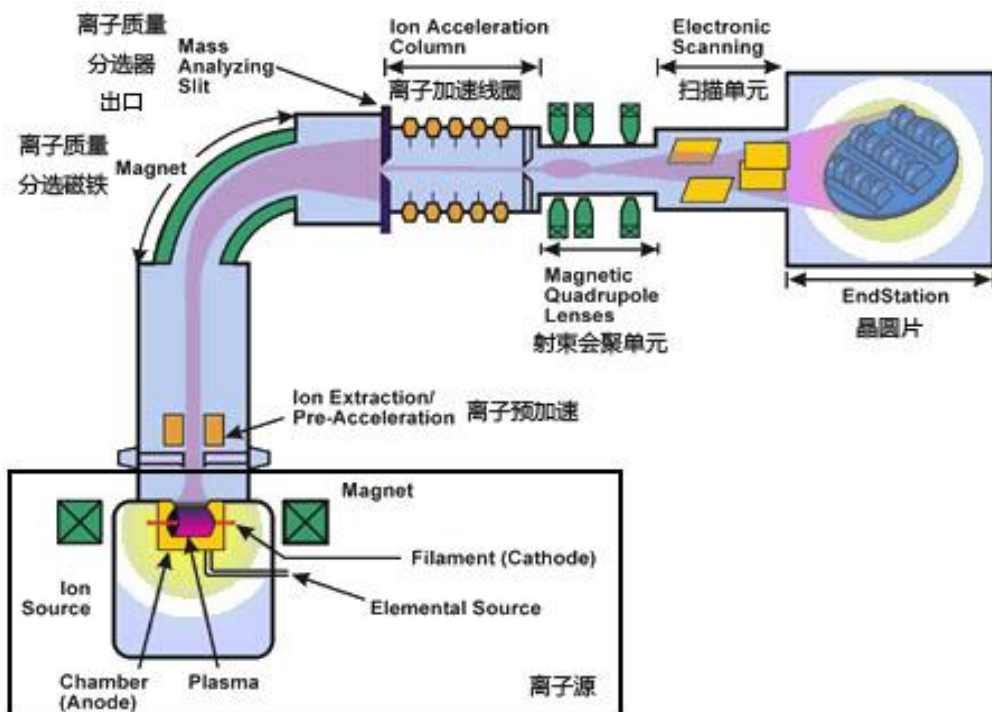
资料来源：AMAT、华西证券研究所

# 离子注入设备：等离子体注入控制系统为关键技术

离子注入设备是前道设备中最复杂的设备之一，最主要由离子源、离子质量分析器、离子加速器、扫描系统四个零部件组成。

- **离子注入工艺主要流程：**（1）离子源：将气体形态的掺杂化合物原材料导入反应腔，加入电场和磁场交作用形成电浆等离子体。（2）离子加速器：离子束从反应腔萃取出来后，将受到电场牵引而加速前进，并在通过磁场后进行二次加速，提高离子束射程。（3）离子质量分析器：通过质量分析器筛选需要的离子源。（4）扫描系统：通过精准的离子扫描系统，保障掺杂离子能够均匀地注入至整个硅晶圆上。
- 为了使得电晶体在整个芯片上能表现的正常甚至更好，在离子注入制程后，必须通过监控与量测维持制程的稳定性。

离子注入设备结构框架



资料来源：离子注入制造技术、华西证券研究所

离子注入设备核心零部件

主要零部件	作用
离子源	一般掺杂原材料大多以气体的硼、磷等化合物为主，导入反应腔中产生电浆，通常在系统中外加电场和磁场的交互作用，使得掺杂离子加速或改变方向，最后植入硅片中需要掺杂的区域。
离子质量分析器	在掺杂工艺中为了应对不同的工艺和材料，需要使用不同的掺杂原材料，但是离子注入的过程中只能选择一种离子作为掺杂源，因此需要通过离子质量分析器进行筛选。
离子加速器	当离子束从反应腔中萃取出来，会因为电场的影响朝着电极的方向加速，此段的离子加速可称为离子预加速，后端通过磁铁后会在获得另一个加速动能。
扫描系统	为了能将掺杂离子均匀地注入在整个晶圆商，使得芯片商各部位的电路元件可以获得相同程度的掺杂剂量，必须有一个设计精准的离子扫描系统，才能稳定植入参杂物。

资料来源：离子注入制造技术、华西证券研究所

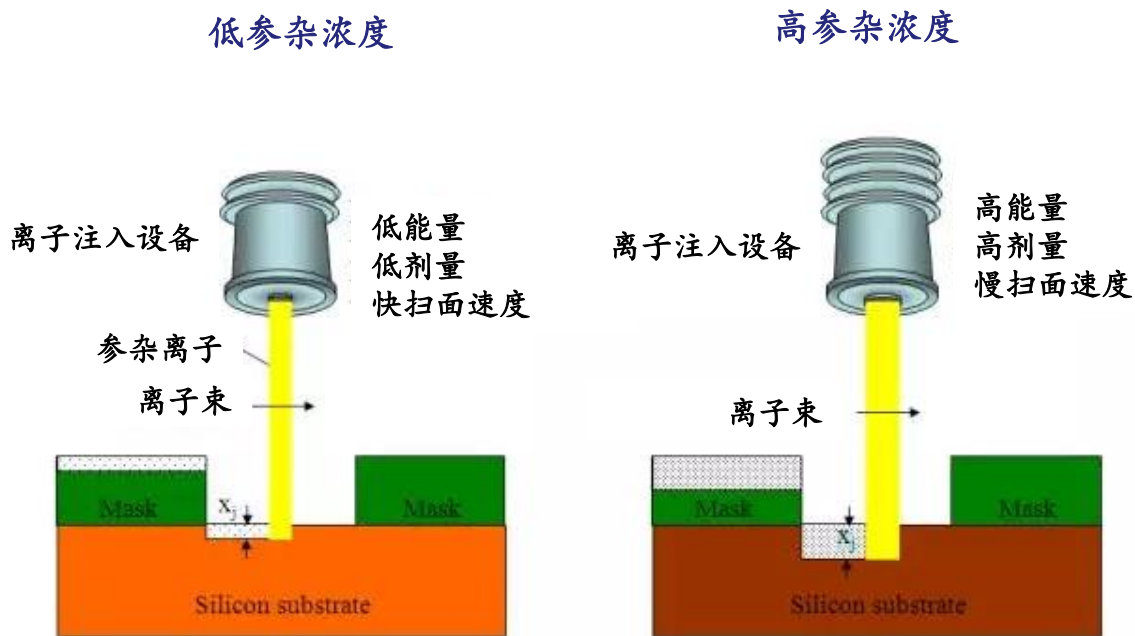


# 离子注入设备：中、低浓度离子束是先进制程关键技术

离子注入设备按照离子束的浓度可分为高能量、高电流、中/低电流离子束三种设备。

- 离子注入工艺中必须遵守三大方向控制注入工艺的精度：(1) 掺杂物类型；(2) 接触面深度；(3) 掺杂物浓度。在芯片制程中，必须清楚知道每一区的掺杂浓度与接触面深度，因此，必须精准控制离子注入的能量和离子束的电流。所以为了应对不同的制程工艺和半导体材料，需要采用不同类型的离子注入设备达到制作的需求。
- 中、低电流的离子束注入设备随着芯片结构精细化而逐渐增加。常用的生产型离子注入设备主要有三种类型：(1) 高能量离子束：超高能量的深度掺杂；(2) 高电流离子束：高能量的源极和漏极掺杂；(3) 中/低电流离子束：低能量的精细工艺结构。

高/低能量离子注入设备掺杂情况



资料来源：离子注入制造技术、半导体制造技术、华西证券研究所

离子注入设备主要种类

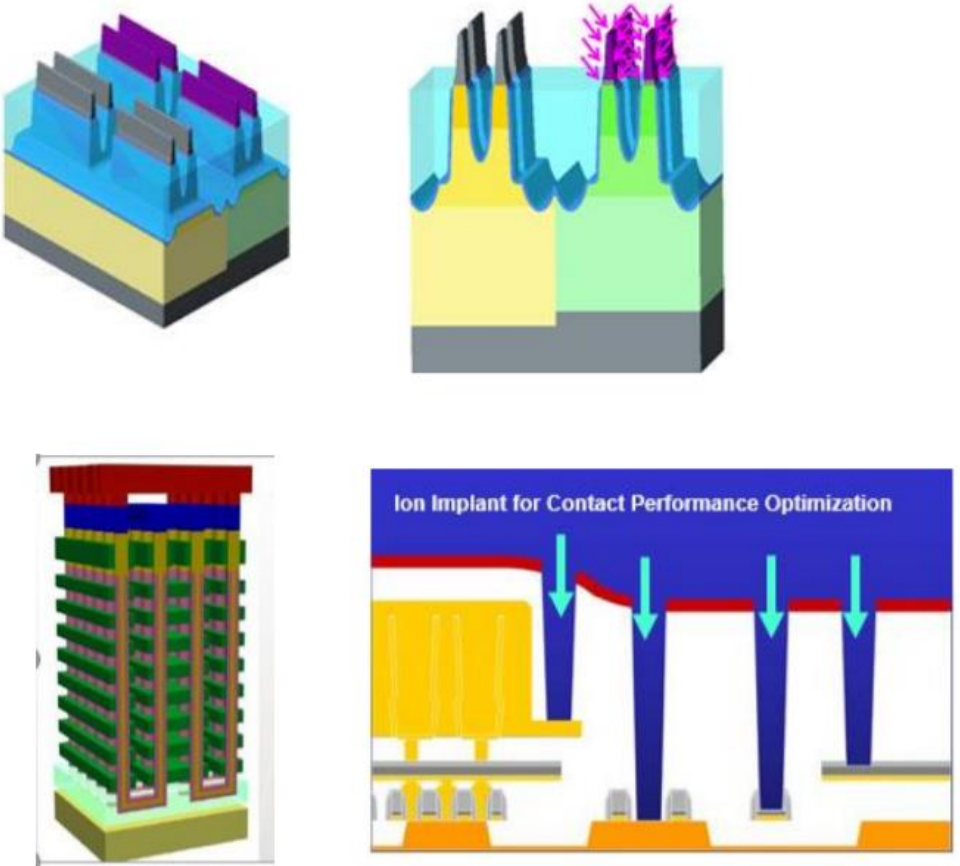
离子注入设备类型	能量范围	离子束电流	主要应用工艺
高能量离子束	数百万MeV	-	深埋层掺杂： 例如：退化井、深井、三重式井
高电流离子束	10~200KeV	1毫安培至20毫安培	高剂量离子掺杂： 例如：源极和漏极掺杂区
中、低电流离子束	<200KeV	毫安培至微安培	半导体各种工艺制程： 例如：冲穿停止层、临界电压调整、轻掺杂漏极、多晶硅栅极

资料来源：离子注入制造技术、半导体制造技术、华西证券研究所

# 离子注入设备：先进制程使得注入工艺变难，离子原材料增加

离子注入工艺将随着先进制程芯片结构从二维转为三维和复杂化，芯片效能提升和新的半导体材料引入，持续推动离子注入技术革新

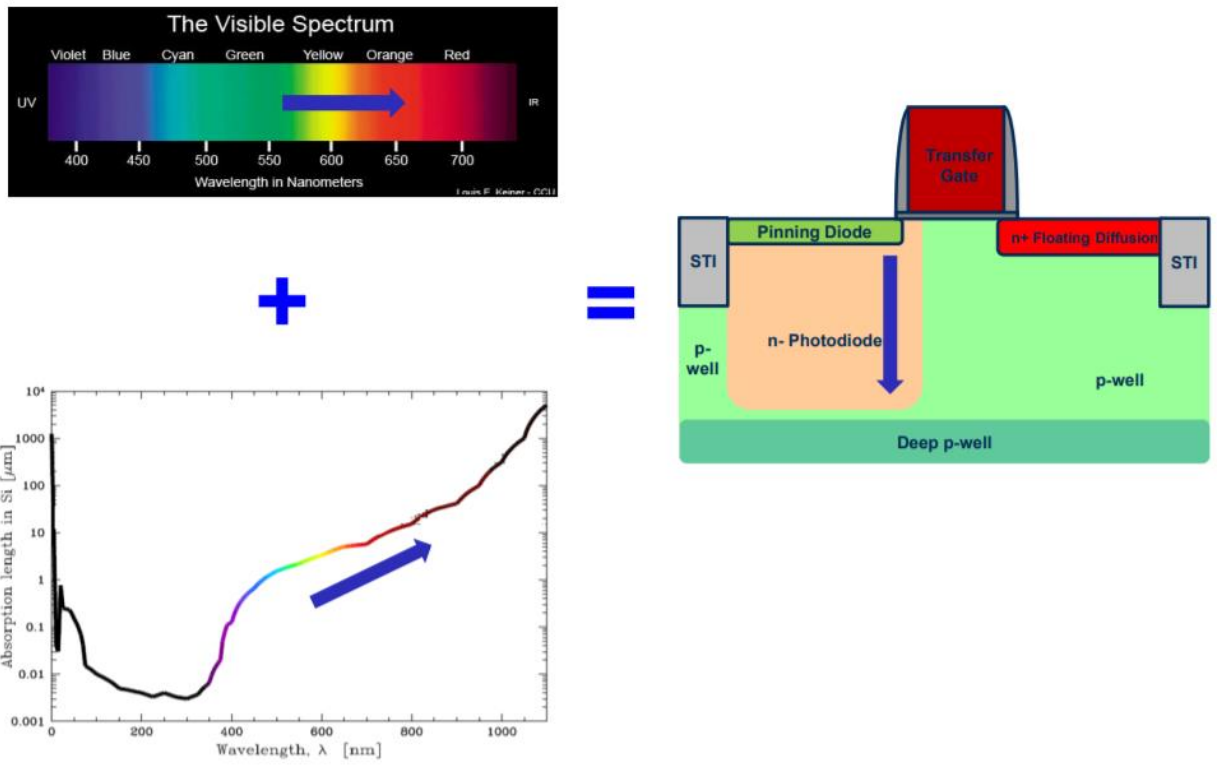
三维结构芯片使得离子注入工艺和材料复杂化



The diagrams illustrate the complexity of ion implantation in 3D structures. The top row shows two cross-sectional views of a chip with various layers and structures. The bottom left shows a 3D perspective of a multi-layered structure. The bottom right is a diagram titled "Ion Implant for Contact Performance Optimization" showing vertical ion implantation into a structure with multiple layers.

资料来源：Axcelis、华西证券研究所

CIS芯片效能提升需要离子注入的掺杂深度增加



The diagrams and graphs illustrate the relationship between light absorption and ion implantation depth in CIS chips. The top left shows "The Visible Spectrum" with wavelengths from 400 to 700 nm. The bottom left shows a graph of "Absorption length in Si [ $\mu\text{m}$ ]" vs "Wavelength,  $\lambda$  [nm]". The right side shows a cross-sectional diagram of a CIS chip structure with layers: STI, Pinning Diode, n- Photodiode, n+ Floating Diffusion, p-well, and Deep p-well. A blue arrow indicates the direction of light absorption and ion implantation.

资料来源：Axcelis、华西证券研究所

# 国际VS国内：AMAT技术全球领先，国产中科信持续追赶中

AMAT的离子注入设备全球领先，Axcelis紧追在后；国产方面：北京中科信、凯世通还在努力技术追赶中。

- 国际刻蚀设备商：AMAT离子注入技术水平全球领先，Axcelis专注研发离子注入技术，近几年市场份额逐步扩大，成为离子注入设备专业供应商。
- 国产刻蚀设备商：国内的离子注入设备和国际的技术水平差距尚大，尚未获得长江存储招标采购，但正在逐渐打破技术被国外厂商垄断的局面，目前北京中科信技术最为领先，其离子注入设备已经在中芯国际12寸晶圆厂的65nm成熟制作产线验证中，技术可望持续突破。

## 离子注入设备：国际和国内主要厂商



axcelis SENTECH

国际厂商



中科信电子  
ZHONGKEXIN ELECTRONICS



国内厂商

## 中科信的离子注入设备

大/中束流离子注入



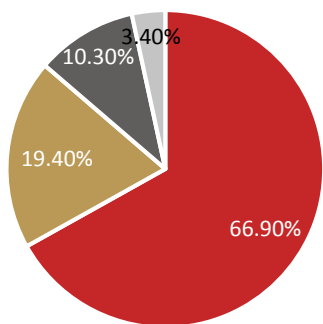
高能量离子注入



多功能离子注入



SCREEN占据一半市场，前三大市场份额合计占比96%



■ AMAT ■ Axcelis ■ Sentech ■ 其他

资料来源：SEMI、华西证券研究所

- 北京中科信是电科装备的全资子公司。中科信是一家专业从事离子注入机研发、生产、制造和销售的高新技术企业。2016年被授予“博士后科研工作站”。先后承担多项离子注入技术的02国家专项，其中90-65nm大角度中束流离子注入机已具备产业化能力，并咋中心国际产线实现量产。
- 中科信已经自主研发出三类离子注入设备，包括大/中束流离子注入设备、高能量离子注入设备、多功能离子注入设备，技术和产品线布局完整是国内离子注入技术发展最快速的设备商。

