

证券研究报告 | 半导体设备 | 2025年09月27日

科技电子团队·行业深度报告

新工艺新结构拓宽空间，国产厂商多维发展突破海外垄断

分析师

马天翼

登记编号：S1220525040003

王海维

登记编号：S1220525040004

联系人

吴家欢

并购家 免费行业报告网

IPOIPO.CN 每日更新 不用注册会员 无广告 永久免费

- **美国升级出口限制凸显国产化重要性，国产厂商多维发展突破海外垄断。**2024年12月，美国BIS修订了《出口管理条例》，对高深宽比结构、新金属材料等尖端应用所需的薄膜沉积设备实施新的管控。根据SEMI和中国电子专用设备工业协会数据，2023年国内薄膜沉积设备市场规模约479亿元，国产化率低于25%。目前国内薄膜沉积设备厂商主要包括北方华创、拓荆科技、微导纳米、中微公司、盛美上海和晶盛机电等，各厂商发展侧重点不同，共同助力薄膜沉积设备国产化崛起。
- **新工艺新结构拓宽薄膜沉积设备空间，ALD在先进节点及3D结构中应用广泛。**薄膜沉积可分为PVD、CVD和ALD三大类。PVD主要用于金属材料的沉积。CVD主要用于硬掩模等消耗膜层以及介质材料的制备。ALD可大体分为T-ALD和PEALD；其中T-ALD主要沉积金属和High-K材料等膜层，PEALD则主要沉积介质薄膜，多用于多重曝光和STI工艺。
- **逻辑：**1) 随着制程不断微缩，多重曝光技术开始应用，其中需要ALD进行多次的侧墙沉积。2) 28nm及以下节点采用的HKMG工艺将采用ALD沉积栅介质层和金属栅极。3) GAA是3nm以下节点的首选结构，除HKMG仍将采用ALD技术沉积外，内侧墙的制备也需通过ALD进行Low-K材料填充后再进行回刻形成；此外，GAA需通过外延技术生长出Si-SiGe的超晶格结构以及源极和漏极。
- **NAND：**3D NAND层数正不断提高，或将于2030年突破千层。1) ONO叠层需要PECVD进行的超高均匀度制备。2) ALD可满足沟道硅、隧道氧化物、字线钨等高深宽比结构中材料的均匀填充。
- **DRAM：**1) 随着DRAM制程进入2x-nm及以下节点，AA、SNC等结构将采用多重曝光技术进行制备，需ALD进行侧墙沉积。2) 单个电容器尺寸正不断缩小，器件内部沟槽以及深孔的深宽比也越来越大，需采用ALD进行此类结构的填充，如SN孔中High-K电介质叠层沉积。3) 未来3D DRAM结构有望出现，高深宽比结构将大幅增多，显著刺激ALD设备的需求。
- **建议关注标的：**北方华创（PVD实现对逻辑/存储芯片金属化制程全覆盖；CVD实现金属硅化物、金属栅极、钨塞沉积、High-K ALD等工艺设备的全覆盖）；中微公司（正在开发近40种导体薄膜LPCVD/ALD/PVD薄膜沉积设备，已有六款薄膜沉积产品推向市场）；拓荆科技（PECVD实现全介质薄膜覆盖，同时布局ALD、SACVD、HDPCVD、超高深宽比沟槽填充CVD以及混合键合设备）；微导纳米（ALD技术为核心，CVD等多种真空薄膜技术梯次发展）；盛美上海（布局立式炉管设备和PECVD设备）；晶盛机电（8-12英寸减压外延设备、ALD设备）。
- **风险提示：**宏观经济和行业波动风险，下游客户资本性支出波动较大及行业周期性特点带来的经营风险，下游客户扩产不及预期的风险，市场竞争加剧风险，研发投入不足导致技术被赶超或替代的风险，研发方向存在偏差的风险等。

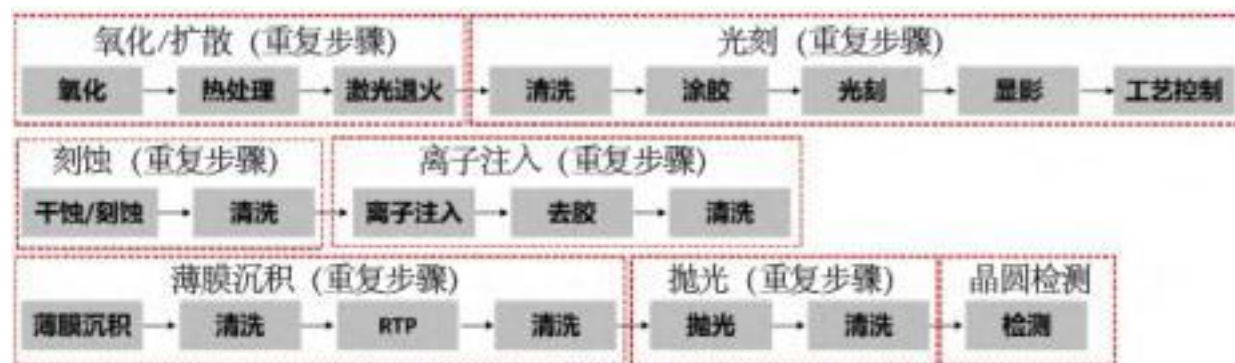
1. 新工艺新结构拓宽空间，国产厂商多维发展突破海外垄断
2. CVD：种类繁多，PECVD占比最高
3. ALD：高台阶覆盖率+膜厚控制精准，先进节点及3D结构应用广泛
4. PVD：溅射为主，多用于沉积金属薄膜
5. 建议关注标的
6. 风险提示

1. 新工艺新结构拓宽空间，国产厂商多维发展突破海外垄断
2. CVD：种类繁多，PECVD占比最高
3. ALD：高台阶覆盖率+膜厚控制精准，先进节点及3D结构应用广泛
4. PVD：溅射为主，多用于沉积金属薄膜
5. 建议关注标的
6. 风险提示

设备为IC制造第一大资本支出，全球半导体Capex有望开启新一轮增势

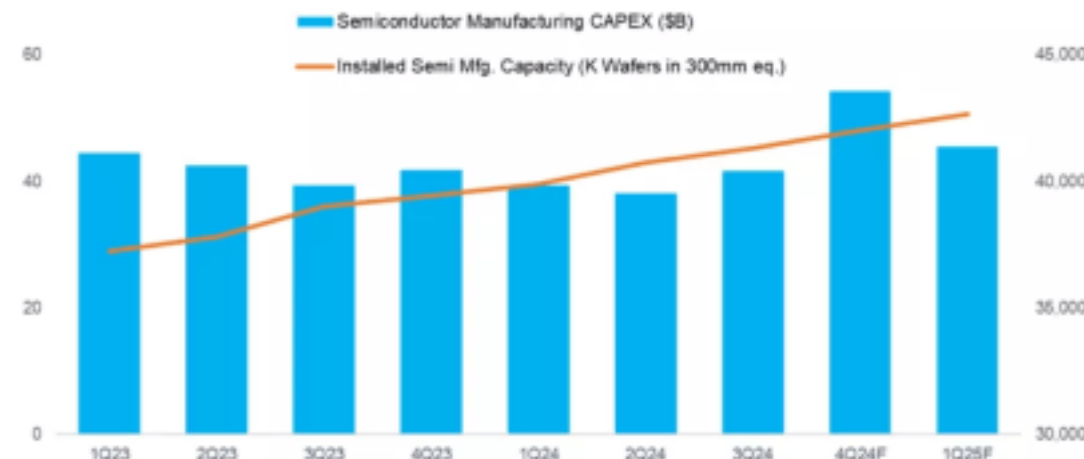
- 根据Gartner数据，集成电路制造设备投资一般占集成电路制造领域资本性支出的70%-80%，且随着工艺制程的提升，设备投资占比也将相应提高——当制程达到14/16nm时，设备投资占比可达85%。
- 芯片制造是集成电路制造过程中最重要、最复杂的环节，对应设备投资占比可达80%。
- SEMI数据显示，全球晶圆厂产能保持稳步增长，25Q1产能有望达到每季度4270万片（约当12英寸）。资本开支方面，全球半导体Capex经历了24H1的短暂下降后，于24Q3实现反弹，有望开启新一轮增势。得益于HBM等尖端产品产能的持续扩张，25Q1全球半导体Capex预计同比增长16%，其中WFE季度支出将达260亿美元。

集成电路制造前道芯片制造主要流程



- 集成电路制造可分为前道芯片制造和后道封装测试等环节。
- 前道芯片制造是指在晶圆上通过循环重复氧化/扩散、光刻、刻蚀、离子注入、薄膜沉积、抛光、清洗等工序形成器件并连接成电路。
- 后道封装测试是指把硅片切割成单独的芯片颗粒，完成外壳的封装及终端测试的过程。

全球半导体Capex（十亿美元，LHS）和晶圆季度产能（千片，约当12英寸）



集成电路制造领域典型资本开支结构（%）

投资项目及金额占比	
厂房建设： 20%-30%	设计：2%-7%
	土建设施：30%-40%
	洁净室分工：50%-70%
设备投资： 70%-80%	硅片制造：1%-3%
	芯片制造：78%-80%
	封装测试：18%-20%

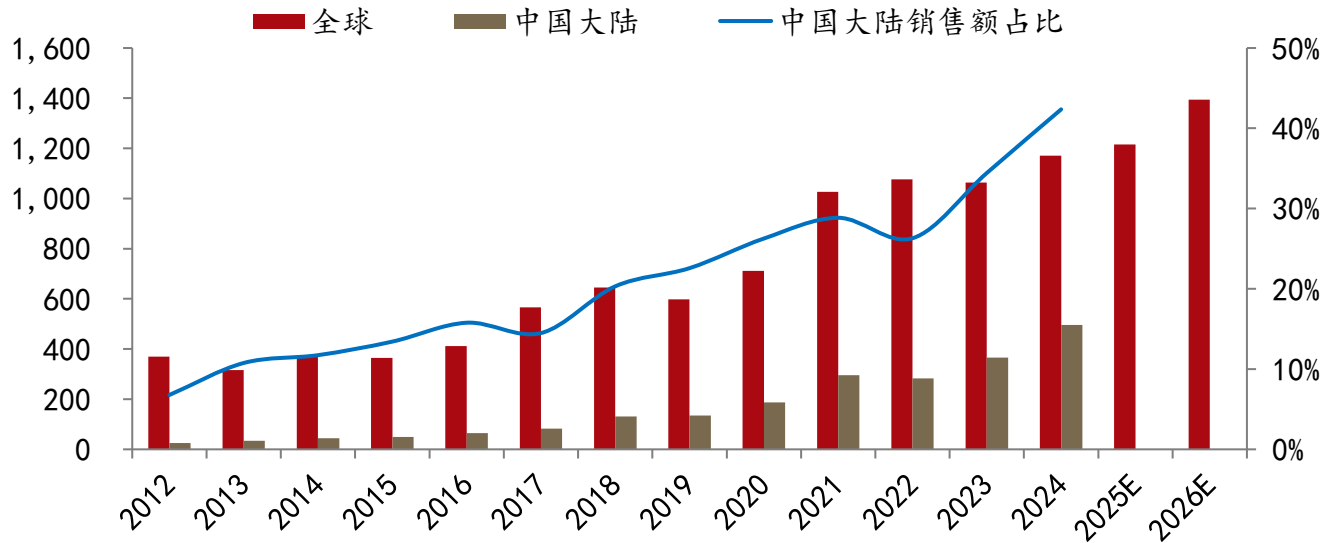
中国大陆连续五年成为全球最大半导体设备市场

- 根据SEMI数据，2024年全球半导体设备销售额为1171亿美元，同比增长10%，未来有望保持增长态势。其中，2024年中国大陆半导体设备销售额为495.5亿美元，同比增长35%；占比达42%，同比提升7.85个百分点，创历史新高，连续五年成为全球最大半导体设备市场。
- 相比后道环节，前道晶圆制造技术难度更高，涉及工艺更繁杂，涵盖光刻、刻蚀、薄膜沉积等工艺，因此所需设备价值量更高、种类更多。SEMI数据显示，2024年晶圆制造设备市场规模约占半导体设备总市场规模的90%。
- 薄膜沉积是在晶圆上采用物理或者化学方法沉积一层待处理的薄膜材料。随着单位面积集成的电路规模不断扩大，芯片内部立体结构日趋复杂，所需要的薄膜层数越来越多，薄膜沉积设备市场快速增长。根据拓荆科技数据及我们测算，2024年全球薄膜沉积设备市场规模约231.86亿美元，占晶圆制造设备总市场规模的22%。

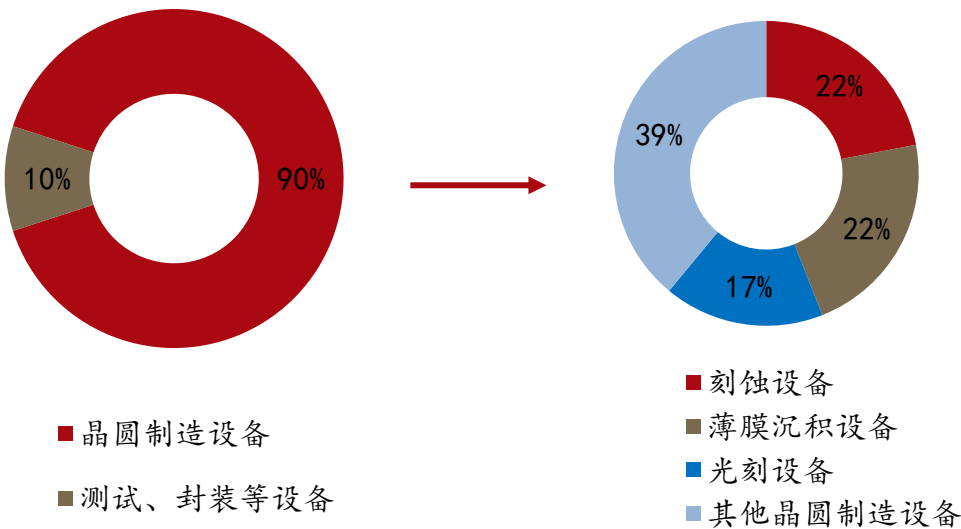
2024年各国家/地区晶圆制造设备市场规模及占比（亿美元，%）

国家/地区	市场规模（亿美元）	占比（%）
中国大陆	495.5	42%
韩国	204.7	17%
中国台湾	165.6	14%
北美洲	136.9	12%
日本	78.3	7%
欧洲	48.5	4%
其他	41.9	4%

历年全球和中国大陆半导体设备销售额及占比（亿美元，%）



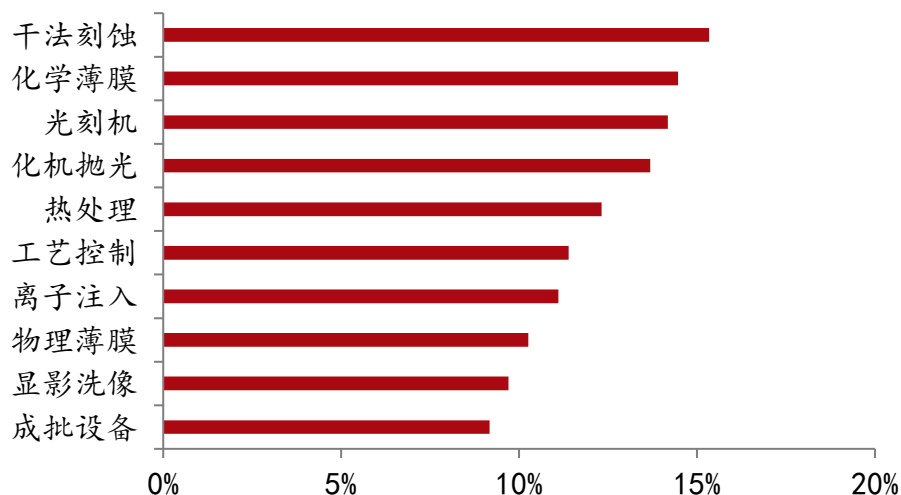
2024年全球半导体设备市场分布（%）



2023年国内薄膜沉积设备市场规模约479亿元，国产化率低于25%

- 随着集成电路制造不断向更先进工艺发展，所需的薄膜层数越来越多，对绝缘介质薄膜、导电金属薄膜的材料种类和性能参数不断提出新的要求。
- 90nm CMOS工艺约需要40道薄膜沉积工序。3nm FinFET工艺产线，超100道薄膜沉积工序，涉及的薄膜材料由6种增加到近20种，对于薄膜颗粒的要求也由微米级提高到纳米级。
- 根据SEMI和中国电子专用设备工业协会数据，2023年国内薄膜沉积设备市场规模约479亿元，国产化率低于25%，仍存在广阔的国产替代空间。

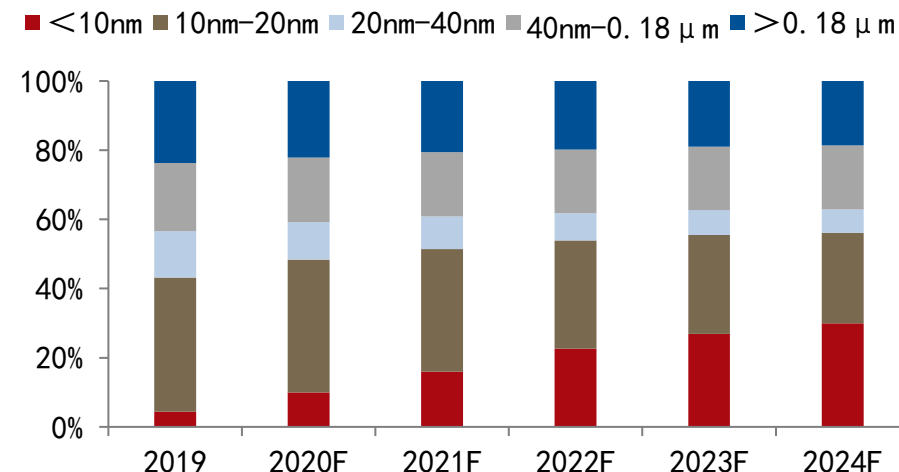
不同半导体芯片前道设备2013~2023年CAGR (%)



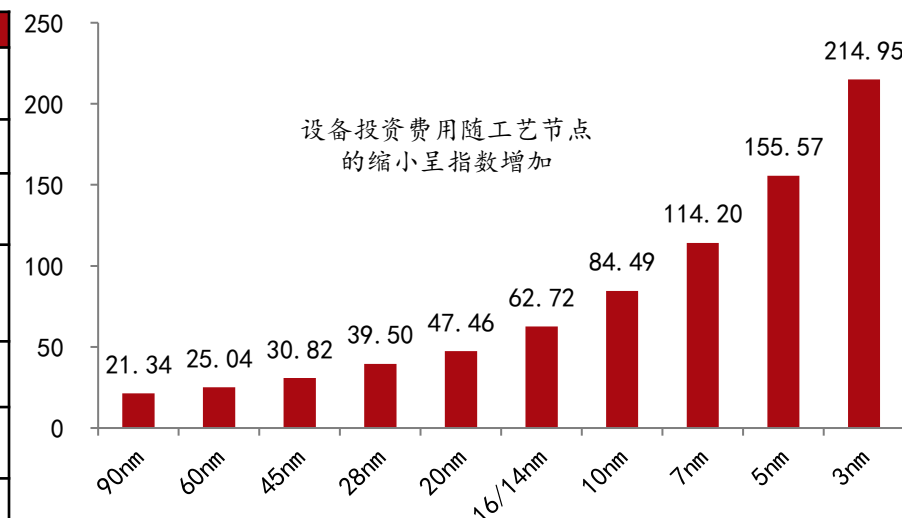
2023年国内半导体设备情况 (亿元, %)

设备种类	国产化率	国内市场规模	国内主要厂商
薄膜沉积设备	<25%	479	北方华创、拓荆科技、中微公司、盛美上海、微导纳米、晶盛机电
光刻机	<1%	457	上海微电子
刻蚀设备	>25%	457	中微公司、北方华创、屹唐股份
量测设备	<5%	240	中科飞测、精测电子
清洗设备	>30%	109	盛美上海、北方华创、芯源微、至纯科技
CMP设备	>30%	65	华海清科、晶亦精微
离子注入机	<10%	54	北方华创、华海清科

历年全球新建产能各制程占比 (%)



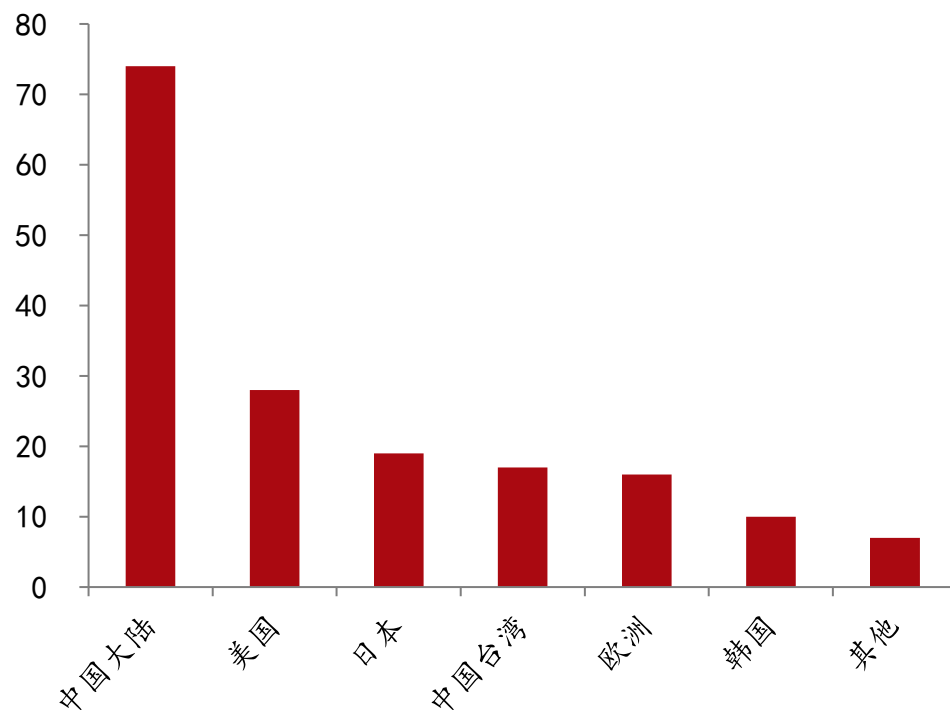
每5万片晶圆产能的设备投资 (亿美元)



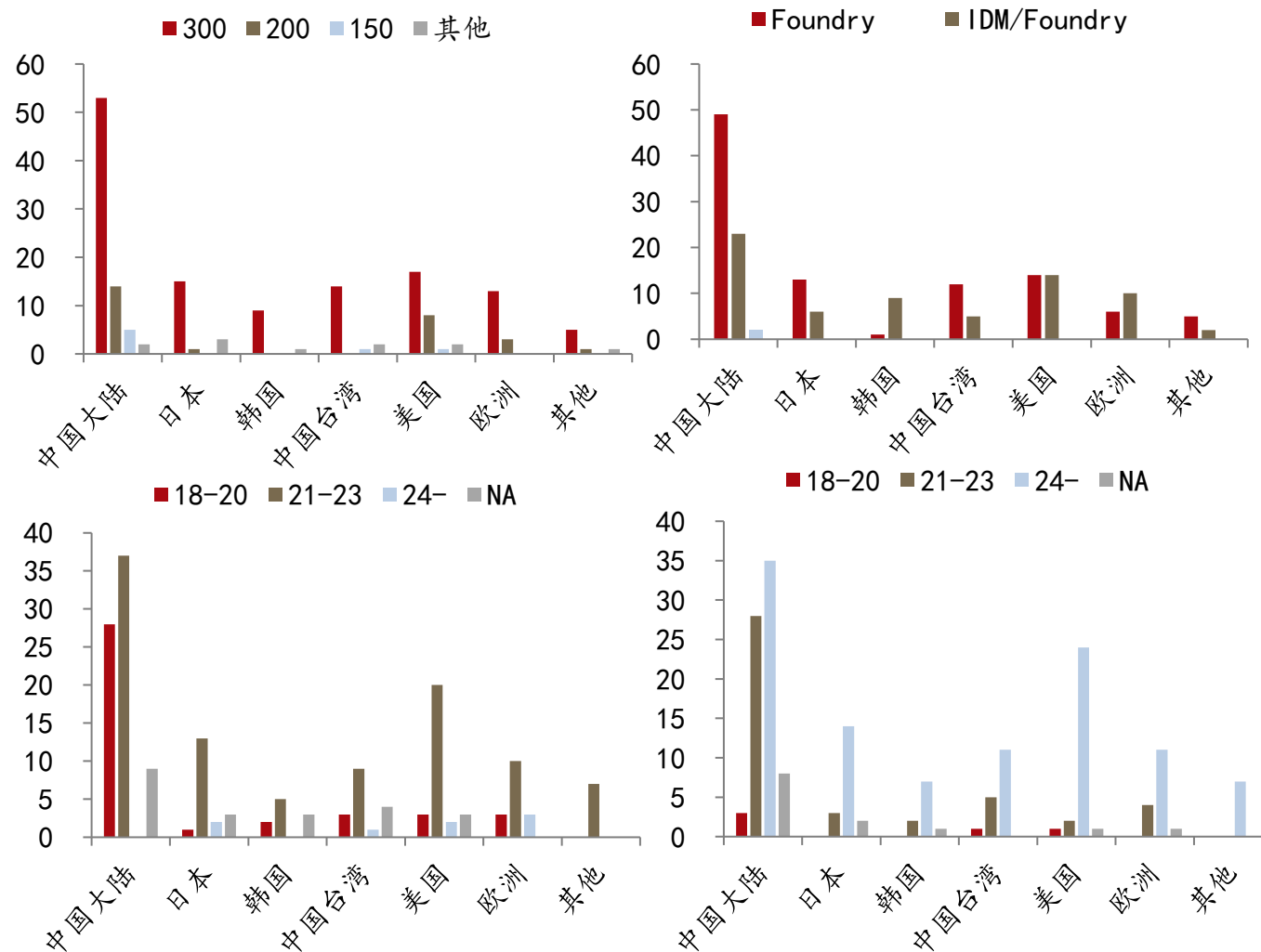
2018~2025年中国大陆新建晶圆厂项目预计为74座，占比位居全球第一

- Gartner预计，2018-2025年全球新建晶圆厂项目总数预计为171座，其中中国大陆为74座，占比为43%，位居全球第一。
- 中国大陆74座新建晶圆厂项目中，有53座为12寸晶圆项目；Foundry厂为主要建设厂商；目前绝大多数项目均已开始建设；有35座项目将于2024年后开始生产。

全球各国家/地区2018-2025年新建晶圆厂项目数量(座)



2018-2025年新建晶圆厂项目按晶圆尺寸(左上)、公司类型(右上)、建设起始年份(左下)、生产起始年份(右下)分类



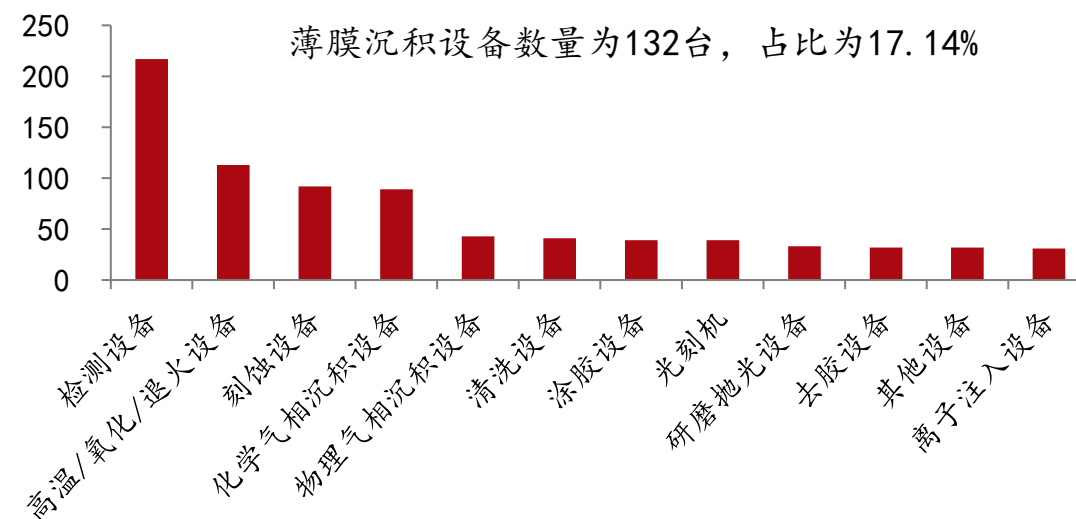
以中芯国际8寸/12寸产线为例，薄膜沉积设备数量占比约20%

- 根据芯思想研究院调研，截止2023年12月20日，中国大陆12英寸、8英寸和6英寸及以下的硅晶圆制造线共有210条（不含纯MEMS生产线、化合物半导体生产线和光电子生产线）。建成12英寸晶圆厂45座，在建24座，规划兴建或改造13座，全部产能合计420万片；建成8英寸晶圆厂34座，在建5座，规划兴建或改造11座，全部产能合计220万片。
- 以中芯国际8寸/12寸产线为例，单条产线约有20%的设备为薄膜沉积设备；且12寸产线中占比更高。

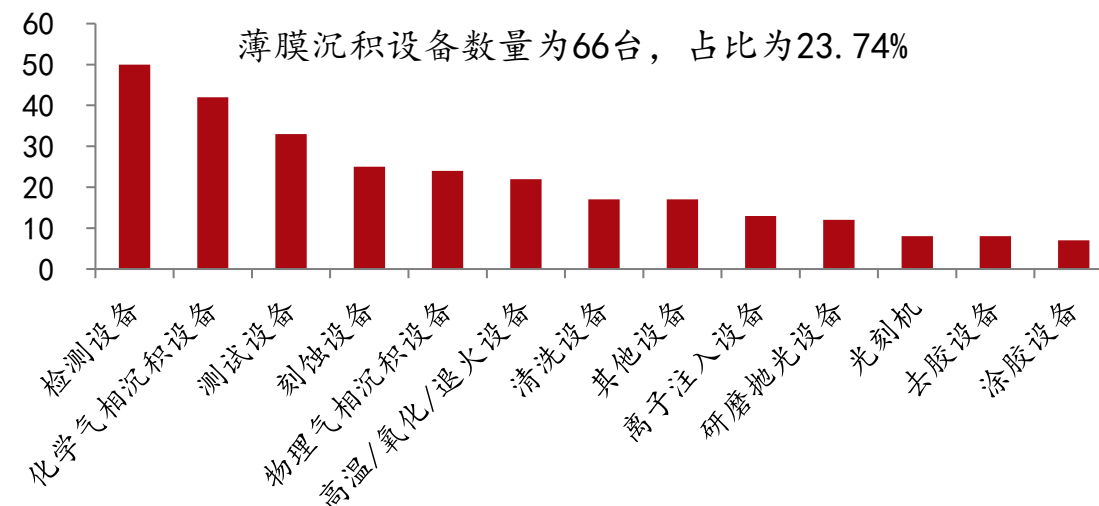
截至2023年12月20日，中国大陆硅晶圆制造线统计（不含纯MEMS生产线、化合物半导体生产线和光电子生产线）

	12英寸	8英寸	6英寸	5/4/3英寸
建成数量（座）	45	34	48	63
规划产能（万片）	238	168	264	730
装机产能（万片）	-	152	206	-
实际产能（万片）	125-140	140	180	-
在建数量（座）	24	5	4	-
规划产能（万片）	125	20	21	-
规划兴建/改造数量（座）	13	11	6	-
规划产能（万片）	57	32	34	-
总产能（万片）	420	220	319	730
其中外资产能（万片）	77	35	-	-