资料来源：中科信、华西证券研究所

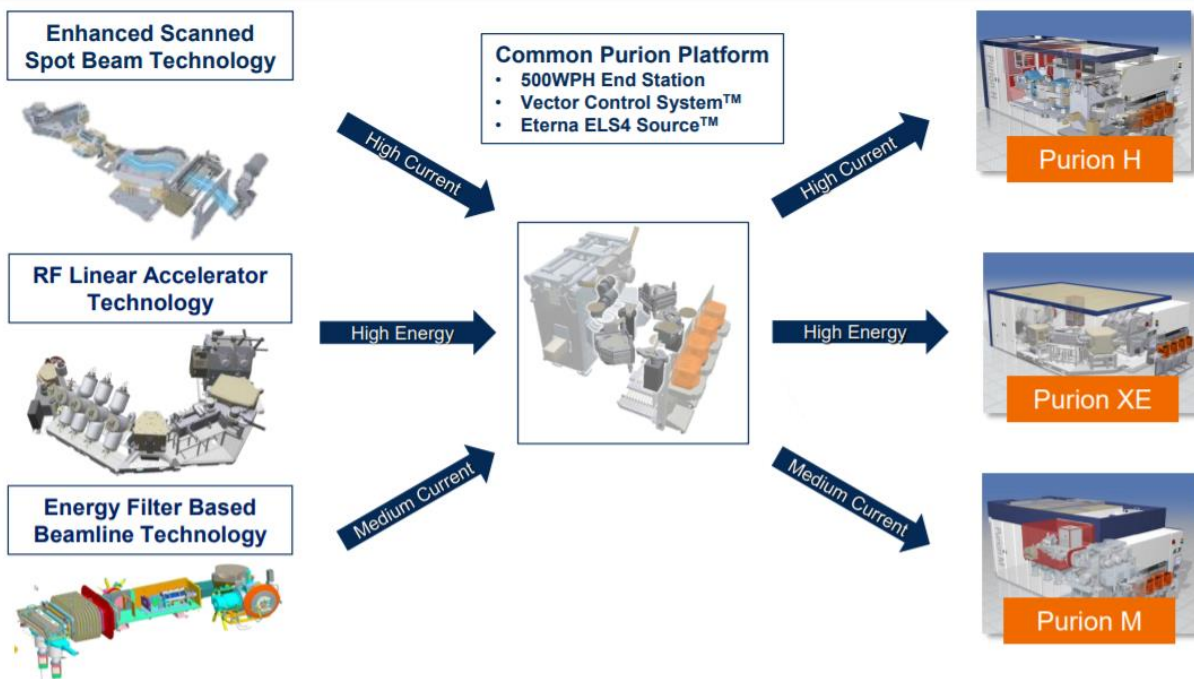


# 国际：Axcelis专注离子注入技术创新，持续抢占AMAT市场

Axcelis（亚舍利）是全球小而美的离子注入设备商，公司产品线覆盖齐全，凭借专注于离子注入技术创新逐渐抢占龙头AMAT的市场份额。

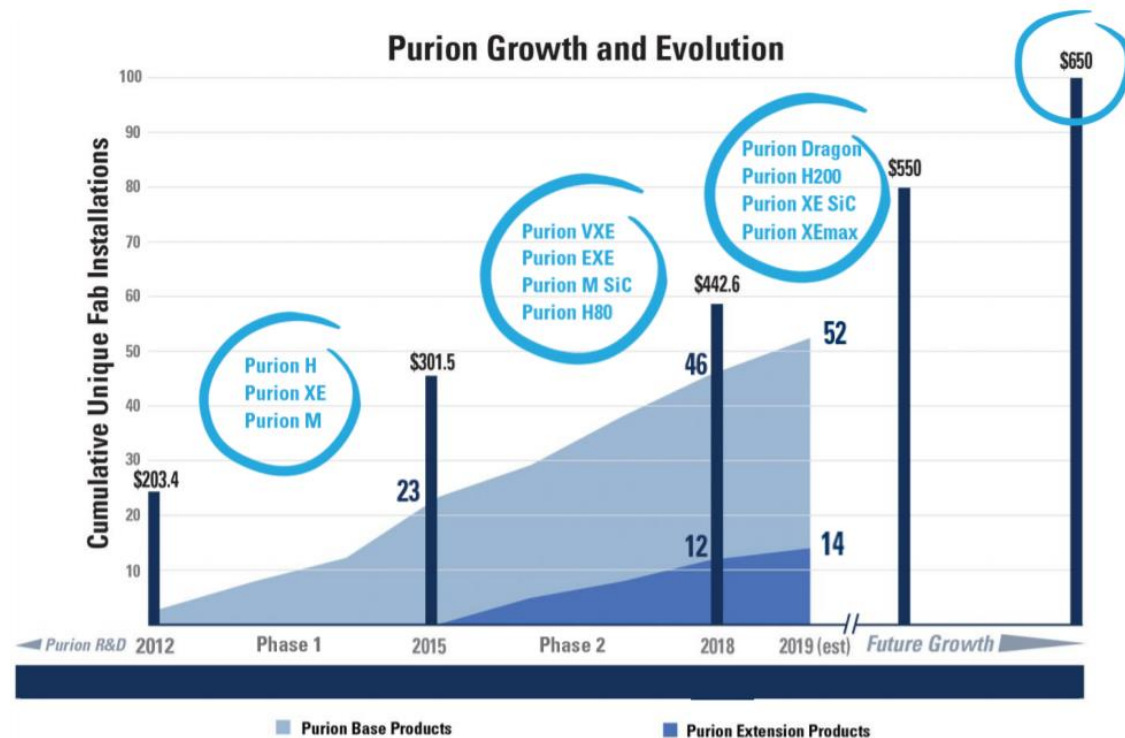
- 2018年公司营业收入4.42亿美元，净利润0.45亿美元。
- 发展机遇一：公司专注于半导体设备研发近40年，累计近800项专利，奠定了公司在离子注入技术的雄厚基础。
- 发展机遇二：公司具备产品线齐全可提供客户完整解决方案：公司产品包括：高能量离子注入设备、高电流离子注入和中电流离子注入设备。
- 发展机遇三：公司持续技术研发，随着客户的制程进步迭代产品，包括FinFeit结构和新掺杂材料的离子注入技术，推动公司营收持续增长。

## Axcelis的离子注入设备产品线齐全



资料来源：Axcelis、华西证券研究所

## Axcelis的营收增长：受益于离子注入设备持续创新



资料来源：Axcelis、华西证券研究所

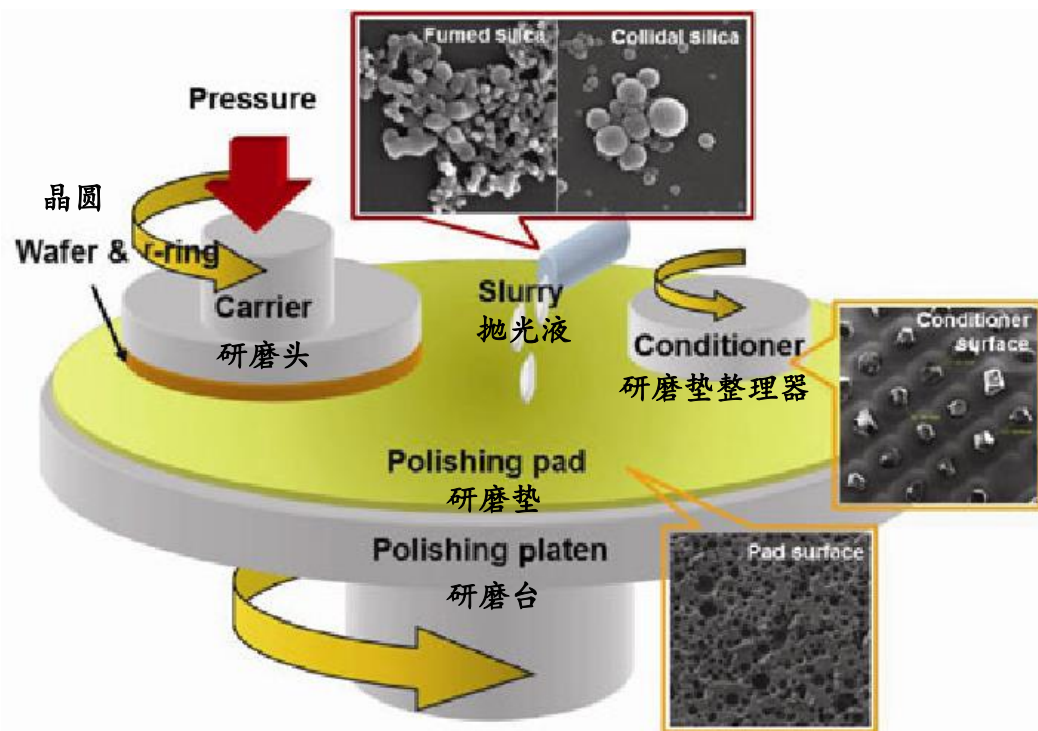
- 半导体前道设备的价值为何？
- 国产前道设备商迎来机遇——国内下游制造密集扩产、国产设备技术成熟
- **九类前道设备——国产商最具潜力的领域：刻蚀、CVD、PVD、清洗、量测**
  - 一、光刻机：技术最难的曝光工艺，完成芯片设计图形转移
  - 二、刻蚀设备：多重图形刻蚀工艺，雕塑芯片往10nm以下微缩
  - 三、CVD设备：多重图形沉积工艺，堆叠芯片多层结构
  - 四、PVD设备：金属化沉积工艺，实现芯片导线互连
  - 五、离子注入设备：离子掺杂工艺，激活芯片生命力
  - **六、CMP研磨设备：化学机械抛光工艺，芯片结构平整化**
  - 七、炉式设备：热处理工艺，芯片的氧化/扩散/退火
  - 八、清洗设备：清除各种污染物，提升芯片良率
  - 九、量测设备：优化各前道制程工艺，提升芯片良率
- **重点推荐：国产前道设备标的**

# CMP研磨设备: 芯片结构平整化, 全球市场份额每年近120亿元

CMP化学机械抛光研磨工艺是使芯片中的金属导线平坦化的关键, 使得芯片可以实现更密集的电路, 提高芯片效能、减小芯片尺寸。

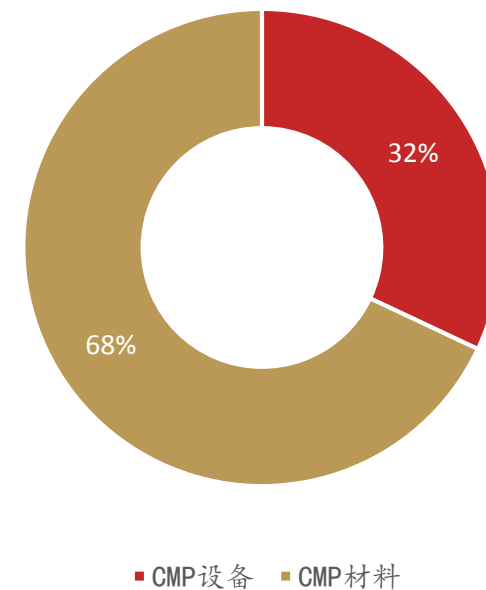
- CMP是以化学腐蚀和机械力对加工过程中的硅晶圆或其他衬底材料进行平滑处理: CMP制程是通过将硅片固定在抛光头的最下面, 将抛光垫放置在研磨盘上, 由抛光头以一定的压力压在旋转的抛光垫上进行抛光。在抛光过程中, 亚微米和纳米磨粒和化学溶液组成的抛光液会在硅片和抛光垫之间流动, 在离心力的作用下, 通过抛光液研磨和机械设备的摩擦作用, 将化学反应物从硅片表面去除并溶解带走, 实现硅片的高精度平坦化。
- CMP市场可分为设备和材料, 其中CMP设备占比32%。CMP材料占比68%。

CMP化学机械抛光研磨制程



资料来源: ResearchGate、华西证券研究所

CMP市场: 分为CMP设备和CMP材料



资料来源: 中产业信息网、华西证券研究所



# CMP研磨技术：需要抛光材料和设备之间的精密合作

CMP研磨工艺中是在设备高速运转下实现纳米级的细微研磨，需要化学材料和机械设备之间的精密合作，才能实现完美的研磨效果。

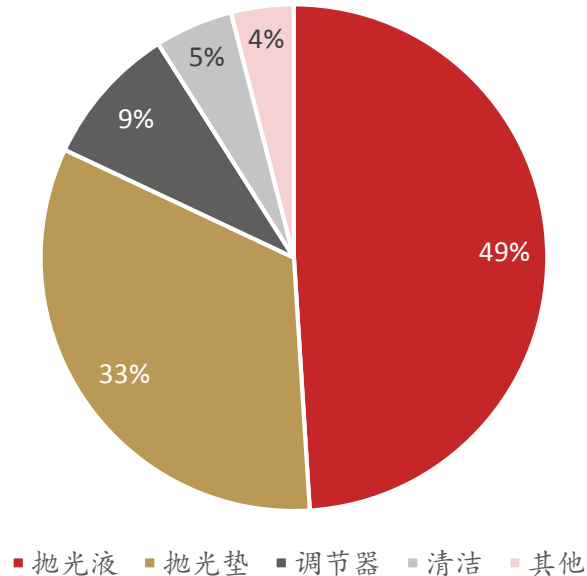
- **CMP设备：**负责机械研磨抛光。CMP设备为维持研磨过程中整片芯片与研磨垫之间均匀接触，需要实时针对研磨头与研磨平台进行方向调整和向下施压的校准，过程中参数复杂且精密。其中，主要的零部件包括（1）研磨头；（2）研磨垫整理器；（3）检测系统；（4）清洗系统。
- **CMP材料：**负责化学反应移除目标化合物。CMP工艺需要加入化学品和芯片表面产生的化学反应，配合机械研磨精度才能到达纳米级别，CMP材料主要包括（1）抛光液；（2）抛光垫。

**CMP研磨工艺：主要零部件和材料**

组成部件	概述
<b>抛光液</b>	抛光液是影响抛光速率和效率的重要因素，由亚微米或纳米磨粒和化学溶液组成的抛光液在硅片表面和抛光垫之间流动，通过抛光液中的化学成分与硅片表面材料产生化学反应，将不溶的物质转化为易溶物质，或者将硬度高的物质进行软化。
<b>研磨头（旋转头）</b>	抛光头是用于吸附晶圆并执行研磨制程的抛光头组件，其中包括真空吸附装置、下压力系统和调节晶圆的定位环调节
<b>抛光垫</b>	抛光垫通常由聚亚胺脂制造，通过其材质特性和表面的特殊沟槽提高抛光的均匀性，是CMP抛光制程的主要耗材之一，通常抛光垫需要定时的整修和更换耗材
<b>研磨垫整理器</b>	芯片抛光后，抛光垫上的孔洞/纹路会被研磨浆料中的研磨产物堵塞，导致抛光垫的钝化或光滑化，进而影响抛光效率不稳定甚至失去功效
<b>检测系统</b>	检测设备是检测CMP抛光工业把材料磨除到要求厚度的能力，检测方法可分为电流和光学两种，用于检测CMP抛光制程质量
<b>清洗系统</b>	CMP后清洗目的主要是去除颗粒和其他化学污染物，用到去离子水及刷子，去离子水量越大，刷子压力越大清洗效率越高。

资料来源：化学机械抛光液工艺CMP全解、华西证券研究所

**CMP研磨工艺：抛光液是其中最具价值的耗材**



资料来源：中产业信息网、华西证券研究所

# CMP材料：抛光液是含金量最高的耗材

CMP抛光液技术难度高、产品价格贵，市场价值较大。抛光液是CMP制程中必备的一次性耗材，其中配方高达一百种物质以上，技术相当复杂。

- 抛光液影响研磨效果的关键参数包括：研磨颗粒大小、研磨颗粒含量、研磨颗粒的凝聚度、酸碱度、氧化剂含量、流量、粘滞系数等，是对抛光效果的影响最多的抛光材料，且随着半导体材料复杂化，还需要开发新的抛光液进行研磨。

### CMP抛光液的主要成分和关键参数

抛光材质	抛光材料	研磨颗粒	研磨液添加物	研磨液pH值	影响制程核心参数
介质	二氧化硅	SiO <sub>2</sub> , CeO <sub>2</sub> , ZrO <sub>2</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	KOH NH <sub>2</sub> OH	10~13	磨粒大小、磨粒含量、磨粒的凝聚度、酸碱度、氧化剂含量、流量、粘滞系数
金属	钨	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	KIO <sub>3</sub> , Fe(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub> H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	2~6	
	铝	SiO <sub>2</sub>	KIO <sub>3</sub> , Fe(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub> H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	2~6	
	铜	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	KIO <sub>3</sub> Fe(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub> H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	2~6	

资料来源：化学机械抛光液工艺CMP全解、华西证券研究所

### CMP抛光液的主要成分

组成部件	材料用途
研磨颗粒	在抛光过程中去除晶圆的表面材料，是抛光液中的核心元素，对不同的薄膜CMP和不同工艺的CMP要精心选择磨粒材料，不同的磨粒质量、大小和硬度会决定CMP抛光的精度和能力。
氧化剂	在晶圆表面形成一层氧化膜，利于CMP抛光进行去除，通过氧化腐蚀与抛光液中的研磨颗粒共同达到抛光效果。
pH值调节剂	调节抛光液的pH值使得材料达到可研磨性，通过在抛光液中添加碱性物质，可以与晶圆损伤层表面的硅原子发生反应，以保证过程中化学反应的进行。金属抛光通常用酸性抛光液，介质抛光通常用碱性抛光液。
分散剂	提高抛光液研磨颗粒均匀分散的程度，使得抛光液短时间内不会产生沉淀，提高研磨速率和研磨质量。如果研磨粒分散不均匀将导致表面不平整，容易使晶圆划伤。
表面活性剂	用来湿润研磨粒子与晶圆的表面，并在研磨的过程中对晶圆的研磨起到一定的润滑作用，活性剂分子会借助湿润作用在晶圆和研磨粒的表面铺展开，清洗掉研磨过程中产生的磨屑和磨粒，提高磨片表面质量和研磨精度。
增稠剂	用来提高抛光液的粘度，使抛光时研磨颗粒保持均匀稳定的悬浮状态，使得抛光效果可以维持稳定。

资料来源：中产业信息网、华西证券研究所

# 国际VS国内:AMAT技术全球领先, 国产华海清科技持续突破

AMAT的CMP设备技术领先几乎垄断市场, EBARA分居第二; 国产方面: 华海清科为国内领航者, CMP设备已经覆盖8英寸和12英寸的集成电路领域。

- 国际刻蚀设备商: AMAT凭借其本身在PVD/CVD/ALD薄膜沉积工艺的技术基础, 形成半导体表面处理技术平台, 掌握CMP研磨的技术领先优势。
- 国产刻蚀设备商: 华海清科在2019年底长江存储订单中标11台CMP设备占比达22%, 实现了国内CMP设备国产化率大幅突破。公司作为国内唯一有能力同时提供8寸和12寸CMP设备的半导体设备商, 拥有自主研发的多系列高精密CMP抛光设备。

## CMP设备: 国际和国内主要厂商



国际厂商



国内厂商

## 华海清科CMP设备产品线齐全

12寸CMP设备



8寸CMP设备

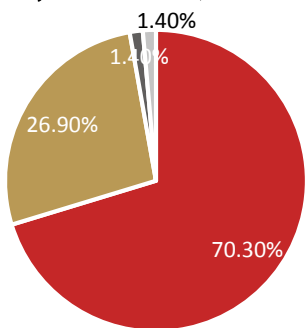


量测设备



资料来源: 公司官网, 华西证券研究所

## AMAT几乎垄断市场, 前三大市场份额合计占比99%



■ AMAT ■ EBARA ■ TEL ■ 其他

资料来源: SEMI、华西证券研究所

## 2019年长江存储64层3D NAND已采购: 11台华海清科CMP设备

2019年长江存储已采购CMP设备, 华海清科的CMP设备占比达22%

中标公司	分类	具体设备	数量
华海清科	CMP	氧化硅化学机械抛光设备	2
华海清科	CMP	介质层化学机械抛光设备	3
北方华创	CMP	化学机械抛光设备	6