中芯国际天津T2车间月产9万片180nm的8寸晶圆产线设备配置数量（台）



中芯国际天津T3车间月产1万片90nm的12寸晶圆产线设备配置数量（台）



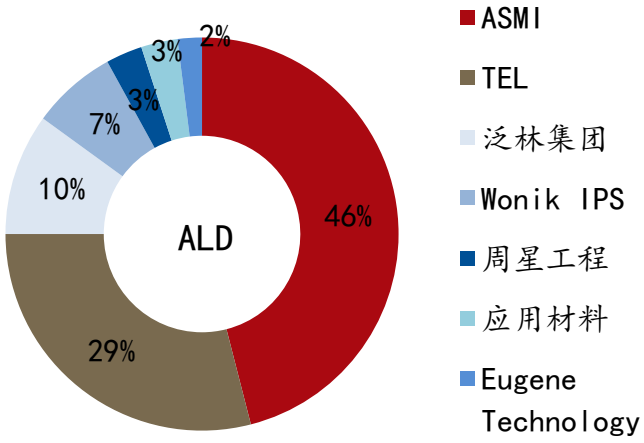
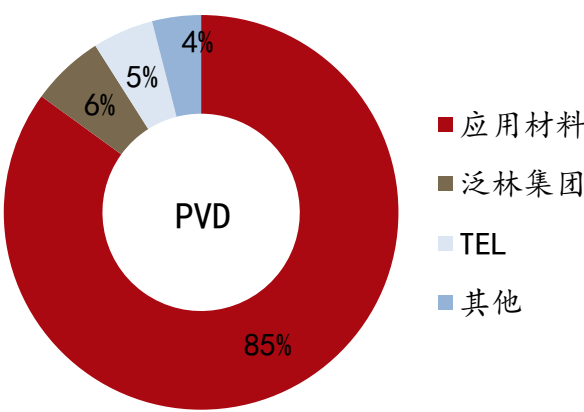
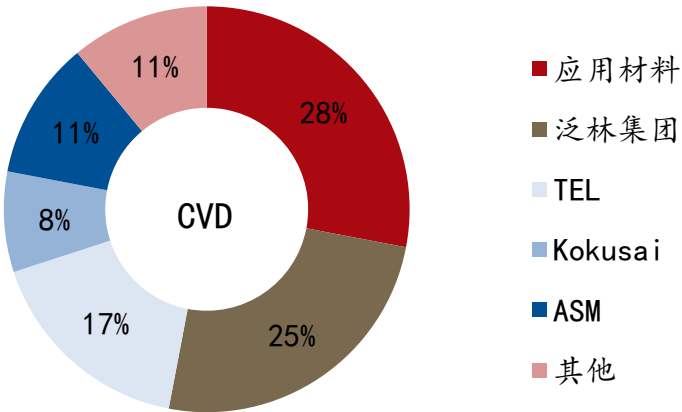
全球薄膜沉积设备市场集中度高，国产厂商多维发展突破海外垄断

- 半导体薄膜沉积设备行业具有较高的技术壁垒、市场壁垒和客户准入壁垒。国际巨头具有产品线丰富、技术储备深厚、研发团队成熟、资金实力较强以及客户端先发等优势，并能为同时购买多种产品的客户提供捆绑折扣。因此，从全球市场份额来看，薄膜沉积设备行业呈现出高度垄断的竞争局面，行业基本由应用材料、ASMI、泛林集团、TEL等国际巨头垄断。
- 根据观研天下数据，2020年应用材料、泛林集团和TEL三家厂商合计占据全球70%的CVD市场；应用材料则基本垄断PVD市场，占比达85%，处于绝对龙头地位。Gartner数据显示，2020年全球ALD设备市场由ASMI和TEL两家垄断，合计市场份额高达75%。
- 目前国内的薄膜沉积设备厂商主要包括北方华创、拓荆科技、微导纳米、中微公司、盛美上海和晶盛机电等。

国内公司薄膜沉积设备布局

公司	薄膜沉积设备布局
北方华创	已形成PVD、CVD、ALD、EPI和电镀设备的全系列布局；PVD实现对逻辑芯片和存储芯片金属化制程的全覆盖。
中微公司	已开发出六款薄膜沉积产品推向市场。钨系列薄膜沉积产品可覆盖存储器件所有钨应用；应用于先进逻辑器件的金属栅系列产品已完成多个先进逻辑客户设备验证。
拓荆科技	截止25H1末，公司推出的PECVD、ALD、SACVD、HDPCVD 及Flowable CVD薄膜设备可以支撑逻辑芯片、存储芯片中所需的全部介质薄膜材料的约100多种工艺应用。
微导纳米	形成以原子层沉积ALD（PEALD、TALD）技术为核心，化学气相沉积CVD（PECVD、LPCVD）等多种真空薄膜技术梯次发展产品体系。
盛美上海	布局立式炉管设备、PECVD设备等产品，其中立式炉管设备首先集中在LPCVD设备，最后逐步进入到ALD设备应用，现已完成三大类炉管产品包括常压、低压、原子层炉管的布局。
晶盛机电	布局8-12英寸减压外延设备、ALD设备。12英寸常压硅外延设备顺利交付国内头部客户，12英寸硅减压外延生长设备顺利实现销售出货。

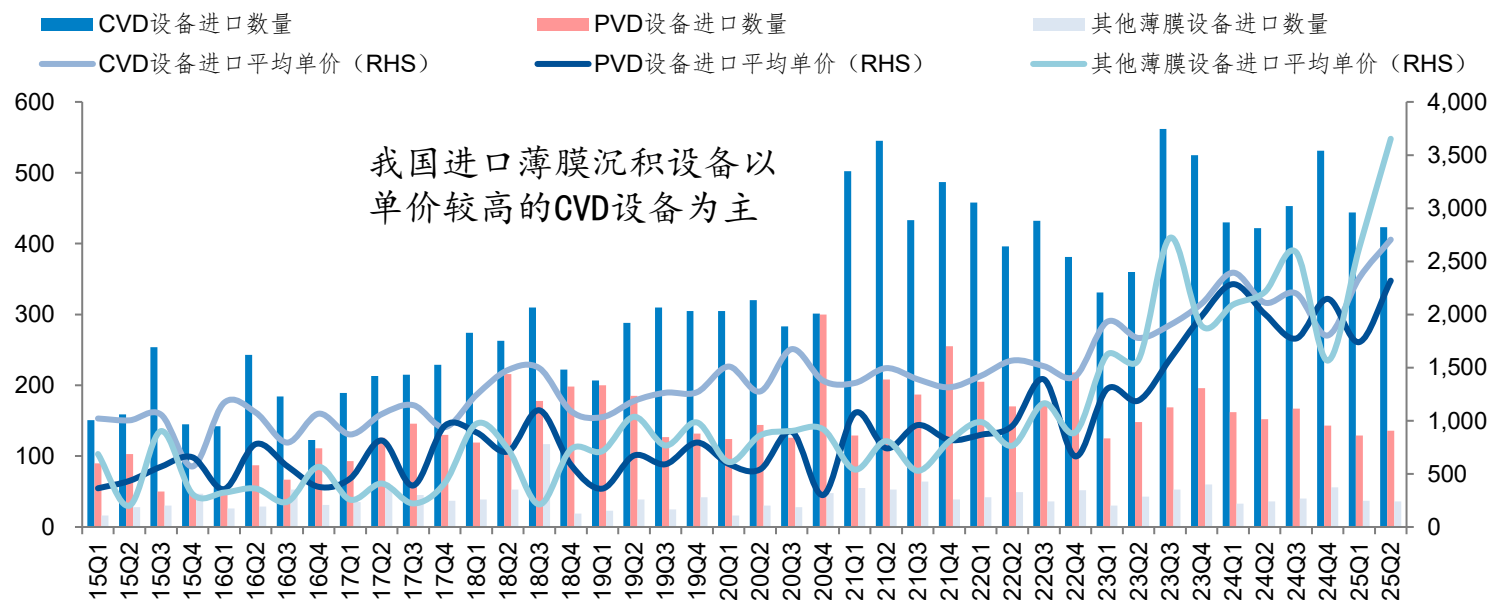
2020年全球不同薄膜设备竞争格局（%）



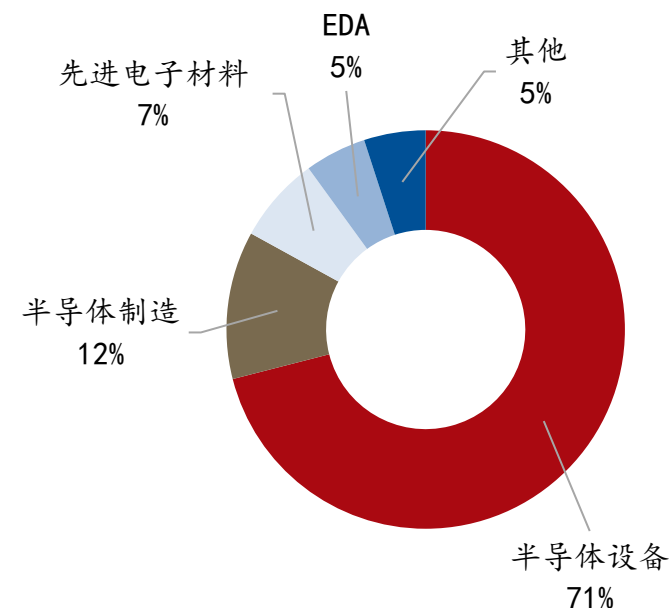
我国进口以单价较高的CVD设备为主，美国不断升级出口限制凸显国产化重要性

- 根据中国海关总署数据，我国进口的薄膜沉积设备近年来数量和单价逐渐增长，并以单价较高的CVD设备为主。25Q2我国进口CVD设备数量为423台，均价为2704万元；PVD设备136台，均价为2318万元；其他薄膜设备36台，均价为3653万元。
- 美国升级对华出口管制，国产化重要性凸显。2024年12月2日，美国商务部工业和安全局（BIS）修订了《出口管理条例》（EAR），对生产先进节点集成电路所需的半导体制造设备实施新管控，包括对刻蚀、沉积、光刻、离子注入、退火、计量与检测以及清洗设备的新增限制。140家中国实体被增列至出口管制实体清单，且以半导体设备厂商为主，中芯国际、武汉新芯、北方华创、拓荆科技、盛美上海均在清单上。
- ALD设备的新增管控是此次更新的重点。ECCN 3B001.d.18新增了对钼（Mo）和钌（Ru）等金属沉积设备的管控，这些设备被认为是制造低电阻金属互连的关键技术。此外，ECCN 3B993.d.4则主要针对用于支持高纵横比结构的介电材料沉积设备，特别是用于先进DRAM存储芯片生产的设备。

历年各季度我国薄膜设备进口数量（台）和进口平均单价（万元）



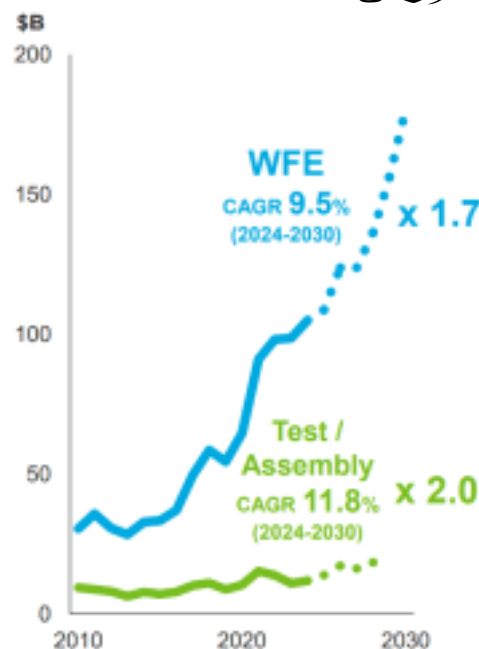
列入出口管制清单140家公司分布（%）



工艺进步及器件结构复杂化提高薄膜设备需求

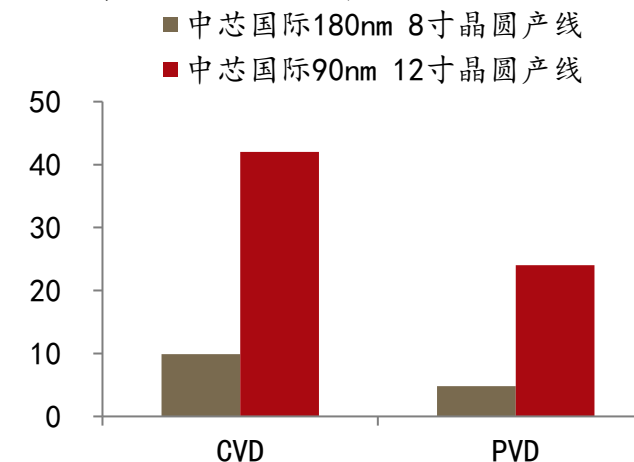
- 随着产线的逐渐升级以及多重曝光技术的引入，晶圆厂对薄膜沉积设备数量和性能的需求将继续随之提升，在实现相同芯片制造产能的情况下，对薄膜沉积设备的需求量也将相应增加。
- 在NAND领域，通过增加薄膜沉积和刻蚀工序来解决光刻节点和物理尺寸的种种限制，主流制造工艺已由2D NAND发展为3D NAND结构，结构的复杂化导致对于薄膜沉积设备的需求量逐步增加。根据东京电子数据，薄膜沉积设备占FLASH芯片产线资本开支比例从2D时代的18%增长至3D时代的26%。随着3D NAND芯片的内部层数不断增高，对于薄膜沉积设备的需求提升的趋势亦将延续。
- 芯片工艺进步及结构复杂化，先进制程下薄膜设备精密化、多样化，由此产生各种薄膜沉积工艺设备份额的变化。在薄膜性能方面，先进制程的前段工艺对薄膜均匀性、颗粒数量控制、金属污染控制的要求逐步提高。设备种类方面，台阶覆盖能力强、薄膜厚度控制精准的ALD设备，高深宽比沟槽孔洞填充能力强、沉积速度快的SACVD等新设备被引入产线。

工艺进步及器件结构复杂化提高设备需求

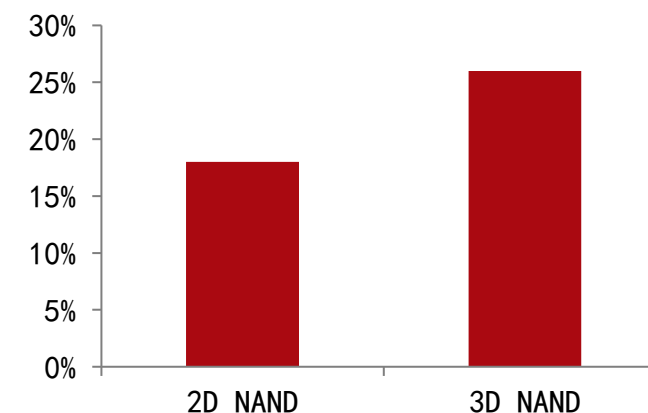


Frontend		
Logic : GAA, BSPDN - EUV Coater/Developer - Gas Chemical Etch - Conductor Etch - PVD Metal Overburden - CFET/Inner Spacer - Plasma CVD for filling film - Double-sided scrubber - Backside/bevel cleaning - Pattern Shaping - Wafer Bonder - Laser Tool	DRAM: 2D & 3D DRAM - EUV Coater/Developer - Capacitor Mold Etch - Batch High-k Capacitor deposition - PVD Metal Hardmask - Supercritical Cleaning - Backside/bevel Cleaning - Wafer Bonder - Laser Tool	NAND: Beyond 4xx - Silt Etch - Channel Hole Etch (Plug) - Batch Mo deposition - Batch Cleaning WL Separation - Wafer Bonder - Laser Tool
Advanced Packaging		
Logic Packaging - Interposer, Polyimide & PR Coater/Developer - TDV Etch - Batch High-k Capacitor depo - Wafer Bonder - Laser Tool	HBM Packaging - Polyimide & PR Coater/Developer - Metal Etch for HBM - Aerosol Cleaning - Temporary Bonder/Debonder	Advanced Logic / Memory Test Prober

不同制程逻辑芯片产线薄膜沉积设备需求量 (台/万片)



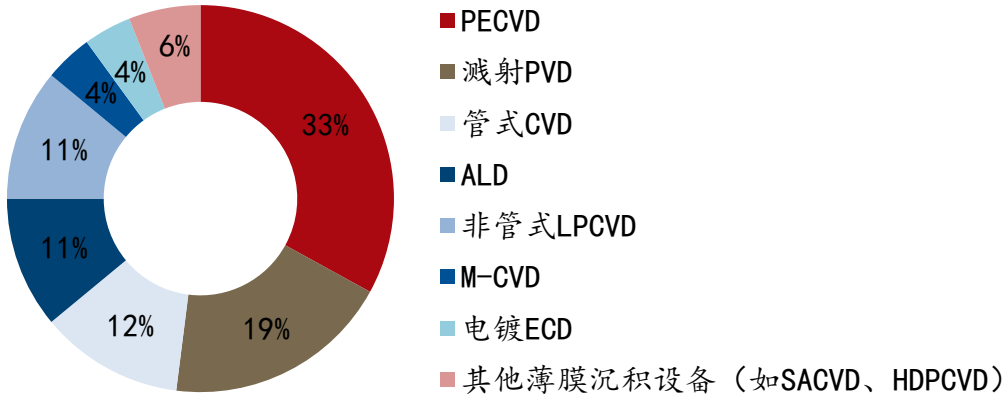
2D/3D NAND中薄膜沉积设备占产线资本开支比例 (%)



薄膜沉积设备市场：PECVD占比最高，ALD增速最快

- 薄膜沉积是指在晶圆上采用物理或者化学方法沉积一层待处理的薄膜材料，薄膜材料主要是二氧化硅、氮化硅、多晶硅等非金属以及铜等金属，起到产生导电层或绝缘层、阻挡污染物和杂质渗透、提高吸光率、临时阻挡刻蚀等作用。
- 根据沉积方法的不同，薄膜沉积设备可分为化学气相沉积（CVD）设备、物理气相沉积（PVD）设备/电镀设备和ALD（原子层沉积）设备。
- 根据SEMI数据，2024年全球PECVD市场规模约75.65亿美元，占薄膜沉积设备市场的33%，是薄膜设备中占比最高的设备类型。
- ALD凭借优异的三维共形性、大面积成膜的均匀性和精确的膜厚控制等特点，在各类关键晶圆生产设备中增速最快；SEMI预计2020至2025年全球ALD设备市场规模CAGR将达26.3%。

2024年不同薄膜沉积设备市场份额（%）



薄膜沉积设备分类



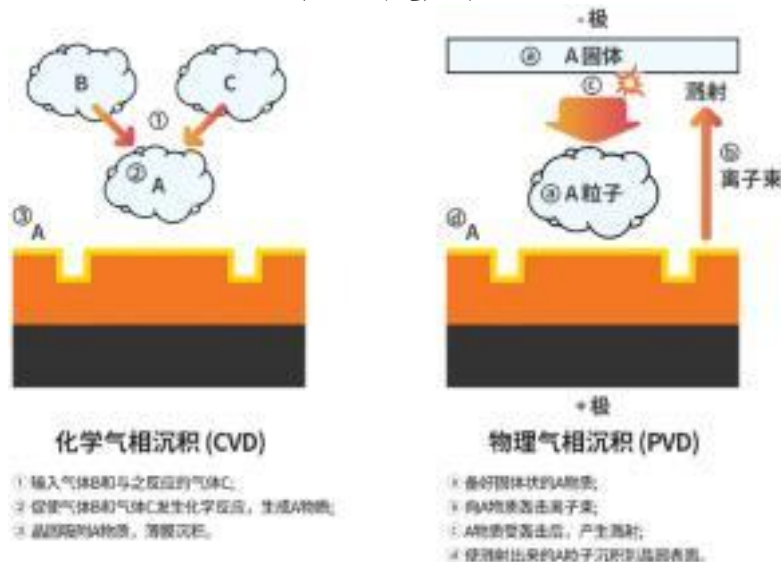
不同薄膜沉积设备原理及特点阐述

薄膜沉积设备	原理	特点
物理气相沉积PVD设备	利用物质的热蒸发或在受到离子轰击时物质表面原子的溅射等现象，实现物质原子从源物质到薄膜的可控转移的过程。	1、需要固态的或熔融态物质作为沉积过程的源物质； 2、源物质经过物理过程而进入气相； 3、需要相对较低的气体压力环境； 4、在气相中及在沉积表面并不发生化学反应。
电镀ECD设备	利用电解原理在晶圆表面上镀上一薄层其它金属或合金的过程	半导体电镀已不限于铜线的沉积，还有锡、锡银合金、镍、金等金属，但金属铜的沉积依然占据主导地位。
化学气相沉积CVD设备	通过化学反应的方式，利用加热、等离子或光辐射等各种能源，在反应器内使气态或蒸汽状态的化学物质在气相或气固界面上经化学反应形成固态沉积物的技术，是一种通过气体混合的化学反应在硅片表面沉积薄膜的工艺	可应用于绝缘薄膜、硬掩模层以及金属膜层的沉积，设备种类繁多，应用十分广泛
原子层沉积ALD设备	将物质以单原子膜形式一层一层地镀在基底表面的方法。从原理上说，ALD是通过化学反应得到生成物，但在沉积反应原理、沉积反应条件的要求和沉积层的质量上都与传统的CVD不同。	ALD 工艺具有自限制生长的特点，可精确控制薄膜的厚度，制备的薄膜具有均匀的厚度和优异的一致性，台阶覆盖率高，特别适合深槽结构中的薄膜生长。

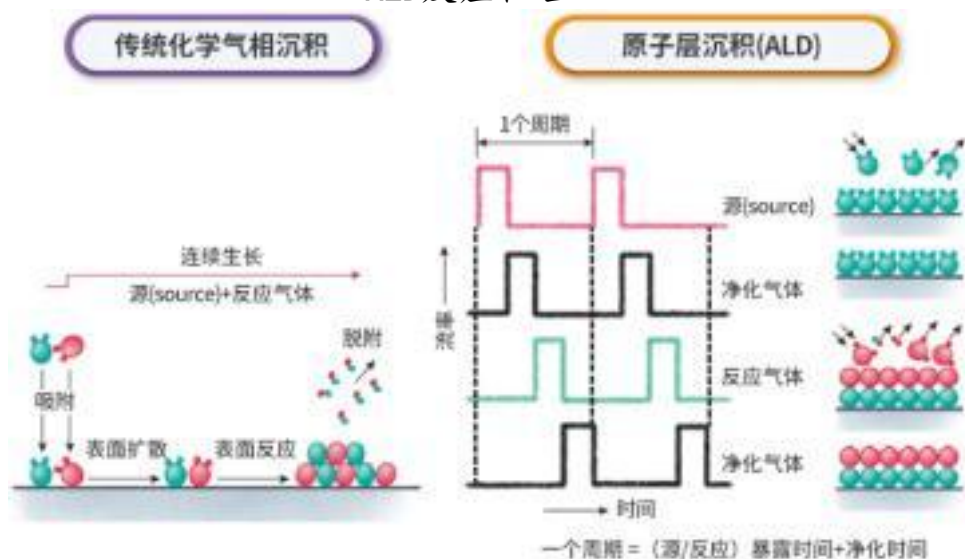
三种薄膜沉积技术反应机理

- **PVD**: 向晶圆表面直接轰击要沉积的材料。常用方法为溅射, 即向A物质靶材轰击离子束(多为惰性气体), 使A物质粒子溅射出来, 再将脱落的粒子转移至硅片表面, 并形成薄膜。
- **CVD**: 通过化学方法在晶圆表面沉积涂层的方法。通常是给混合气体(B和C)施加能量以促使两者发生化学反应, 进而生成所需物质A。
- **ALD**: 先把气体B(需为易被晶圆表面吸附的气体)吸附到晶圆表面, 因气体B间很难相互吸附, 晶圆表面将形成一层由气体B组成的原子层。再除去剩余气体B并输入气体C(应具有较强的反应活性), 使吸附在晶圆表面上的气体B和气体C发生反应, 形成A物质和其他副产物气体, 再除去多余气体A和副产物气体。重复上述过程, 以单原子膜形式一层一层地在基底表面镀膜。
- 在沉积过程中可通过控制温度、压力等不同条件来把控膜层沉积的质量, 且在不同需求下, 沉积相同材料也可采用完全不同的沉积方式。如同样是沉积SiO₂, 栅极绝缘层是核心元件区域, 要求较高的沉积质量, 应采用高温低压的方式; STI只需起到两个元件间的绝缘作用即可, 常通过低温高压的方式加快沉积速率。

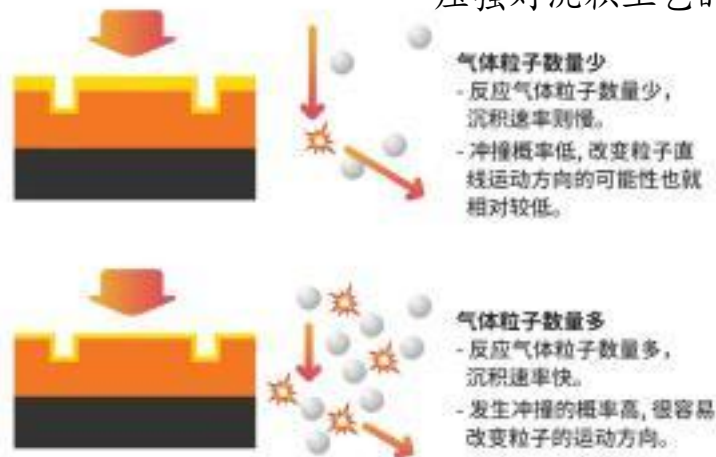
PVD和CVD反应机理



ALD反应机理



压强对沉积工艺的影响



- **降低压强**: 沉积速率放慢, 但可提高垂直方向的沉积质量。
- **高温**: 可提高膜层的纯度, 但无法沉积熔点低的金属材料, 如铝(其熔点为550度)等。

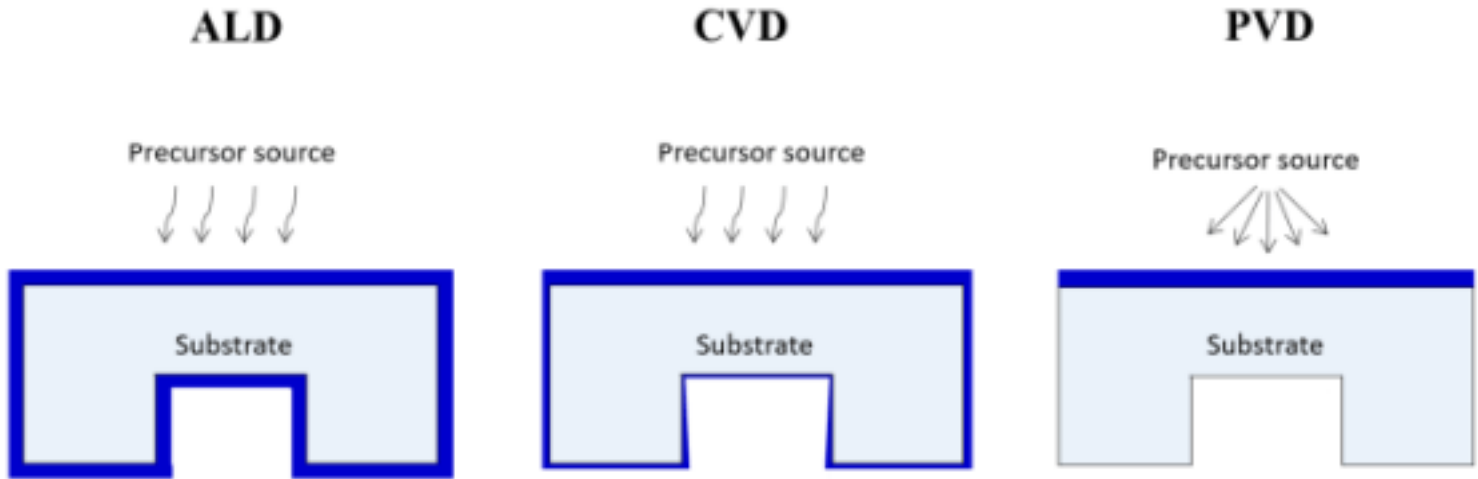
三种薄膜沉积技术优缺点对比

- **PVD**: 技术生长机理简单, 沉积速率高, 无副产物, 沉积薄膜的纯度高, 且还可以沉积钨 (W)、钴 (Co) 等无反应能力的纯净物材料, 因此, 多用于纯净物的金属布线。但一般只适用于平面的膜层制备。
- **CVD**: 沉积速率快, 技术的重复性和台阶覆盖性 (主要系在晶圆表面发生反应) 比PVD略好。缺点在于工艺过程中影响因素较多, 成膜的均匀性较差, 并且难以精确控制薄膜厚度。因此, CVD多用于不需要精准把控材料特性的沉积涂层, 如沉积各种消耗性的膜层 (硬掩模) 或各种厚绝缘薄膜等。
- **ALD**: 最大优势在于沉积层极均匀的厚度与优异的台阶覆盖率, 主要系由于每个周期中生长的薄膜厚度是一定的。ALD能较好的满足器件尺寸不断缩小和结构3D立体化对于薄膜沉积工序中薄膜的厚度、三维共形性等方面的更高要求。

三种薄膜沉积技术优劣势和主要应用领域

项目	PVD	CVD	ALD
优劣势	1) 沉积速率较快; 2) 薄膜厚度较厚, 对于纳米级的膜厚精度控制差; 3) 镀膜具有单一方向性; 4) 厚度均匀性差; 5) 阶梯覆盖率差。	1) 沉积速率一般 (微米/分钟); 2) 中等的薄膜厚度 (依赖于反应循环次数); 3) 镀膜具有单一方向性; 4) 阶梯覆盖率一般。	1) 沉积速率较慢 (纳米/分钟); 2) 原子层级的薄膜厚度; 3) 大面积薄膜厚度均匀性好; 4) 阶梯覆盖率最好; 5) 薄膜致密无针孔。
主要应用领域	1) HJT 光伏电池透明电极; 2) 柔性电子金属化、触碰面板透明电极; 3) 半导体金属化。	1) PERC 电池背面钝化层、PERC 电池减反层; 2) TOPCon 电池接触钝化层、减反层; 3) HJT 电池接触钝化层; 4) 柔性电子介质层、柔性电子封装层; 5) 半导体介质层 (低介电常数)、半导体封装层。	1) PERC 电池背面钝化层; 2) TOPCon 电池隧穿层、接触钝化层、减反层; 3) 柔性电子介质层、柔性电子封装层; 4) 半导体高 k 介质层、金属栅极、金属互联阻挡层、多重曝光技术

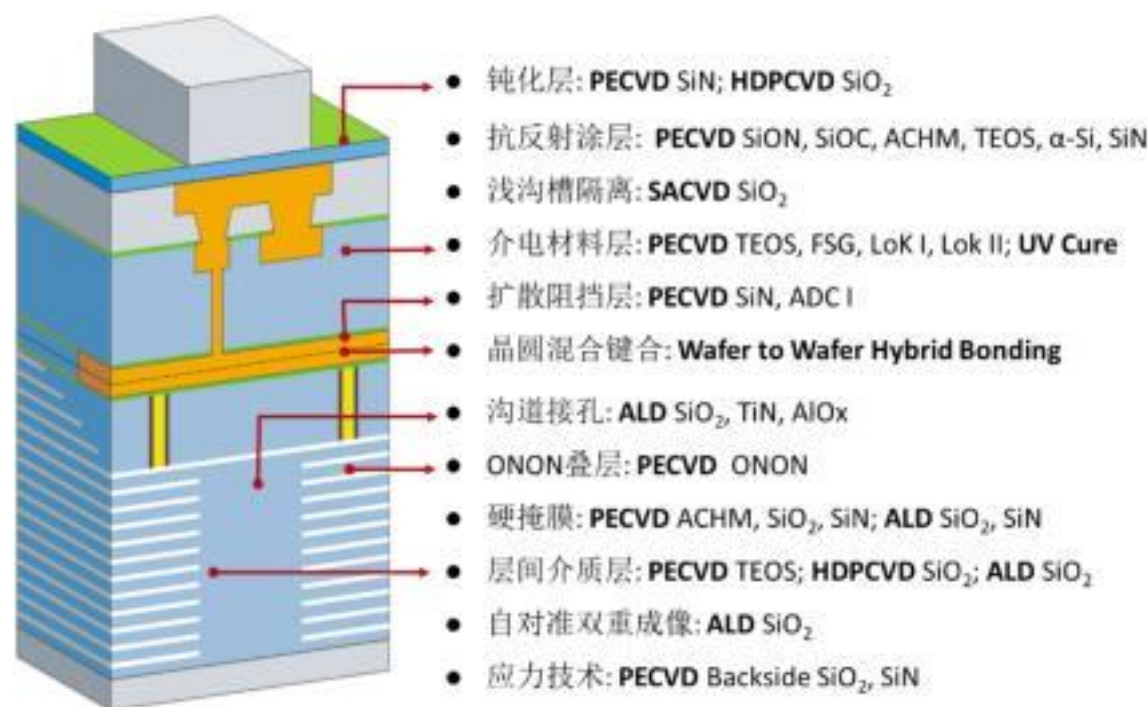
三种薄膜沉积技术沉积效果对比



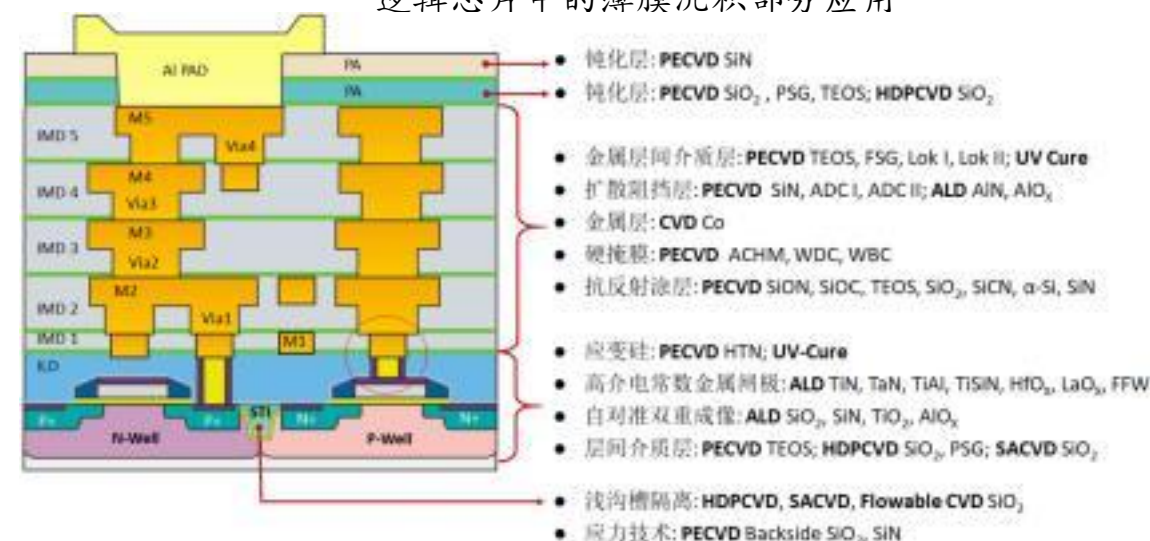
三种薄膜沉积技术互相配合完成芯片制造

- 半导体领域中薄膜类型主要分为半导体、介质、金属/金属化合物薄膜三大类。半导体领域薄膜的沉积材料与应用场景复杂多样，伴随制程的演变及材料需求增加，薄膜沉积工艺和设备不断进步。在芯片的制造过程中，涉及十余种不同材料的薄膜、数十种工艺类型、上百道工艺环节，需要不同性能和材料的薄膜，不同的设备技术原理不同，所沉积的薄膜种类和性能不同，适用于芯片内不同的应用工序。
- PVD、CVD、ALD三类薄膜沉积技术依靠各自技术特点拓展适合的应用领域，材料制备上相互补充，各自也随着下游应用需求的提高持续发展。

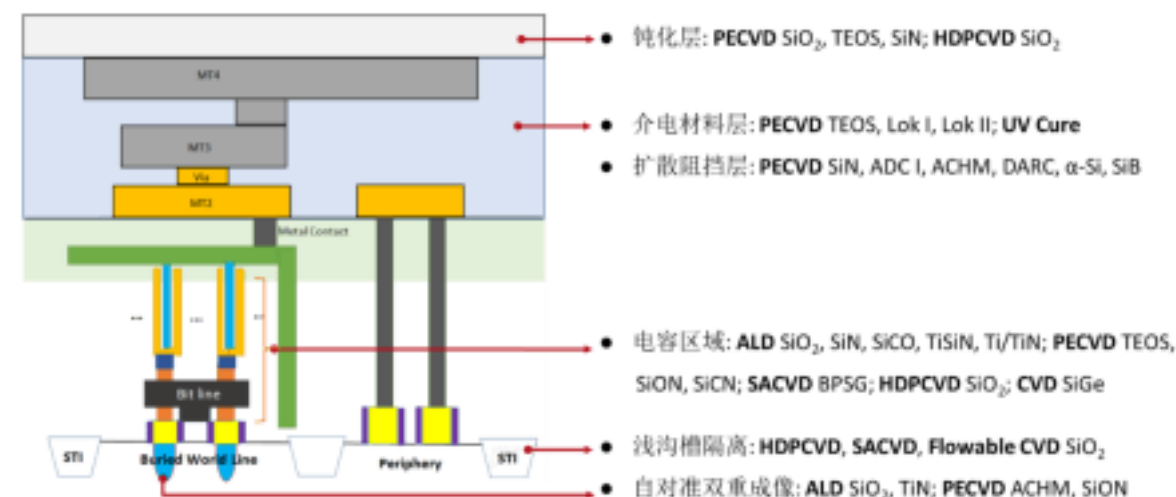
3D NAND存储芯片中的薄膜沉积部分应用



逻辑芯片中的薄膜沉积部分应用



DRAM中的薄膜沉积部分应用



薄膜沉积质量指标：均匀度、台阶覆盖率、沟槽填充

- 衡量薄膜沉积质量的主要指标包括：均匀度、台阶覆盖率、沟槽填充等。
- 均匀度：衡量沉积薄膜厚度均匀与否的参数。薄膜沉积需将整张晶圆放入沉积设备中，因此晶圆表面不同角落的沉积涂层有可能厚度不一。高均匀度表明晶圆各区域形成的薄膜厚度非常均匀。
- 台阶覆盖率（Step Coverage）：如果晶圆表面有断层或凹凸不平的地方，就不可能形成厚度均匀的薄膜。台阶覆盖率是考量膜层跨台阶时，在台阶处厚度损失的一个指标，即跨台阶处的膜层厚度与平坦处膜层厚度的比值。台阶覆盖率越接近1，表明跨台阶处（底部或侧壁）膜层厚度与平坦处膜层相差越少，越远离1（即越小于1）表明跨台阶处的膜层厚度对比平坦处膜层厚度越薄。
- 沟槽填充（Gap fill）：衡量沟槽填充程度。半导体表面有很多凹凸不平的沟槽，沉积过程中很难保证可以把所有沟槽都填得严严实实。沟槽填充能力差，就会形成孔洞（Void），会影响材料的致密性，从而影响薄膜强度，造成坍塌。如果说“等向性刻蚀”是没有方向选择性地移除了不该移除的部分，沉积工艺中的“沟槽填充能力差”即表明没有填充到该填充的地方

均匀度、台阶覆盖率、沟槽填充示例

均匀度



低均匀度

高均匀度



台阶覆盖率



台阶覆盖率 (侧面) = b/a
台阶覆盖率 (下部) = c/a

沟槽填充



沟槽填充能力不足

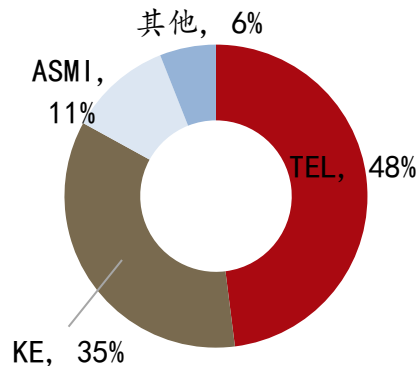


沟槽填充能力优秀

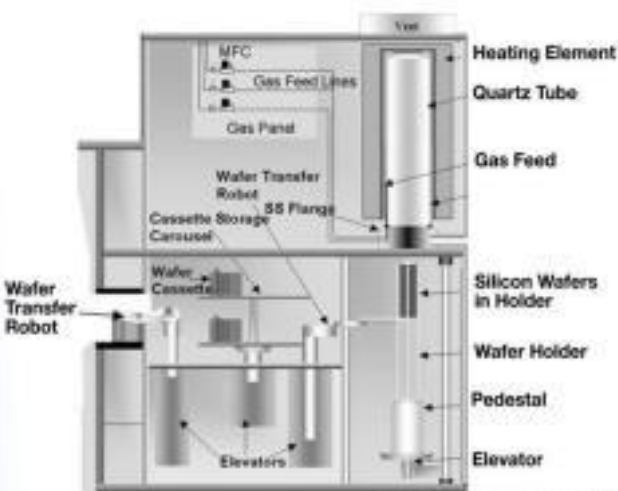
立式炉：灵活配置氧化、退火、LPCVD和ALD功能

- 炉管 (Furnace) 是半导体工艺中广泛应用于氧化、扩散、薄膜生长、退火、合金等工艺的设备，分为卧式和立式两种。立式炉按照工艺压力和应用可以分为常压炉和低压炉两类，常压炉主要完成热扩散掺杂，薄膜氧化，高温退火；低压炉主要实现不同类型的薄膜在晶圆表面的沉积工艺，主要是多晶硅，氮化硅，氧化硅等薄膜。Gartner数据显示，2020年全球炉管设备市场CR3高达94%。
- 立式炉管拥有批量处理晶圆的优秀特性，可在保证生产效率的同时节约成本，可很好弥补ALD设备沉积效率较低这一不足。根据Gartner WFE_Forecast (2023)，未来三年立式炉原子层沉积设备国内市场规模约10亿美元以上。
- 根据工艺种类的不同，立式炉管设备大致可分为常压化学气相沉积设备（扩散设备）、低压力化学气相沉积设备（LPCVD）与原子层沉积设备（ALD）。各种炉管设备构造相似，可根据工艺需要灵活配置氧化、退火、LPCVD和ALD功能。
- 中国大陆能够提供立式炉管设备的主要有北方华创和盛美上海。北方华创已实现立式氧化/退火炉，立式LPCVD和立式ALD系列设备全面布局，基本实现立式炉工艺全覆盖。盛美上海立式炉管系列设备涵盖氧化、扩散、真空回火、LPCVD、ALD等工艺，产品已经批量进入多家客户生产线。

2020年全球炉管设备市场竞争格局 (%)



立式炉管设备典型结构



- Heating Element (加热线圈)：位于炉管周围，通常由电阻丝构成，用于对炉管内部进行加热。
- Quartz Tube (石英管)：热氧化炉的核心部分，由高纯度石英制成，可以耐受高温并保持化学惰性。
- Gas Feed (气体供应口)：位于炉管的上端或侧面，用于输送氧气或其他气体到炉管内部。
- SS Flange (法兰)：连接石英管和气体线路的部件，确保连接的密封性和稳定性。
- Gas Feed Lines：连接MFC和气体供应口的管道，用于传输气体。
- MFC (质量流量控制器)：控制石英管内部气体流量的设备，以精确调节所需的气体流量。
- Vent (排气口)：用于将炉管内部的废气排出设备外部。
- Silicon Wafers in Holder：硅片安放在特制的Holder中，以确保在氧化过程中均匀地受热。
- Wafer Holder：用于固定硅片，确保硅片在工艺过程中保持平稳。
- Pedestal：承托硅片 Holder的结构，通常由耐高温材料制成。
- Elevator (升降机)：用于将硅片Wafer Holder升入和降出石英管，实现自动化装载和卸载硅片。
- Wafer Transfer Robot：位于炉管设备的侧面，用于自动化地将硅片从盒中取出并放入炉管内，或者在处理完后将其取出。
- Cassette Storage Carousel：用于存放含有硅片的盒子，并能旋转以便机器人取用。
- Wafer Cassette：晶圆盒，用于存放和传输待处理的硅片。

不同工艺种类的立式炉管介绍

种类	具体应用
常压化学气相沉积（扩散）设备	主要应用的工艺是氧化和退火，炉管的工作温度为 100~1050 度，压力为一个标准大气压，一般使用氢气加氧气，或者氮气。
低压力化学气相沉积设备	主要应用于多晶硅、氮化硅、高温氧化硅、中温氧化硅等工艺，炉管的工作温度一般在 500~800 度，压力大概在7.5pa 以下，需要配备真空泵。
原子层沉积设备	主要应用于氧化硅和氮化硅工艺。与低压力化学气相沉积设备相比原子层沉积设备提供相同的工艺应用，但是沉积顺序不一样；工作环境要求与低压力化学气相沉积设备相似。

1. 新工艺新结构拓宽空间，国产厂商多维发展突破海外垄断
2. CVD：种类繁多，PECVD占比最高
3. ALD：高台阶覆盖率+膜厚控制精准，先进节点及3D结构应用广泛
4. PVD：溅射为主，多用于沉积金属薄膜
5. 建议关注标的
6. 风险提示

CVD总览：种类繁多，适用于芯片内不同的应用工序

- CVD可分为APCVD、LPCVD、PECVD、沟槽填充类CVD（HDPCVD、SACVD、FCVD）、Metal-CVD、MOCVD等，适用于不同工艺节点对膜质量、厚度以及孔隙沟槽填充能力等的不同要求。
- PECVD可在相对较低的反应温度下形成高致密度、高性能薄膜，并不破坏已有薄膜和已形成的底层电路，同时实现更快的薄膜沉积速度，适用于沉积大多数主流介质薄膜，是薄膜设备中占比最高的设备类型。根据SEMI数据，2024年全球PECVD市场规模约75.65亿美元，占薄膜沉积设备市场的33%，是薄膜设备中占比最高的设备类型。

CVD方法的主要种类和特点

种类		中文名称	特点	工艺压力	工作温度	应用领域
APCVD		常压化学气相沉积	优点：成本低、结构简单、生产效率高； 缺点：膜厚均匀性差、沟槽覆盖填充差；	常压	550~1100℃	单晶硅、多晶硅、二氧化硅、氧化锌、二氧化钛、磷硅玻璃、硼磷硅玻璃等薄膜
LPCVD		低压化学气相沉积	优点：膜厚均匀性好、沟槽覆盖填充好； 缺点：沉积速度慢、温度高；	0.1~10Torr	350~1100℃ (SiN 800℃)	Poly工艺、SiN工艺和TEOS工艺，还可用于接触孔以及金属钨线的填
PECVD		等离子体增强化学气相沉积	优点：反应温度低，薄膜纯度与密度高，沉积速度快； 缺点：沟槽填充能力弱于HDPCVD。	常压或低压	室温~700℃ (SiN 300~400℃)	适用于沉积大多数主流介质薄膜
沟槽填充类CVD	HDPCVD	高密度等离子体化学气相沉积	优点：可同时进行薄膜沉积和溅射刻蚀，薄膜致密度更高，杂质含量更低； 缺点：沉积速度慢，不适用于45nm以下沟槽填充	-	-	当制程进入到90nm以下时，需采用HDPCVD进行沟槽填充。应用于深宽比小于5:1的沟槽填充工艺
	SACVD	次常压化学气相沉积	优点：填孔（Gap fill）能力优越。 缺点：沉积速度较慢	次常压	400℃~550℃	40nm以下逻辑电路制造、高性能存储芯片高深宽比填充的关键设备，应用于深宽比小于7:1的沟槽填充工艺。
	FCVD	流动化学气相沉积	1) 极高的填充能力，能够填充深宽比为30:1的结构；2) 低温工艺，对于温度敏感的芯片产品十分有利；3) 薄膜的致密性很好；4) 成本仅为SOD的一半。	~	650℃以下	可应用于20nm及以下制程节点，可满足深宽比高达30:1的结构填充
Metal-CVD		金属化学气相沉积	可实现对孔隙和沟槽很好的台阶覆盖率	1~300Torr	<550℃	金属薄膜沉积
MOCVD		金属有机物化学气相沉积	实现对孔隙和沟槽很好的台阶覆盖率	1-100Torr	500-1100℃	主要用于化合物半导体（III-V族、II-VI族化合物）薄膜气相生长，MOCVD设备现已成为LED芯片、功率器件等产品制造最为关键的专用设备
VPE		气相外延	具有可以精确控制外延膜厚度和掺杂浓度、缺陷较少、生长速度适中、过程可自动控制等优点	20-100Torr	550~1100℃	Si的气相外延，GaAs气相外延

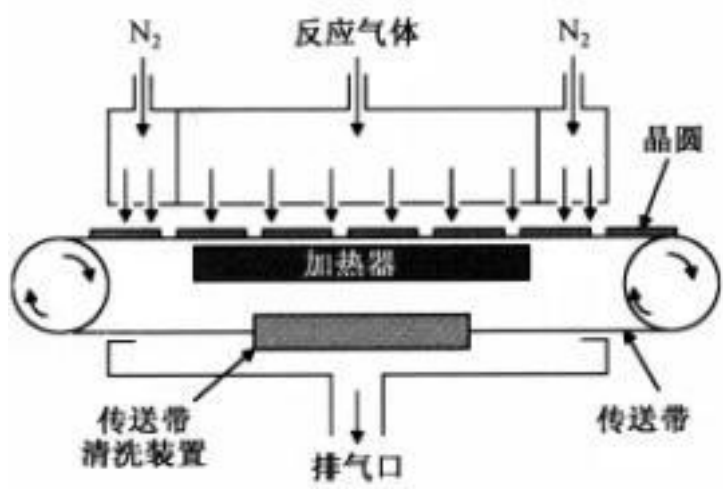
APCVD：最早的CVD设备，基本不应用于集成电路制造

- 常压化学气相沉积（APCVD）是最早的CVD设备，是指在大气压及高温环境下，将气态反应源匀速喷射至加热的固体衬底表面，使反应源在衬底表面发生化学反应，反应产物在衬底表面沉积形成薄膜的设备，可用于制备单晶硅、多晶硅、二氧化硅、氧化锌、二氧化钛、磷硅玻璃、硼磷硅玻璃等薄膜。
- APCVD设备结构简单，沉积速率高（可达100nm/min），非常适合用于沉积介质薄膜。但APCVD易有气相反应发生，从而引起引起微粒污染，且以硅烷为反应剂沉积SiO2薄膜时，其台阶覆盖性和薄膜均匀性相对较差，故用于沉积较厚的介质薄膜，基本不应用于集成电路制造。

APCVD设备优缺点

	特点	具体阐述
优点	沉积速率高	薄膜沉积的速率在几十至几百纳米每分钟
	生产效率高、工艺重复性好	易于实现大面积连续镀膜，适合大批量工业生产
	结构简单	APCVD是在常压下的CVD反应，故不需要真空腔室。
缺点	非均匀性较差	在大气压下进行沉积时，由于气体扩散和传输的限制，沉积薄膜的厚度和质量在衬底表面上可能存在一定的非均匀性。这可能导致器件性能的变异性和不一致性。
	较高的表面粗糙度	由于在大气压下进行沉积时，气体分子碰撞和反应速率较慢，导致形成的薄膜表面不够平滑。
	温度限制	由于APCVD是在大气压下进行的，需要较高的温度来促进气相反应和沉积。这可能导致对一些热敏感的材料和器件造成限制
	污染风险	APCVD设备的反应环境与大气环境近似，反应气体的分子平均自由程较小，分子之间发生碰撞的频率很高，容易发生同质成核的化学反应，从而导致生产的薄膜内部及其表面可能含有颗粒，因此对腔室设计与维护提出了较高的要求。

APCVD设备结构图



- APCVD系统三个区域：两个氮气缓冲区以及缓冲区之间的工艺区。
- 1、两个缓冲区的氮气可将工艺过程的气体隔离避免泄漏到空气中。
- 2、加热器单元加热晶圆。传送带会不断将晶圆运送到工艺区域。
- 3、源材料化学气体将在加热的硅晶圆表面反应，并沉积一层薄膜。
- 4、沉积后的晶圆将被传送带移走。当传送带通过工艺区时，本身也会被一层沉积薄膜涂敷。因此需要经常性地清理以保持稳定的工艺状况。
- APCVD工艺由温度、工艺气体流量以及传送带速度等因素控制。

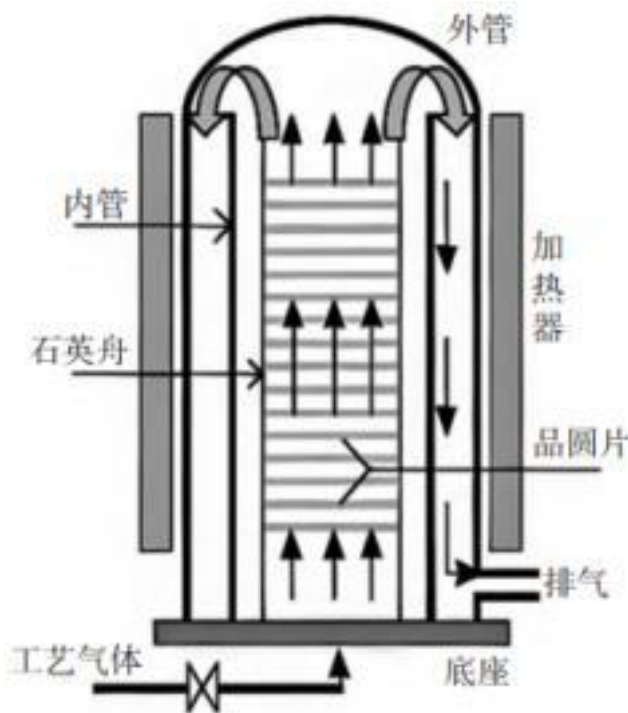
LPCVD：反应充分成膜质量高，但需较高的沉积温度

- 低压化学气相沉积（LPCVD）是在APCVD的基础上发展起来的，通过降低气体压强（通常只有10~1000Pa，而APCVD压强约101.325KPa），减缓气体的传输扩散速度，使其远低于气体的反应速度，可让气体反应充分，产生的薄膜物质（如Si3N4）满足标准化学计量比，薄膜纯度高，致密度高，表面均匀性好，常用于90nm以上的工艺节点。
- LPCVD缺点在于沉积薄膜速度慢；并需要较高的沉积温度，通常高于600℃，易出现高温引起的热形变。
- LPCVD主要工艺类型为Poly工艺、SiN工艺和TEOS工艺，还可用于接触孔以及金属钨线的填充。

LPCVD主要工艺类型

工艺	具体阐述
Poly工艺	Poly工艺生成多晶硅的工艺温度在540~630℃，可形成非晶和多晶硅，作为栅极的膜厚在1000~3000A
SiN工艺	SiN工艺用做硅片最终的钝化保护层，也被用做掩膜材料，用于浅槽隔离工艺。工艺温度在700~800℃，工艺压力在0.2~0.4 Torr。 采用LPCVD淀积的氮化硅薄膜均匀性好、台阶覆盖能力强，具有较大的张应力，可补偿二氧化硅薄膜的压应力，有效地解决了硅-二氧化硅-氮化硅夹心结构的应力问题。而且，该薄膜在碱性溶液中具有极小的腐蚀速率，可以作为刻蚀掩膜。
TEOS工艺	TEOS工艺用作浅槽隔离的填充物和侧墙。工艺温度在650~750℃，工艺压力在0.1~5.0 Torr。 目前半导体SiO2薄膜的制备方法主要有三种APCVD、LPCVD和PECVD三种。APCVD具有反应器结构简单、沉积速度快、沉积温度低等优点，缺点是台阶覆盖性差、粒子污染严重。LPCVD拥有极优的台阶覆盖性、良好的组成成分和结构控制性、较高的沉积速率等，不需要载离子气体，颗粒污染源较少，成本低、成品率高等优点，缺点是工艺温度稍高。PECVD具有基本温度低，沉积速率快，成膜质量好，针孔少，不易龟裂等优点，但缺点也很多，比如设备投资大，成本高，对气体的纯度要求高，涂层过程中产生的剧烈噪音、强光辐射、有害气体、金属蒸汽粉尘等对人体有害，薄膜颗粒污染严重等。

立式LPCVD炉管反应室结构



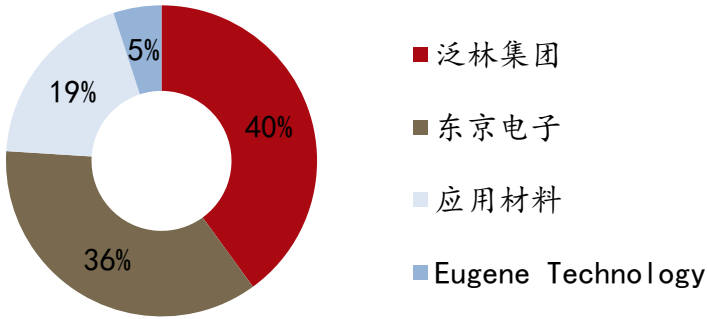
工艺流程如下：
 晶圆片放置于载片台，经传片系统传送到炉内，启动抽真空程序，检查设备运行状态；充N2吹扫后启动升温程序，保持恒定温度通入工艺气体，待压力稳定后开始沉积生长氮化硅薄膜；关闭工艺气体抽真空，并回冲N2到常压，最后晶圆片出炉，完成整个制备过程。

LPCVD：海外厂商高度垄断，中微LPCVD薄膜设备加速放量

- 根据SEMI数据，2023年全球非管式LPCVD市场规模约25.22亿美元。Gartner数据显示，2020年全球非管式LPCVD设备市场CR3高达95%，其中泛林集团、东京电子和应用材料分别占据40%、36%和19%的市场份额。
- 目前国内LPCVD设备厂商主要包括中微公司、北方华创、盛美上海和微导纳米。其中，中微公司LPCVD薄膜设备可满足先进逻辑器件、DRAM和3D NAND中接触孔以及金属钨线的填充应用需求，25H1收入增长约608.19%达1.99亿元；其他二十多种导体薄膜沉积设备也将陆续进入市场，能够覆盖全部类别的先进金属应用。

中微公司已开发出六款薄膜沉积产品推向市场

2020年全球非管式LPCVD市场格局（%）



国内各厂商LPCVD设备布局情况



公司	布局情况
中微公司	中微公司LPCVD薄膜设备可满足先进逻辑器件、DRAM和3D NAND中接触孔以及金属钨线的填充应用需求，25H1收入增长约608.19%达1.99亿元；其他二十多种导体薄膜沉积设备也将陆续进入市场，能够覆盖全部类别的先进金属应用。
北方华创	12英寸氮化硅LPCVD早在2020年就已进入中国IC制造龙头企业。LPCVD产品主要用于12英寸逻辑、存储芯片接触孔和通孔填充。该设备通过精确的温度、气体脉冲时间和压力控制，实现高深宽比结构填充需求。
盛美上海	盛美上海立式炉管设备首先专注于LPCVD设备，LPCVD（氧化硅、氮化硅、掺杂多晶硅及非掺杂多晶硅）基本已经完成布局。
微导纳米	iTronix LP 系列可满足SiGe、poly-Si、doped a-Si 等薄膜沉积工艺的需求，已在关键工艺应用上取得突破。目前，该系列产品已产业化验证并获得客户重复订单。

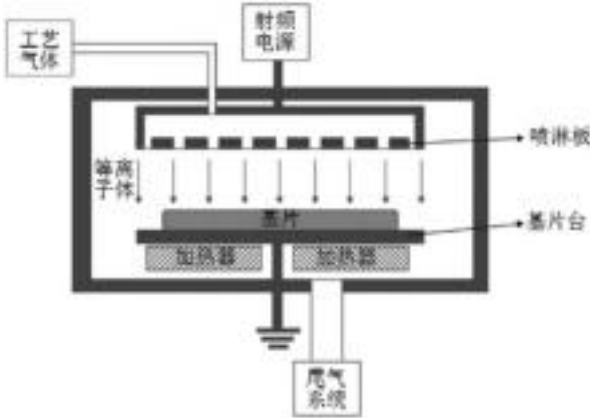
PECVD：适用于沉积大多数主流介质薄膜，成膜质量高且沉积温度低

- PECVD设备是90-28nm沉积介质绝缘层和半导体材料的主流工艺设备。主要功能是在将硅片控制到预定温度后，使用射频电磁波作为能量源在硅片上方形成低温等离子体，通入适当的化学气体，在等离子体的激活下，经一系列化学反应在硅片表面形成固态薄膜。
- 相比传统的CVD设备，PECVD设备由于等离子体的作用，化学反应温度明显降低，可形成高致密度、高性能薄膜，不破坏已有薄膜和已形成的底层电路，实现更快的薄膜沉积速度，适用于沉积大多数主流介质薄膜，是芯片制造薄膜沉积工艺中运用最广泛的设备种类。

PECVD设备的优缺点

	特点	具体阐述
优点	温度低	应用PECVD技术，许多在热CVD条件下进行十分缓慢或不能进行的反应能够得以进行
	通常在较低的压力下进行，可提高沉积速率，增加膜厚均匀性	多数 PECVD在辉光放电中所用的压力较低，从而增强了反应气体与生成气体产物穿过边界层，在平流层和衬底表面之间的质量输运；同时由于反应物中分子、原子等离子粒团与电子之间的碰撞、散射、电离等作用，膜层厚度的均匀性也得到改善，膜层针孔少，组织致密，内应力小，不易产生微裂纹。特别是低温沉积利于获得非晶态和微晶薄膜。
	可用于获得性能独特的薄膜	为维持PECVD系统的稳定性，需要不断从外界输入能量，因此PECVD系统实际上处于能量耗散状态。根据耗散结构理论，PECVD的沉积产物将呈多样性，一些按热平衡理论不能发生的反应和不能获得的物质结构，在PECVD系统中将可能发生。
	可用于生长界面陡峭的多层结构	在PECVD的低温沉积条件下，如果没有等离子体，沉积反应几乎不会发生。而一旦有等离子体存在，沉积反应就能以适当的速度进行。如此可把等离子体作为沉积反应的开关，用于开始和停止沉积反应。由于等离子体开关的反应时间相当于气体分子的碰撞时间（气压133Pa 时为1ms），因此利用PECVD技术可生长界面陡峭的多层结构
	扩大了化学气相沉积的应用范围	提供了在不同的基片制备各种金属膜、非晶态无机物膜、有机聚合膜的可能性
缺点	难以获得纯净的物质	在等离子体中，电子能量分布的范围宽，除电子碰撞外，其离子的碰撞和放电时产生的射线作用也可产生新的粒子。PECVD反应未必是选择性的，有可能存在几种化学反应，致使反应产物难以控制。有些反应机理也难以解释清楚。所以采用PECVD难以获得纯净的物质
	残留物多	因沉积温度低，反应过程中产生的副产物气体和其它气体的解吸进行得不彻底，经常残留沉积在膜层之中。在氮化物、碳化物、氧化物、硅化物的沉积中，很难确保它们的化学计量比。
	易对某些脆弱的衬底材料和薄膜造成离子轰击损伤	衬底电位相对于等离子体电位通常为负，这势必导致等离子体中的正离子被电场加速后轰击衬底，导致衬底损伤和薄膜缺陷。如对Ⅲ-V、Ⅱ-VI族化合物半导体材料。特别在离子能量超过20eV时，就特别不利。
	易在薄膜中造成压应力	对于在半导体工艺中应用的超薄膜来说，应力还不致于造成太大的问题。对冶金涂层来讲，压应力有时反而是有利的，但涂层较厚时应力有可能造成涂层的开裂和剥落。
	价格高	相对一般 CVD 而言，等离子体增强 CVD设备相对较为复杂，且价格较高。

PECVD装置示意图



PECVD与热CVD典型的沉积温度范围（℃）

沉积薄膜	热CVD	PECVD
硅外延膜	1000~1250	750
多晶硅	650	200~400
Si3N4	900	300
SiO2	800~1100	300
TiC	900~1100	500
TiN	900~1100	500
WC	1000	325~525

PECVD：可低温沉积SiN等氮氧化物的绝缘薄膜

- PECVD最重要的应用之一是在低温下沉积氮化硅、氧化硅或硅的氮氧化物一类的绝缘薄膜。
- 氮化硅具有优良的阻挡碱金属离子和湿气的的能力，因而常用作集成电路的钝化膜。而作为多层布线和器件表面保护的氮化硅膜，一般要求膜厚大于600nm，高温Si3N4膜还存在选择性腐蚀问题，使其应用受到限制。采用LPCVD沉积温度高，薄膜应力大，如Si3N4膜沉积时膜厚只能小于20 μm，否则便会发生龟裂。PECVD在250~400℃的温度范围内使氮化硅薄膜的沉积成为可能，这样低的温度即使在采用铝作为布线材料的晶片上也足以沉积薄膜，其制作工艺温度要求不超500℃。

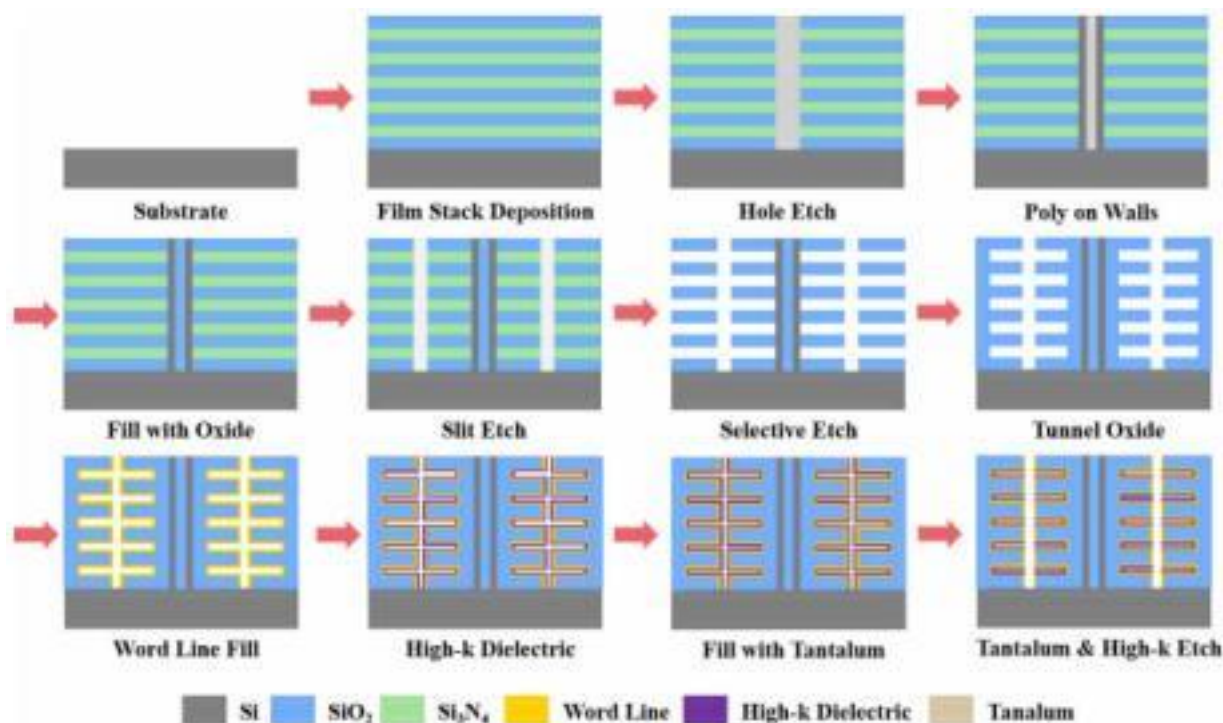
PECVD技术沉积的膜层材料

材料	沉积温度/K	沉积速度/ (cm*s ⁻¹)
非晶硅	523~573	10 ⁻⁸ ~10 ⁻⁷
多晶硅	523~673	10 ⁻⁸ ~10 ⁻⁷
非晶锗	523~673	10 ⁻⁸ ~10 ⁻⁷
多晶锗	523~673	10 ⁻⁸ ~10 ⁻⁷
非晶硼	673	10 ⁻⁸ ~10 ⁻⁷
非晶磷	293~473	≤10 ⁻⁵
As	<373	≤10 ⁻⁶
Se, Te, Sb, Bi	≤373	10 ⁻⁷ ~10 ⁻⁶
Mo, Ni	-	-
类金刚石	≤523	10 ⁻⁸ ~10 ⁻⁵
石墨	1073~1273	≤10 ⁻⁵
CdS	373~573	≤10 ⁻⁶
GaP	473~573	≤10 ⁻⁸
SiO2	≥523	10 ⁻⁸ ~10 ⁻⁶
GeO2	≥523	10 ⁻⁸ ~10 ⁻⁶
SiO2/GeO2	1273	约3*10 ⁻⁴
Al2O3	523~773	10 ⁻⁸ ~10 ⁻⁷
TiO2	473~673	10 ⁻⁸
TiC	673~873	10 ⁻⁸ ~10 ⁻⁶
SiC	473~773	10 ⁻⁸
TiN	523~1273	10 ⁻⁸ ~10 ⁻⁶
Si3N4	573~773	10 ⁻⁸ ~10 ⁻⁷
AlN	≤1273	≤10 ⁻⁶
GaN	≤873	10 ⁻⁸ ~10 ⁻⁷