资料来源: 必联网、华西证券研究所



# 国内：华海清科专注CMP研磨和量测设备，CMP技术的领航者

华海清科是国内专门从事CMP研磨设备研发、生产和销售的半导体设备商，其CMP产品已经在国内先进制程的半导体产线量产和验证中。

- 发展机遇一、国家大基金二期重点填补CMP抛光研磨设备空白，公司是国内技术最领先的CMP研磨设备商，预计将获得大基金二期的重点支持。
- 发展机遇二、2015-2019年公司CMP研磨设备已经进入中芯国际产线验证，在长江存储扩产中陆续中标11台，显示公司CMP设备已达到成熟量产水平。
- 发展机遇三、公司持续和半导体相关领域的企业、高校和科研院所合作，抓准国家全力发展半导体的机遇，提供最先进的CMP设备及工艺。

## 华海清科的CMP设备和量测设备

12寸CMP设备



8寸CMP设备



量测设备



型号	Universal-300 Plus	Universal-200 Plus	TM-03型膜厚测量仪
设备类型	12寸晶圆CMP研磨	8寸晶圆CMP研磨	膜厚测量
应用领域	采用多种成熟的关键技术，具备技术水平高、产量高、性能稳定、多工艺灵活组合等优点。	具备技术水平高、产量高、性能稳定、多清洗单元、多工艺灵活组合等优点，可以满足不同工艺需求。	用于IC制造生产线平坦化设备集成用于在线测量，具有对测量样品无损伤、自动晶圆校准等各项特点。

## 上海睿励自主研发的量测设备打入三星产线



- 华海清科成立于2013年3月，由清华控股联合天津市政府，投资设立了天津华海清科机电科技有限公司，研发和生产具有我国自主知识产权、技术达到国际先进水平的高端CMP设备，目前员工已经达到171人以上。
- 华海清科自成立以来，一直致力于高端CMP设备的产业化工作，并取得重大进展，现拥有CMP技术专利100余项，是目前国内唯一具备研发和生产12英寸（300mm）铜CMP整机设备能力的企业。

- 半导体前道设备的价值为何？
- 国产前道设备商迎来机遇——国内下游制造密集扩产、国产设备技术成熟
- 九类前道设备——国产商最具潜力的领域：刻蚀、CVD、PVD、清洗、量测
  - 一、光刻机：技术最难的曝光工艺，完成芯片设计图形转移
  - 二、刻蚀设备：多重图形刻蚀工艺，雕塑芯片往10nm以下微缩
  - 三、CVD设备：多重图形沉积工艺，堆叠芯片多层结构
  - 四、PVD设备：金属化沉积工艺，实现芯片导线互连
  - 五、离子注入设备：离子掺杂工艺，激活芯片生命力
  - 六、CMP研磨设备：化学机械抛光工艺，芯片结构平整化
  - 七、炉式设备：热处理工艺，芯片的氧化/扩散/退火
  - 八、清洗设备：清除各种污染物，提升芯片良率
  - 九、量测设备：优化各前道制程工艺，提升芯片良率
- 重点推荐：国产前道设备标的

# 炉式设备：芯片热处理技术，全球市场份额每年近120亿元

炉式设备用于前道制程中的热处理工艺，在500°C至1000°C高温环境中进行氧化/扩散/退火等关键制程。

- 热处理工艺主要为氧化/扩散/退火三项：芯片制程中需通过热处理工艺反复进行，热处理主要是为了热扩散、再结晶、转移物质相、去除变形等制程。热处理工艺包括氧化、驱散、驱入、沉积、退火和热烧结等，将芯片经过热处理后得以进行下一步前道工艺。
- 炉管设备主要分为立式炉/卧式炉/RTP设备三种：（1）立式炉和卧式炉是传统的炉管式热处理设备：分别以水平和垂直的方式将晶圆送至管状反应腔中进行高温处理，其中，立式炉逐渐取代占地面积太大的卧式炉。（2）RTP快速热处理设备：是通过辐射热源照射单片晶圆进行高温反应，由于一次专注于加热一片晶圆，热处理的控制精度大幅提升，因此，在先进制程工艺中RTP设备的应用正逐渐增加。

## 炉管设备主要类型

### RTP快速热处理设备



### 卧式炉



### 立式炉



## 炉管设备的主要功能：氧化/扩散/退火

主要功能	制程概述
氧化	氧化制程用于在晶圆上生长氧化层，为芯片制造打上基础，热处理的氧化层一般以二氧化硅为主，主要分为干法和湿法氧化，干法氧化生长的二氧化硅具备较好的导电性。湿法氧化则是氧化速度较快，在应用中需要品质较高或厚度较薄的氧化层则采用干法氧化。
扩散	在早期芯片掺杂制程中，主要采用高温扩散的方式将高浓度的磷或砷，掺入未掺杂的多晶硅，形成MOS元件的栅极导电层和源极，但是高温扩散无法精确杂质轮廓与分布，主要用于0.35微米以上芯片，在先进的纳米级芯片中逐渐被离子注入技术取代。
退火	退火制程用于修复掺杂制程后的晶圆晶格。芯片在离子注入工艺后，需要进行退火工艺将芯片中掺杂的杂质重新分布，完成提升导电性、激活芯片的制程。



# 热处理技术：芯片的退火、氧化为主要应用领域

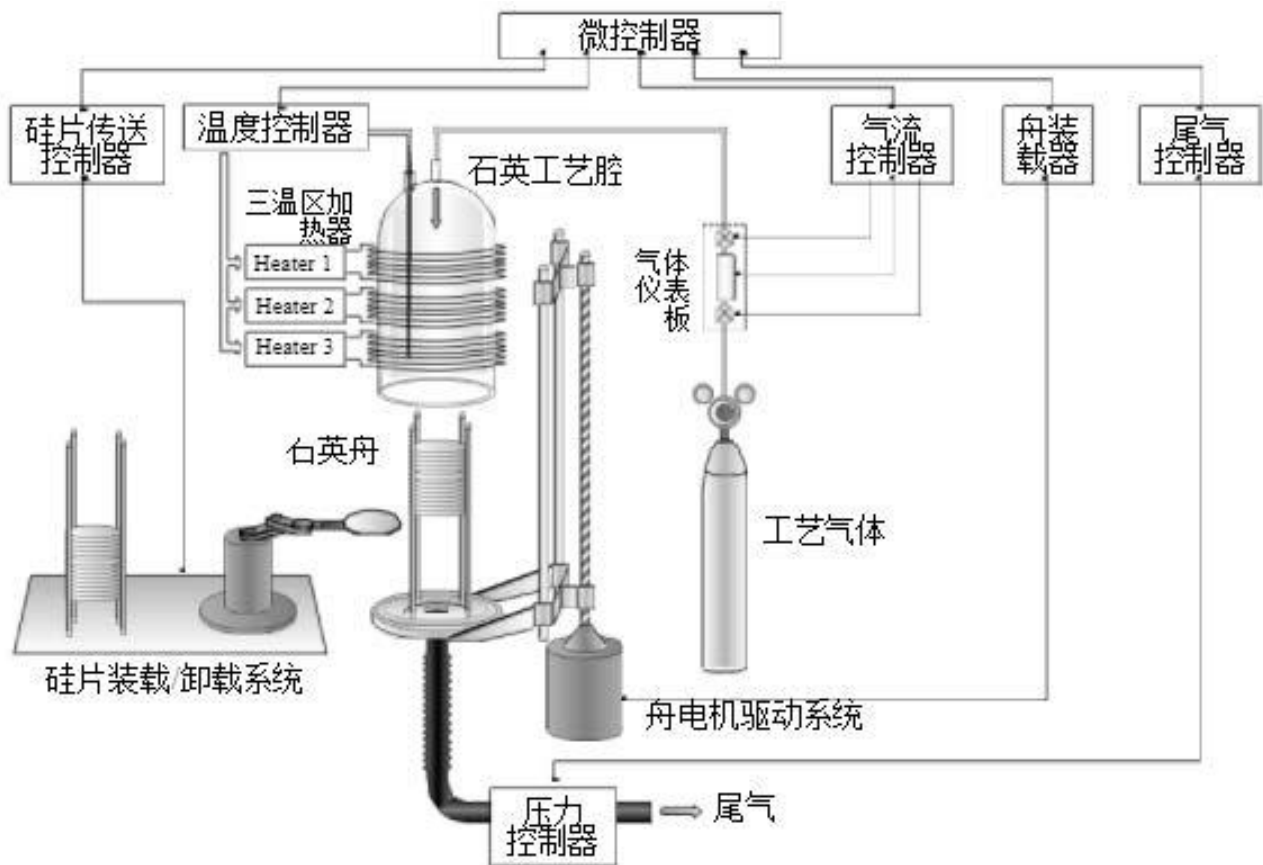
制程	目的	内容	温度范围	目前使用装置
热氧化	Si, 多晶硅等的表面氧化	氧化环境中进行热处理	800~1100℃	炉管
热扩散	Si, 多晶硅中的杂质扩散	三价、五价元素或化合物的堆积, 与热的推进扩散	800~1200℃	炉管
CVD	利用化学反应在基板上形成氧化薄膜	热分解、还原、氧化、电浆放电等反应	400~1000℃	炉管及CVD专用装置
退火处理	热圆滑处理 (reflow)	层间绝缘膜平坦化 利用PSG、BPSG等的加热产生流动	850~1100℃	炉管及RTP
	热压法	提升Al-Si的电阻性质 利用Si上的Al热处理还原自然氧化膜	~450℃	炉管
	硅金属化	利用Si和其他金属反应产生的接触 Si-Ti, Si-Pt等界面的热处理	400~600℃	炉管及RTP
	离子注入后退火处理	晶格回复、注入离子的活性化 利用离子植入后的热处理使受损的结晶回复、再结晶	600~1100℃	炉管及RTP
	吸气	控制缺陷的发生、提升电气特性 IG (本征吸气) 形成无缺陷的表面、为了吸取缺陷的热处理; EG非本征吸气为除去晶圆背面的缺陷的热处理	600~1200℃	炉管
	去除损伤	去除电浆损伤 利用热处理去除灰化等制程产生的孙还, 期望提升界面特性	~450℃	炉管
	精密化	稳定绝缘膜的特性 利用热处理提高膜的密度	~1000℃ (随用途不同改变)	炉管
	硬化	稳定绝缘膜、树脂膜、low k膜等 利用热处理使熔接机挥发并提高膜的密度	~300℃	炉管
	稳定化	稳定膜质、结晶 铜镀膜	~400℃	炉管
	去除缺陷	形成硅晶圆无缺陷层 高温氢气退货处理	1200℃~	炉管

# 炉式设备：立式炉管是目前主要的热处理设备

立式炉是目前使用最广泛的炉式设备，具备批量化加热处理、低成本的优点，但是在加热和退火的速度和控制精密度不如RTP设备。

- 立式炉广泛应用于8寸和12寸的集成电路制造：立式炉制程中将晶圆置于石英塔架上，塔架会缓慢垂直上升至石英工艺腔中进行热处理反应。

立式炉零部件结构



资料来源：微电子技术、华西证券研究所

立式炉、卧式炉、RTP设备对比

类型	传统炉管	RTP
处理方式	批处理	单片
腔壁	热壁	冷壁
加热时间	长时间加热和冷却炉子	短时间加热和冷却硅片
热梯度	较小热梯度	较大热梯度
周期	长周期	短周期
测量方式	测量气氛温度	测量硅片温度
对比结果	大的热预算 颗粒大 气氛控制难	温度均匀性好 硅片间的重复性好 颗粒运动最少 快速加热产生应力小 绝对温度测量准确
适用范围	卧式：氧化扩散 立式：氧化扩散、退火	退火
传统炉管对比	立式炉容易实现自动化；硅片水平防止，承载舟不会因重力发生弯曲；热氧化均匀性比卧式好；清洁度高，产尘密度小；设备体积小，洁净室占地小，安排灵活 立式炉在大尺寸硅片（200mm/300mm）的氧化工艺中已经取代了卧式炉，成为工业界标准设备	

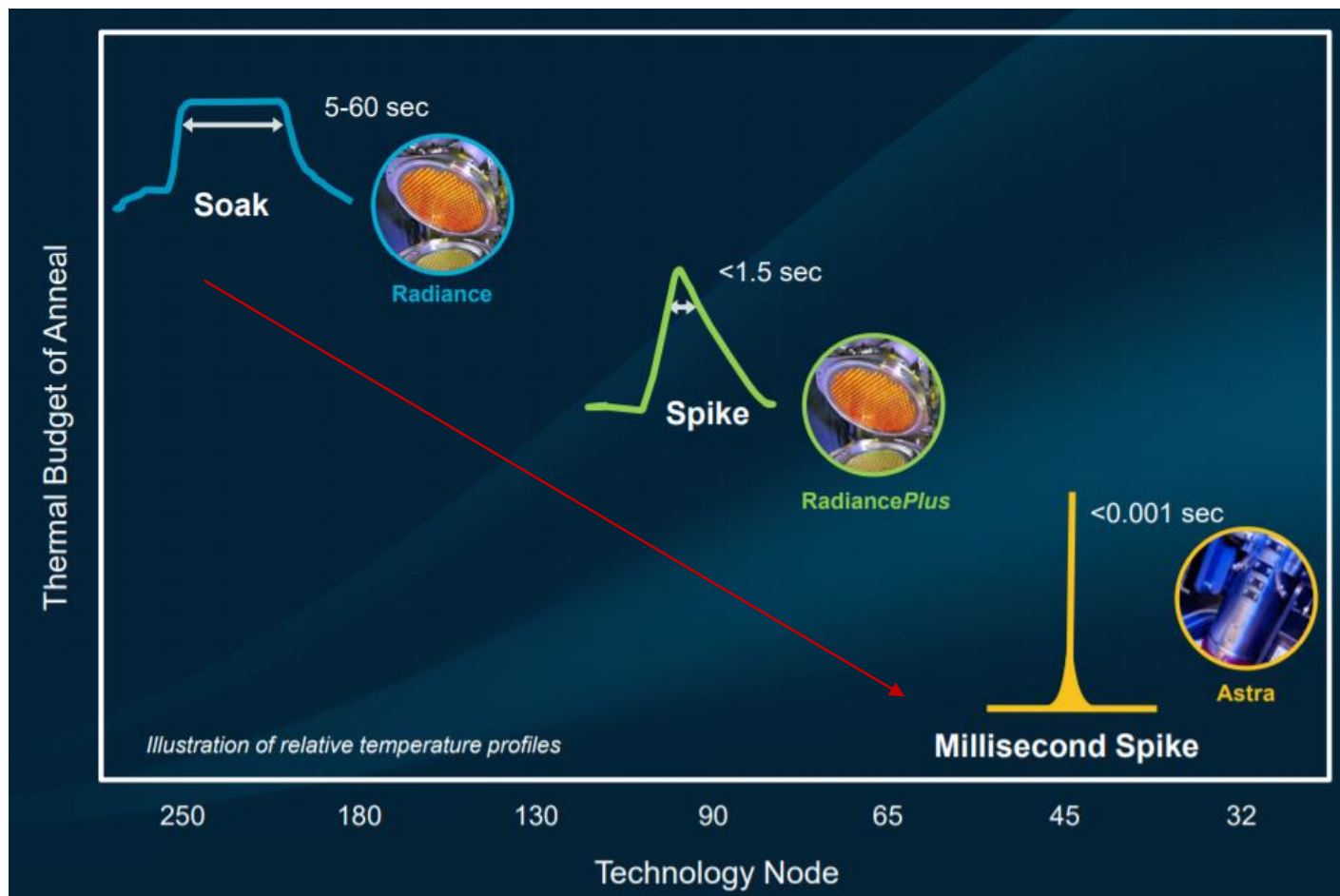
资料来源：微电子技术、华西证券研究所 105

# 炉式设备：先进制程推进下，RTP技术为未来主要发展趋势

RTP快速热处理设备的加热和退火速度远高于炉管设备，从常温20°C加热至数百°C只需要一秒左右，且受热均匀，是先进制程下的关键加热设备。

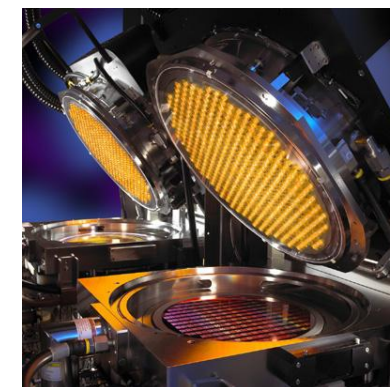
- RTP主要采用灯光辐射性热源，一次加热处理一片晶圆，受热均匀性好且可以精密控制加热程度，RTP可以分为RTO和RTA两种，分别应用于快速热氧化和快速热退火制程，两者设备主要差别在于反应腔通入的气体不同，RTO通入氧气进行氧化反应，RTA通入氩气或氮气等惰性气体避免氧化反应。

## RTP热处理设备符合先进制程的高精密退火控制需求



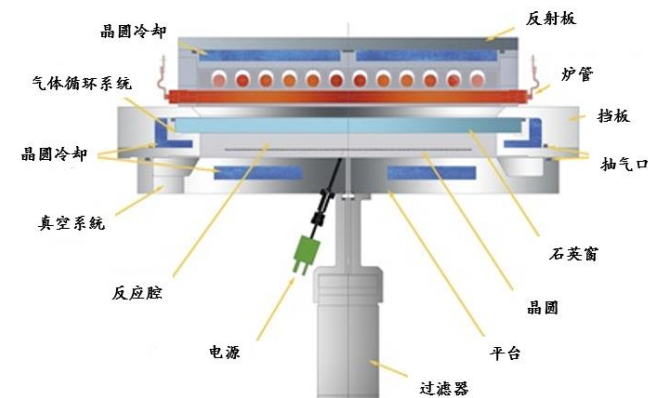
资料来源：AMAT、华西证券研究所

## RTP热处理设备



资料来源：AMAT、华西证券研究所

## RTP热处理设备零部件



资料来源：百度百科、华西证券研究所



# 国际VS国内：AMAT技术全球领先，国产北方华创技术成熟

AMAT的炉式设备全球领先，TEL紧追在后；国产方面：目前主要的热处理设备以炉管销售为主，北方华创、屹唐Mattson已经实现大规模国产化。

- 国际刻蚀设备商：AMAT基于各项前道设备积累的表面处理技术，首创RTP形成32/28nm的热处理技术平台，掌握了先进制程中最前沿的热处理技术。
- 国产刻蚀设备商：目前半导体制程中尚以炉管设备为主要的热处理设备，炉管的技术门槛较低。目前北方华创的炉管设备产品线齐全，已经在国内半导体制造商产线实现大规模量产，屹唐通过收购Mattson后具备丰富的快速热处理设备，未来潜力较大。