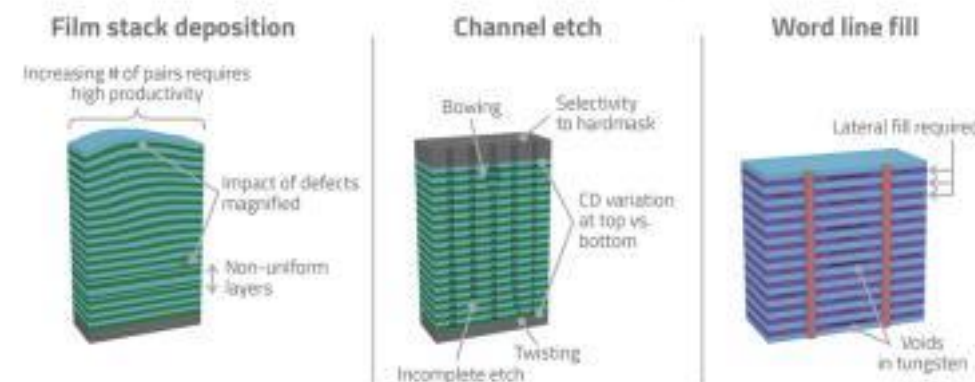
PECVD：可制备3D NAND的ONO

- 3D NAND需采用PECVD交替沉积多层薄膜直至所需层数。常见两种搭配是氧化物/氮化物和氧化物/多晶硅，比如三星为氮化硅和二氧化硅。
- 氧化物/氮化物（ONON）或氧化物/多晶硅（OPOP）每一层薄膜需极度均匀、光滑，具有精确厚度，并且之间具有好的粘附性。
- 随着堆叠层数增加，薄膜应力和均匀性的挑战越来越大。晶圆翘曲和局部薄膜应力直接影响到光刻堆叠精度。薄膜的厚度和重复性则影响存储单元的有效体积和光刻、刻蚀表现的一致性。

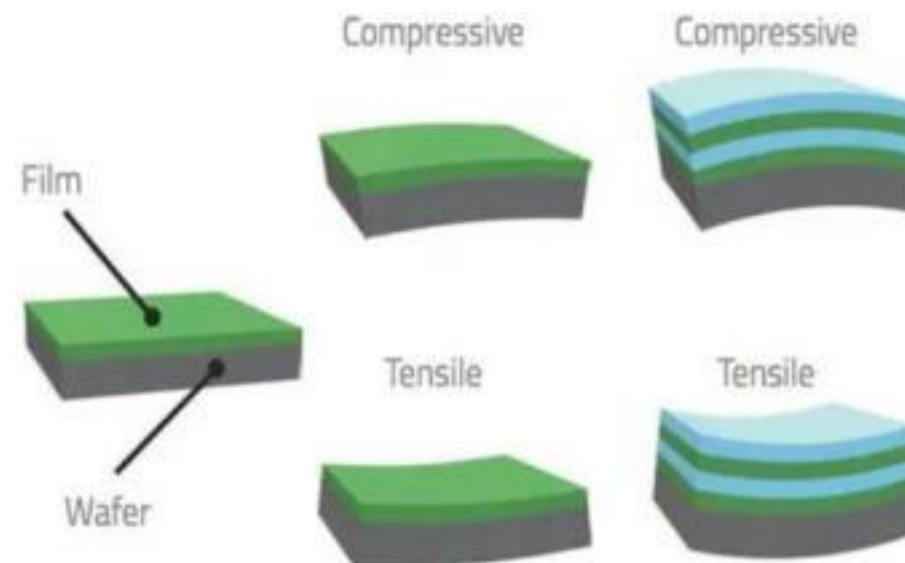
3D NAND 制程中的沉积刻蚀工艺



3D NAND主要工艺挑战



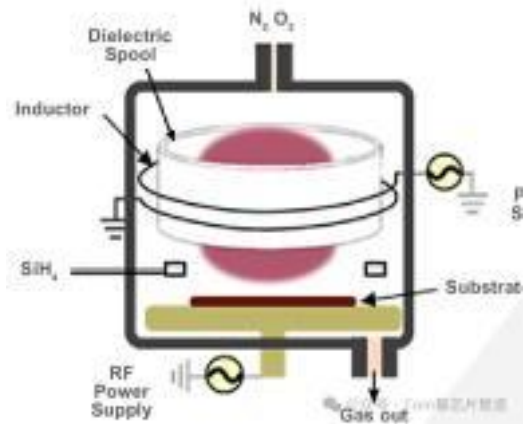
层数增加导致薄膜应力挑战增大



沟槽填充类CVD——HDPCVD：应用于深宽比小于5:1的沟槽填充工艺

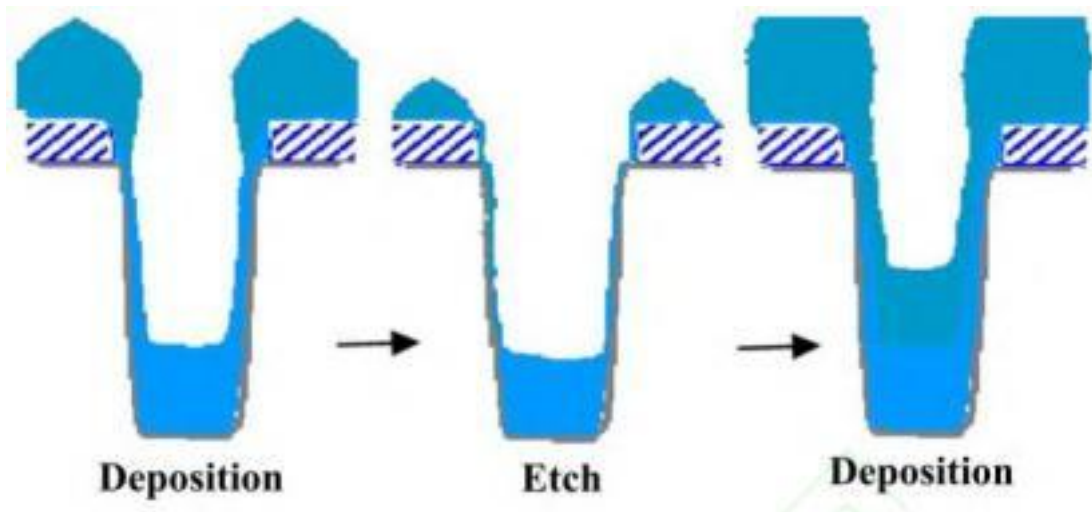
- HDPCVD（高密度等离子体化学气相沉积）、SACVD（次常压化学气相沉积）和FCVD（流动化学气相沉积）主要用于沟槽填充。
- 在HDPCVD工艺出现之前，大多数芯片制造工厂应用PECVD来进行绝缘介质薄膜的填充。在间隔宽度小于 $0.5\mu\text{m}$ 的情况下，用PECVD填充高的深宽比间隙会产生空洞。HDPCVD产生的等离子体密度非常高，通常在 10^{11} 至 10^{12} ions/ cm^3 的量级，远高于PECVD等离子体密度；因此，当制程进入到90nm以下时，需采用HDPCVD进行沟槽填充。
- HDPCVD主要应用于深宽比小于5:1的沟槽填充工艺，可同时进行薄膜沉积和溅射刻蚀，薄膜致密度更高，杂质含量更低。
- 目前国内HDPCVD设备厂商主要为拓荆科技、北方华创等。其中公司 HDPCVD USG、FSG、STI 薄膜工艺设备均已实现产业化，并持续扩大量产规模，HDPCVD系列产品反应腔累计出货量达到100个。

HDPCVD设备结构



HDPCVD产生高密度等离子体方式类似于ICP，并施加RF偏压，吸引高能粒子轰击，增加粒子方向性。

HDPCVD采用的沉积-刻蚀-沉积工艺流程示意图



HDPCVD是一种在一个腔体内同时进行沉积/刻蚀的制程，大大地提高了生产效率和间隙填充能力。HDPCVD是一边沉积一边刻蚀的，且沉积速率必须永远大于刻蚀溅射速率。同时一些从间隙拐角处被溅射出来的氧化物会在间隙底部重新沉积，故通常间隙底部的沉积速率是侧壁的3倍。这样可使侧壁的薄膜无法相互闭合，间隙就可以实现无空洞地从底部填充起来。

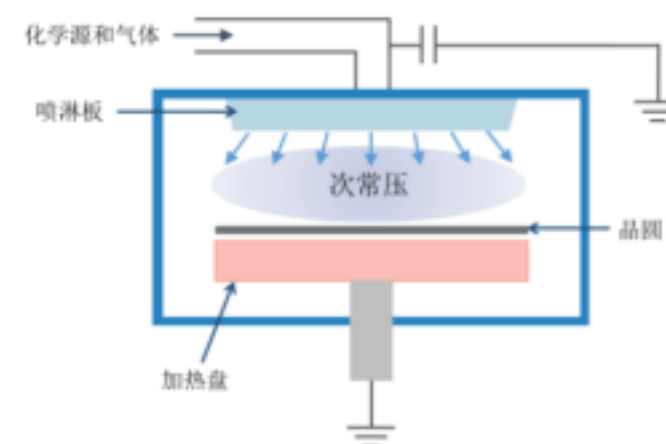
国产厂商HDPCVD布局情况

厂商	布局情况
拓荆科技	自2021年底拓荆推出国内首台HDPCVD到客户端，目前已升级为新型六边形平台，产品性能达到业界领先水平，坪效比业界第一。公司 HDPCVD USG、FSG、STI 薄膜工艺设备均已实现产业化，并持续扩大量产规模，HDPCVD系列产品反应腔累计出货量达到100个。
北方华创	2024年1月，由北方华创自主研发的12英寸HDPCVD设备Orion Proxima正式进入客户端验证，主要应用于12英寸集成电路芯片的浅沟槽绝缘介质填充工艺。该设备通过同时进行沉积和刻蚀的工艺方式，有效完成高深宽比沟槽的介质填充，具备高沉积速率、优异的填孔能力和高致密的薄膜质量等优势。

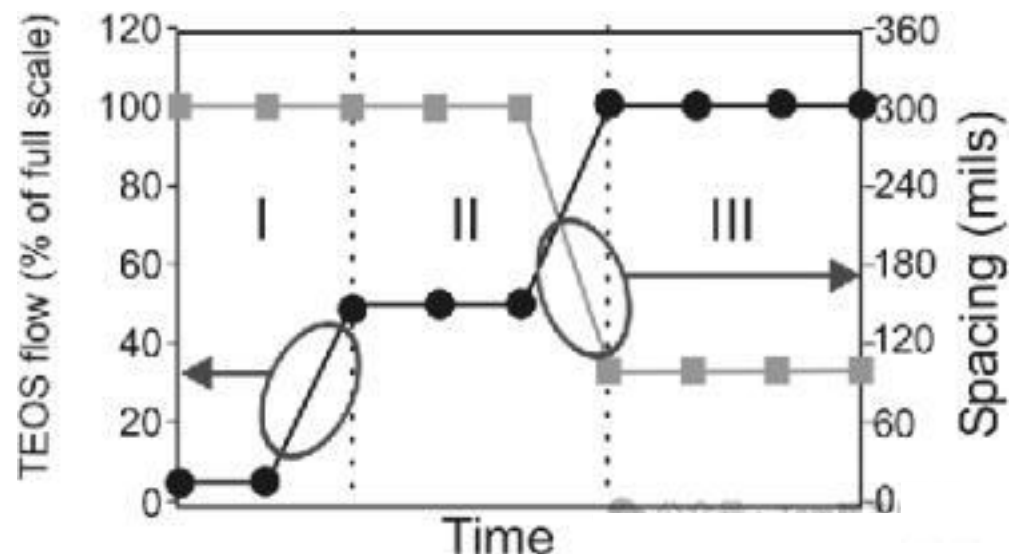
沟槽填充类CVD——SACVD：应用于深宽比小于7:1的沟槽填充工艺

- 当几何尺寸缩小至45nm以下，HDPCVD填充能力难以满足更高深宽比结构，且沉积的薄膜存在压应力，进而导致NMOS迁移率下降。此外，HDPCVD沉积速度慢，并对衬底有严重的损伤。
- SACVD设备系40nm以下逻辑电路制造、高性能存储芯片高深宽比填充的关键设备，主要应用于深宽比小于7:1的沟槽填充工艺。
- SACVD设备是在次常压环境下，通过对反应腔内气体压力和温度的精确控制，将气相化学反应材料在晶圆表面沉积薄膜。SACVD设备的高压环境（30-600Torr）可以减小气相化学反应材料的分子自由程，通过臭氧在高温（400℃-550℃）下产生高活性的氧自由基，增加分子之间的碰撞，实现优越的填孔（Gap fill）能力。
- 传统SACVD反应速率较慢，AMAT公司推出HARP工艺，通过调节O₃/TEOS比例获得较好的填充效果同时提高沉积速率，主要用于STI与PMD绝缘介质的填充。拓荆科技SACVD设备实现了产业化应用，可沉积SA TEOS、BPSG、SAF材料薄膜。

SACVD设备结构图



HARP工艺步骤



HARP一般分为三步，主要动作是调节O₃/TEOS比例：

(I)：低流量低速沉积用于均匀打底；

(II)：高流量沉积用于快速填充；

(III)：通过提高TEOS的比例，获得更高的沉积速率。

拓荆科技SACVD设备布局情况

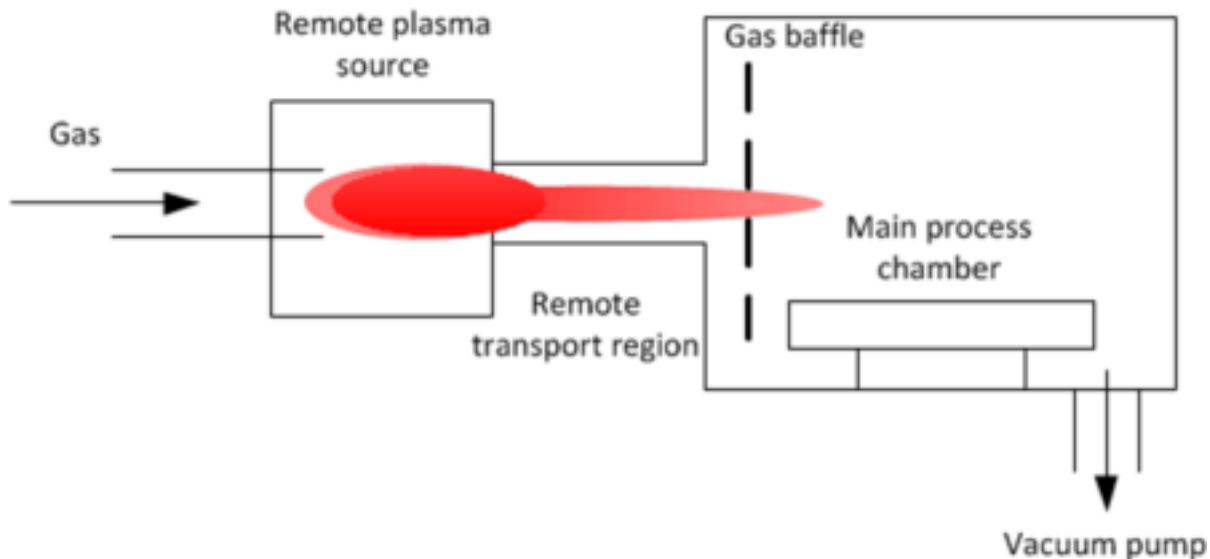
拓荆科技SACVD系列产品广泛应用于集成电路逻辑芯片、存储芯片制造领域，可以沉积SATEOS、SABPSG、SAF（包括等离子体处理优化的SAF）等介质薄膜材料，可实现8英寸与12英寸SACVD设备兼容。2024年公司SACVD系列产品持续保持产品竞争优势，进一步扩大量产应用规模，同时，推出的等离子体增强SAF薄膜工艺设备在客户端验证进展顺利。截至2024年末，公司SACVD系列产品反应腔累计出货超过100个。

主要产品型号	主要薄膜工艺
PF-300T SA	SA BPSG、SA TEOS 等介质薄膜材料
PF-300T SAF PF-300T Plus SAF	SAF（包括等离子体处理优化的SAF）等介质薄膜材料

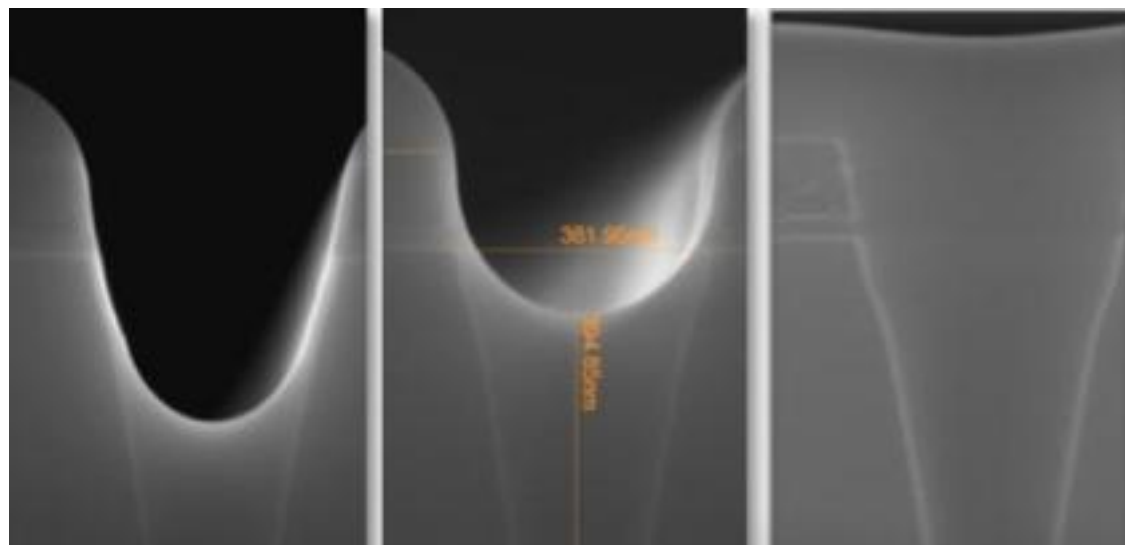
沟槽填充类CVD——FCVD：可满足深宽比高达30:1的结构填充

- FCVD，全称是Flowable Chemical Vapor Deposition，即流动化学气相沉积。结合了旋涂电介质（SOD）优异的间隙填充性能和CVD的工艺稳定性，主要用于ILD（层间介电质）制作。2010年应用材料推出FCVD设备——Producer® Eterna® FCVD系统，可应用于20nm及以下制程节点，可满足深宽比高达30:1的结构填充。
- FCVD配置远程等离子体源（RPS），分两步进行沉积：沉积+固化成氧化硅薄膜。在沉积过程中，温度比较低，被淀积的材料能够以液态形式流动，填充狭小的空间。这与传统的SOD工艺类似，但FCVD的材料是通过CVD工艺沉积的，而SOD则是通过旋涂的方法。之后，在惰性氛围的环境中，在650℃以下的温度中进行固化，得到固态的氧化硅薄膜。
- FCVD优点包括：1）极高的填充能力，可达到完全填充间隙而不会留下孔洞和缝隙的效果；2）低温工艺，对于温度敏感的芯片产品十分有利；3）薄膜的致密性很好；4）成本仅为SOD的一半。
- 拓荆科技Flowable CVD产品多台通过客户验证，实现了产业化应用，并获得不同客户订单。截至2024年末，与Flowable CVD设备相关的反应腔累计出货超过15个。

FCVD配置的远程等离子体源（RPS）结构



FCVD沉积过程



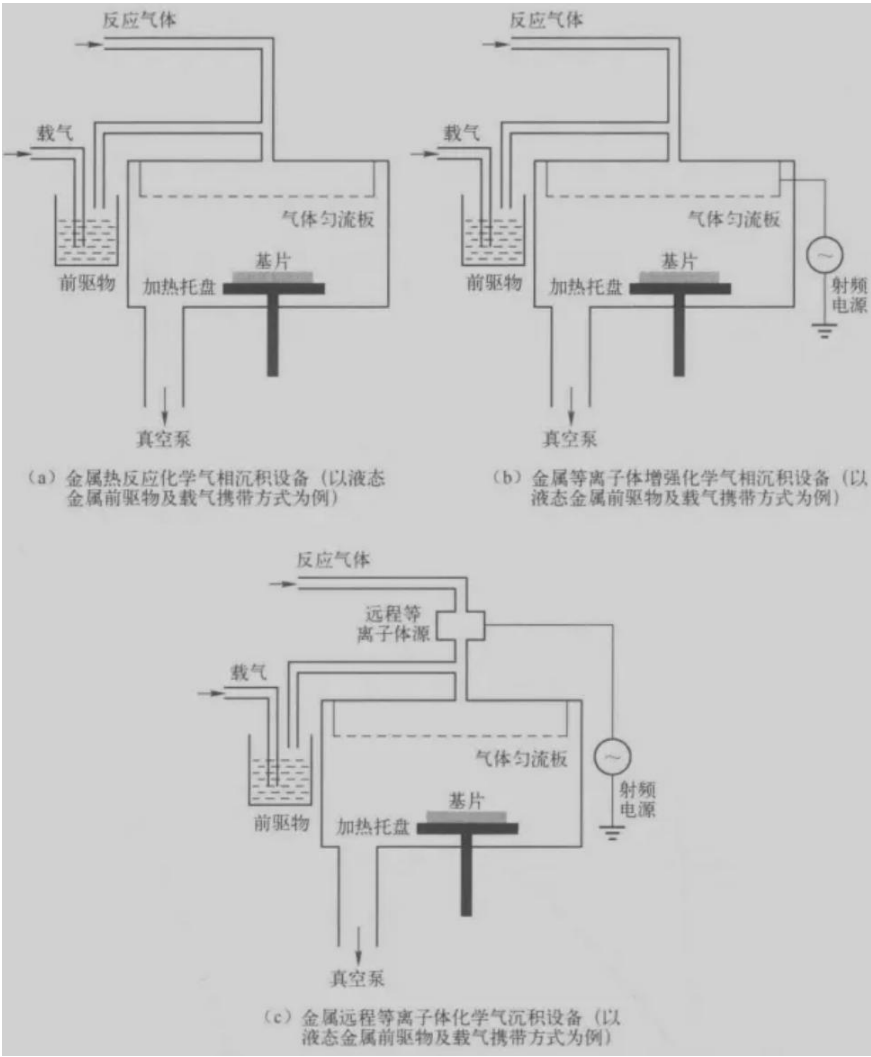
Metal-CVD：用于金属薄膜沉积，可实现对孔隙和沟槽很好的台阶覆盖率

- Metal-CVD（金属化学气相沉积）是指特含金属前驱物的一类化学沉积技术，其优点是可实现对孔隙和沟槽很好的台阶覆盖率。
- Metal-CVD可分为热反应和等离子体增强两种类型，后者又可分为金属原位和金属远程两种方式。
- 最早应用Metal-CVD设备的目的是为了沉积钨，用于集成电路上填充接触孔隙及存储器上的字线。在14nm技术之后，由于沟槽尺寸变小，对金属表面的粗糙度的要求越来越高。对于较薄薄膜的应用，金属ALD设备会更多地取代Metal-CVD设备。但金属ALD的产能通常较低，对于较厚的金属薄膜沉积，或因没有合适的前驱物实现原子层沉积，同时要求较高的台阶覆盖率的应用，Metal-CVD仍是很好的选择。

三种Metal-CVD具体情况

类型	原理	特点	应用
热反应	金属前驱体与其他气体（或金属前驱物自身）通过托盘加热激发化学反应（或分解）实现金属薄膜沉积	设备结构相对简单，且容易实现高台阶覆盖率	1、在存储器上的电容电极制备中，对薄膜的台阶覆盖率、产能和电学性能的要求较高，金属热反应化学沉积用于TiN电极薄膜沉积，无机前驱物为TiCl ₄ ； 2、3D NADN字线和插塞里的钨沉积由ALD和金属热反应化学气相沉积结合完成。
等离子体增强	金属原位 通过等离子体离子化分解前驱物与加热结合激发化学反应，实现低温低杂质的薄膜沉积	适用于集成电路后端工艺沉积温度低于400℃的低杂质金属薄膜的沉积，其缺点是可能对衬底造成电损伤，并且由于等离子体存在各向异性，使金属薄膜沉积在小孔隙或沟槽台阶处的覆盖率变差，因此其应用有一定的局限性。	1、随着技术代的更新，孔隙尺寸变小，钨的阻挡层氮化钛由原来采用PVD改为采用CVD。由于氮化钛沉积前是钛附着层，为了防止对钛附着层的腐蚀及氯杂质氮化钛的沉积不能使用无机前驱物TCL，因此金属原位化学气相沉积设备被用于TiN的沉积，金属有机前驱物TDMAT被采用；
	金属远程 将部分反应气体在远离衬底的等离子体腔室内进行离子化分解，进而降低激发化学反应所需的势垒，达到降低沉积温度、薄膜杂质和衬底电损伤的目的。这种等离子体通常是电感耦合型的。	弥补了原位等离子体增强化学气相沉积设备的部分缺陷。由于离子和原子的寿命短，使得该设备的匀流板设计及腔室材质的选择具有挑战性。	2、14nm以后的钨填充接触孔隙的籽晶层沉积由金属热反应化学沉积转换为金属原位化学气相沉积，以改变籽晶层表面化学成分的各向异性使主沉积实现从底部生长，减少空洞内的缝隙。

三种Metal-CVD设备工作原理



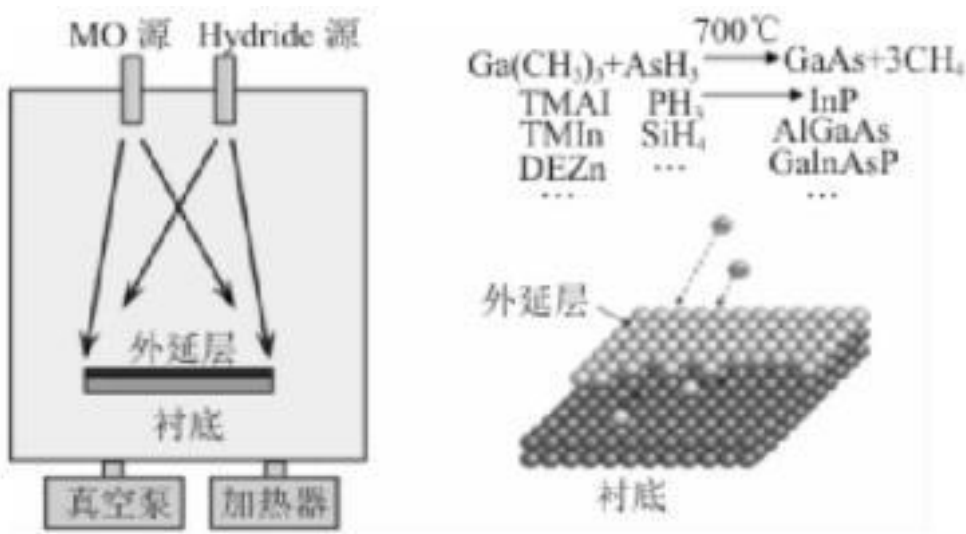
MOCVD：LED芯片、功率器件等产品制造最为关键的设备

- MOCVD（Metal-organic Chemical Vapor Deposition，金属有机化学气相沉积），又叫金属有机气相外延（MOVPE），是在常压或者低压（1-100 Torr）环境下，利用有机金属热分解（衬底温度通常在500-1100℃）进行气相外延生长的先进技术，目前主要用于化合物半导体（Ⅲ-V族、Ⅱ-VI族化合物）薄膜气相生长，MOCVD设备现已成为LED芯片、功率器件等产品制造最为关键的专用设备。
- 外延技术中，与液相外延生长法、分子束外延相比，MOCVD最大特点在于可对多种化合物半导体进行外延生长。生长温度：液相外延生长法> MOCVD>分子束外延；生长速率：液相外延生长法> MOCVD>分子束外延；膜纯度：以液相外延法生长膜的纯度最高，而MOCVD和分子束外延方法生长膜的纯度次之。

MOCVD优缺点

优点	缺点
生长温度范围较宽，反应装置容易设计，较气相外延法简单	最重要缺陷是缺乏实时原位监测生长过程的技术
可合成组分按任意比例组成的人工合成材料，形成厚度精确控制到原子级的薄膜，从而又可以制成各种薄膜结构型材料，例如量子阱、超晶格材料。可通过精确控制各种气体的流量来控制外延层的成分、导电类型、载流子浓度、厚度等待性，可以生长薄到零点几纳米到几纳米的薄层和多层结构	原料的纯度难以满足要求，其稳定性较差
原料气体不会对沉积薄膜产生蚀刻作用，因此，沿膜的生长方向上，可实现掺杂浓度的明显变化；	对反应机理还未充分了解
可通过改变气体流量在0.05~1.0 μm/min的大范围内控制化合物的生长速度	反应室结构设计的最优化技术有待开发
薄膜的均匀性和电学性质具有较好的再现性，能在较宽的范围内实现控制；可制成大面积均匀薄膜，是典型的容易产业化的技术。例如超大面积太阳能电池和电致发光显示板等	-

MOCVD反应原理

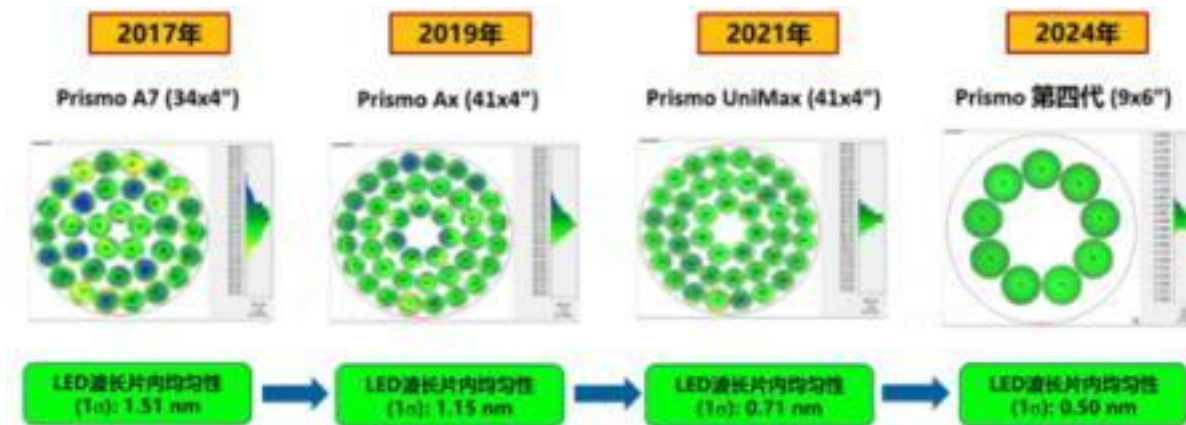
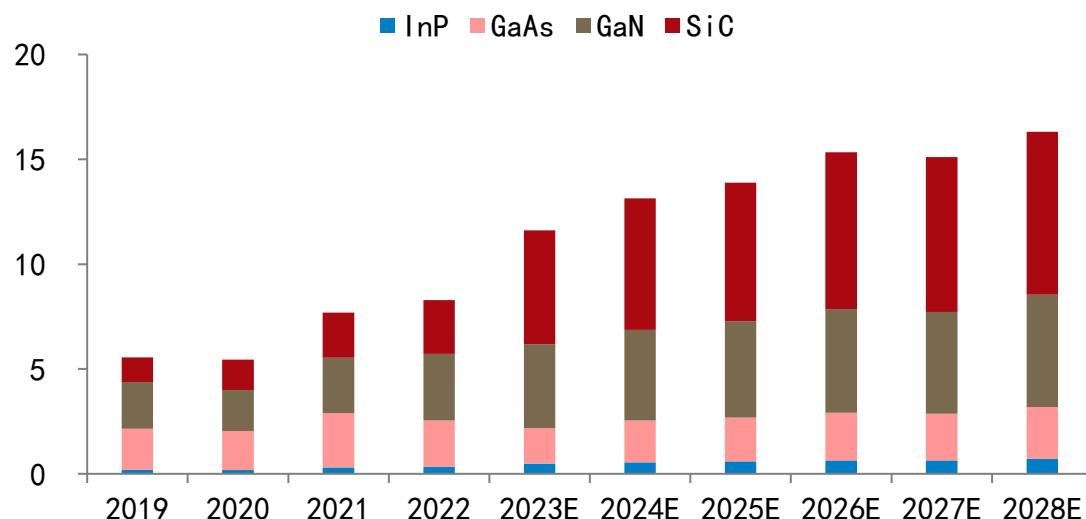


MOCVD：自2017年起中微公司已成为氮化镓基LED市场份额最大的MOCVD设备供应商

- 照明、显示、功率器件是MOCVD终端三大应用市场。
- 照明是最大的下游应用市场，MOCVD设备采购金额一般占LED生产线总投入的一半以上。中国LED芯片产业的快速发展带动了作为产业核心设备的MOCVD设备需求量的快速增长。根据智研咨询数据，目前中国是全球最大的MOCVD设备需求市场，2023年我国MOCVD设备规模为28亿元，设备保有量3000台左右。
- Mini-LED背光及直接显示市场需求的推动下，近两年高端显示类的LED外延片需求量增加明显。Micro-LED高端显示技术也发展迅速，基于Micro-LED的高端显示应用也开始小规模试生产，预计在未来几年将会有更多的市场需求。功率器件、特别是第三代半导体功率器件的发展则将在长期扩展相关设备投资。
- 全球MOCVD设备厂商主要包括德国爱思强、美国维易科以及中国的中微公司。自2017年起中微公司已成为氮化镓基LED市场份额最大的MOCVD设备供应商。

2019至2028年化合物半导体外延设备市场规模（亿美元）

中微三代MOCVD设备不断提高蓝绿光LED波长均匀性



外延：用于生长具有特殊物理性质外延层

- 外延，即Epitaxy，是在一个单晶衬底上，沿着原来的结晶方向定向生长出与基底晶态结构相同或类似的晶态薄膜层。由于所生长的薄膜层是衬底晶格的延伸，所以叫做外延层。在外延生长过程中，一般要求能控制结晶的生长取向和杂质的含量以产生具有特殊物理性质的半导体晶态薄膜层。
- 外延工艺主要有同质外延和异质外延两种类型。同质外延是指在相同类型的基片上生长出相同的材料，外延层和基片有着完全相同的晶格结构。异质外延则是在一种材料的基片上生长出另一种材料，外延层和基片的晶格结构可能会有所不同。
- 外延生长方法主要有化学气相沉积、分子束外延和液相外延三种，其中化学气相沉积被广泛采用。

三种外延生长方法对比

生长方法	优点	缺点
化学气相沉积	具有可以精确控制外延膜厚度和掺杂浓度、缺陷较少、生长速度适中、过程可自动控制等优点	外延层仍存在各种缺陷；外延生长工艺仍需不断优化
分子束外延生长	可在低生长温度下生长不同的晶型外延层，制备的薄膜质量极高	设备真空要求度高、成本高昂；外延层生长速率慢
液相外延	设备需求简单、成本较低；可在相对较低的温度下生长出具有优良晶格匹配的外延层，减少了因高温而产生的缺陷	很难控制好外延层的表面形貌；设备不能同时外延多片晶圆，限制批量生产

外延的分类及特性

名称	衬底	外延层元素	外延工艺方法
硅同质外延	Si	Si	气相外延（VPE）
硅异质外延	蓝宝石或尖晶石	Si	气相外延（VPE）
GaAs同质外延	GaAs	GaAs	气相外延（VPE） MOCVD 分子束外延（MBE） 液相外延（LPE）
GaAs异质外延	GaAs	GaAlAs/GaAs/GaAsP	气相外延（VPE） 液相外延（LPE）
GaP同质外延	GaP	GaP	液相外延（LPE）
GaP异质外延	GaP	GaAsP	
超晶格	GaAs	GaAlAs/GaAs	MOCVD 分子束外延（MBE）
InP同质外延	InP	InP	气相外延（VPE） 液相外延（LPE）
InP异质外延	InP	InGaAsP	
Si/GaAs外延	Si	GaAs	MOCVD 分子束外延（MBE）

外延：SiC外延技术主要为化学气相沉积法

- SiC器件不能在晶圆上直接制作，而是需要在SiC晶圆上沉积生长外延层，利用外延膜生产器件。SiC无法直接在碳化硅单晶材料上制备，需要在单晶衬底上额外生长出高质量的外延材料，并在外延层上制造各类器件外延层的质量直接决定器件的良率，其成本占芯片制造成本的20%。
- SiC薄膜生长方法有化学气相沉积CVD、分子束外延MBE、液相外延LPE等，其中CVD具有可以精确控制外延膜厚度和掺杂浓度、缺陷较少、生长速度适中、过程可自动控制等优点，是目前已成功商业化的SiC外延技术。
- LPE可在相对较低的温度下生长出具有优良晶格匹配的外延层，减少了因高温而产生的缺陷，但其生长速率较慢，不适用于大规模生产。分子束外延可制备出质量极高的SiC外延层，但与LPE一样存在生长速率慢，且运行成本相对较高的缺点。

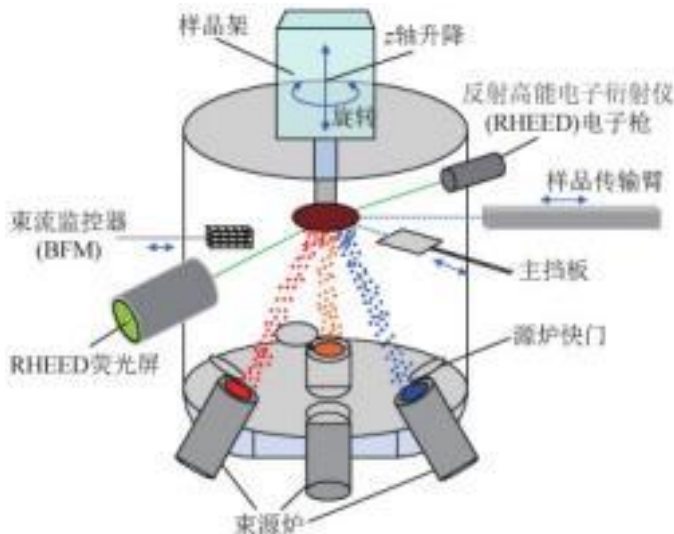
CVD法制备SiC外延片过程



化合物半导体主要外延生长技术对比

参数	分子束外延MBE	金属有机物化学气相沉积MOCVD	高温化学沉积HTCVD
最大生产能力	8 × 6 英寸/ 批	8 × 6 英寸/ 批	9 × 6 英寸/ 批
外延速度	较慢($\approx 1 \mu\text{m/h}$)	较快($\geq 2 \mu\text{m/h}$)	快速($\geq 30 \mu\text{m/h}$)
薄膜控制精度	较佳	一般	较差
薄膜均匀性	较好	一般	较差
原料来源	元素	气、液相化合物	气体
腔体环境	超高真空	氢气/ 氮气	氢气/ 氮气
气化方式	热能、电子束	气相压力、载流气体	热能
流量控制	温度	质量流量控制器	质量流量控制器
反应机制	物理、化学吸附	化学反应	化学反应

MBE的基本原理

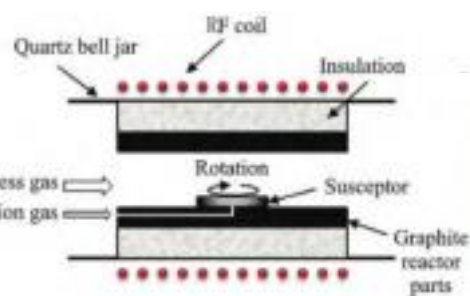


MBE外延生长是在超高真空环境下(10⁻¹⁰Torr)以高温蒸发的方式将源材料裂解为气体分子以产生分子束流，产生的分子束流在衬底表面经吸附、分解、迁移、成核、生长等过程使原子进入晶格位置完成外延生长。由于该技术在超高真空环境下进行，它能够实现极高的层厚和掺杂浓度控制精度，制备出质量极高的SiC外延层。

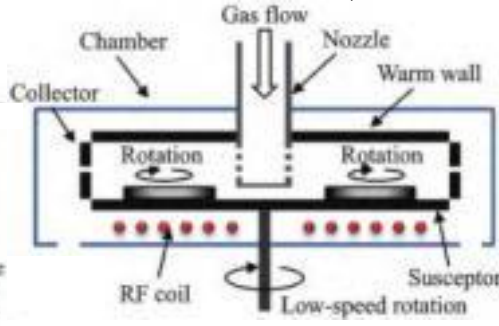
外延：热壁水平卧式、温壁行星式以及准热壁立式为主流方案

- 4H-SiC CVD外延一般采用热壁或温壁式CVD设备，在较高的生长温度条件（1500~1700℃）下保证了外延层4H 晶型SiC的延续。
- 热壁或温壁式CVD经过多年的发展，按照进气气流方向与衬底表面的关系，反应室可以分为水平卧式结构反应炉和垂直立式结构反应炉。热壁水平卧式CVD、温壁行星式CVD以及准热壁立式CVD为现阶段主流外延设备技术方案，已实现商业化应用。
- 国内晶盛机电、中国电科48所、北方华创、纳设智能均开发了热壁水平式CVD系统的单片式SiC外延设备。

热壁水平式CVD系统



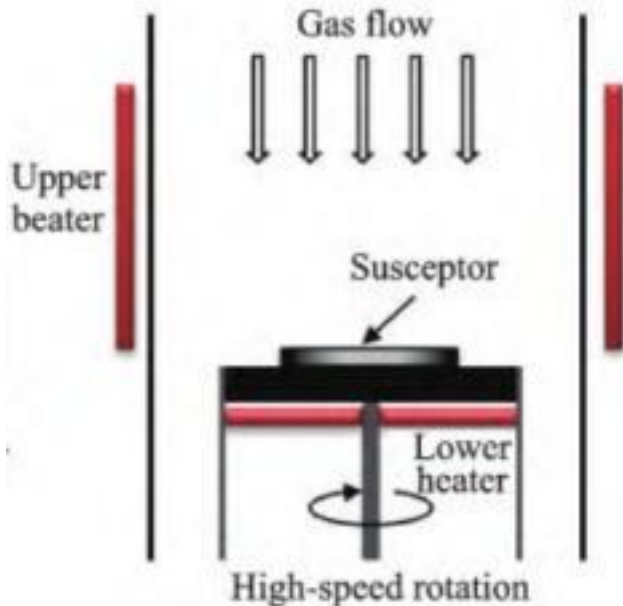
温壁行星式CVD系统



国内外主流外延设备概况

类型	特点	海外代表机型	国内进展
热壁水平式CVD系统	一般为气浮驱动旋转的单片大尺寸生长系统，易实现较好的片内指标	意大利LPE公司的Pe106，该机台可实现 900℃高温自动装取片，主要特点是生长速率高、外延周期短、片内及炉次间一致性好等，在国内市占率最高。 Pe106外延炉生产的厚度30 μm以下100~150mm（4~6 英寸）4H-SiC外延片产品可稳定达到如下指标：片内外延厚度不均匀性≤2%，片内掺杂浓度不均匀性≤5%，表面缺陷密度 ≤1cm ⁻² ，表面无缺陷面积（2mm×2mm单元格）≥90%。基于该设备生长的SiC外延材料，最大外延厚度已达200 μm以上	国内晶盛机电、中国电科48 所、北方华创、纳设智能均开发了具有类似功能的单片式SiC外延设备。2023年2月，晶盛机电发布了6英寸双片式 SiC 外延设备，该设备通过对反应室石墨件的改造，采用上下层叠加的方式，单炉可以生长两片外延片，且上下层工艺气体可以单独调控，温差≤5℃，有效弥补了单片水平式外延炉产能不足的劣势。
温壁行星式CVD系统	以行星排布基座的方式，特点是单炉多片生长，产出效率较高	德国Aixtron 公司的AIX G5 WW C（8×150mm）和G10-SiC（9×150 mm或6×200mm）系列外延设备。 G10外延炉生产的厚度10 μm的6英寸4H-SiC外延片产品可以稳定达到如下指标：片间外延厚度偏差±2.5%，片内外延厚度不均匀性 ≤2%，片间掺杂浓度偏差±5%，片内掺杂浓度不均匀性 ≤2%	此类机型在国内用户端使用较少，批量生产数据不足，在一定程度上制约了其工程化应用。由于多片式外延炉在温场和流场控制等方面技术壁垒较高，国内同类设备开发仍处于研发阶段，尚无替代机型。
准热壁立式CVD系统	主要通过外部机械辅助基座高速旋转，特点是通过较低的反应室压力有效降低粘滞层厚度从而提高了外延生长速率，同时其反应室没有能够沉积 SiC 颗粒的上壁，不易产生掉落物，在缺陷控制上拥有先天优势	日本Nuflare公司的单片式外延炉EPIREVO S6。 EPIREVO S6设备的生长速率可以达到50 μm/h以上，且外延片表面缺陷密度可控制在0.1 cm ⁻² 以下。在均匀性控制方面，2019 年 Nuflare工程师Yoshiaki Daigo报道了采用EPIREVO S6生长的10 μm厚6英寸外延片的片内均匀性结果，片内厚度和掺杂浓度不均匀性分别达到1%和2.6%	芯三代、晶盛机电等国内设备制造商已经设计并推出了具有类似功能的外延设备，但还没有大规模的使用

准热壁立式CVD系统



外延：抛光片外延生长后可用于逻辑芯片制造

- 硅片可分为正片和测试片。正片可用于晶圆量产制造，又可分为抛光片和外延片。外延片主要用于CPU/GPU/手机SOC/嵌入式MCU为代表的逻辑芯片制造。而测试片用于晶圆厂对产线设备工艺环境的调试和检测，并不直接用于晶圆制造。
- 外延片=抛光片（又称衬底）+抛光层。外延片是在抛光片上沿着原来的结晶方向定向外延生长出与基底晶态结构相同或类似的一层或多层硅单晶薄膜的材料。在外延生长过程中，一般要求能控制结晶的生长取向和杂质的含量。
- 尽管外延层材料相同，但可提升晶圆表面的材料纯度和均匀度，通过外延处理的衬底，相比于机械抛光的抛光片，其表面平整度高、洁净度高、微缺陷少、表面杂质少，因此电阻率更加均匀，对于表面颗粒、层错、位错等缺陷也更容易控制。外延不仅提高了产品的性能，也能保证产品的稳定性和可靠性。

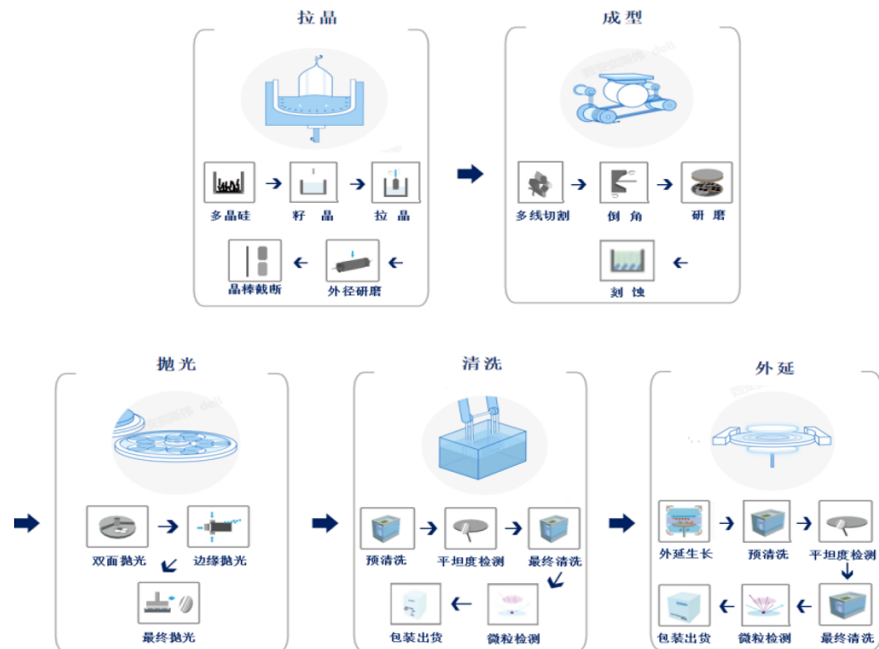
硅片外延带来的优势

优点	具体说明
提高晶体质量	晶圆衬底在制造过程中可能会有一定的缺陷和杂质。外延层的生长可以在衬底上生成一个高质量、缺陷和杂质浓度低的单晶硅层，这对于后续的器件制造非常重要。均匀的晶体结构：外延生长可以保证一个更均匀的晶体结构，减少衬底材料中的晶界和缺陷的影响，从而提高整个晶圆的晶体质量
改善电气性能	通过在衬底上生长外延层，可以精确控制硅的掺杂浓度和类型，优化器件的电气性能。例如，外延层的掺杂可以精确调节MOSFET的阈值电压和其他电学参数。减少漏电流：高质量的外延层具有较低的缺陷密度，这有助于减少器件中的漏电流，从而提高器件的性能和可靠性。
支持先进工艺节点	在更小的工艺节点（例如7nm、5nm）中，器件特征尺寸不断缩小，要求更加精细和高质量的材料。外延生长技术能够满足这些要求，支持高性能和高密度的集成电路制造。提高抗击穿电压：外延层可以设计成具有较高的抗击穿电压，这对于制造高功率和高电压器件非常关键。例如，在功率器件中，外延层可以提高器件的击穿电压，增加安全工作范围
工艺兼容性和多层结构	外延生长技术允许在衬底上生长多层结构，不同层次可以具有不同的掺杂浓度和类型。这对于制造复杂的CMOS器件和实现三维集成非常有帮助。兼容性：外延生长工艺与现有的CMOS制造工艺高度兼容，容易集成到现有的制造流程中，不需要大幅度修改工艺线路

硅片分类及应用场景

硅片类型			应用场景
P型	抛光片	轻掺	存储芯片（DRAM、NAND Flash、部分制程 Nor Flash）、CIS 芯片中逻辑晶圆、模拟芯片（部分制程显示驱动芯片、电源管理芯片等）
	外延片	轻掺	逻辑芯片、存储芯片（部分制程 Nor Flash）、模拟芯片（部分制程显示驱动芯片等）
		重掺	CIS 芯片中像素传感器晶圆等
N型	抛光片	轻掺	功率器件（IGBT）
		重掺	功率器件（MOSFET）
	外延片	重掺	

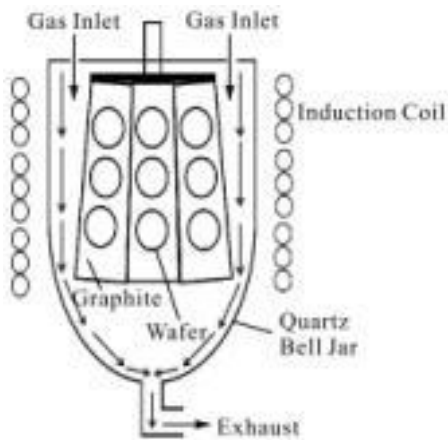
硅片生产过程



外延：大尺寸硅外延片主要采用单片式外延炉

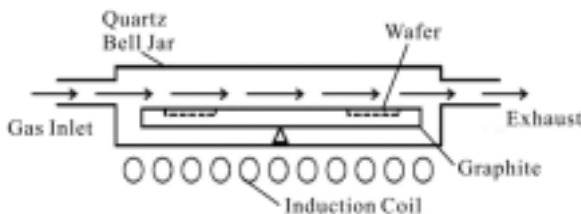
- 目前硅外延生长采用的主要是化学气相沉积。这种方法设备简单，外延层的各种参数较容易控制，重复性好。
- 针对中小尺寸硅外延片市场，桶式炉、垂直炉仍然发挥着重要的作用；而面对大尺寸硅外延片市场，平板炉、单片炉发展日趋完善，特别对于12 in (304.8mm) 以上的硅外延片，单片式硅外延炉已无可替代。
- 单片式设备是专为单个衬底设计的，可提供更精确的温度控制和更好的热隔离，适合于高质量外延层的生长。

桶式炉结构



桶式硅外延炉，采用桶型设计，显著改善了硅片的装载能力；另一方面，厂商往往采用双腔设计，进一步提高生产效率。这也是桶式硅外延炉如今依然在中小尺寸硅外延片市场发挥作用的主要原因。

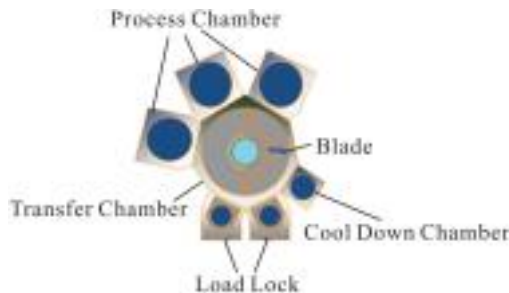
平板炉结构



平板式硅外延炉，通过将硅片位置设定在靠近基座外径的一侧，并在硅外延生长过程中旋转基座，显著改善其均匀性。该类硅外延炉不存在不同位置硅外延生长不同步的问题，不必将基座进行一定角度的倾斜。

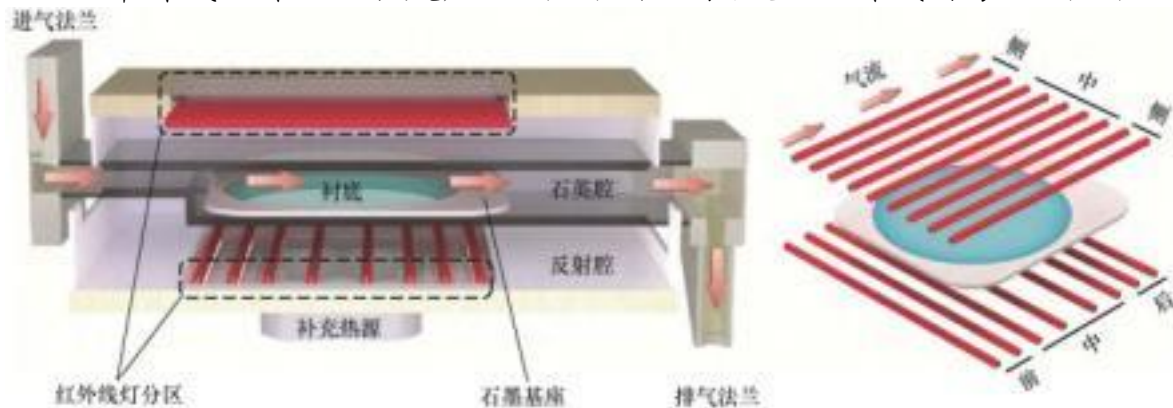
该类硅外延炉主要用来生产6至8in (152.4~203.2mm) 硅外延片，并占据着一定的市场份额。例如LPE公司的3061型硅外延炉仍然是国内主要硅外延片制造厂商的主力机型。

Applied Materials Centura设备结构的俯视图（左）和该设备生产不同厚度规格下硅外延片的月产能（右）



厚度 (μm)	月产能 (片)
5	12000
8	10000
60	5000

单片式硅外延生长反应腔（左）和加热模块红外线灯分区（右）



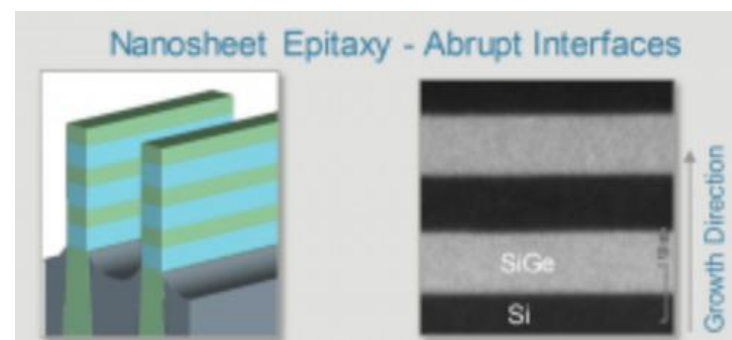
硅片放置在石墨基座上，外延生长时基座以一定速度进行旋转。石墨基座位于石英腔内，其表面覆有碳化硅涂层，石英腔外表面利用循环空气进行冷却。加热模块由反射腔、红外线灯和补充热源组成，红外线灯与补充热源在交变电流作用下产生高温，以红外加热的方式向石墨基座以及反射腔辐射热量，红外线灯阵列相对于硅衬底呈上下相对垂直布置以保证均匀加热。反射腔表面镀有金薄膜，并通过抛光处理提高来自红外线灯的辐射热能。当衬底表面温度达到设定温度1130 °C时，H₂作为载气携带SiHCl₃通过进气法兰流入腔室，并通过气相输运至硅衬底表面发生化学气相沉积反应，未反应的气体与副产物通过排气法兰排出。

外延：外延层数量和复杂度随着工艺演进将持续增长

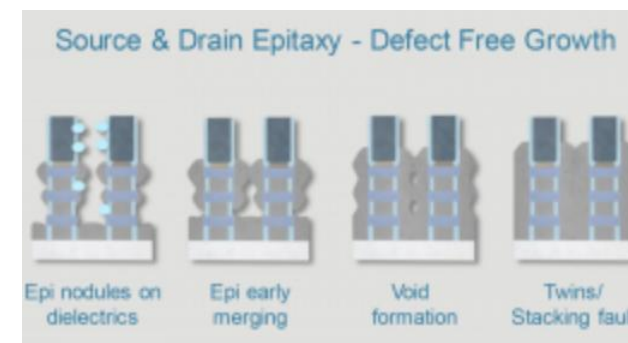
- CMOS技术进入28nm及以下关键尺寸后，为了进一步增加PMOS区的压应力，必须要采用晶格系数较高的锗硅外延来代替硅，来达到器件大幅微缩后对PMOS的驱动电流的要求。
- GAA：GAA晶体管的制作首先需Si上通过外延生长出Si-SiGe的超晶格结构，随后经过鳍式结构成型、栅极成型、内隔离层成型后，再在Si表面外延生长出源极和漏极。

GAA晶体管所需的外延工艺及面临的问题

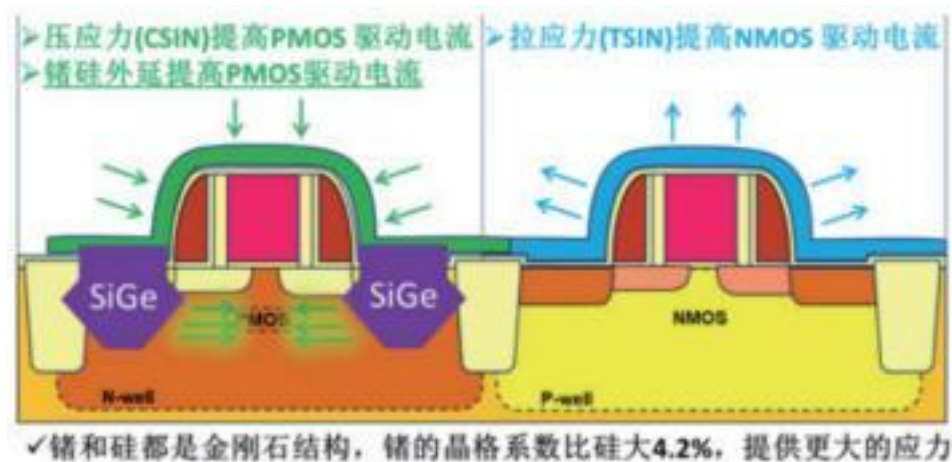
Si-SiGe的超晶格外延生长



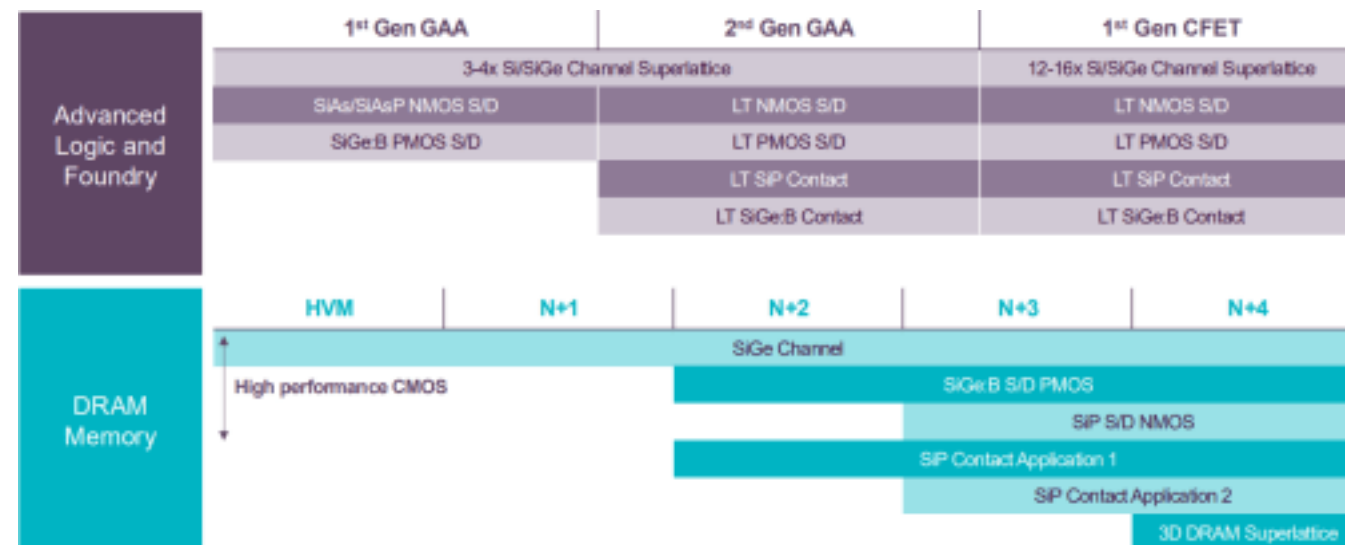
源极漏极的外延生长



锗硅外延增加PMOS压应力



外延层数量和复杂度随着工艺演进将持续增长



外延：北方华创已实现外延工艺设备全覆盖

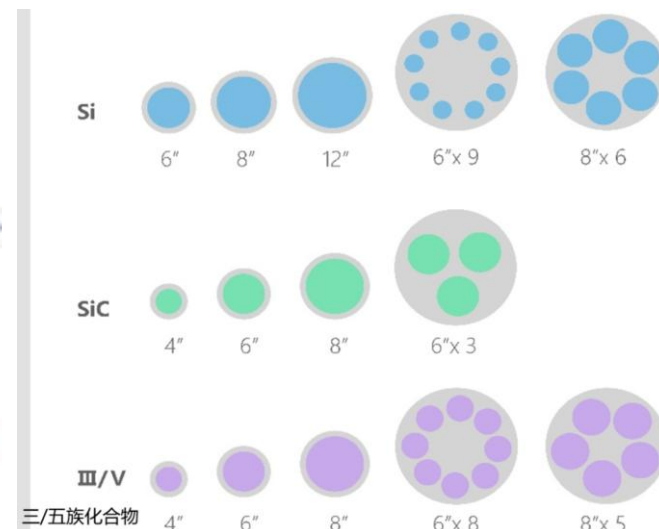
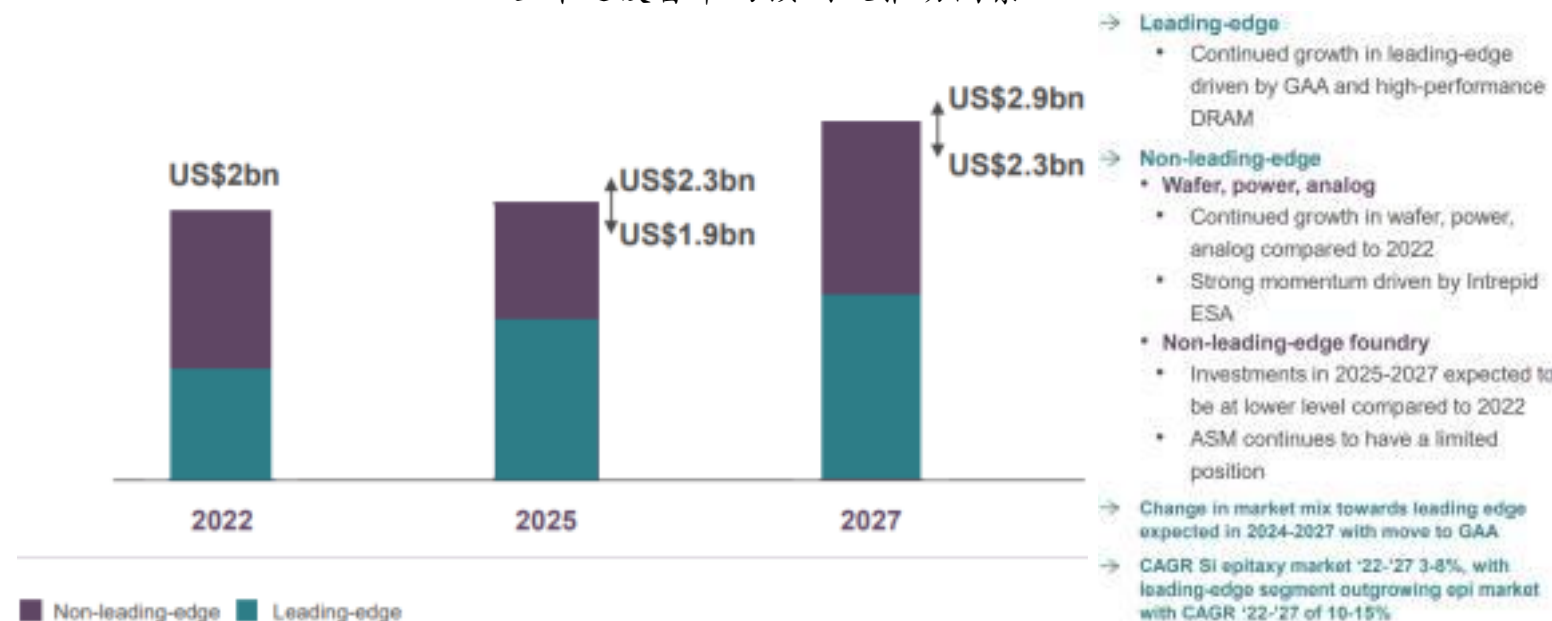
- 根据ASM预测，全球硅外延设备市场保持稳健增长，预计将从2022年的20亿美元增长至2027年的26亿美元（取中值），其中前沿应用2022~2027年CAGR预计为10~15%，远高于整体硅外延市场的3~8%。
- 北方华创**：公司12英寸外延设备工艺性能达到了国际主流水平，实现了外延领域设备和工艺的全面覆盖，是国内扩产的首选机台。其中，常压外延设备主要用于12英寸硅外延片和功率器件外延生长，减压外延设备主要用于集成电路制造中的减压选择性外延工艺
- 中微公司**：减压EPI设备已顺利付运成熟制程客户进行量产验证，并已经进入先进制程工艺验证和客户验证阶段；新一代高选择比预清洁腔体满足先进工艺的需求，已顺利付运先进制程客户端，进入工艺验证和客户验证阶段；常压外延设备现已完成开发，进入工艺调试阶段；常压EPI设备已完成开发，进入工艺验证阶段。
- 晶盛机电**：6-8英寸碳化硅外延设备实现国产替代并市占率领先；12英寸常压硅外延设备顺利交付国内头部客户；12英寸硅减压外延生长设备顺利实现销售出货。