## 炉式注入设备：国际和国内主要厂商



国际厂商

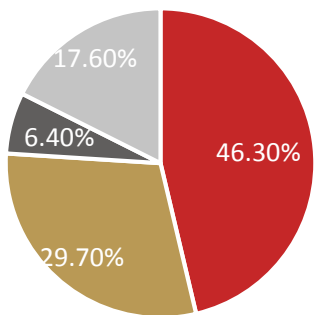
国内厂商

## 北方华创炉式验证通过情况

应用名称	是否国产	比重	国产公司
Oxidation (氧化)	量产	12.60%	北方华创
Anneal (退火)	量产	10.10%	北方华创
Poly	验证	15.10%	北方华创
SiN	验证	15.40%	北方华创
HTO	验证	6.60%	北方华创
Alloy (合金)	量产	6.80%	北方华创
总计		66.60%	

资料来源：必联网，华西证券研究所

## AMAT占据一半市场，前三大市场份额合计占比84%



■ AMAT ■ TEL ■ KE ■ 其他

资料来源：SEMI、华西证券研究所

## 2019年长江存储已采购：39台北方华创热处理设备

2019年长江存储已采购热处理设备，北方华创的炉式设备占比达58%

中标公司	分类	具体设备	数量
北方华创	炉式	立式氧化炉管设备	1
北方华创	炉式	立式常压氧化设备	13
北方华创	炉式	立式高温/气体隔离及源极氧化加膜-退火设备	13
北方华创	炉式	热处理设备	12
Mattson	炉式	快速热处理设备	4

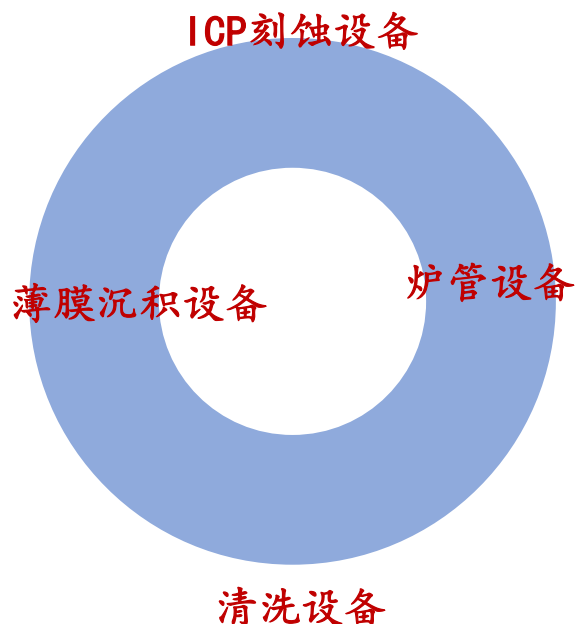
资料来源：必联网、华西证券研究所

# 国内：北方华创炉式设备在国内实现大规模进口替代

北方华创炉式设备主要包括立式炉和卧式炉两种，其中，立式炉主要应用于先进制程12寸晶圆的集成电路领域。

- **立式炉设备：**北方华创的立式炉设备为Theoris系列和Flouris系列，具备氧化沉积、合金、退火的热处理技术，Theoris主要应用于12寸的130-28nm集成电路领域和中低端的先进封装、LED、光通信器件等领域芯片制造，Flouris用于8寸晶圆制的芯片制造，两者皆已经在国内晶圆制造厂的产线上实现大规模销售。
- **卧式炉设备：**北方华创的卧式炉设备主要以2至8寸晶圆的氧化沉积热处理制程。

北方华创ICP刻蚀设备是其四大核心前道设备之一



立式氧化炉      立式退火炉



卧式炉



资料来源：北方华创、华西证券研究所

北方华创炉式设备产品

	立式氧化炉	立式退火炉	立式低压化学气沉积系统	立式合金炉
产品名称	用于8晶圆：FLOURIS 201 用于12晶圆：THEORIS 302			
温度条件	中高温条件	中低温条件	低压条件	低温条件
通入气体	特定气体 (O2/H2/DCE)	通入惰性气体 (N2)	-	惰性或还原性气体 (N2/H2)
用途	在硅片表面发生氧化反应，生成二氧化硅薄膜	消除硅片界面处晶格缺陷和晶格损伤	通过气体混合的化学反应在硅片表面淀积一层固体膜的工艺	增强金属与二氧化硅之间的附着力，降低硅基和金属接触电阻
产品特点	高效生产性能，良好成膜均匀性能，先进颗粒控制技术，完整的工厂自动化接口等	高精度的温度控制算法、严格的金属控制指标以及稳定的传输控制系统等	高精度压力控制、良好的工艺均匀性、先进的颗粒控制技术	高精度的温度控制算法、严格的L/A氧含量控制指标以及独立的工艺系统

资料来源：北方华创、华西证券研究所

- 半导体前道设备的价值为何？
- 国产前道设备商迎来机遇——国内下游制造密集扩产、国产设备技术成熟
- 九类前道设备——国产商最具潜力的领域：刻蚀、CVD、PVD、清洗、量测
  - 一、光刻机：技术最难的曝光工艺，完成芯片设计图形转移
  - 二、刻蚀设备：多重图形刻蚀工艺，雕塑芯片往10nm以下微缩
  - 三、CVD设备：多重图形沉积工艺，堆叠芯片多层结构
  - 四、PVD设备：金属化沉积工艺，实现芯片导线互连
  - 五、离子注入设备：离子掺杂工艺，激活芯片生命力
  - 六、CMP研磨设备：化学机械抛光工艺，芯片结构平整化
  - 七、炉式设备：热处理工艺，芯片的氧化/扩散/退火
  - 八、清洗设备：清除各种污染物，提升芯片良率
  - 九、量测设备：优化各前道制程工艺，提升芯片良率
- 重点推荐：国产前道设备标的



# 清洗设备：提升芯片良率关键，全球市场份额每年近250亿元

清洗工艺是提升先进制程芯片良率的关键：先进制程芯片微缩 → 集成电路元件密度增加、制程复杂化，需要更多清洗工艺和更精密的清洗技术。

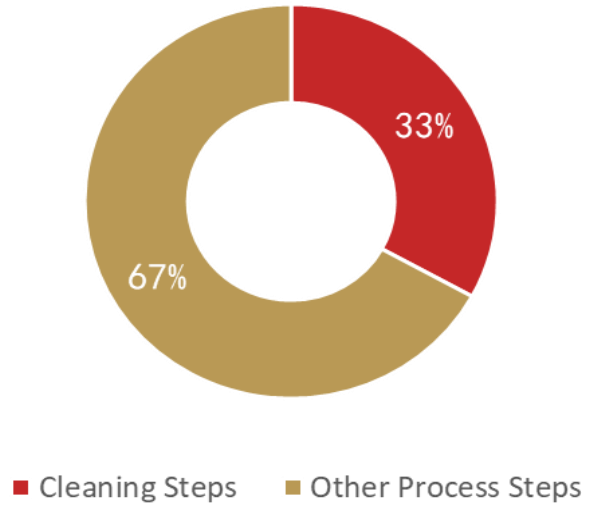
- 清洗工艺需穿插在半导体各项前道制程中，循环多次清洗：在半导体制作的光刻-刻蚀-薄膜沉积等过程会经过多种化学反应，为了有效去除制程中的微尘颗粒和各种工艺中化学反应造成的金属污染等，必须在制程中反复一次又一次的进行清洗工艺，以维持晶圆表面的清洁。
- 清洗工艺在先进制程工艺数量达到200道以上，在制程中占比33%。根据ACRM数据，20nm芯片的清洗工艺达到200道以上，随着制程微缩将继续上升。
- 污染物会影响芯片制造的良率，为晶圆厂带来损失：污染的晶圆除了造成芯片品质较差，还可能导致其他价格高昂的前道设备受损。因此，清洗工艺是先进制程的关键工艺之一。

清洗工艺在20nm制程达200道，是先进制程芯片最关键工艺之一



资料来源：ACMR、华西证券研究所

清洗工艺在芯片的制程中占比33%

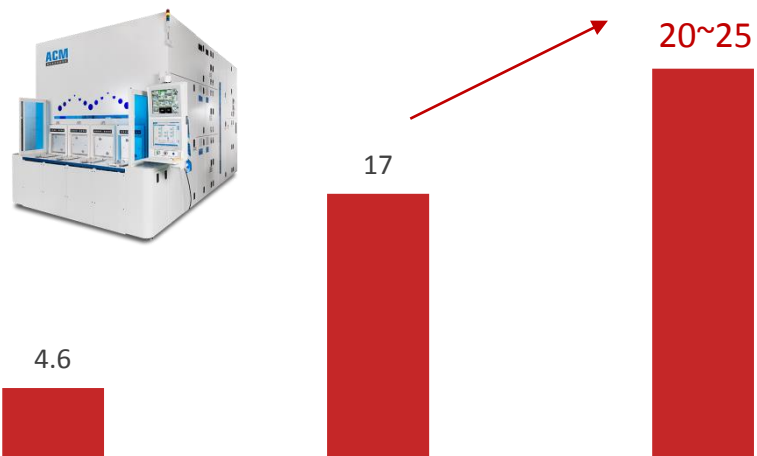


资料来源：ACMR、华西证券研究所

# 清洗设备：清洗工艺随着芯片精度提升而大幅增长

清洗设备是先进制程芯片提升良率的关键：摩尔定律推动芯片制程/工艺/材料精密化、洁净度标准更高—>清洗设备的精密度和需求量持续增长。

清洗设备在晶圆厂需求量大幅增长—对应产能（10K/M）



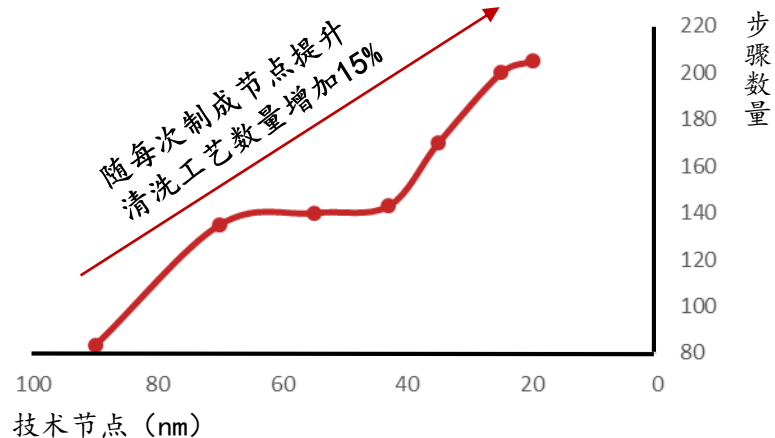
8寸120nm成熟制程      12寸90nm成熟制程      12寸20nm先进制程（估计）

- 防止污染物导致芯片图形缺陷，先进制程清洗工艺数量大幅增加：摩尔定律推动制程升级，导致晶圆元件对污染物更加敏感。为了防止污染物导致的图形缺陷，清洗工艺的清洁精密度将提升、清洗的工艺次数增加，导致清洗设备需求量随技术节点推进显著增加。
- 良率下降会为晶圆厂带来巨大损失：良率下降1%，可能减少晶圆厂几百至几千万的收入，此外对于晶圆厂的商誉也会带来严重影响。

备注：图中8寸120nm成熟制程和12寸90nm成熟制程的清洗设备数量来源于中芯国际的晶圆厂规划需求量；12寸20nm先进制程是ACRM专家估计，有鉴于各晶圆厂制程工艺有所不同，清洗设备数量也有所不同，数据仅供参考

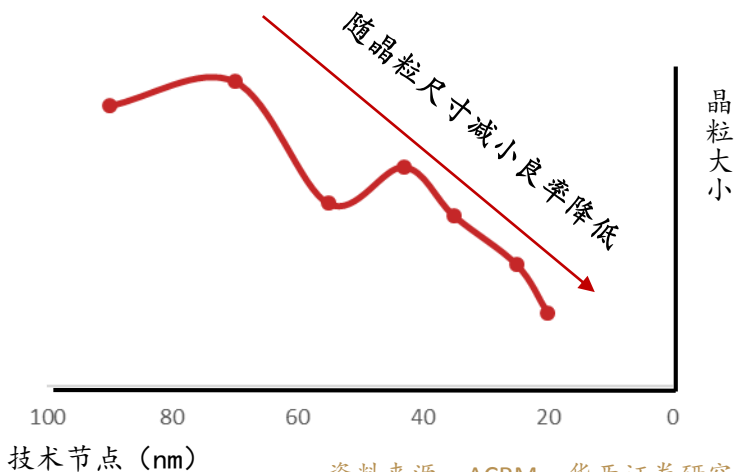
资料来源：中芯国际、ACMR、华西证券研究所

清洗工艺数量从90nm的90道上升至20nm的200道



资料来源：ACRM、华西证券研究所

摩尔定律推动芯片晶粒尺寸持续微缩



资料来源：ACRM、华西证券研究所

# 清洗技术：湿式清洗法市场占比达90%，成为主流制程工艺

半导体清洗设备技术类型

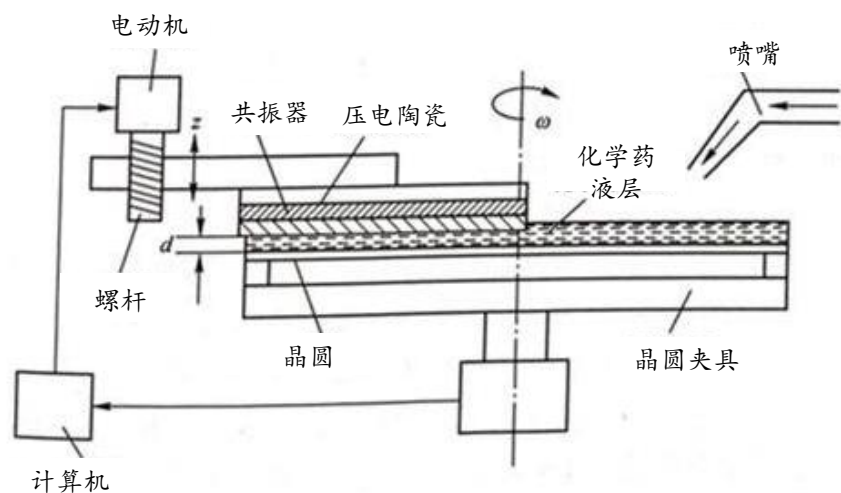
技术类型	技术特性	清洗方法	清洗介质	工艺简介	优点	缺点
湿式清洗	RCA湿法化学清洗技术是目前主流清洗方案， <b>湿法清洗在清洗制造占比90%以上</b> ，湿法清洗主要通过水和化学剂去除晶圆商的微粒、金属杂质、及有机污染物。	槽式浸泡法	化学溶液	将图形浸泡在化学溶液中达到清除表面污染	选用不同类型的化学溶液可以达到清除效果，清洗过程简单	耗用化学品多，排放量大、成本高、污染环境
		超声波清洗	化学溶液、超声波辅助清洗	在强烈超声波（20-40Hz）作用下，液体介质内部空腔泡消失时附近产生强大的局部压力使分子内部化学键断裂，清洗晶圆表面杂质	清洗的速度、效果好能够清洗各种复杂形状的晶圆表面；易于实现自动化操作	清洗精度稍低，可能会损伤晶圆
		兆声波清洗	化学溶液，兆声波辅助清洗	由高能（850Hz）频振效应和化学清洗剂的化学对图形进行清洗	清洗速度和效果好、清洗精度高，具备化学和机械方法的综合和优势	气泡可能会损伤晶圆
		旋转喷淋法	化学溶液或高纯去离子水、高压喷淋辅助清洗	利用机械方法将图形以较高的速度选择，在旋转过程中向图形表面喷淋业务以去除图片表面杂质	结合溶液浸泡和高压擦拭的优点，同时还可以使晶圆表面快速脱水	喷射力道可能损坏晶圆表面
干式清洗	干法清洗技术是以物理原理清洗晶圆，主要用于去除微粒污染，通过高压及高压气体喷射去除晶圆表面的微粒污染，虽然其对环境友好且化学用量少，但清洗控制要求和成本较高，难以大量应用于半导体生产。	等离子体清洗	等离子体	在强烈电场作用下，使氢气产生等离子体，将可挥发性液体状态物质抽走	在去胶工艺中操作方便、效率高、清洗效果好、无划伤	不能去除碳和其他非挥发性金属氧化物杂质
		气相清洗	化学溶液的气相等效物	利用液体工艺中对应物质的气相等效物与图形表面的污染物相互作用而去除杂质	化学消耗小，清洗效率高，能够进行有效清洗结构较深的部分	不能有效去除金属污染
		束流清洗	高能束流物质	利用高能量的束状物质流与图形表面的污染杂质进行相互作用而清除图形表面杂质	清洗液消耗量小，而且减少二次污染的发生	-