北方华创实现外延工艺设备全覆盖

具备多种材料外延生长技术能力：包括单晶硅、多晶硅、碳化硅（SiC）、氮化镓（GaN）、磷化铟（InP）等，覆盖集成电路、功率器件、射频、半导体照明等领域应用需求。

生长材料	Si/Si	SiC/SiC	GaN	InP
应用领域				
集成电路	NAURA			
功率器件	NAURA	NAURA	NAURA	NAURA
射频			NAURA	NAURA
半导体照明			NAURA	NAURA

硅外延设备市场预测及推动因素



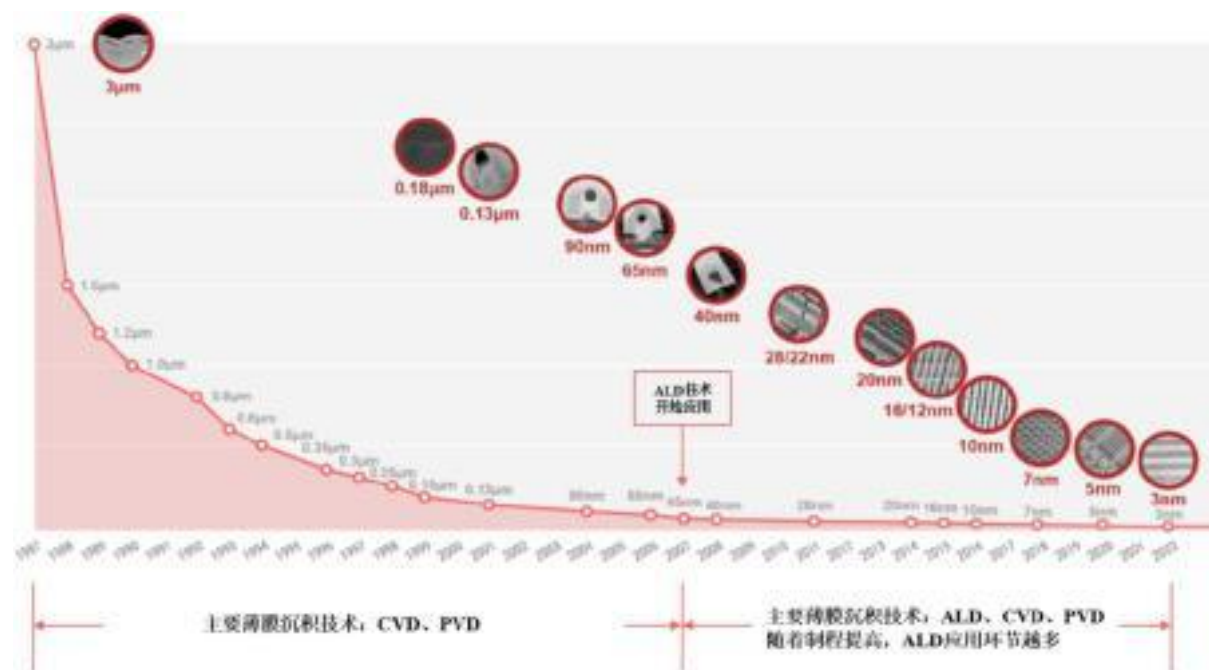
实现4英寸到12英寸全覆盖：包括8英寸及以下的单片及多片大产能硅外延设备、12英寸硅外延设备、4/6/8英寸碳化硅外延设备、8英寸及以下单片及多片大产能硅基氮化镓外延设备。

1. 新工艺新结构拓宽空间，国产厂商多维发展突破海外垄断
2. CVD：种类繁多，PECVD占比最高
3. ALD：高台阶覆盖率+膜厚控制精准，先进节点及3D结构应用广泛
4. PVD：溅射为主，多用于沉积金属薄膜
5. 建议关注标的
6. 风险提示

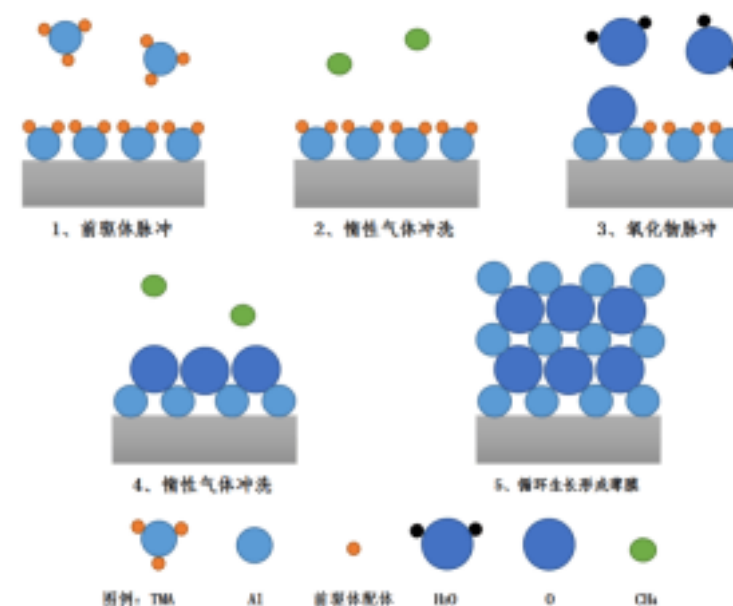
ALD总览：在45nm以下节点以及3D结构中具有明显优势

- ALD相较于CVD和PVD，产业化应用起步时间较晚，在45nm以上等成熟制程、2D平面结构器件中应用较少，2007年Intel才首次在45nm技术节点上应用ALD进行薄膜制备。ALD凭借其原子层级沉积特点，具有薄膜厚度精确度高、均匀性好、台阶覆盖率极高、沟槽填充性能极佳等优势，特别适合在对薄膜质量和台阶覆盖率有较高要求的领域应用，在45nm以下节点以及3D结构等半导体薄膜沉积环节具有较好的应用前景。
- ALD是一种基于连续自终止沉积反应的薄膜制造技术，可将物质以单原子层的形式一层一层沉积在基底表面，每镀膜一次/层为一个原子层，根据原子特性，镀膜10次/层约为1nm。由于ALD技术表面化学反应具有自限性，因此拥有多项独特的薄膜沉积特性：1、三维共形性，适用于不同形状的基底；2、大面积成膜的均匀性，且致密、无针孔；3、可实现亚纳米级薄膜厚度控制。

半导体制程演进与薄膜沉积技术对应情况



ALD原子层沉积技术原理示意图

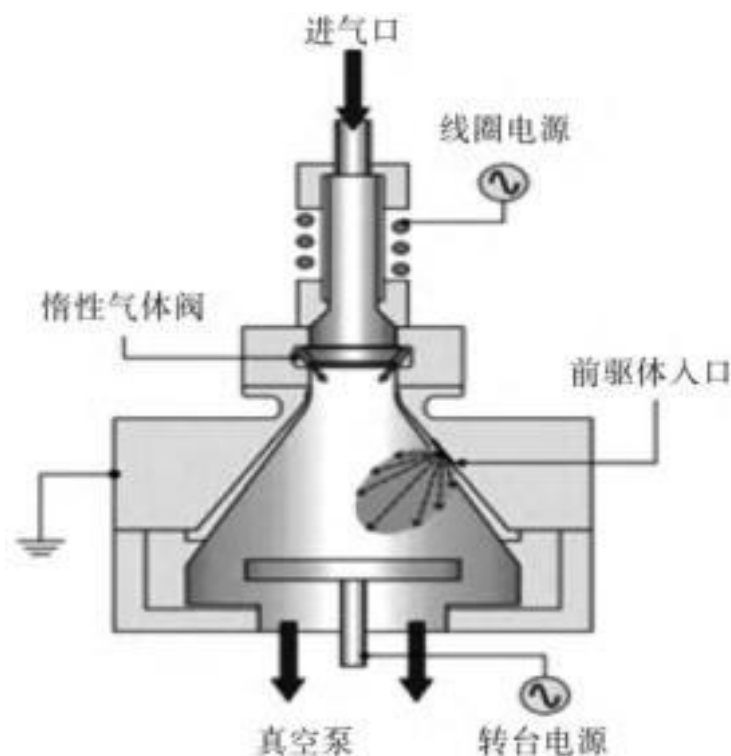


ALD技术通过将气相前驱体脉冲交替地通入反应室并在沉积基底上发生表面饱和和化学反应形成薄膜。典型的热原子层沉积（TALD）技术是利用加热为薄膜沉积过程中的化学吸附提供活化能。以三甲基铝（TMA）为金属铝源、水蒸气为氧源，沉积Al₂O₃薄膜的反应为例，每一个单位循环分为四步：
TMA蒸气脉冲进入反应室，在暴露的衬底或膜表面发生化学吸附反应；清洗气体（通常为惰性气体）将多余的水蒸气和反应副产物甲烷带出反应室；
水蒸气脉冲进入反应室和TMA前驱体吸附的表面继续进行表面化学反应；清洗气体把多余的水蒸气和反应副产物甲烷带出反应室

Thermal ALD: 主要沉积金属化合物薄膜, 用于HKMG工艺

- ALD技术可大体分为Thermal-ALD（热原子层沉积）、PEALD（等离子体增强原子层沉积）、SALD（空间原子层沉积）、ECALD（电化学原子层沉积）、AP-ALD（大气压原子层沉积）和流床式原子层沉积等。其中以Thermal-ALD和PEALD为主。
- Thermal-ALD也称T-ALD, 属于传统ALD方法, 与二元热化学气相沉积T-CVD相类似, 都是通过加热的方法来提供反应活性。传统的T-ALD具有自限制生长特性, 使其能够通过控制反应周期数来精确控制涂层厚度, 同时能够在形状复杂或高深宽比结构的表面沉积均匀且具有保形性的化学计量薄膜, 主要沉积金属和High-K材料等膜层, 多用于HKMG工艺。
- T-ALD其较低的生长速率降低了工业化应用, 且高温易导致材料失效, 过低的温度会导致表面反应不充分, 在薄膜中残留碳、氢等杂质, 影响薄膜性能。

ALD设备结构



T-CVD两种反应物同时通入, 薄膜在基底表面进行沉积。

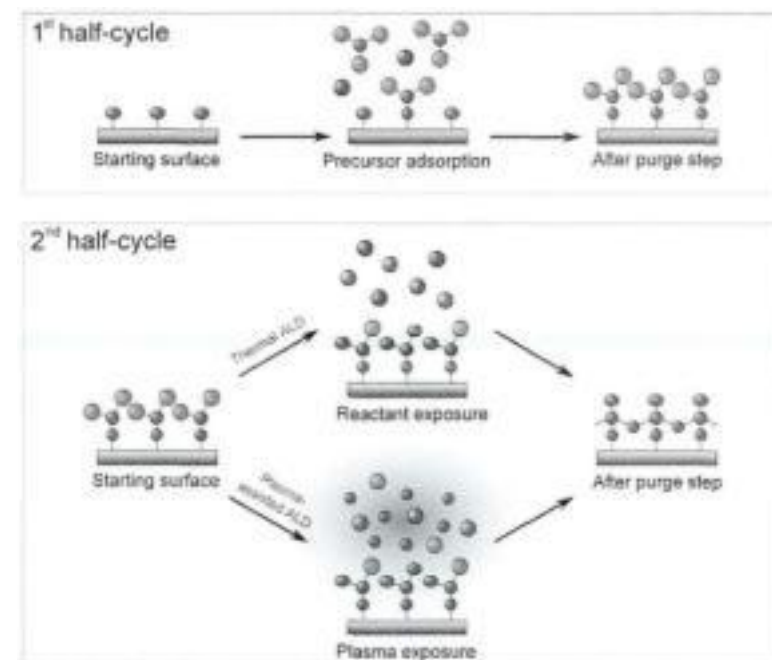
在T-ALD中, 反应物以交替脉冲的形式通入。通常, 以金属氧化物为例, 在一个二元反应中, 一个反应周期包括两个反应步骤:

在第一个步骤中, 通入金属化合物前驱体A, 在基底表面发生化学吸附并发生反应;

在第二个步骤中, 吸附的前驱体再与通入的前驱体B反应。在两个步骤之间, 加入惰性气体吹扫步骤, 清除多余的前驱体和反应副产物。

若为PEALD, 则是将前驱体B更换为等离子体, 通过等离子体中的自由基提供反应活性进而沉积薄膜。

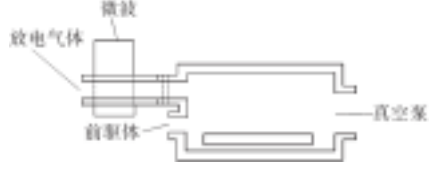
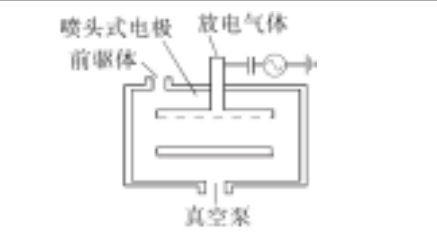
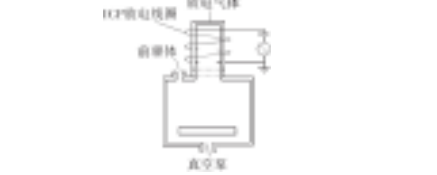
T-ALD和PEALD反应原理图



PEALD：主要沉积介质薄膜，用于多重曝光和STI工艺

- 为提高ALD工艺的生产效率及降低沉积温度，PEALD技术应运而生。PEALD是等离子体辅助和ALD的一种结合，其反应原理与一般ALD原理基本一致，仅在第三步骤中使用等离子体态第二前驱体代替普通的第二前驱体来与第一前驱体进行反应。
- PEALD常用等离子体源是微波电子回旋共振（ECR）、电感耦合（ICP）和电容耦合（CCP）产生的等离子体。根据等离子体在ALD工艺中与基底之间的相互作用，PECVD设备可分为三种类型。
- 相比T-ALD，PECVD具有：1) 降低薄膜生长所需温度；2) 更高的沉积效率；3) 单体可选择性强；4) 可生长出优异的金属薄膜和金属氮化物，如Ti、Ta和Ta₂N等优点。主要沉积介质薄膜，用于多重曝光和STI工艺。

不同类型PEALD装置特点和示意图

类型	特点	结构图
自由基增强原子层沉积模式	该模式与T-ALD结构最为接近。在T-ALD设备上配置微波等离子体，将远程产生的自由基源直接应用到T-ALD工艺中，实现了自由基增强原子层沉积。等离子体气体源可以是氧气、氮气、氢气或者其混合气体等，压强范围一般为1~133Pa。该模式下一般只有自由基能够到达基底表面，故称为自由基增强原子层沉积。	
直接等离子体增强原子层沉积模式	该模式来源于PECVD的概念。等离子体在两个平行板电极之间产生，上电极接射频电压，基底放置在下方的接地电极上，等离子体源与基底位于相同的空间或者距离很近，等离子体能够直接作用于生长表面，反应活性较高。除了自由基，等离子体产生的其他高能粒子及等离子体电磁辐射、光辐射等也很可能与基底表面相互作用，对基底造成损伤或破坏。	
远程等离子体辅助原子层沉积模式	等离子体源位于基底的较远位置，等离子体中的粒子向基底方向的腔室内扩散。与自由基增强原子层沉积不同，该情况下到达基底表面的不仅有自由基，还包括等离子体中具有较高活性浓度的离子和电子。常见等离子体结构是电感耦合等离子体。	

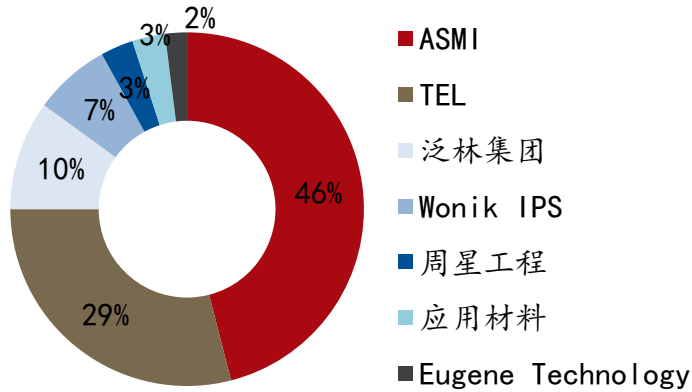
PEALD技术优缺点

	特点	具体情况
优点	沉积温度更低	通过等离子体中的自由基提供反应活性，而不是通过加热的方式。
	沉积速率更快	由于氧等离子体中自由基的高活性，沉积速度比T-ALD更快，在工业生产中有更广泛的应用。
	工艺效率更高	吹扫时间是影响工艺效率最主要的因素。T-ALD吹扫时间严重受沉积温度的影响，沉积温度超200℃时需5s的吹扫时间，当温度降低至30℃时，吹扫时间需增加至180s，效率更低。PEALD低温下吹扫时间和高温下基本一致或稍微延长即可。
	薄膜纯净度高	使用等离子体作为反应物可有效防止前驱体中碳、氢等杂质混入薄膜，提高薄膜纯净度
	可对样品进行原位等离子体处理	不同气体的等离子体可在薄膜生长的任意阶段进行原位等离子体处理，为生长出不同性质的薄膜提供了解决办法
缺点	很难达到很好的台阶覆盖率	当等离子体自由基扩散进入高深宽比结构时，会在侧壁发生复合作用，根据自由基在不同沉积材料表面的复合速率不同，需要相应延长等离子体作用时间，从而使足够的自由基到达结构的底部
	薄膜基底易受影响	由于等离子体的高反应活性，薄膜基底有可能受到影响。
	腔室结构设计复杂	-

ALD市场：2020年CR3高达85%，多家国产厂商实现量产

- ALD技术于1974年由芬兰PICOSUN公司Tuomo Suntola博士发明，在国外已形成产业化。我国引入ALD技术晚于国外三十多年，2010年10月，由芬兰PICOSUN公司和复旦大学主办了国内第一届ALD学术交流会，首次将ALD技术引入国内。
- ALD设备基本由境外厂商垄断。根据Gartner数据，2020年全球ALD设备市场CR3高达85%，其中ASMI、TEL和泛林集团市占率分别为46%、29%和10%。
- 基于供应链安全考虑，国内设备制造商正面临更多的机会。面对半导体设备向高精度化与高集成化方向发展的趋势，以及国产化进程加快的背景下，国产半导体ALD设备迎来前所未有的发展契机。
- 目前，国内布局半导体ALD设备的厂商主要有拓荆科技、微导纳米、北方华创、中微公司、盛美上海等。其中，拓荆在国内实现了ALD设备装机量第一，ALD薄膜工艺覆盖率第一；ALD设备25Q2收入超2024全年收入。

2020年全球ALD设备市场竞争格局（%）



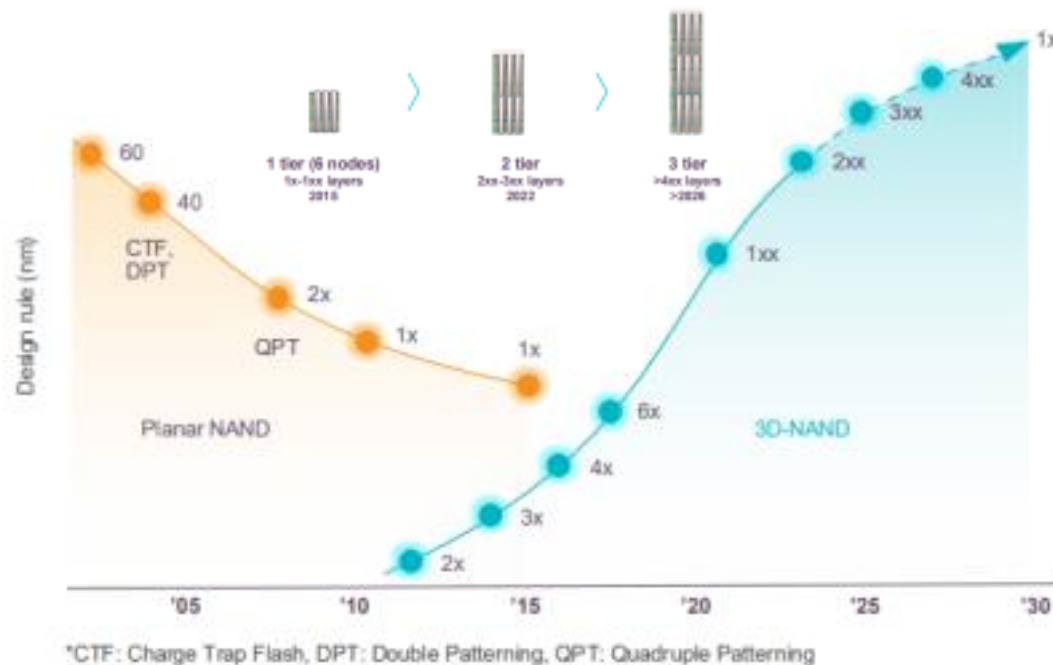
国内设备厂商ALD设备布局情况

厂商	布局情况
拓荆科技	拓荆在国内实现了ALD设备装机量第一，ALD薄膜工艺覆盖率第一；ALD设备25Q2收入超2024全年收入。公司ALD产品包括PE-ALD和Thermal-ALD两类。 PE-ALD: PE-ALD 设备高温、低温、高质量 SiO2、SiN、SiCO 等介质薄膜工艺设备均已实现产业化应用，并逐步扩大量产规模，凭借其优异的性能表现，目前在芯片填孔 (Gap-fill)、侧墙 (Spacer)、衬垫层 (Liner) 等工艺中已实现广泛的应用。 Thermal-ALD: 公司 Thermal-ALD Al2O3、AlN等工艺设备持续出货至客户端，包括集成工艺设备 Thermal-ALD (TS-300 Altair)，该设备不仅具有高产能的特点，并可以实现在同一台设备中沉积 Thermal-ALD AlN 及PECVD ADC-II 薄膜。此外，公司持续拓展 Thermal-ALD 其他薄膜工艺，扩大金属及金属化合物薄膜材料应用，整体进展顺利。
微导纳米	公司开发的国内首台成功应用于集成电路制造前道生产线的量产型 High-k ALD 设备，解决了国内集成电路突破 28nm 制程节点最核心工艺之一的高介电常数 (High-k) 栅氧层薄膜工艺。公司持续拓展技术覆盖面，陆续研发和推出 HKMG 技术、柱状电容器、金属化薄膜沉积技术及高深宽比 3D NAND、3D DRAM、TSV 技术等工艺解决方案，覆盖逻辑芯片、存储芯片、先进封装、化合物半导体和新型显示 (硅基OLED) 中ALD技术的主要应用场景。
北方华创	12 英寸介质原子层沉积设备 (D-ALD)：包括热式原子层沉积设备 (Thermal ALD) 和等离子增强型原子层沉积设备 (PE ALD)，主要用于 12 英寸存储芯片金属氧化物薄膜、金属前介质层、硬掩膜层、钝化层、金属连线介质隔离等薄膜沉积，以及先进封装 Liner 层沉积。 12 英寸金属栅极原子层沉积系统 (M-ALD)：主要用于先进工艺金属栅极及刻蚀阻挡层薄膜的原子层沉积。 12 英寸管式原子层沉积设备 (Tube ALD)：主要用于 12 英寸逻辑、存储芯片氮化硅、氧化硅、Low-k 介质、High-k介质及氮化钛薄膜沉积工艺，具备精准控温、控压及批量式晶圆处理能力等优势，可实现高质量、高均匀性、高台阶覆盖率薄膜沉积。
中微公司	ALD (原子层沉积) 钨设备等钨系列薄膜沉积产品可覆盖存储器件所有钨应用。应用于先进逻辑器件的金属栅系列产品：ALD 氮化钛，ALD 钛铝，ALD 氮化钽产品，已完成多个先进逻辑客户设备验证。
盛美上海	2024 年炉管设备继续推出新技术产品，包括两款新型ALD炉管，并开始进入工艺验证阶段。公司以Ultra Fn立式炉设备平台为基础结合之前推出的Thermal-ALD炉管技术 (Ultra FnA)，进一步研发了PEALD立式炉Ultra FnA。这款设备聚焦核心技术研发，力求满足高产能批次ALD工艺的高端要求。公司计划依据Ultra PmaxTM PECVD设备平台将工艺扩展到单片式PEALD应用。

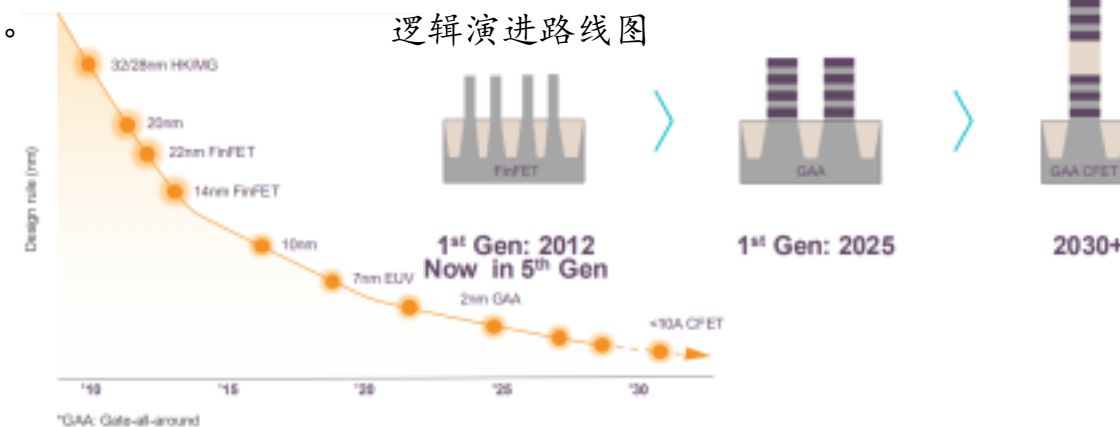
器件结构演进不断刺激ALD设备的需求

- 逻辑：GAA晶体管是3nm以下节点替代FinFET晶体管最有竞争力的器件结构。台积电、三星、英特尔等厂商均已全面布局GAA技术。在1nm之后，CFET或将成为GAA的继任者。
- NAND：3D NAND堆叠层数不断提高，有望于2030年突破至1000层。多堆栈堆叠是解决3D NAND层数不断增加的需求与高深宽比刻蚀工艺挑战之间矛盾的有效解决方案。
- DRAM：由于半间距缩放变得非常困难，6F2结构的DRAM单元将转向4F2，以提升存储密度。在相同工艺下，4F2的面积相比6F2可减少30%。未来容量更大且数据访问速度更快的3D DRAM结构有望出现。

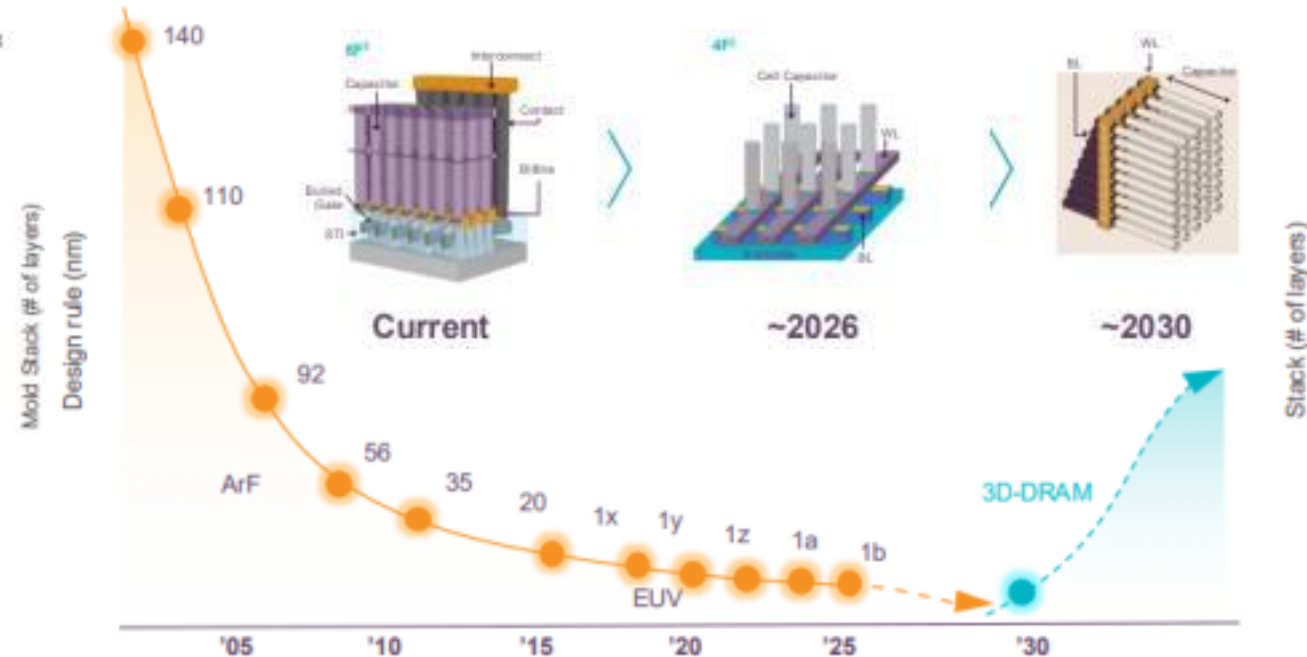
NAND技术演进路线图



逻辑演进路线图



DRAM技术演进路线图



器件结构演进不断刺激ALD设备的需求

- 根据ASM预测，全球单片式ALD设备市场规模将从2022年的26亿美元增长至2025年的34亿美元（取中值，下同），并有望于2027年达到46亿美元，2022~2027年CAGR为12%。
- High-K材料、新金属材料、高深宽比间隙填充都将助推ALD市场持续增长。
- 3D DRAM将采用更多ALD进行制造。

DRAM结构所需的ALD和Epi工艺



单片式ALD市场预测及推动因素

Single-wafer ALD market outlook (US\$b)