# 湿式清洗：单晶圆清洗法在先进制程逐步取代槽式浸泡法

单晶圆湿法清洗设备具备精密的清洗能力，成为先进制程主流清洗设备，其中又以兆声波法技术应用最广泛，在40nm以下的制程占据主要市场份额。

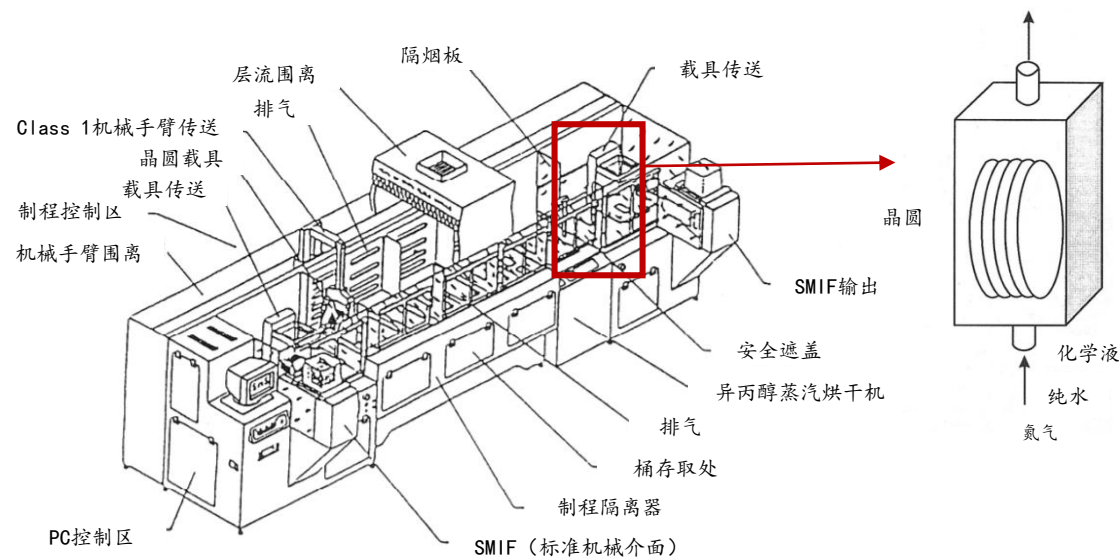
## ★ 单晶圆湿法清洗设备——兆声波法为例



- **单晶圆清洗设备兆声波法原理：**单晶源的湿法清洗方法近来采用物理化学相结合的方法，采用声波结合物理的方法，兆声波清洗方法的清洗效果在众多清洗方法中最佳，但同时会产生气泡可能会对晶圆造成损伤，为了克服此难关许多大厂分别基于兆声波清洗法进行技术延申开发。
- **设备优点：**设备尺寸小且占地小、拥有极高的制程环境控制能力和精密的污染物去除力、不同清洗制程不污染或不影响制程，可在同一腔室内完成、符合先进制程的工艺精密度和调用弹性。
- **设备缺点：**单一晶圆制程的产能较低、设备的设计复杂度较高，若控制制度出现问题存在对晶圆产生损伤的可能。

资料来源：ACMR、集成电路专用设备、华西证券研究所

## 批量式湿法清洗设备——多槽式法为例



- **多槽式清洗设备原理：**多槽式设备属于沉浸式清洗法，依照化学品属性配置多个化学反应槽，系统会按照不同的清洗配方程式将一次批量晶圆片（晶舟）传送至指定的槽内清洗。晶舟一次批量一至二个晶舟，每个晶舟可以容纳25片的晶圆。在清洗过程中保持槽内化学溶剂的浓度、化学品混合比例、槽内的加热温度等参数，是设备工艺关键。
- **设备优点：**节省化学品用量，由于批量清洗，单片晶圆的清洗成本较低、连续清洗速度快，批量清洗使得晶圆清洗速度快。
- **设备缺点：**体积庞大占据价格昂贵的洁净室面积、价格昂贵且系统复杂、酸槽溶液容易越洗越脏，发生交叉污染、酸槽的酸碱度容易改变、清洁工艺不稳定、清洁精密度较差。

资料来源：清洗设备制程、华西证券研究所

# 单晶圆清洗市场占比80%，兆声波为未来技术趋势

单晶圆清洗设备适用于28nm以下的先进制程，市场占比达80%，随着晶圆厂往先进制程推进，单晶圆清洗设备的市场份额将持续上升。

- 兆声波法有望成为20nm以下主要清洗技术。目前市场主流的半导体清洗设备技术主要为两种：（1）喷雾清洗法（2）兆声波清洗法。其中，兆声波法的清洗效果较好，若能克服晶圆损伤的难关可望应用于20nm以下的先进制程芯片。

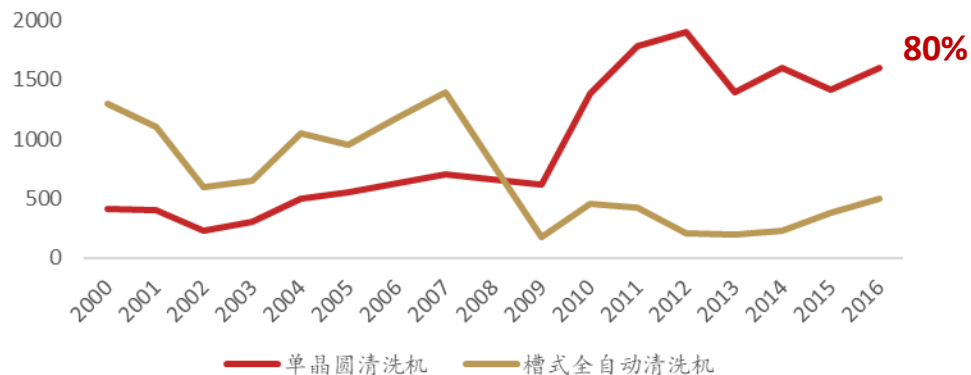
## 单晶圆清洗设备的技术种类

设备	清洗方式	可应用环节
单晶圆形式清洗设备 (喷雾、兆声波)	旋转喷淋、化学溶液兆声波辅助清洗	全生产流程中，比如扩散前清洗、栅极氧化前清洗、外延清洗、CVD前清洗、氧化前清洗、光刻胶清除、多晶硅清除和刻蚀环节等
槽式自动清洗设备	溶液浸泡	全生产流程中
超声波清洗设备	超声清洗	半导体前道各阶段
洗刷台	旋转喷淋、机械擦拭	锯晶圆、晶圆磨薄、晶圆抛光、研磨、CVD等
晶圆盒清洗设备	机械擦拭	晶圆盒清洗
等离子体清洗设备	等离子体清洗	光刻胶去除

- 兆声波法在先进制程清洗精度高，若能克服技术难关可望成为主流技术：单晶源清洗设备主流分为两个技术线（1）喷雾清洗法；（2）兆声波清洗法，国际大厂的技术线以喷雾法为主。根据半导体行业数据，兆声波法的芯片清洗效果优于喷雾法，但是在30nm以下制程容易造成晶圆损坏，导致大厂转为喷雾法为主，ACRM目前开发出用于三维结构芯片的兆声波清洗设备TEBO，不会造成气泡破裂导致晶圆损坏，有望在14nm以下制程重新掌握技术主导权。

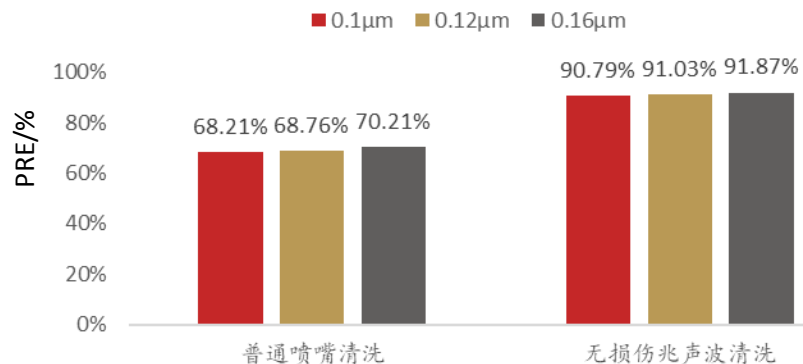
资料来源：半导体污染物及杂质清洗技术、华西证券研究所

## 单晶圆清洗设备至40nm技术节点开始占据主流市场



资料来源：前瞻产业研究院、华西证券研究所

## 兆声波法的污染物清洗效果显著优于喷雾法（40nm）



资料来源：半导体污染物及杂质清洗技术、华西证券研究所

# 国际VS国内：SCREEN技术全球领先，国产盛美达标国际水平

SCREEN的清洗设备技术全球领先，LAM和TEL次之；国产方面：盛美半导体为国内单晶圆清洗设备领航者，北方华创也已推出单晶圆设备紧追在后。

- 国际刻蚀设备商：SCREEN的清洗设备技术水平全球领先，产品应用领域涵括半导体和各种精密工业制造的清洗解决方案，是全球的清洗技术领航者。
- 国产刻蚀设备商：盛美半导体是国内具备领先供应于12寸晶圆厂的单晶圆式清洗设备供应商，产品已经在中芯国际、长江存储、华虹集团等国内28nm产实现量产，14nm先进制程也在验证中。我们预期，公司有机会通过TEBO设备的兆声波清洗技术突破，持续提升市场份额。

清洗设备：国际和国内主要厂商



国际厂商

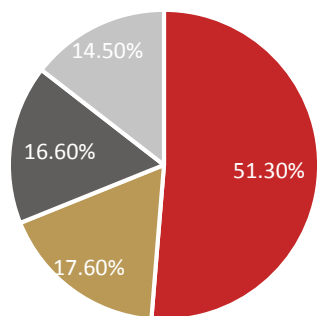
国内厂商

国产清洗验证通过情况：清洗设备可望实现大量国产化

应用名称	验证情况	应用比重	国产公司
清洗—单片	量产	13.20%	盛美
清洗—多片	研发	14.10%	北方
光刻胶去除	验证	21.60%	盛美
后端刻蚀后清洗	量产	13.50%	盛美/北方
总计		62.40%	

资料来源：必联网，华西证券研究所

SCREEN占据一半市场，前三大市场份额合计占比86%



■ SCREEN ■ LAM ■ TEL ■ 其他

资料来源：SEMI、华西证券研究所

2019年长江存储64层3D NAND已采购：18台盛美2台北方的清洗设备

盛美半导体清洗设备在2019年长江存储已采购清洗设备占比达20%，接近SCREEN的占比约30%；盛美已经实现清洗设备的大规模国产化。

中标公司	分类	具体设备	数量
盛美半导体	清洗设备	单晶圆式清洗设备用于各种制程	18
北方华创	清洗设备	制程挡控片回收清洗机	2

资料来源：必联网，华西证券研究所



# 国际：SCREEN为半导体领域技术领先的全球清洗设备龙头

SCREEN（迪恩士）是全球领先的日本清洗设备供应商，基于自身表面处理的技术基础，横向扩展半导体设备种类，更向外跨足其他应用领域的设备。

- 2018年公司营业收入32.01亿美元，净利润2.6亿美元，为全球第六大的半导体设备商。
- 发展机遇一：1868年成立，投入半导体技术研发超50年，在近40年间专注于半导体设备研发，其中清洗设备技术全球领先，明确公司优势领域。
- 发展机遇二：围绕表面处理技术扩展各种晶圆表面处理制程，其中包括清洗、湿法刻蚀、量测、涂胶显影和烘烤设备，形成多元化半导体设备商。
- 发展机遇三：成立四大事业群拓展公司业务版图。公司四大业务包括：半导体设备、图像处理设备、液晶显示设备、PCB印刷电路板设备。

## SCREEN的单晶圆式清洗设备



> SU-3300  
Single Wafer Cleaner



> SU-3200  
Single Wafer Cleaner



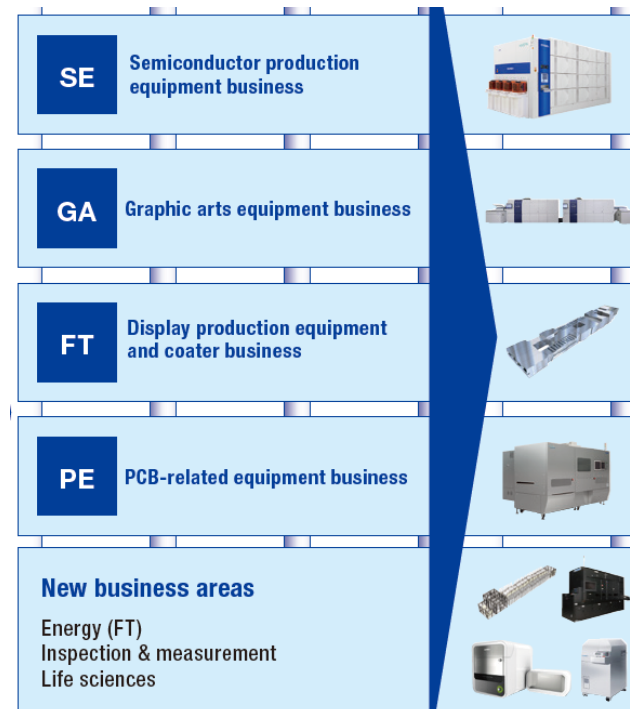
> SU-3100  
Single Wafer Cleaner



> SU-2000  
Single Wafer Cleaner

资料来源：SCREEN、华西证券研究所

## SCREEN具备四大事业群

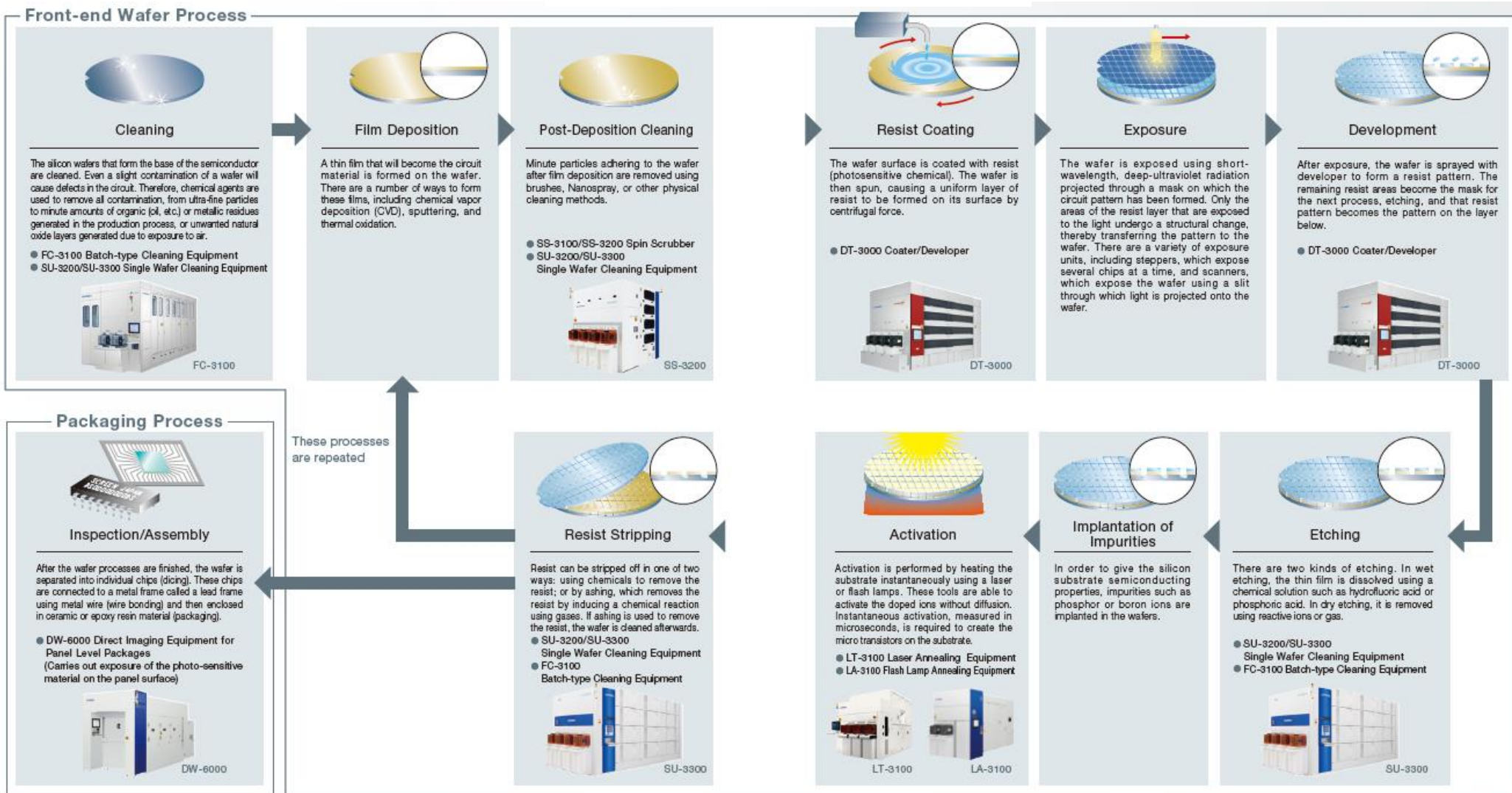


资料来源：SCREEN、华西证券研究所

# SCREEN: 半导体领域技术领先的全球清洗设备龙头

SCREEN以全球领先的湿法表面处理技术为核心，发展清洗/湿法刻蚀/检测/涂胶显影/烘烤等其他前道设备，形成丰富产品线。

## SCREEN用于半导体制程的设备产品





# 国内：盛美半导体清洗技术领先，受益于国产化快速增长

盛美半导体（ACMR）是国内领先的单晶圆式清洗设备供应商，目前具备三大产品线，在国内28nm产线实现量产，14nm正在大规模验证中。

- 盛美具备实力雄厚的技术团队，获得国家大基金重点支持：盛美半导体成立于1998年美国硅谷，由国家千人计划专家王晖博士和清华校友所组成。公司在经历过前期的探索期后于2007年专注于半导体清洗设备的研发，盛美为国家大基金一期的投资标的，预计大基金二期将加大投资。
- 盛美基于自主研发，不断推出技术创新的清洗设备：2009年开发出SAPS设备基于兆声波技术解决了传统清洗均匀度较差的问题，延续了兆声波清洗技术发展。2016年公司开发出TEBO基于无损伤的兆声波技术解决了晶圆划伤的难题，2019年公司推出Ultra结合槽式和单晶圆清洗设备

## SCREEN的单晶圆式清洗设备



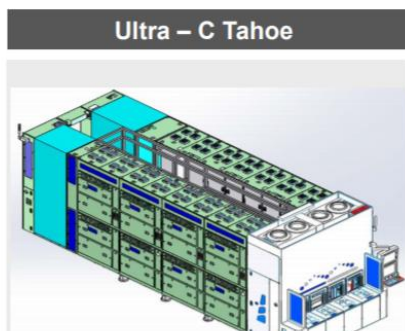
二维结构兆声波清洗

SAPS清洗设备是营收主力产品，应用于300-45nm制程的平坦的或者图案深宽比较低的晶圆表面，且相比传统的兆声波和喷雾法有更好的清洗效果，主要用于2维结构的芯片图形。



三维结构兆声波清洗

TEBO能实现1xnm甚至更小制程的传统2D和先进的3D结构（深宽比最高可达60）的表面及内部无损清洗，目前产品已经在国内多家晶圆厂的产线验证中。

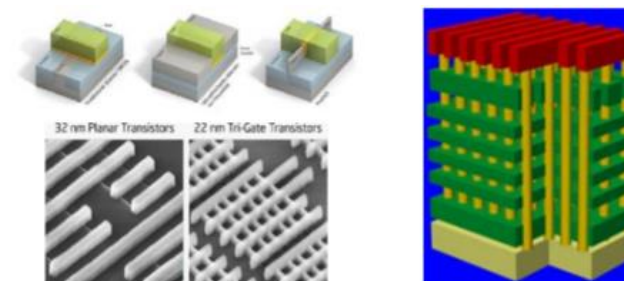


槽式结合单晶圆清洗

Ultra C Tahoe清洗设备在单个湿法清洗设备中集成了两个模块。在槽式模块中，与单片SPM清洗相比，至少可减少80%的硫酸废液排放槽式清洗之后，晶圆将在湿润状态下，被传至单片模块进行进一步先进清洗制程。

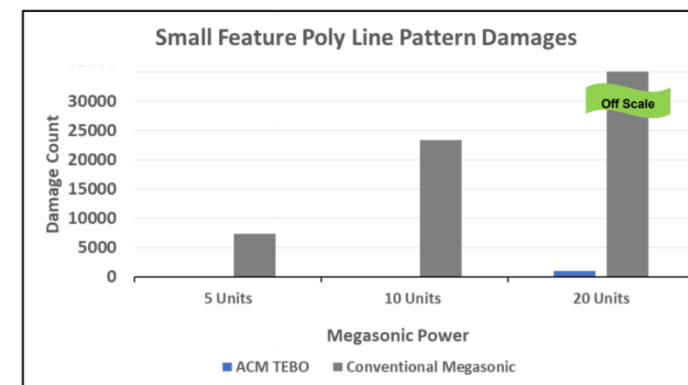
资料来源：SCREEN、华西证券研究所

## 先进制程的3维结构芯片将成为未来趋势



资料来源：SCREEN、华西证券研究所

## TEBO清洗时造成的图形损伤显著优于传统清洗方法



资料来源：SCREEN、华西证券研究所

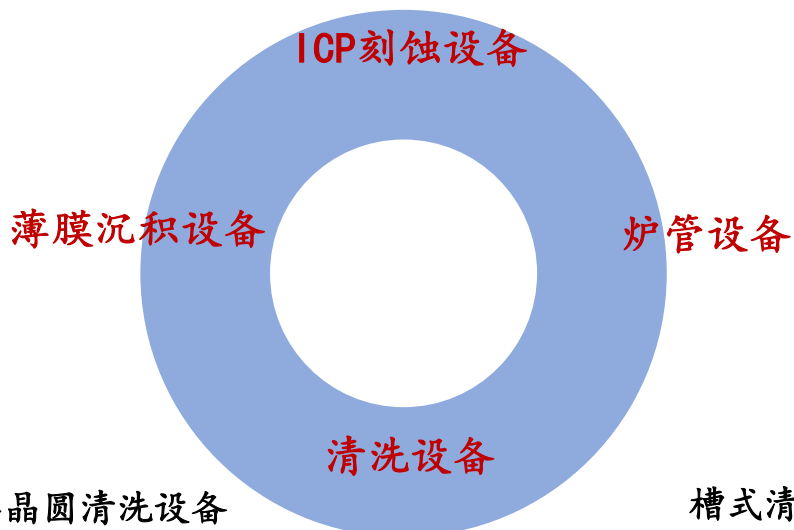


# 国内：北方华创并购Akrion提升清洗设备技术实力

北方华创清洗设备产品先丰富，涵盖单晶圆式和槽式清洗设备，可应用于集成电路、光通信器件、LED等多元领域。

- **单晶圆式清洗设备**：北方华创的单晶圆式清洗设备为Saqua系列，具备兆声波和喷雾式两种清洗技术，可应用于12寸晶圆的90-28nm集成电路领域和中低端的先进封装、LED、光通信器件等领域。Saqua系列设备已经在2016年通过65nm至40nm的大生产工艺验证，实现产线流片50万片，且具备技术节点向下延申的能力。2017年公司Saqua系列产品获得二次中芯国际28nm铜互连工艺的清洗设备订单，成功实现清洗设备向先进制程突破。
- **槽式清洗设备**：北方华创的槽式清洗设备为Bupre、Bcube等系列，具备多槽式和单槽式两种技术，可应用于8寸和12寸晶圆的各个应用领域。

北方华创ICP刻蚀设备是其四大核心前道设备之一



兆声波单晶圆清洗设备



喷雾单晶圆清洗设备



槽式清洗设备



资料来源：北方华创、华西证券研究所

北方华创PVD/CVD设备应用于多项领域



集成电路



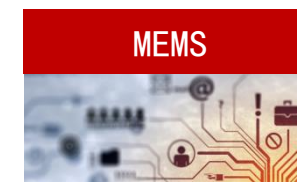
先进封装



LED



功率器件



MEMS



光通信器件

资料来源：北方华创、华西证券研究所

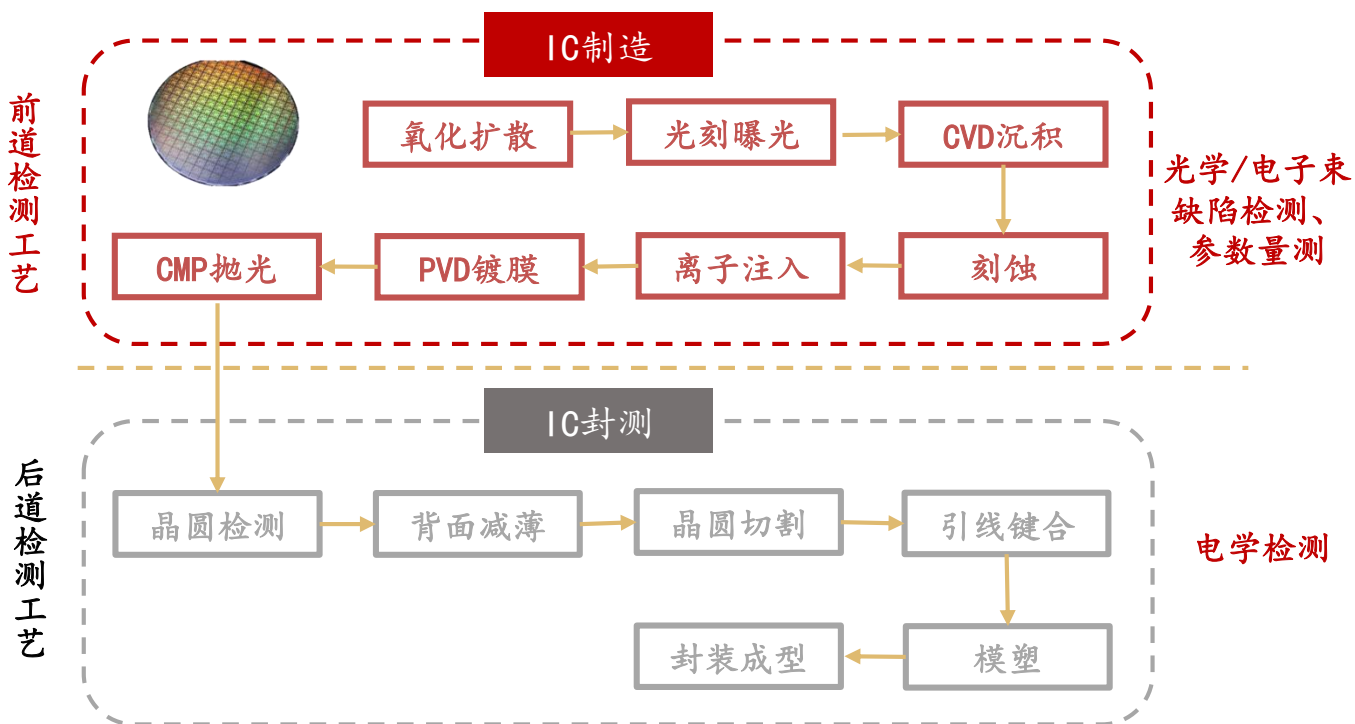
- 半导体前道设备的价值为何？
- 国产前道设备商迎来机遇——国内下游制造密集扩产、国产设备技术成熟
- 九类前道设备——国产商最具潜力的领域：刻蚀、CVD、PVD、清洗、量测
  - 一、光刻机：技术最难的曝光工艺，完成芯片设计图形转移
  - 二、刻蚀设备：多重图形刻蚀工艺，雕塑芯片往10nm以下微缩
  - 三、CVD设备：多重图形沉积工艺，堆叠芯片多层结构
  - 四、PVD设备：金属化沉积工艺，实现芯片导线互连
  - 五、离子注入设备：离子掺杂工艺，激活芯片生命力
  - 六、CMP研磨设备：化学机械抛光工艺，芯片结构平整化
  - 七、炉式设备：热处理工艺，芯片的氧化/扩散/退火
  - 八、清洗设备：清除各种污染物，提升芯片良率
  - 九、量测设备：优化各前道制程工艺，提升芯片良率
- 重点推荐：国产前道设备标的

# 量测设备：前道制程质量优化，全球市场份额每年近480亿元

量测设备用于前道检测，贯穿芯片制造各道工艺环节进行质量控制和优化，确保芯片的质量和性能符合产品设计标准。

- 检测设备可分为前道制造、后道封测两大应用领域：（1）前道检测（IC制造中的质量把控）：通过光学/电子束检测IC制造过程中，各个工艺造成的芯片缺陷和工艺成功是否达到参数要求；（2）后道检测（IC制造完成后的检测封装）：通过电学测试芯片效能，在芯片出货前做最后把关。
- 前道检测设备（量测设备）的技术难度和设备含金量高于后道检测设备。在IC制造前道工艺中，从氧化扩散开始至光刻、CVD、刻蚀、离子注入等各个环节会进行各种化学和物理反应，在芯片制造的技术节点精密度达纳米级情况下，任何一个环节出现技术不精确或外在环境污染等因素都会形成芯片缺陷，导致产品良率降低甚至是大规模的芯片报废。因此，有别于后道检测设备，前道检测设备在缺陷检测和参数量测的标准皆比后道检测设备更为严苛。

量测设备：用于前道IC制造的缺陷检测、参数量测



检测设备分为前道检测和后道检测两种

制程工艺	主要技术	主要应用	细项设备	下游客户
前道检测	光学、电子束检测和量测	缺陷检测：识别芯片的杂质颗粒、晶粒划伤、图形偏误等缺陷 参数量测：确保芯片尺寸、材质符合工艺要求	电子显微镜、探测显微镜、椭偏仪、四探针等设备	晶圆制造厂
后道检测	电学检测	CP测试：封装前芯片电性册数 FT测试：封装后芯片的性能测试	探针台、测试台等设备	晶圆封测厂

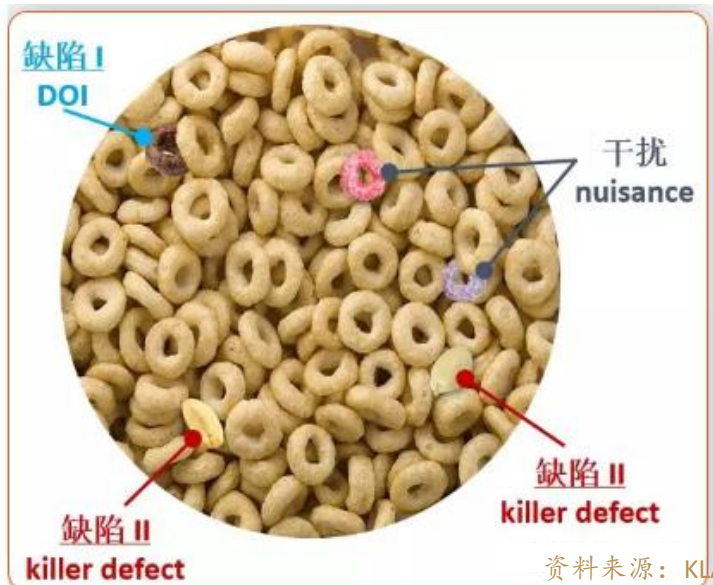
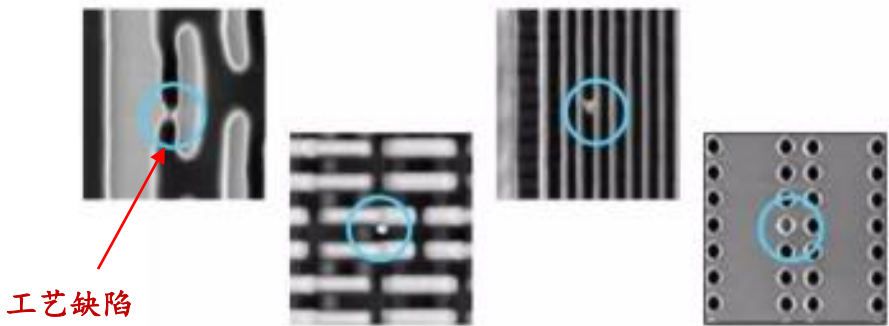


# 量测设备：检测电晶体缺陷，确保前道制程质量达标

量测设备主要可分为“缺陷检测、参数量测”两种，分别用于芯片前道制程的“错误修正、质量控制”，在芯片质量把控上的地位相当关键。

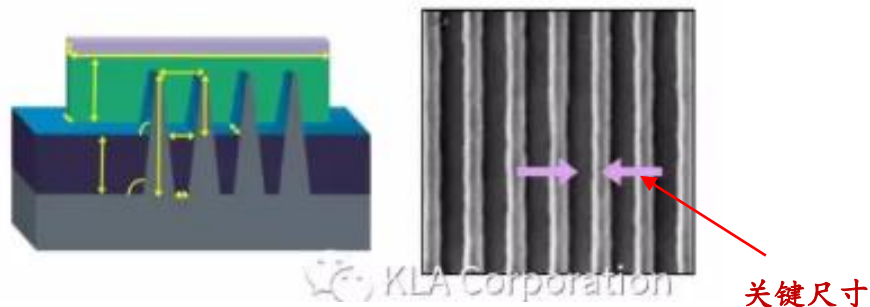
- **缺陷检测**：检视芯片制造各道工序中，制作出的电晶体是否存在残缺品，筛选出缺陷电晶体和杂质污染物，避免芯片整体性能受拖累而受损。
- **参数量测**：检视芯片在光刻套刻、刻蚀均匀度、离子参杂浓度、化学沉积薄膜厚度/密度等制程，确保各道工序是否符合设计要求，保障制造高水平。

缺陷检测：检测电晶体的制造缺陷



资料来源：KLA、华西证券研究所

参数量测：确保芯片工艺符合质量要求

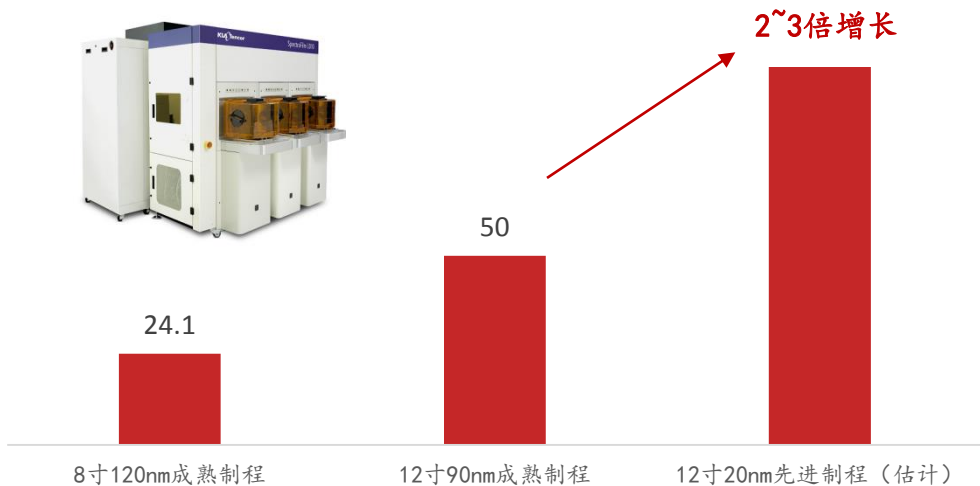


资料来源：KLA、华西证券研究所

# 量测设备：前道检测工艺随着芯片精度提升而大幅增长

•量测设备是提升先进制程芯片良率的关键：先进制程芯片微缩 → 芯片的结构/工艺/材料复杂化 → 需要更精密、更精密的量测技术和更多的设备。

量测设备在晶圆厂需求量大幅增长—对应产能（10K/M）

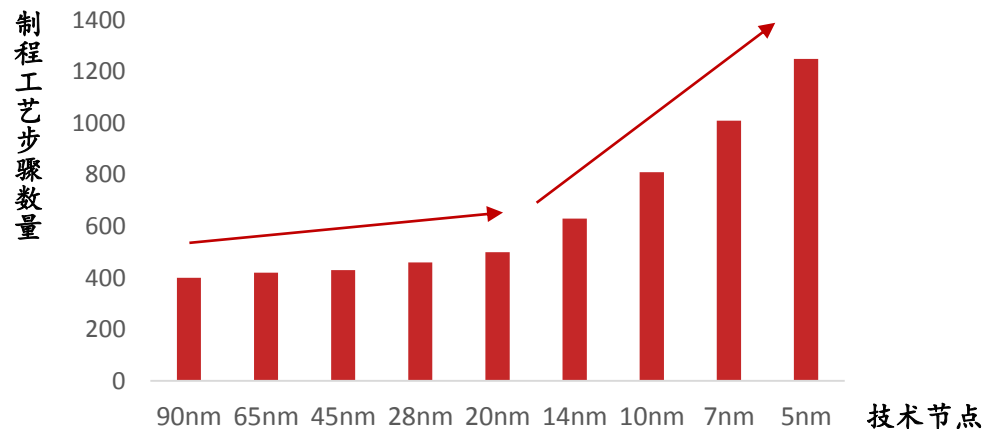


- 量测是提升芯片良率的关键，制程工艺变多即需更多量测进行控制：制程步骤增加和良率损失累计的特点，晶圆厂必须降低每个步骤的缺陷率才能实现同样的最终良率，为了提高对整体制程的把控，量测设备需要对各个工艺环节进行采样，当工艺数量变多且变得更为复杂，既需要对应的量测设备采样对制程进行风险控制。
- 量测设备充足覆盖完整制程工艺，即可通过控制变量提升芯片良率