→ Logic/foundry

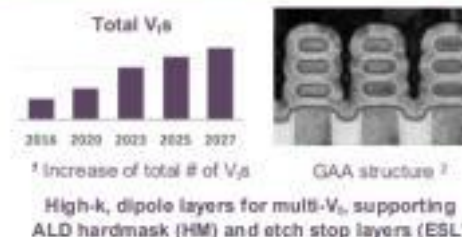
- GAA transition
- High-k gate & Vt tuning
- Sacrificial layers, HM, ESL
- Metals
- Selective ALD
- High aspect ratio TSV

→ Memory

- High-k gate & Vt tuning
- Metals
- High aspect ratio gap-fill
- Selective ALD

→ CAGR ALD market '22-'27 10-14%

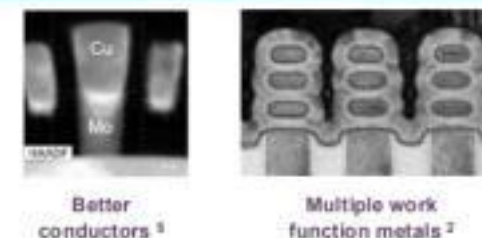
ALD high-k gate and Vt tuning



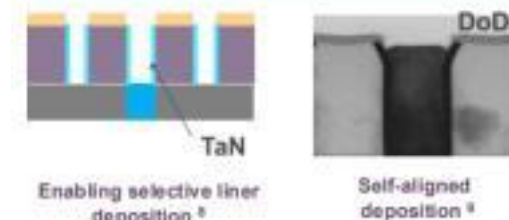
ALD dielectric gap-fill



ALD metal



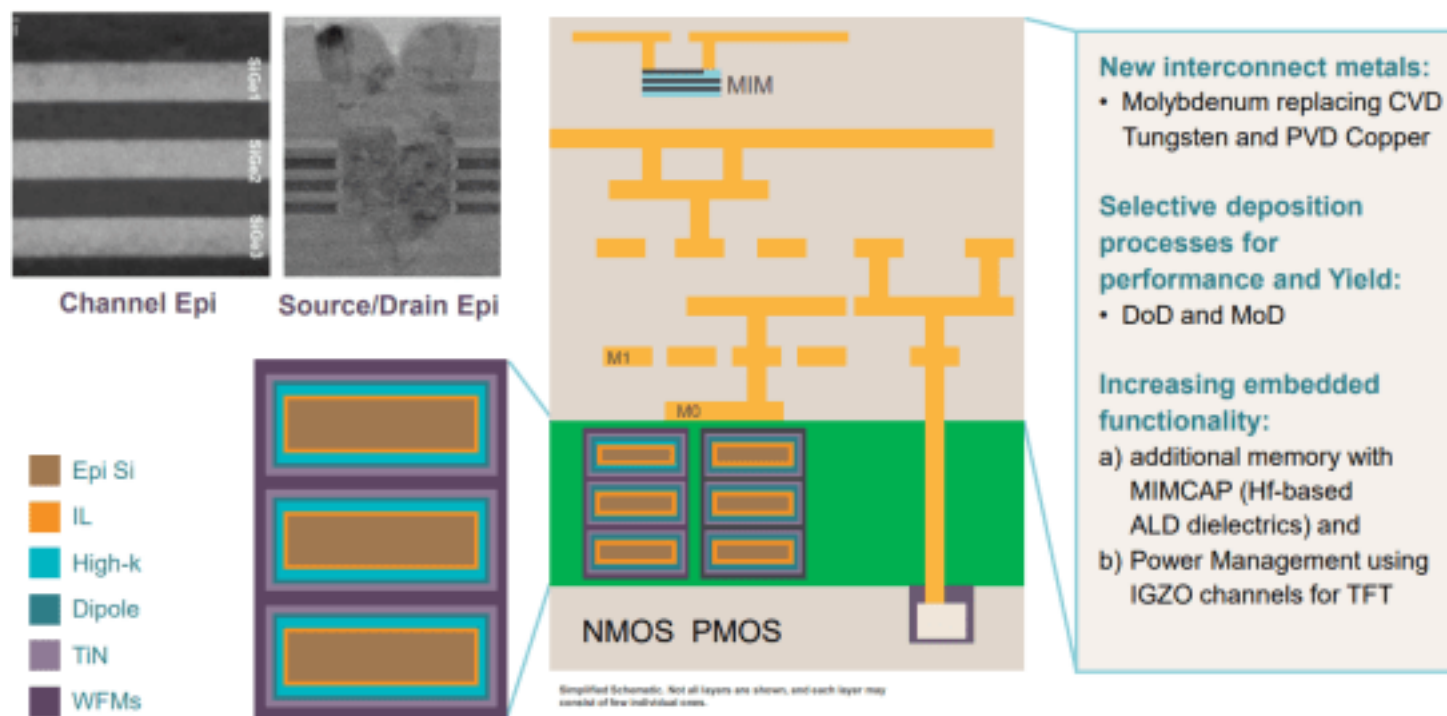
Selective ALD



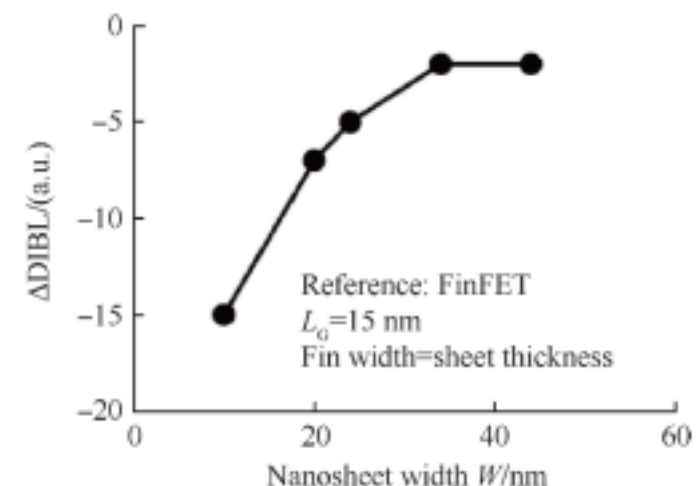
GAA晶体管需要全方位的ALD解决方案

- GAA栅极材料对沟道实现360°全方位包裹，最大程度实现栅极对沟道中载流子的控制，能有效改善器件尺寸不断微缩带来的短沟道效应。
- 在标准平面替换闸极技术中，金属栅极堆叠由ALD、PVD以及CVD多种技术沉积金属层结合组成，但器件过渡到FinFET、GAA等三维结构，PVD和CVD则难以达到沉积效果，需要全方位的ALD解决方案。

GAA器件所需要的新技术

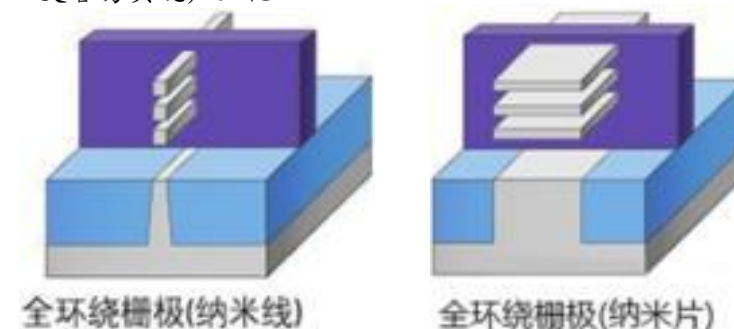


GAA结构有效改善短沟道效应



GAA NS和NW结构对比

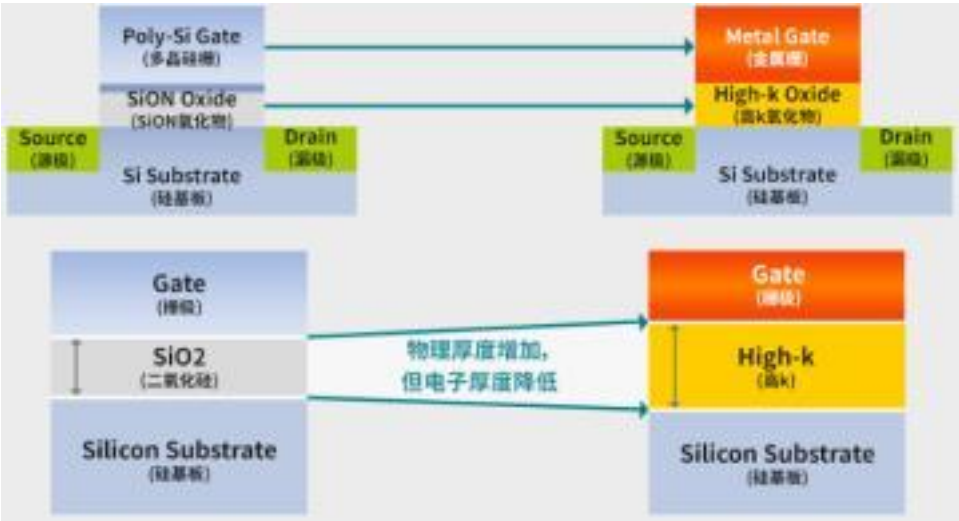
GAA结构分为纳米片（Nanosheet, NS）和纳米线（Nanowire, NW）两种类型。相比纳米线，纳米片有更强的驱动能力，而且纳米片可以根据器件类型实现不同宽度的设计，纳米片工艺可在很大程度上与FinFET兼容，更容易实现产业化



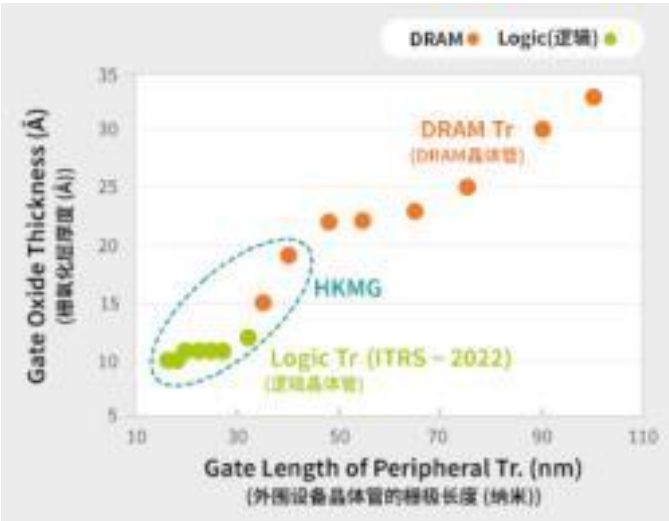
HKMG：28nm及以下制程的栅介质层和金属栅极均需用到ALD技术进行沉积

- ALD技术凭借优异的三维共形性、大面积成膜的均匀性和精确的膜厚控制等特点，在逻辑芯片、DRAM、3D NAND、新型存储器、新型半导体材料等领域技术优势愈加明显，在半导体薄膜沉积环节的市占率也将持续提高。SEMI预计2020至2025年全球ALD设备市场规模CAGR将达26.3%，在各类关键晶圆生产设备中增速最快。
- 进入45nm制程特别是28nm之后，传统SiO2栅介质层薄膜材料厚度需缩小至1nm以下，将产生明显的量子隧穿效应和多晶硅耗尽效应，导致漏电流急剧增加、器件性能急剧恶化。HKMG（High-K Metal Gate）技术通过使用High-K材料替代传统的SiO2作为栅介质层，并使用金属材料替代多晶硅作为栅极电极，解决传统SiO2/Si栅极结构因器件尺寸不断缩小面临的诸多问题，广泛应用于45nm及以下节点的高性能逻辑芯片和DRAM芯片。
- High-K：High-K材料具有较高介电常数，可有效减少栅极漏电流，提高晶体管工作效率。常见High-K材料包括铪基氧化物（如HfO2、HfSiO、HfSiON等）、铝基氧化物（Al2O3）、锆基氧化物（ZrO2）等。
- Metal Gate：High-K介质和多晶硅栅极之间会形成键合，无法通过多晶硅掺杂调节阈值电压；器件的电子迁移率也因偶极性分子振动降低，故High-K介质和多晶硅栅的兼容性较差。金属栅极材料可与High-K材料兼容，并具有良好的导电性和热稳定性，能更好地控制阈值电压，提升器件开关速度。常用金属栅极材料包括钛氮化物（TiN）、钽氮化物（TaN）、钨（W）、钴（Co）等。

HKMG技术应用



HKMG技术广泛应用45nm及以下节点



不同技术节点的结构特点以及N/P-MOS介质
HfO2族是目前High-K材料的主要选择

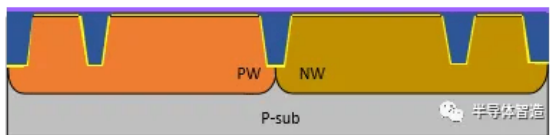
技术节点	结构特点	N-MOS介质	P-MOS介质
45 nm	Planar	HfO ₂ /ZrO	HfO ₂ /ZrO
32 nm	Planar	HfO ₂	HfO ₂
22 nm	FinFET/Tri-gate	HfO ₂	HfO ₂
14 nm	FinFET/Tri-gate	HfO ₂	HfO ₂

HKMG: 28nm及以下制程的栅介质层和金属栅极均需用到ALD技术进行沉积

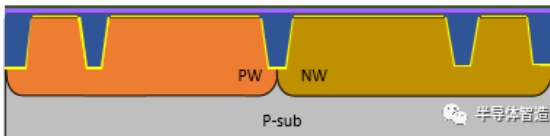
- HKMG有先栅（Gate-First）和后栅（Gate-Last）两种工艺路线。
- 后栅（Gate-Last）工艺，也称金属替代栅（Replacement Metal Gate, RMG），多用于28nm及以下制程，栅介质层要求厚度原子级别的精确控制及高覆盖率和薄膜均匀性，而金属栅极淀积在多晶硅沟槽里，要求沉积工艺要具有很好的台阶覆盖率，因此栅介质层和金属栅极均需用到ALD技术进行沉积。

先栅工艺中薄膜沉积技术应用

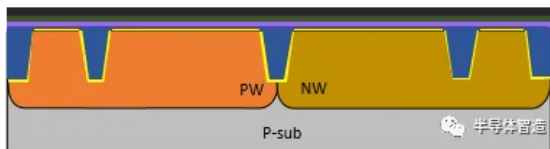
先栅工艺也称金属嵌入多晶硅栅（Metal Inserted Poly Silicon, MIPS）



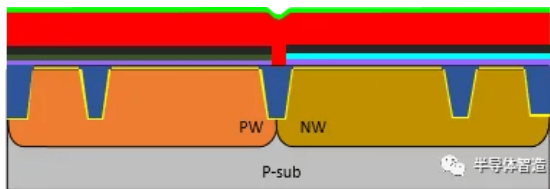
通过MOCVD淀积的HfSiO₂，后通过热氮化或者等离子氮化生成HfSiON，作为栅介质材料。



ALD仅用于在HfSiON形成后沉积厚度为1nm的La2O3薄膜



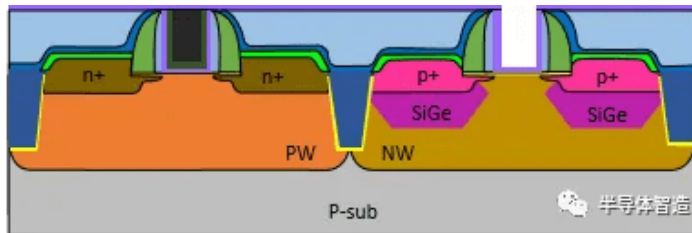
RFPVD淀积5-10nm的TiN金属材料，位于High-K介质材料和多晶硅栅之间



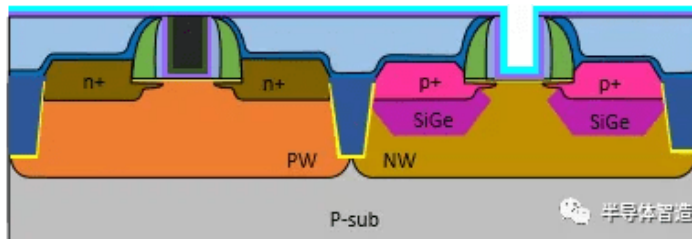
LPCVD淀积多晶硅栅（红色部分）和SiO₂/SiON硬掩模版层（绿色部分）

后栅工艺中薄膜沉积技术应用

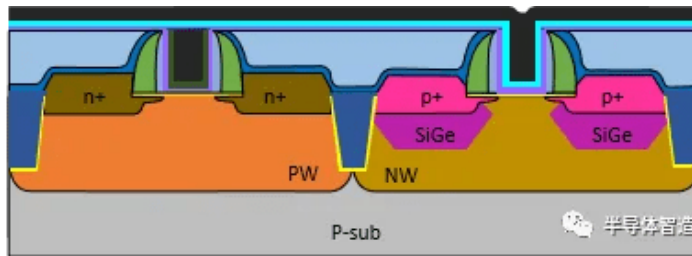
后栅工艺中的High-K材料、金属栅、低阻金属均需用到ALD技术。



ALD沉积High-K材料HfO₂



ALD沉积P型金属栅TaN（N型则沉积TaAlN）

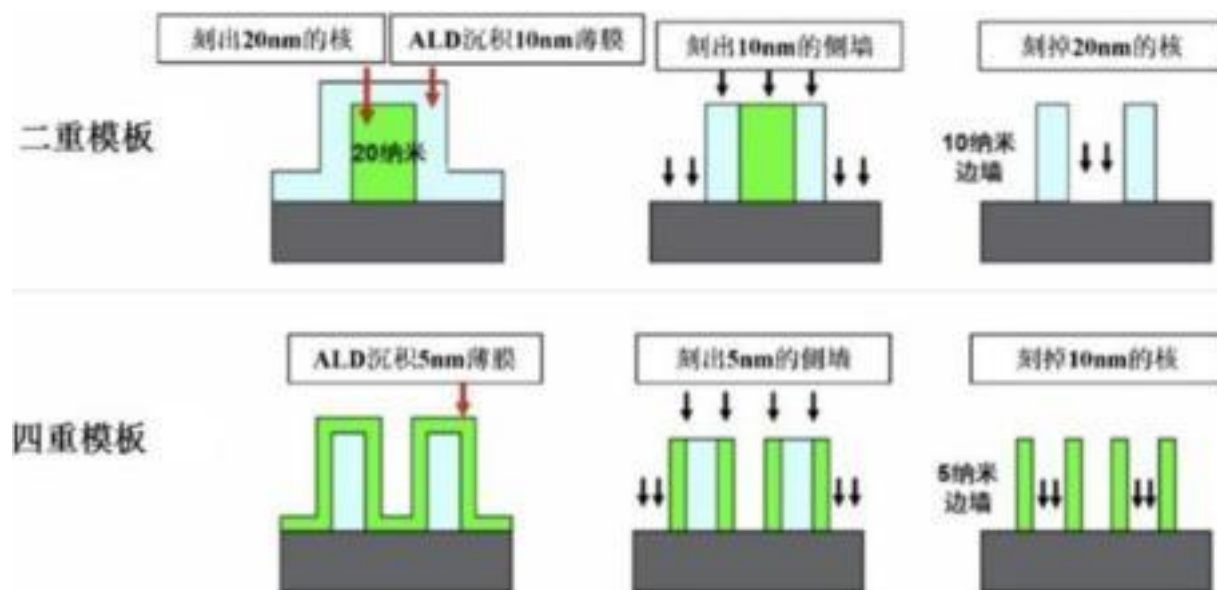


ALD沉积低阻金属填充栅沟槽

多重曝光：侧墙需通过ALD沉积

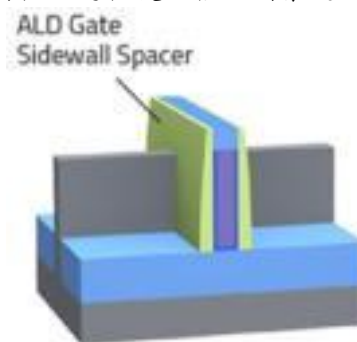
- 自2011年开始，晶圆代工厂开始采用效率更高、功耗更低的16nm/14nm FinFET晶体管结构，但由于当光罩线宽接近光源波长时将会发生明显的衍射效应，会导致光刻工序失效。
- 在EUV技术普及之前，目前主流的ArF DUV光刻机（波长193nm）通过浸润、相移掩模、多重曝光等方法，满足28nm~7nm的制程工艺。多重曝光技术是指在现有的光刻机精度下，依次使用不同的掩模版，分别进行两次及以上的曝光，将一次曝光留下的介质层作为二次曝光的部分遮挡层。
- 在此过程中，由于多重曝光增加了多道薄膜沉积工序，需要薄膜技术具有接近100%的保型性、薄膜厚度控制精准，因此ALD技术被迅速推广应用。

多重曝光技术原理



FinFET结构

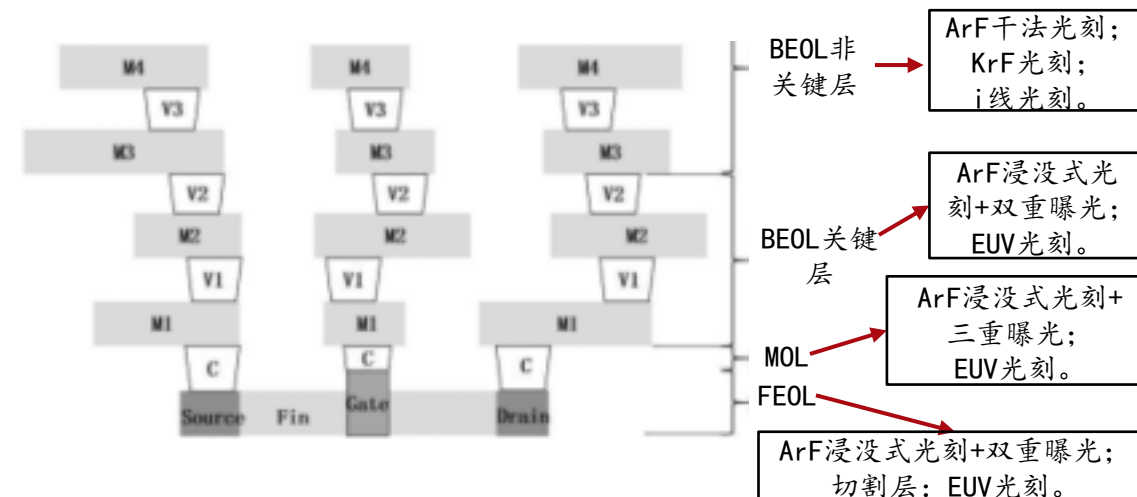
28nm以下制程工艺的难点在于形成Fin的形状，ALD所沉积的Spacer材料的宽度即决定了Fin的宽度，是制约逻辑芯片制程先进程度的核心因素之一



SMIC和TSMC 7nm工艺对比

	SMIC	TSMC		
	N+1, 7nm	N7	N7 HPC/N7P	N7+
光刻技术	193i ArF SA-LELE	193i ArF SA-LELE	193i ArF SA-LELE	193i ArF SA-LELE/EUV
Fin Logic	SAQP variable pitch	SAQP variable pitch	SAQP variable pitch	SAQP variable pitch
Gate	SADP+Cut	SADP+Cut	SADP+Cut	SADP+Cut
Diffusion Break	SA-SDB	DDB	DDB	SA-SDB

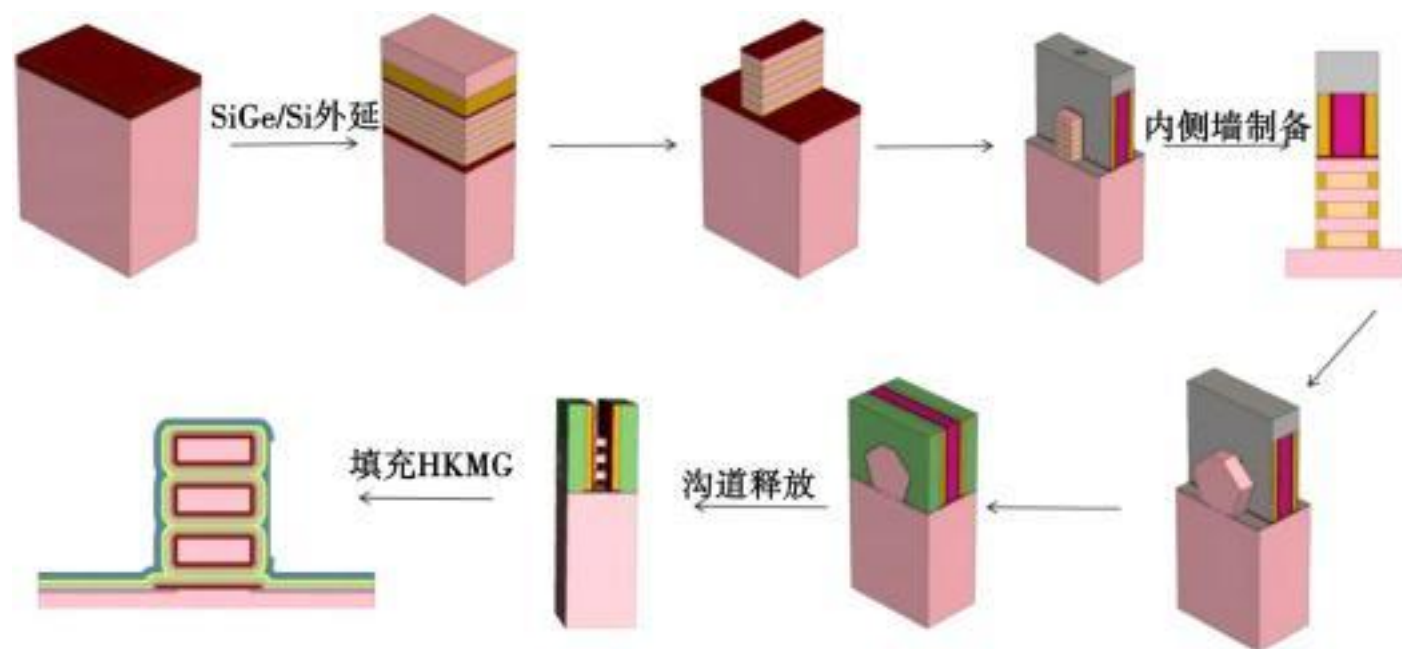
不同工艺层所需的光刻和多重曝光技术



GAA晶体管内侧墙需要ALD沉积low-K介质

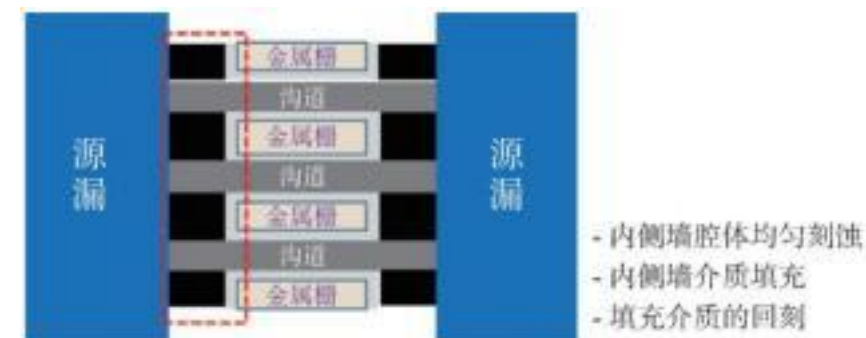
- GAA沟道主要有两种制造工艺：1) 自下而上的硅基工艺，即通过内凹刻蚀或牺牲氧化层的方法制备纳米线或纳米片；2) 通过外延SiGe/Si叠层和选择性刻蚀SiGe的自上而下的方法。
- 因工艺与传统FinFET工艺流程兼容性更强，第二种制造工艺成为3nm以下技术节点的主流工艺方案。与FinFET工艺流程相比，该制造方法主要增加了四个关键工艺模块：外延SiGe/Si的叠层、内侧墙的制备、沟道释放及填充高K金属栅极。

与FinFET相比，GAA的部分工艺流程及新工艺模块



环栅器件内侧墙结构和关键工艺示意图

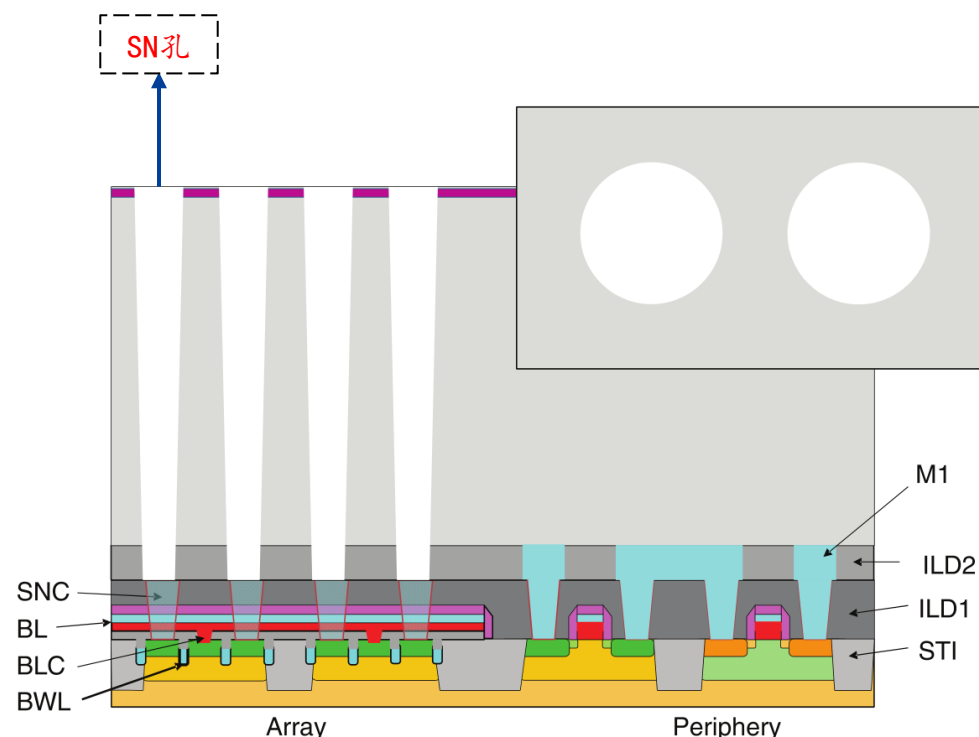
由于纳米片环栅器件的沟道特殊性，需要在源漏外延之前形成内侧墙（Inner-spacer），降低源漏与栅极之间的耦合电容，从而改善器件的开关频率。通过ALD工艺在腔体中填充较低介电常数的介质材料，之后进行回刻，从而形成均匀的内侧墙。



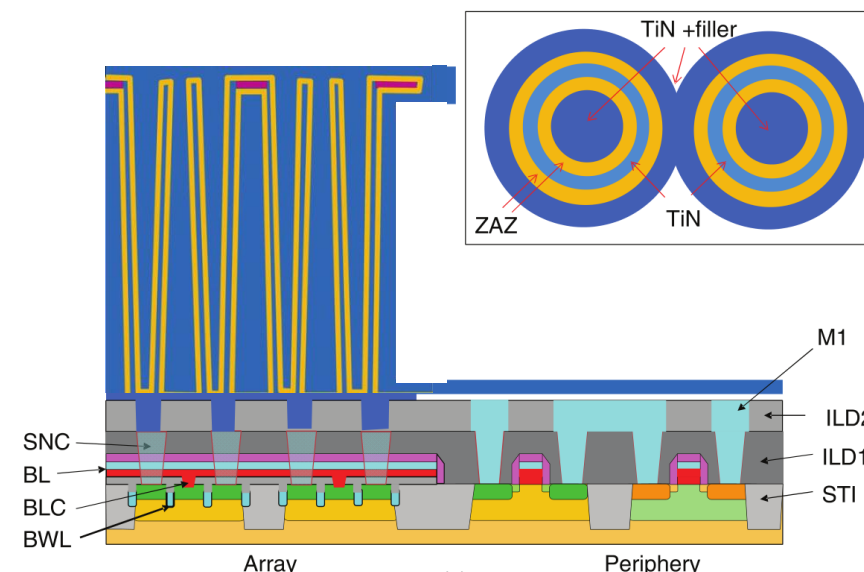
DRAM: ALD可沉积高深宽比的High-k电介质叠层结构

- 随着DRAM制程进入至10nm以下，DRAM将从当前的6F2架构转向4F2架构，而4F2结构难点在于埋入式位线和垂直沟道晶体管均具有高深宽比结构，对薄膜沉积设备的高深宽比填充能力提出更高要求。同时，多重曝光技术已开始应用于制作DRAM的Active Area、SNC、SN孔，进而推动ALD需求。
- 随着DRAM存储器容量不断增大，其内部的电容器数量随之剧增，而单个电容器的尺寸将进一步减小，器件内部沟槽以及深孔的深宽比也越来越大。深沟槽将需要更高的薄膜表面积，例如在45nm制程中，沟槽结构深宽比达到100:1，所沉积薄膜的有效面积大约是器件本身表面积的23倍。这些给沉积技术提出了更高的要求。同样地，得益于薄膜以单原子层为量级生长所带来的大面积均匀性、高台阶覆盖率和膜厚的精确控制，ALD技术能够很好地满足这些要求。
- DRAM中常用的High-k电介质叠层为ALD沉积的ZrO₂/Al₂O₃/ZrO₂，通常也可以缩写为ZAZ。