备注：图中8寸120nm成熟制程和12寸90nm成熟制程的量测设备数量来源于中芯国际的晶圆厂规划需求量；12寸20nm先进制程是按照行业专家估计，有鉴于各晶圆厂制程工艺有所不同，量测设备数量也有所不同，数据仅供参考

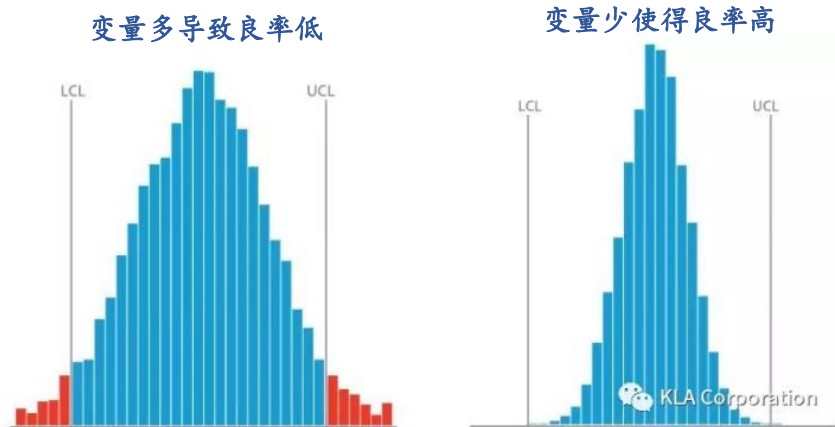
资料来源：中芯国际、KLA、华西证券研究所

先进制程芯片相较于成熟制程芯片工艺数量成倍数提升



资料来源：、KLA、华西证券研究所

量测设备通过控制变量提升芯片良率



资料来源：、KLA、华西证券研究所

# 量测设备：需对应各种制程工艺，设备种类繁多

量测设备的技术和应用复杂且多样，主要应用于光刻、刻蚀、氧化/薄膜沉积、CMP四个主要的前道制程环节。

- 量测设备可分为八类设备，主要以光学检测技术为核心：晶圆制造的核心在于芯片上的成膜厚度和均匀度、图案的精确程度等参数，由于各家晶圆厂所用的工艺不同，前道检测设备一半需要针对制程工艺进行客制化，使得量测设备种类较为繁杂。其中，应用领域主要可分为主要八类设备：厚膜量测设备、光学OCD设备、形貌测量设备、掩模板测量设备、套刻误差测量设备、五图形晶圆检测、有图形晶圆测量设备、电子束测量设备。
- 光刻、刻蚀、薄膜沉积、CMP的四个工艺决定了芯片中电晶体的图形和微观结构，是量测设备主要应用领域。

量测设备主要类型和应用

设备种类	设备细分	量检测应用	功能细分	量检测原理
量测工艺 (参数量测)	厚膜量测设备 光学OCD设备	透明薄膜 不透明薄膜	椭偏仪器 四探针	通过测量反射光和电阻 计算透明和不透明薄膜 的厚度
		膜应力	原子力显微镜、 扫描电子显微镜	测量衬底形变借此计算 膜应力
	形貌测量设备 掩模板测量设备 套刻误差测量设备	参杂浓度	热波系统	注入的杂质离子产生的 晶格缺陷会改变硅片表 面入射光线的反射率
		关键尺寸	扫描电子显微镜	利用电子束对样品进行 成像
检测工艺 (缺陷检测)	无图形晶圆检测 有图形晶圆检测 电子束检测设备	套准精度	相干探测显微镜	干涉图形借此分辨出图 形内部的结构
		晶圆表面缺陷	光学显微镜  扫描电子显微镜	通过对比晶圆表面散射 光的信号发现缺陷位置  利用电子束对样品进行 成像

资料来源：半导体行业观察、华西证券研究所

前道制程中需要量测设备把控的环节

	注入	扩散	薄膜	抛光	刻蚀	曝光
	金属 电解质					
膜厚		√	√	√	√	√
方块电阻	√	√	√			
膜应力		√	√	√		
折射率		√	√			
参杂浓度	√	√				
无图形 表面缺陷	√	√	√	√	√	
有图形 表面缺陷					√	√
关键尺寸 (CD)					√	√
台阶覆盖				√	√	
套刻标记						√
电容-电压特 性		√				
接触的角度						

资料来源：半导体行业观察、华西证券研究所

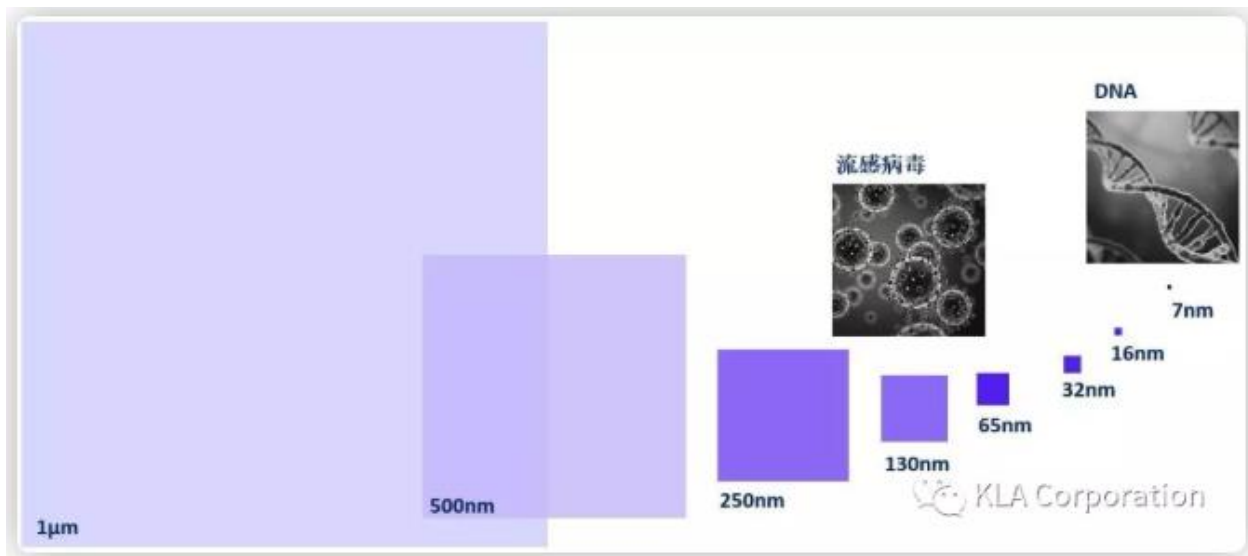


# 量测设备：先进制程推进下，检测技术稳定性成为竞争关键

前道检测技术至10nm以下将需要新的检测技术和设备，检测技术的先进性和稳定性获得客户认可将是竞争力关键。

- 检测技术获得客户认可是量测设备的竞争关键：量测设备有别于前道制造设备，其功能为了降低损失风险并提升芯片生产效益，虽然量测设备的技术相较于前道制造设备较低，但是每一个制程的检测工艺都皆不能有差错，否则会显著影响芯片的成败。因此，量测设备通常需要客户长期验证，凭借设备稳定的表现和精度的测试能力获得客户认可。
- 芯片的结构/工艺/材料复杂化，推动量测技术持续发展：制程微缩和三维结构对于量测设备精确测量芯片的图案尺寸、薄膜厚度、层间对齐、图案位置、表面形貌和电光特性带来新的挑战，同时也推动量测技术持续发展。

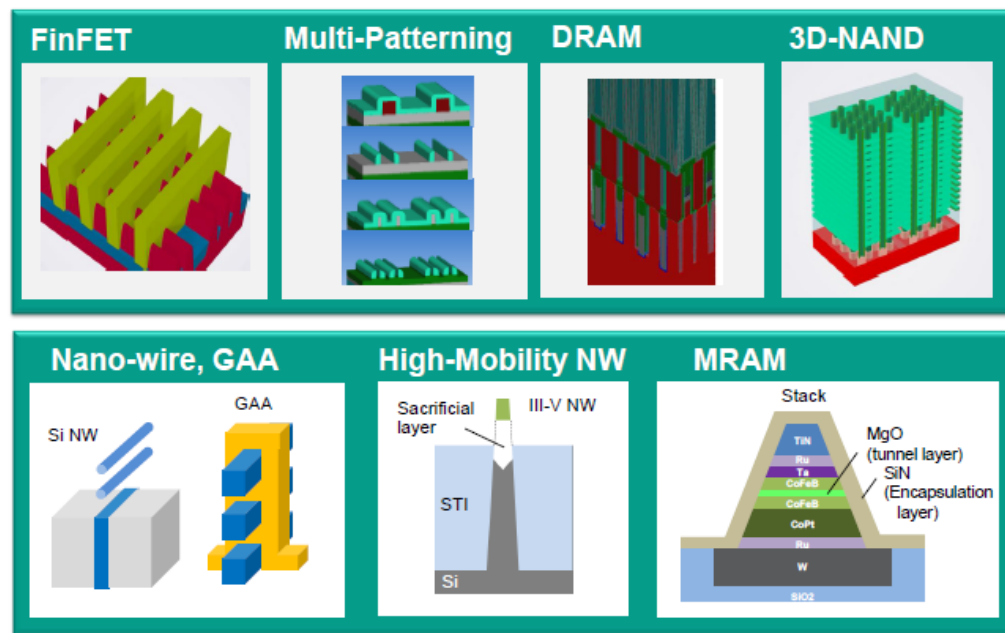
## 量测设备发展：制程微缩使得芯片更加精密



图形尺寸并非实际大小，仅为示意图：头发100微米，肉眼可见最小约10微米

资料来源：KLA、华西证券研究所

## 量测设备发展：芯片三维结构和新材料



资料来源：Hitachi、华西证券研究所 125

# 国际VS国内：KLA量测技术全球领先，国产量测设备潜力大

KLA的量测设备技术全球领先，AMAT和日立次之；国产方面：上海睿励、中科飞测、精测电子皆已成功量产了各细分领域的量测设备。

- 国际刻蚀设备商：KLA为全球光学检测设备技术龙头，拥有广泛的产品线应用于集成电路各领域，已经形成了从检测到制程提升的完整解决方案。
- 国产刻蚀设备商：上海睿励专注于集成电路用光学检测设备研发，具备国内技术领先的介质薄膜检测技术，产品已经打入三星的先进制程存储芯片产线。中科飞测和精测电子基于自身的后道封测设备基础，扩展业务至前道量测设备，其中，精测电子已开始进入收获期，量测设备业务逐渐增长。

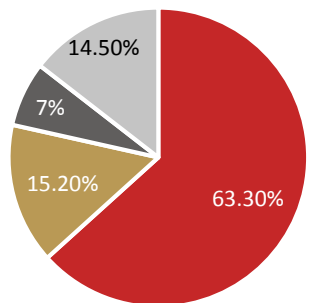
## 量测设备：国际和国内主要厂商



国际厂商

国内厂商

KLA几乎垄断市场，前三大市场份额合计占比86%



■ KLA ■ AMAT ■ Hitachi ■ 其他

资料来源：SEMI、华西证券研究所

## 国产量测设备逐渐打进长江存储64层 3D NAND产线

2019年长江存储已采购量测设备  
 精测电子量测设备占比达4%  
 中科飞测量测设备占比达1%  
 上海睿励量测设备占比达2%

中标公司	分类	具体设备	数量
精测电子	量测设备	集成式厚膜光学关键尺寸量测仪	3
精测电子	量测设备	产品级高温老化测试机	5
中科飞测	量测设备	光学表面三维形貌量测设备	2
中科飞测	量测设备	晶圆表面凹陷检测系统	1
上海睿励	量测设备	介质薄膜测量设备	2

备注：中标设备数据系长江存储招投标公开信息，统计至2019年12月底

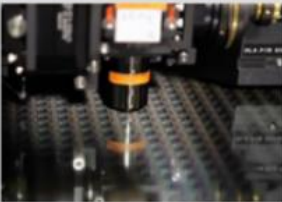
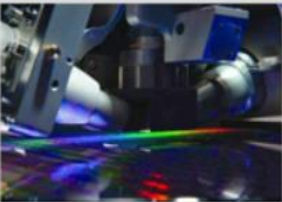
资料来源：必联网、华西证券研究所

# 国际：KLA全球技术领先的半导体前道量测设备龙头

KLA（科天半导体）是全球领先的量测设备供应商，检测设备涵盖的半导体全产业链，从硅片检测到前道制程的线宽量测，皆处于业界的领先水平。

- 2018年公司营业收入40.36亿美元，净利润8.02亿美元，为全球第五大的半导体设备商。
- 发展机遇一：1976年成立，KLA发现早期半导体制造工艺良率过低的机会（不到50%），切入半导体制造商提升良率的痛点，开启前道检测业务。
- 发展机遇二：1978年公司首先推出集成电路制造图形自动检测设备，将芯片制造的光刻效率从8小时提升至15分钟，实现制造商的降本增效。
- 发展机遇三：1997年并购Tencor补足公司的短板，正式坐稳全球量测设备龙头。在并购前KLA专注于缺陷检测设备，Tencor则专注于参数量测设备。

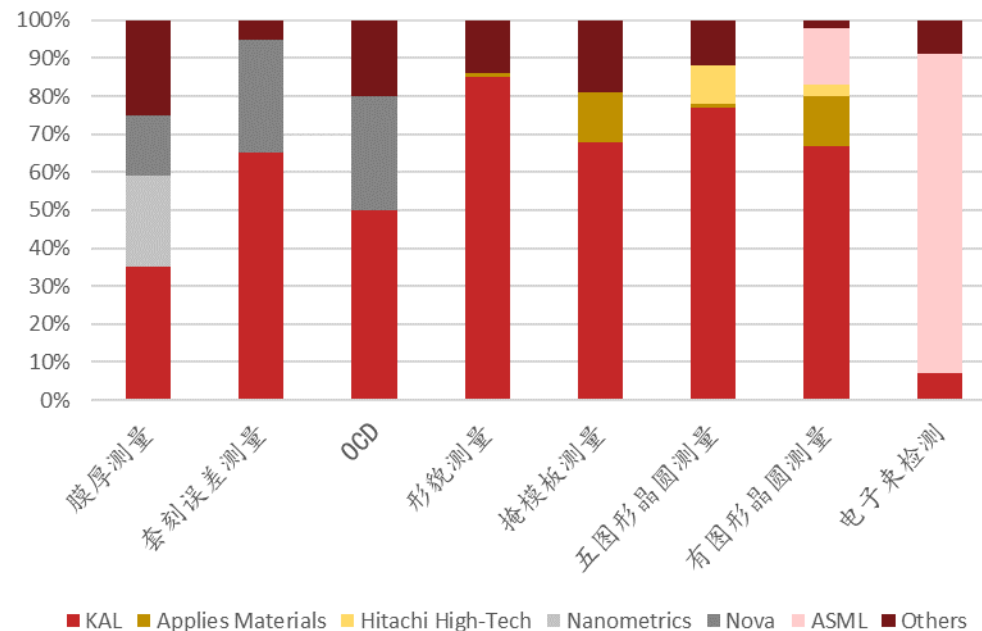
## KLA的量测设备产品线齐全

缺陷检测	参数量测
	
#1 in Wafer Inspection	#1 in Metrology
#1 in Mask Inspection	
#1 in Packaging Inspection	



资料来源：KLA、华西证券研究所

## KLA在七种量测设备占据主要市场份额



资料来源：KLA、华西证券研究所



# 国内：上海睿励专注光学量测设备，厚膜检测技术领先

上海睿励是国内专门从事前道检测设备研发、生产和销售的半导体设备商，国家大基金一期持股12%，大基金二期在2019已经持续加大投资。

- 发展机遇一、国家大基金二期重点投入量测设备，公司是国内领先光学厚膜量测设备的领头羊，已获得大基金二期的重点支持。
- 发展机遇二、2015-2019年公司厚膜量测设备连续进入三星电子、武汉新芯、长江存储、华虹集团的晶圆制程产线，显示公司技术逐渐获得认可。
- 发展机遇三、公司获得中微公司投资股权占比10%，中微公司的入股可望为上海睿励带来协同效应，提升公司的发展速度和产品竞争力。

## 上海睿励的光学厚膜检测设备

**TFX3000**



**TFX3000 OCD**



型号	TFX3000	TFX3000 OCD
设备类型	全自动光学厚膜检测	光学关键尺寸和形貌测量系统
应用领域	包括刻蚀、CVD、光刻、CMP研磨等工艺段的测量，能准确确定半导体制造工艺中的各种薄膜参数和细微变化（如膜厚，折射率，应力等）	除具有300mm自动光学膜厚测量能力外，还可以进行显影后检查、刻蚀后检查等多种工艺段的二维或三维样品的整体形貌测量。

## 上海睿励自主研发的量测设备打入三星产线



- 睿励科学仪器（上海）有限公司国内外申请具自主知识产权的各种类型的专利90余件，其中获得授权国内发明专利11件，授权国际专利5件，软件著作权登记22件。
- 上海睿励现有职工近百人：其中留学生技术和管理团队有16人（其中9名骨干员工均系90年代或之前在美国获博士学位，在海外长期从事相关工作的国际工人的一流专家。）开发团队共有博士20余名，硕士30余名，本科30余名。睿励公司研究生以上学历员工超过总员工人数的60%。

- 半导体前道设备的价值为何？
- 国产前道设备商迎来机遇——国内下游制造密集扩产、国产设备技术成熟
- 九类前道设备——国产商最具潜力的领域：刻蚀、CVD、PVD、清洗、量测
  - 一、光刻机：技术最难的曝光工艺，完成芯片设计图形转移
  - 二、刻蚀设备：多重图形刻蚀工艺，雕塑芯片往10nm以下微缩
  - 三、CVD设备：多重图形沉积工艺，堆叠芯片多层结构
  - 四、PVD设备：金属化沉积工艺，实现芯片导线互连
  - 五、离子注入设备：离子掺杂工艺，激活芯片生命力
  - 六、CMP研磨设备：化学机械抛光工艺，芯片结构平整化
  - 七、炉式设备：热处理工艺，芯片的氧化/扩散/退火
  - 八、清洗设备：清除各种污染物，提升芯片良率
  - 九、量测设备：优化各前道制程工艺，提升芯片良率
- **重点推荐：国产前道设备标的**

# 前道设备国产化收益公司一览

细分领域	国内受益公司
炉式设备	北方华创、屹唐半导体
光刻机	上海微电子
刻蚀设备	中微公司、北方华创、屹唐半导体
CVD设备	沈阳拓荆、北方华创、中微公司
PVD薄膜沉积设备	北方华创
离子注入机	中科信
CMP研磨设备	华海清科
清洗设备	盛美半导体、北方华创
量测设备（前道检测）	上海睿励、精测电子、中科飞测
晶圆制造设备	晶盛机电



# 北方华创：双结构化产业机遇，由大做强倍显张力

## ►双重结构化产业机遇，本土设备需求持续旺盛

在全球半导体产业进入弱周期化发展的背景下，中国大陆在双重结构化机遇下，产业具备显著的跨周期发展属性，这对核心设备材料的需求拉动是独树一帜且持续的，①**产品需求结构化**：手机和各类IoT终端等存量巨大的电子产品核心芯片替代率仍旧较低，制造节点配套和升级需求持续旺盛，同时，存储器（长江存储/合肥长鑫等）、功率器件（华虹集团/北京燕东等）和通用代工（中芯国际/台积电等）等量产导入迎来“础润而雨”的战略机遇期；②**区域发展结构化**：资本开支和需求结构化综合拉动大陆区域持续稳健高速增长，WSTS数据显示，2013~2018年大陆半导体产业规模年均复合增长率约11%，是唯一持续实现2位数增长的区域，且其他次快区域复合增长率均不足2%。

## ►龙头企业细分国产化，由大做强具备持续壮大获利空间

全球设备公司均呈现出先做大再做强的发展路径，本土跨周期发展属性给予公司发展多维度红利，①**预计2022年之前大陆区域产线资本开支仍处全球主导地位**（SEMI预估占比约42%），公司规模/品类/应用等多方面处龙头地位，已具备细分设备显著配套优势，客户资源稳固；②**公司主力客户作为头部制造和IDM企业具备较强规模再投入，以及制程先进再提升等特点，提质扩容或迎持续高峰**（规划产能到实际产出的逐步兑现过程）；③**未来渗透率高位稳固之后，有望类比海外龙头**（应用材料等）通过售后配套等综合服务，获得稳定增长现金流，整个过程持续增长空间巨大。

## ►核心产品线比较优势明显，国产化率具双重提升可能

在国内设备公司产品相对有限的背景下，公司现有核心半导体前道设备已涵盖，物理气相沉积、刻蚀、清洗和立式炉等（占据八大类设备品类中的4种），且均在国内处于前两位位置，覆盖相对全面；伴随12英寸90-28nm节点之后，导入量产16/14nm设备，积极推进7/5nm设备研发，一方面能够全面满足存储、功率半导体和通用代工等国内诸多客户的增/存量需求，工艺升级设备附加值亦将提高；另一方面，通过近年来的高研发投入、核心人员激励、国际人才引进、相对同业更加广泛的客户储备等诸多战略布局举措，有望引领国产设备占比再提升，进而实现前道设备持续高速增长。

## ►风险提示

系统性风险，国内半导体制造商扩产不如预期

# 晶盛机电：国产硅晶圆制造设备的领航者

(华西电子&电新联合覆盖)

## ▶我国12英寸硅片严重依赖进口，亟待突破

中国大陆硅片供应商主要生产6英寸及以下的硅片，通过ittbank统计，目前中国12英寸晶圆厂产能已达46.3万片/月，若包含在建和计划中的产能，12英寸晶圆厂产能可达109.8万片/月。大尺寸硅片对技术要求极高，主要技术壁垒是硅片纯度和良率问题，其纯度需要达到11个9以上(即99.999999999%)；同时大尺寸硅片对切割、倒角、磨削等加工环节工艺要求都很高，国内目前的技术水平还难以达到高良率，很难得到客户认可，而大硅片作为最核心的半导体材料，是我国必须实现自主可控的环节。

## ▶国内8寸硅片龙头厂商

公司半导体单晶硅片产线丰富，从已披露产能规划看，未来将以6-8寸区熔硅及8-12寸直拉硅为主。公司多元化的单晶硅生产规划契合市场发展趋势，直拉硅为市场主流，主要应用为半导体集成电路、二极管、外延片衬底、太阳能电池等，直径呈不断增大趋势，公司已投资建设大直径直拉硅生产基地，在8寸硅片领域公司已经成为国内领先企业，受到下游客户的广泛认可。

## ▶携手无锡政府与晶盛机电，推动30亿美元大硅片产线

2019年上半年，天津工厂8英寸硅片扩产项目已实现设计产能，12英寸试验项目于2月开始产出。宜兴工厂2019年下半年1条8英寸产线投产，12英寸项目预计2019年第四季度实现设备搬入，2020年第一季度开始投产，规划8英寸产能达到75万片/月，12英寸产能达到60万片/月。目前项目进展顺利下游客户已经进入产品验证阶段，预计未来公司有望成为国产大硅片的龙头公司。

## ▶风险提示

系统性风险，国内半导体制造商扩产不如预期。



# 中微公司：半导体国产化浪潮下，刻蚀设备核心受益者

(华西电子&中小盘联合覆盖)

## ▶国家大基金二期重点投资国内刻蚀设备龙头

根据国家集成电路产业基金数据，至2019年9月，国家大基金二期已定调将高强度支持刻蚀机、薄膜设备、测试设备和清洗设备等国内半导体设备龙头企业做大做强。中微公司的刻蚀设备已达到国际技术先进水平，且有望实现大规模进口替代，将是国家大基金二期的重点支持对象。中微公司作为国内少数具备国际竞争力的刻蚀设备龙头将核心受益。

## ▶国内集成电路芯片制造商密集扩产，下游需求逐渐旺盛

2020年半导体行业开始回暖，国内Fab厂已公布的扩产目标中刻蚀设备有千亿元市场空间，国内Fab扩产期可望充实中微公司的未来三年业绩表现，中国未来十年将成为全球半导体制造中心。根据 Gartner 的预测，刻蚀设备市场规模将由 2020 年约 123 亿美元增长至2024 年约 152 亿美元。2019至2020Q1，中微公司在国内重点客户的刻蚀机采购占比，同步工艺验证通过比例一路爬升，按招标阶段市占率分别为15%、19%至27%。根据 DIGITIMES采访讯息，中微公司创始人尹志尧预计，未来在Fab厂刻蚀设备的国产率将达50%，中微公司尚有极大增长空间。我们认为，中微公司将成为国产化浪潮下半导体刻蚀设备的首要受益者。

## ▶刻蚀设备技术水平达标国际，高性价比获得优先采用

中微公司的半导体设备在工艺通过验证、技术水平达标、高性价比的情况下，国产厂商将优先采用。中微公司的刻蚀设备具备高性价比优势，系源自于公司基于国际先进技术水平，开发创新设备的竞争策略。因此，公司刻蚀设备相较于竞争对手可降低30%至50%的生产成本和占地面积。因此，国产厂商采用中微公司的刻蚀设备属于由下至上的进口替代。集成电路制造在每一代制程工艺的迭代下，刻蚀设备价值将提升30%，为中微公司带来长期价值增量空间。摩尔定律未来十年将持续有效，逻辑芯片和存储芯片的制程工艺将越趋复杂，以28nm-7nm的Fab厂为例，每万片晶圆产能所需刻蚀设备从50台增加至近140台，随着制程微缩，刻蚀设备价值量增幅就越大、工艺技术更难，行业壁垒更高，而中微公司最新的7nm/5nm工艺已在台积电Fab厂验证中。

## ▶风险提示

系统性风险，国内半导体制造商扩产不如预期



# 华峰测控：乘国产化之风，产能释放业绩持续增长

(华西电子&机械联合覆盖)

## ▶国内半导体测试设备龙头企业，模拟测试国内市占率近半

公司是国内最大的半导体测试机本土供应商，也是为数不多进入国际封测市场供应商体系的中国半导体设备厂商。公司核心产品STS 8200测试机主要用于模拟IC和功率器件测试，目前订单充足。设备客户认证周期长，粘性高。公司在国产模拟测试机领域市占率近半。公司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。

## ▶外延式布局数模混合测试，将持续受益于国产替代

公司通过IPO募集资金15.1亿元，募投项目进入SoC类测试系统及大功率器件测试系统。数模混合测试是未来的发展趋势，未来的设计和采用也会越来越多，目前此类内产品大多来自进口，未来国产化市场空间较大。公司通过STS 8300测试机布局数模混合测试。STS 8300在STS 8200的基础之上增加了数模混合芯片测试能力，可用于模拟芯片和数模混合芯片，目前已形成盈利，预计2021年后开始大量销售。公司积极布局第三代半导体器件在快充、5G基站、新能源汽车、特高压、数据中心等领域的应用，前景广阔。

## ▶本土设备需求旺盛，中国半导体测试设备市场潜力巨大

这一轮半导体缺货现象，已经从芯片制造及封测端逐渐蔓延至半导体设备及材料领域，芯片行业景气度持续上行导致行业产能紧张。长电、华天和通富三大封测龙头大规模募集资金，未来封测龙头资本开支有望维持高速增长。为满足日益增长的客户需求，公司积极推进天津生产基地的建设，落成后将有效缓解产能问题，产能瓶颈打开，未来盈利有望进一步提高。

## ▶风险提示

系统性风险，国内半导体制造商扩产不如预期

## 风险提示：

**半导体市场需求不如预期：**公司所属半导体设备行业容易受到宏观经济周期性波动、产业政策、国际贸易环境、半导体下游应用情况等因素影响，若上述因素出现不利变化，公司业务的市场需求可能出现波动甚至负增长，公司开拓新客户的难度也可能增加，从而对公司产品的销售规模造成不利影响。

**行业竞争加剧：**在行业内现有竞争格局下，国内公司的主要竞争对手为应用材料、拉姆研究等国际半导体设备商，与其相比，国内公司在资产规模、营业收入规模等方面尚存在一定差距。若国际半导体设备商凭借其资金实力等优势进一步加大研发资源投入、市场推广力度，而国内公司产品无法继续保持较强的进口替代和国际竞争力，将可能导致国内公司产品销售增速乃至全球市场份额下降，从而对盈利能力产生不利影响。

**系统性风险：**宏观环境造成的市场风险，对整个市场产生难以规避的不利影响。

## ※敬请关注系列深度（公众号“远峰电子”），全面覆盖各产业链环节和重点公司

1. 芯时代之一\_半导体重磅深度《新兴技术共振进口替代，迎来全产业链投资机会》
2. 芯时代之二\_深度纪要《国产芯投资机会暨权威专家电话会》
3. 芯时代之三\_深度纪要《半导体分析和投资策略电话会》
4. 芯时代之四\_市场首篇模拟IC深度《下游应用增量不断，模拟 IC加速发展》
5. 芯时代之五\_存储器深度《存储产业链战略升级，开启国产替代“芯”篇章》
6. 芯时代之六\_功率半导体深度《功率半导体处黄金赛道，迎进口替代良机》
7. 芯时代之七\_半导体材料深度《铸行业发展基石，迎进口替代契机》
8. 芯时代之八\_深度纪要《功率半导体重磅专家交流电话会》
9. 芯时代之九\_半导体设备深度《进口替代促景气度提升，设备长期发展明朗》
10. 芯时代之十\_3D/新器件《先进封装和新器件，续写集成电路新篇章》
11. 芯时代之十一\_IC载板和SLP《 IC载板及SLP，集成提升的板级贡献》
12. 芯时代之十二\_智能处理器《人工智能助力，国产芯有望“换”道超车》
13. 芯时代之十三\_封测《先进封装大势所趋，国家战略助推成长》
14. 芯时代之十四\_大硅片《供需缺口持续，国产化蓄势待发》
15. 芯时代之十五\_化合物《下一代半导体材料，5G助力市场成长》
16. 芯时代之十六\_制造《国产替代加速，拉动全产业链发展》
17. 芯时代之十七\_北方华创《双结构化持建机遇，由大做强倍显张力》
18. 芯时代之十八\_斯达半导《铸IGBT功率基石，创多领域市场契机》
19. 芯时代之十九\_功率半导体深度②《产业链逐步成熟，功率器件迎黄金发展期》
20. 芯时代之二十\_汇顶科技《光电传感创新领跑，多维布局引领未来》
21. 芯时代之二十一\_华润微《功率半导专芯致志，特色工艺术业专攻》
22. 芯时代之二十二\_大硅片\*重磅深度《半导材料第一蓝海，硅片融合工艺创新》
23. 芯时代之二十三\_卓胜微《适逢5G代际升级，创领射频主供平台》
24. 芯时代之二十四\_沪硅产业《硅片“芯”材蓄势待发，商用量产空间广阔》
25. 芯时代之二十五\_韦尔股份《光电传感稳创领先，系统方案展创宏图》
26. 芯时代之二十六\_中环股份《半导硅片厚积薄发，特有赛道独树一帜》
27. 芯时代之二十七\_射频芯片《射频芯片千亿空间，国产替代曙光乍现》
28. 芯时代之二十八\_中芯国际《代工龙头创领升级，产业联动芯火燎原》
29. 芯时代之二十九\_寒武纪《AI芯片国内龙头，高研发投入前景可期》
30. 芯时代之三十\_芯朋微《国产电源IC十年磨一剑，铸就国内升级替代》
31. 芯时代之三十一\_射频PA《射频PA革新不止，万物互联广袤无限》
32. 芯时代之三十二\_中微公司《国内半导刻蚀巨头，迈内生&外延平台化》
33. 芯时代之三十三\_芯原股份《国内IP龙头厂商，推动SiPaaS模式发展》
34. 芯时代之三十四\_模拟IC深度PPT《模拟IC黄金赛道，本土配套渐入佳境》
35. 芯时代之三十五\_芯海科技《高精度测量ADC+MCU+AI，切入蓝海赛道超芯星》
36. 芯时代之三十六\_功率&化合物深度《扩容&替代提速，化合物布局长远》
37. 芯时代之三十七\_恒玄科技《专注智能音频SoC芯片，迎行业风口快速发展》
38. 芯时代之三十八\_和而泰《从高端到更高端，芯平台创新格局》
39. 芯时代之三十九\_家电芯深度PPT《家电芯配套渐完善，增存量机遇筑蓝海》
40. 芯时代之四十\_前道设备深度报告《2021年国产前道设备，再迎新黄金时代》



# 谢谢!

华西证券研究所 电子团队

孙远峰

熊军

王海维

王臣复



## 分析师简介

孙远峰：华西证券研究所副所长&电子行业首席分析师，哈尔滨工业大学工学学士，清华大学工学博士，近3年电子实业工作经验；2018年新财富上榜分析师（第3名），2017年新财富入围/水晶球上榜分析师，2016年新财富上榜分析师（第5名），2013~2015年新财富上榜分析师团队核心成员。

熊军：华西证券研究所电子行业分析师，东南大学集成电路专业硕士，英伟达、赛迪顾问等实业工作经验；2019年中国证券分析师金翼奖通信行业第一名，2019年11月加入华西证券研究所。

### 分析师承诺

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，保证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理解，通过合理判断并得出结论，力求客观、公正，结论不受任何第三方的授意、影响，特此声明。

### 评级说明

公司评级标准	投资评级	说明
以报告发布日后的6个月内公司股价相对上证指数的涨跌幅为基准。	买入	分析师预测在此期间股价相对强于上证指数达到或超过15%
	增持	分析师预测在此期间股价相对强于上证指数在5%—15%之间
	中性	分析师预测在此期间股价相对上证指数在-5%—5%之间
	减持	分析师预测在此期间股价相对弱于上证指数5%—15%之间
	卖出	分析师预测在此期间股价相对弱于上证指数达到或超过15%
行业评级标准		
以报告发布日后的6个月内行业指数的涨跌幅为基准。	推荐	分析师预测在此期间行业指数相对强于上证指数达到或超过10%
	中性	分析师预测在此期间行业指数相对上证指数在-10%—10%之间
	回避	分析师预测在此期间行业指数相对弱于上证指数达到或超过10%

### 华西证券研究所：

地址：北京市西城区太平桥大街丰汇园11号丰汇时代大厦南座5层

网址：<http://www.hx168.com.cn/hxzq/hxindex.html>

# 免责声明

华西证券股份有限公司（以下简称“本公司”）具备证券投资咨询业务资格。本报告仅供本公司签约客户使用。本公司不会因接收人收到或者经由其他渠道转发收到本报告而直接视其为本公司客户。

本报告基于本公司研究所及其研究人员认为的已经公开的资料或者研究人员的实地调研资料，但本公司对该等信息的准确性、完整性或可靠性不作任何保证。本报告所载资料、意见以及推测仅于本报告发布当日的判断，且这种判断受到研究方法、研究依据等多方面的制约。在不同时期，本公司可发出与本报告所载资料、意见及预测不一致的报告。本公司不保证本报告所含信息始终保持在最新状态。同时，本公司对本报告所含信息可在不发出通知的情形下做出修改，投资者需自行关注相应更新或修改。

在任何情况下，本报告仅提供给签约客户参考使用，任何信息或所表述的意见绝不构成对任何人的投资建议。市场有风险，投资需谨慎。投资者不应将本报告视为做出投资决策的惟一参考因素，亦不应认为本报告可以取代自己的判断。在任何情况下，本报告均未考虑到个别客户的特殊投资目标、财务状况或需求，不能作为客户进行客户买卖、认购证券或者其他金融工具的保证或邀请。在任何情况下，本公司、本公司员工或者其他关联方均不承诺投资者一定获利，不与投资者分享投资收益，也不对任何人因使用本报告而导致的任何可能损失负有任何责任。投资者因使用本公司研究报告做出的任何投资决策均是独立行为，与本公司、本公司员工及其他关联方无关。

本公司建立起信息隔离墙制度、跨墙制度来规范管理跨部门、跨关联机构之间的信息流动。务请投资者注意，在法律许可的前提下，本公司及其所属关联机构可能会持有报告中提到的公司所发行的证券或期权并进行证券或期权交易，也可能为这些公司提供或者争取提供投资银行、财务顾问或者金融产品等相关服务。在法律许可的前提下，本公司的董事、高级职员或员工可能担任本报告所提到的公司的董事。

所有报告版权均归本公司所有。未经本公司事先书面授权，任何机构或个人不得以任何形式复制、转发或公开传播本报告的全部或部分内容，如需引用、刊发或转载本报告，需注明出处为华西证券研究所，且不得对本报告进行任何有悖原意的引用、删节和修改。