DRAM的Active Area、SNC、SN孔



SN孔的High-k电介质层需用ALD制作

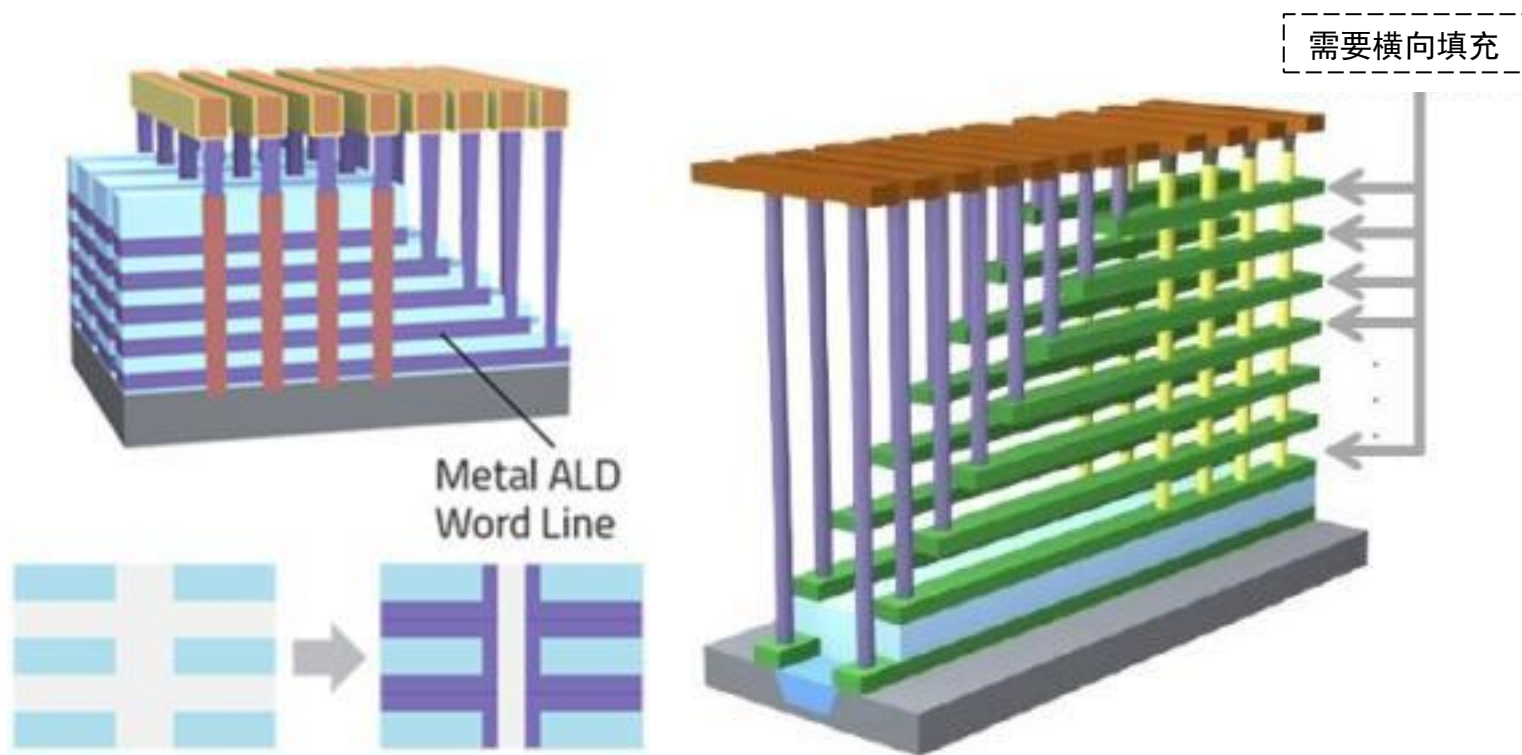


依次沉积high-k电介质层，TiN顶电极和导电填充层，形成完整的SN电容结构。DRAM中常用的High-k电介质叠层为ALD沉积的 ZrO₂/Al₂O₃/ZrO₂，通常也可以缩写为ZAZ，常用的顶电极为TiN，常用的导电填充材料为SiGe。

NAND：ALD可横向填充字线中的导电钨

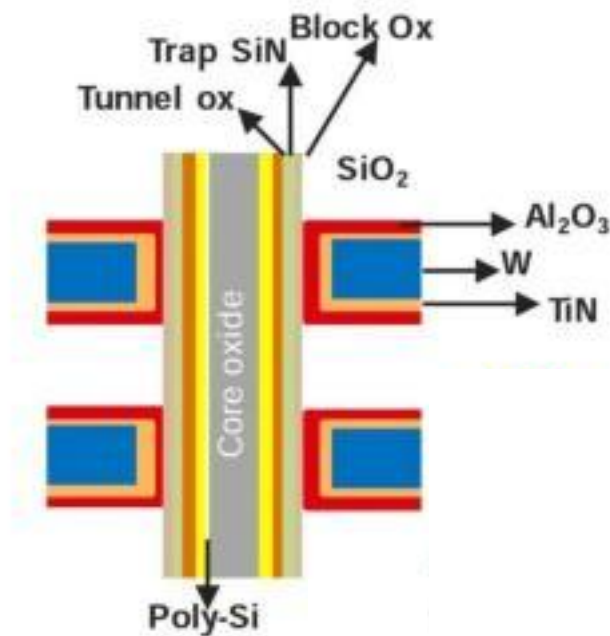
- 3D NAND结构，内部层数不断增高，元器件逐步呈现高密度、高深宽比结构，PVD和CVD难以达到沉积效果，ALD则可以实现高深宽比特征下的均匀镀膜。
- 以最具挑战性的向字线中填充导电钨为例：3D NAND交替堆叠氧化物和氮化物介电层，目前层数多达256层。密集排列且具有高深宽比的孔渗透至这些层中，按照高深宽比通道将排列分为字线。为了创建存储单元，必须移除氮化物层并以钨进行替换。这种钨必须通过深（垂直深度50:1）通道引入，然后横向扩散，从而以无孔洞的超共形沉积方式填充（之前的）氮化物水平面（横向比约10:1）。原子层沉积能够一次沉积一个薄层，这就确保了均匀填充，并防止因堵塞而产生的空隙。

3D NAND结构示意图



3D NAND存储单元横截面

阻挡氧化物、电荷陷阱氮化物、隧道氧化物、沟道硅、基础硅层和字线钨六种薄膜材料需要采用ALD。



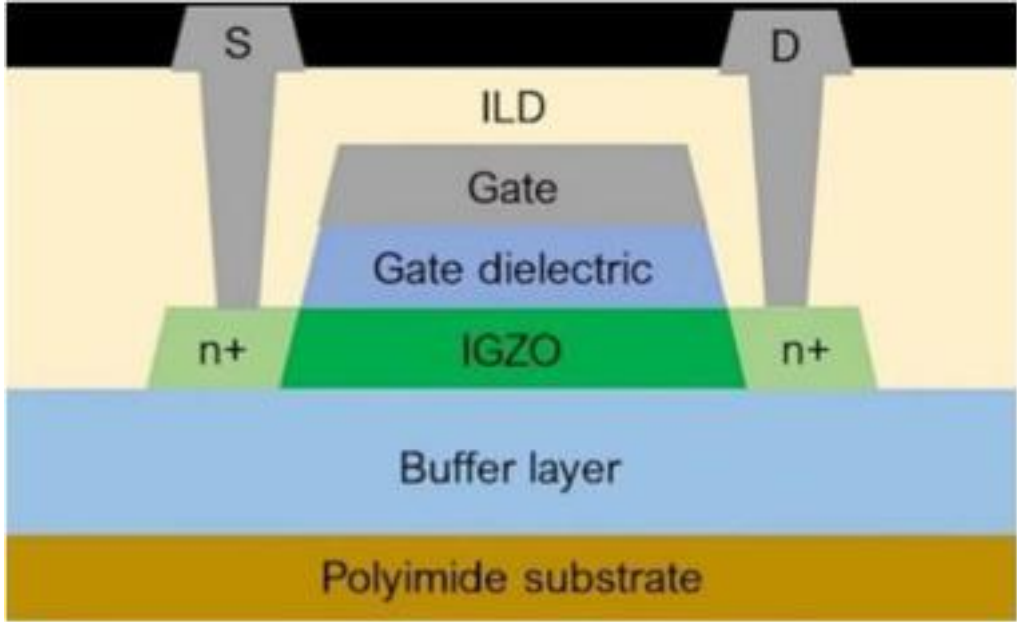
IGZO：ALD可制备具有精确厚度、较低氧缺陷的高性能IGZO薄膜

- 以铟镓锌氧化物（IGZO）作为代表的宽禁带半导体材料，可有效抑制关态漏电流，具有理想的迁移率、低热预算等优点，在三维堆叠存储器、单片三维集成中具有重要的应用潜力，有助于提高晶体管的集成密度。另外，在显示应用领域，相比传统非晶硅和低温多晶硅晶体管，IGZO薄膜晶体管很好地兼备了高迁移率、大面积成膜均一、低成本且工艺兼容的优势，被大规模地应用在新一代显示驱动领域。
- 制备IGZO的关键是精确控制元素配比和含氧量，其直接影响到器件本身的特性和稳定性。目前IGZO主要的制备方法为气相沉积法，具体有磁控溅射法、溶胶-凝胶法、脉冲激光沉积法、旋转涂覆法、原子层沉积法等。
- 相对于其他工艺方法，通过ALD技术可以获得到具有精确厚度、较低氧缺陷的高性能IGZO薄膜，在复杂结构的尖端器件和新型显示应用中具有良好的应用前景。

不同IGZO制备方法优缺点对比

制备方法	优点	缺点
磁控溅射法	使用范围广、成膜质量均匀、薄膜与基底之间附着性好	高速离子会损伤衬底表面，同时当溅射时间较长时，高速靶材原子的沉积会影响已经生长的薄膜表面形貌，薄膜内部损伤与缺陷较多。
溶胶-凝胶法	制备工艺简单，烧结温度低，无需真空环境，样品组分容易控制	影响凝胶形成与后续处理的因素较多，难以控制薄膜厚度的均匀性，同时有机溶剂的使用会对人体有害
脉冲激光沉积法	能精确控制薄膜的原子计量比、可以沉积高熔点材料	沉积速率较慢，且等离子体管中的等离子体等物质会对薄膜表面造成污染
旋转涂覆法	优缺点与溶胶凝胶法类似	
ALD法	适用于在具有复杂形状的基底表面均匀沉积异质膜，同时沉积工艺参数（沉积电流、电位计等）优选可控，并且操作在室温下进行	对前驱体的质量要求较高，良好的挥发性、反应活性与热稳定性的前驱体是制备优良性能薄膜的前提条件，前驱体脉冲时间、沉积温度等工艺参数的变化都会导致薄膜不均匀

基于IGZO材料的薄膜晶体管结构示意图

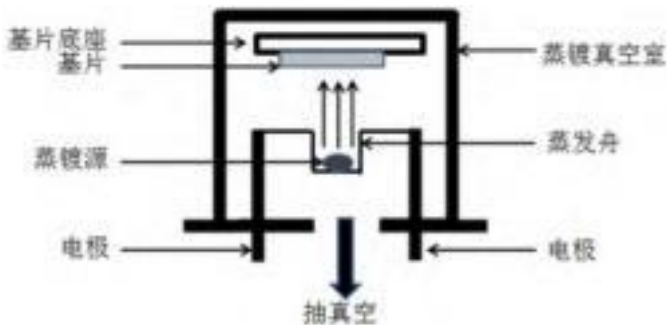


1. 新工艺新结构拓宽空间，国产厂商多维发展突破海外垄断
2. CVD：种类繁多，PECVD占比最高
3. ALD：高台阶覆盖率+膜厚控制精准，先进节点及3D结构应用广泛
4. PVD：溅射为主，多用于沉积金属薄膜
5. 建议关注标的
6. 风险提示

PVD总览：可分为蒸发和溅射两大类，蒸发主要用于OLED面板

- 物理气相沉积：镀膜过程中利用的是物理现象，把待镀源从物质聚集的一种状态转变为另外一种状态，最终沉积到基片上的技术。
- 物理气相沉积PVD可分为蒸发、溅射两大类。
- 真空蒸镀：真空蒸镀设备操作简单、设备价格便宜、成膜速度快，但薄膜与基片结合力较差，镀好的薄膜用无尘布直接可以擦拭掉。蒸镀目前是OLED面板主流工艺，半导体中应用少。

蒸发镀膜设备真空腔体核心部分结构



腔体被抽真空后，待镀源材料放置在蒸发舟内，通过给蒸发舟两端电极加电流使蒸发舟升温至蒸镀源材料融化变成蒸气，蒸气运动至基片表面成膜。

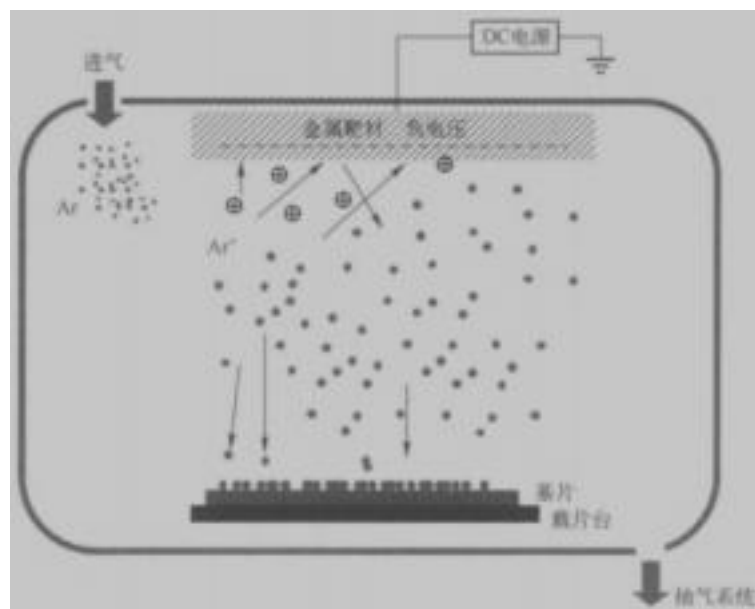
不同物理气相沉积方法介绍

设备种类	薄膜生长源	生长温度	生长速率	工作压力	衬底承载方式	等离子体源
真空蒸镀 (Vacuum Evaporator) 设备	蒸发源	高温生长 (<1500℃)	10~30nm/min	>10 ⁻³ Torr	悬挂式衬底加热	热蒸发或电子束
直流物理气相沉积 (DCPVD) 设备	靶材	高温或常温生长 (<600℃)	<1mm/min	0.1~10 Torr	加热或冷却基座	直流源 (阴极溅射)
射频物理气相沉积 (RFPVD) 设备	靶材	高温或常温生长 (<600℃)	<100nm/min	0.1~10 Torr	加热、冷却或射频基座	射频源 (13.56MHz、20MHz、60MHz)
磁控溅射 (Magnetron PVD) 设备	靶材	高温或常温生长 (<600℃)	<1mm/min	0.1~200m Torr	加热、冷却或射频基座	直流源
离子化物理气相沉积 (Ionized PVD) 设备	靶材	高温或常温生长 (<600℃)	<100nm/min	0.1~200m Torr	冷却射频基座	直流源和射频源

溅射镀膜——阴极溅射和射频溅射

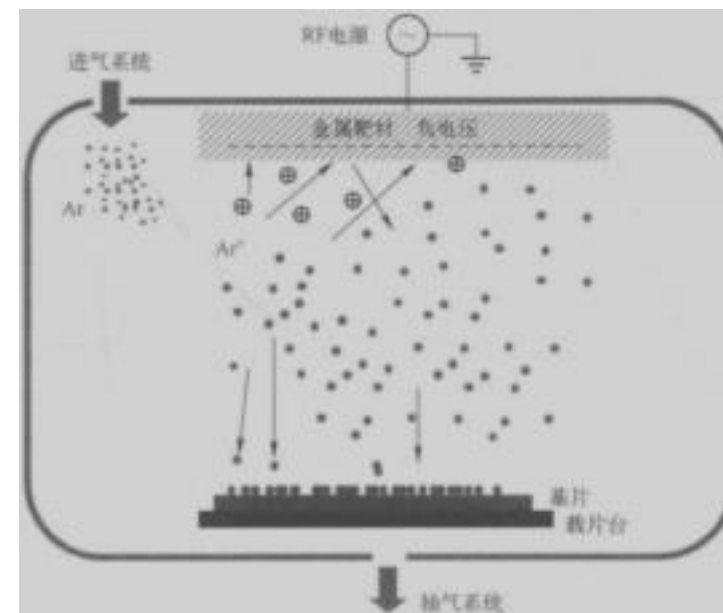
- 溅射镀膜可分为直流物理气相沉积（DCPVD）、射频物理气相沉积（RFPVD）、磁控溅射和离子化物理气相沉积。
- 直流物理气相沉积：又称阴极溅射。阴极溅射所需的靶材必须是导体，因工艺气体的Ar离子会与靶材表面的电子复合进而造成靶材电位上升，导致溅射终止。可通过射频溅射或CVD的方式沉积绝缘材料。阴极溅射另一大缺点在于启辉电压高，电子对衬底轰击强，需采用磁控溅射以解决。
- 射频物理气相沉积：采用射频电源作为激励源，可沉积导体和绝缘材料。但RFCVD沉积速率远低于DCPVD，因此通常采用直流和射频两种电源通过耦合器同时加载于靶材的方式解决。此外，与RFPVD相比，CVD具有更好的台阶覆盖能力，故多采用CVD沉积介质绝缘材料。

DCPVD设备结构



靶材作为阴极，衬底作为阳极。工艺气体电离后形成等离子体，等离子体中的带电粒子在电场中加速从而获得一定的能量，能量足够大的粒子轰击靶材表面，使靶原子被溅射出来，被溅射出来的带有一定动能的原子向衬底运动，在衬底表面形成薄。

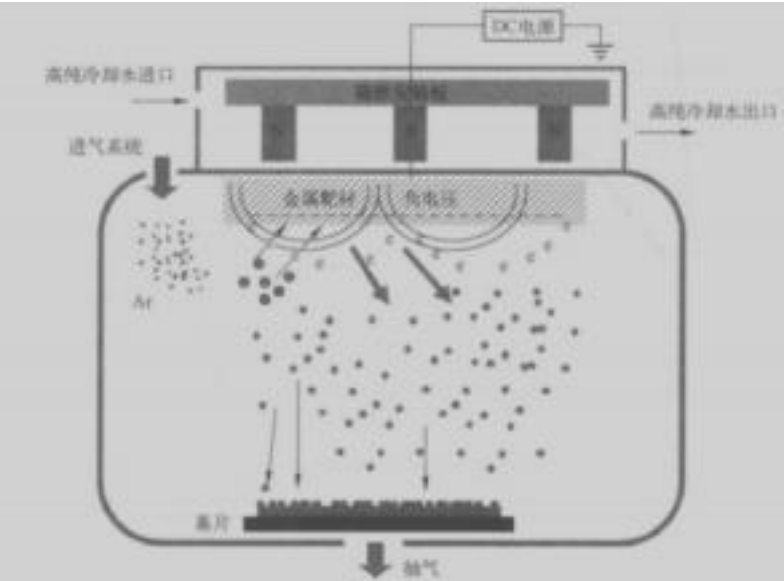
RFPVD设备结构



RFPVD主要通过和直流磁控PVD相结合来降低DCPVD对圆片上的器件的损伤。同时，RFPVD的加入会导致沉积速率的下降，以便更好地对沉积超薄膜厚度进行控制。因此，对金属栅的沉积大多采用磁控DCPVD/RFPVD方法。

- 磁控溅射是一种在靶材背面添加磁体的PVD方式，添加的磁体与直流电源或（交流电源）系统形成磁控溅射源，利用该溅射源在腔室内形成交互的电磁场，俘获并限制腔室内部等离子体中电子的运动范围，延长电子的运动路径，进而提高等离子体的浓度，最终实现更多的沉积。另外，因为更多的电子被束缚于靶材表面附近，从而减少了电子对衬底的轰击，降低了衬底的温度。
- 与平板式DCPVD技术相比，磁控物理气相沉积技术的一个最明显的特点是启辉放电电压更低、更稳定。因其等离子体浓度更高，溅射产额更大可以实现极佳的沉积效率、大尺寸范围的沉积厚度控制、精确的成分控制及较低的启辉电压等优势，所以磁控溅射在当前的金属薄膜PVD中处于主导地位。
- 磁控DCPVD是应用最广泛的一种沉积方式，特别是对于平面薄膜的沉积，包括集成电路制备中的铝互连的金属层制备，但在铜互连中这类应用减少。28nm的氮化钛硬掩模又开启了对这种平面沉积技术的新应用。

磁控溅射设备结构



典型磁控溅射设备信息

厂商	设备型号	主要特点
应用材料	Endura	集簇式系统，可集成多种材料的沉积工艺腔室，单片工艺，可配置加热或冷却基座：主要应用于集成电路制造，也可应用于先进封装、功率半导体、MEMS等领域的金属或介质镀膜工艺
北方华创	Polairs、Flexer、exiTin	集簇式系统，可集成多种材料的沉积工艺腔室，单片工艺，可配置加热或冷却基座：可应用于集成电路、先进封装、半导体照明、功率半导体、微机械等领域的金属或介质镀膜工艺

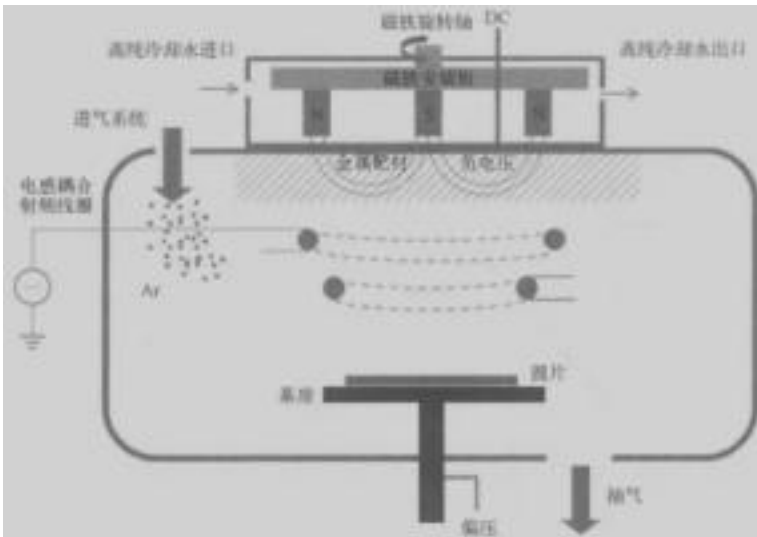
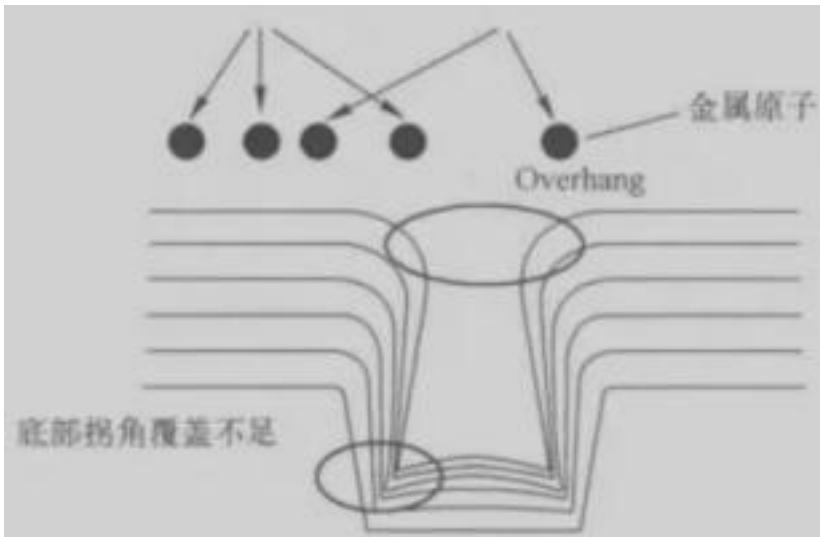
溅射镀膜——离子化PVD设备

- 随着特征尺寸变得越来越小。由于PVD技术无法控制粒子的沉积方向，所以PVD进入具有高深宽比的通孔和狭窄沟道的能力受到限制，使得传统PVD技术的扩展应用受到越来越多的挑战。在PVD工艺中，随着孔隙沟槽的深宽比增加，底部的覆盖率降低，在顶部的拐角处形成屋檐式的悬垂(Overhang)结构，并在底部拐角处形成最薄弱的覆盖。
- 离子化PVD在腔室中加入射频线圈，先将靶上溅射出来的金属原子通过不同的方式使之等离子化，再通过调整加载在圆片上的偏压，控制金属离子的方向与能量，以获得稳定的定向金属离子流来制备薄膜，从而提高对高深宽比通孔和狭窄沟道的台阶底部的覆盖能力。
- 离子化PVD属于磁控DCPVD中的一种新技术，常用于铝互连的隔离层、钨栓塞的黏附层，以及铜互连中的隔离层和籽晶层。对于有高深宽比的孔隙沟槽的集成电路工艺，离子化PVD的应用已经占据了主导地位。同时，这类离子化PVD腔室已经和金属CVD腔室结合在一个系统中，各自发挥其特长，如钨栓塞的黏附层(钛离子PVD)和隔离层(氮化钛CVD)。

在高深宽比的接触孔处，典型的台阶覆盖随时间增加而变化

离子化PVD设备结构

典型离子化PVD设备信息

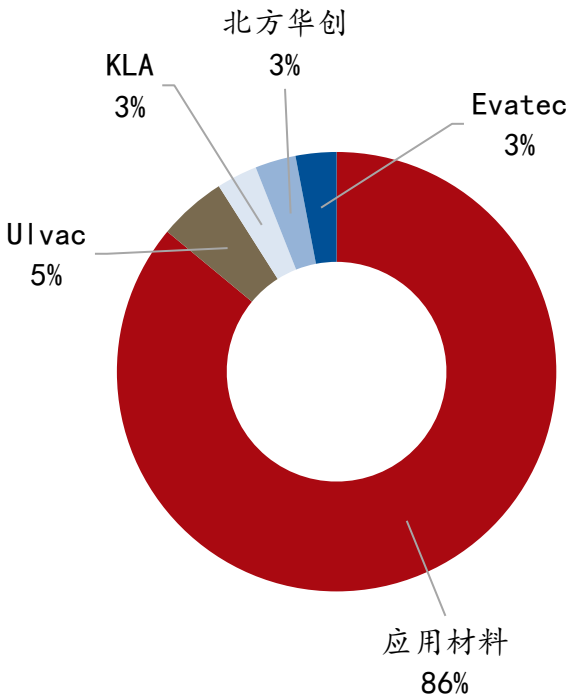


厂商	设备型号	主要特点
应用材料	Endura	集簇式系统、可集成多种材料的工艺腔室、单片工艺可配置加热、冷却及射频基座，可实现高深宽比的孔隙填充。主要应用于集成电路制造、先进封装等领域的金属互连或介质镀膜工艺
北方华创	eVictor、Polairs	集簇式系统、可集成多种材料的工艺腔室，单片工艺可配置加热或冷却基座及射频基座。可应用于集成电路制造、先进封装等领域的金属互连或介质镀膜工艺

PVD市场：北方华创已实现PVD设备工艺全覆盖

- 根据SEMI数据，2023年全球溅射PVD设备市场规模达到43.56亿美元，占薄膜沉积设备市场的19%，仅次于PECVD。
- 溅射PVD市场呈现高度垄断的特征。Gartner数据显示，2020年应用材料在全球溅射PVD设备市场的市占率高达86%，为绝对龙头。
- 北方华创是国内PVD设备最大的解决方案提供商，累计出货超千腔，现已实现PVD设备工艺全覆盖。

2020年全球溅射PVD设备市场竞争格局（%）



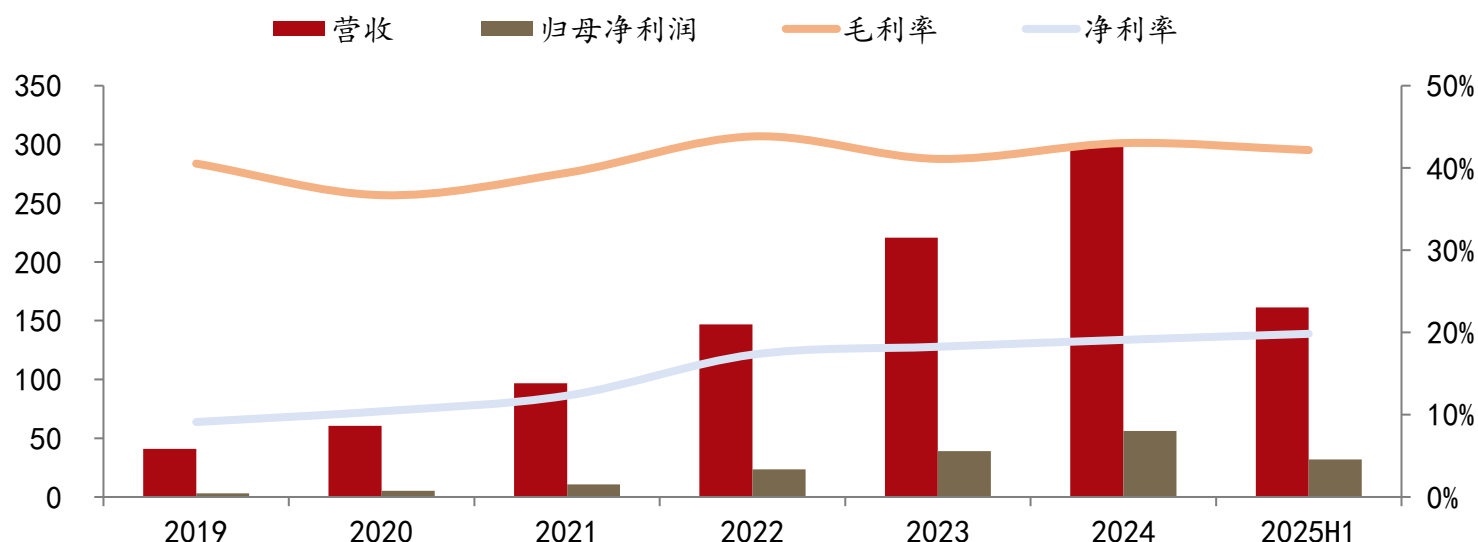
北方华创PVD设备产品布局

产品类别	应用介绍
12英寸集成电路金属沉积设备（PVD）	主要用于12英寸逻辑、存储芯片 Cu（铜）互连、Al Pad（铝垫层）、Metal Hard Mask（金属硬掩膜）、Metal Gate（金属栅）、Silicide（硅化物）等金属化制程工艺。该设备先后突破了磁控溅射源设计、等离子体产生及控制、腔室设计与颗粒控制、软件控制等多项关键技术，实现了对逻辑和存储芯片的全覆盖。
12英寸先进封装金属沉积设备（PVD）	主要用于先进封装工艺中Ti、Cu 等材料的沉积。该产品具备低温、低损伤、高覆盖率等核心优势技术，应用于先进封装UBM、RDL、TSV工艺的量产，为先进封装行业提供了稳定、高效的生产保障。
8英寸物理气相沉积设备（PVD）	主要用于8英寸晶圆多种金属薄膜沉积工艺。广泛应用于集成电路、化合物半导体、功率半导体、半导体照明、硅基微型显示、科研等领域。

1. 新工艺新结构拓宽空间，国产厂商多维发展突破海外垄断
2. CVD：种类繁多，PECVD占比最高
3. ALD：高台阶覆盖率+膜厚控制精准，先进节点及3D结构应用广泛
4. PVD：溅射为主，多用于沉积金属薄膜
5. 建议关注标的
6. 风险提示

- 北方华创布局刻蚀/薄膜沉积/清洗/热处理四大应用领域，打造半导体设备平台型企业。
- 25H1公司实现营收161.42亿元，同比增长29.51%；归母净利润32.08亿元，同比增长14.97%；毛利率42.17%；净利率19.83%。
- 北方华创在薄膜沉积设备领域，已形成了物理气相沉积（PVD）、化学气相沉积（CVD）、原子层沉积（ALD）、外延（EPI）和电镀（ECP）设备的全系列布局。2024年公司薄膜沉积设备收入超 100 亿元。PVD实现对逻辑和存储芯片的全覆盖，EPI实现常压外延和减压外延领域的全面覆盖，并于2025年3月发布首款12英寸电镀设备。

历年公司财务数据（亿元，%）



公司薄膜沉积产品布局



物理气相沉积 (PVD)

实现对逻辑和存储芯片的全覆盖



化学气相沉积 (CVD)

产品覆盖 PECVD、HDPCVD、LPCVD 等多个品类



原子层沉积 (ALD)

产品覆盖热式原子层沉积 (Thermal ALD) 和等离子增强型原子层沉积 (PE ALD) 等多个品类



外延 (EPI)

实现常压外延和减压外延领域的全面覆盖



电镀 (ECP)

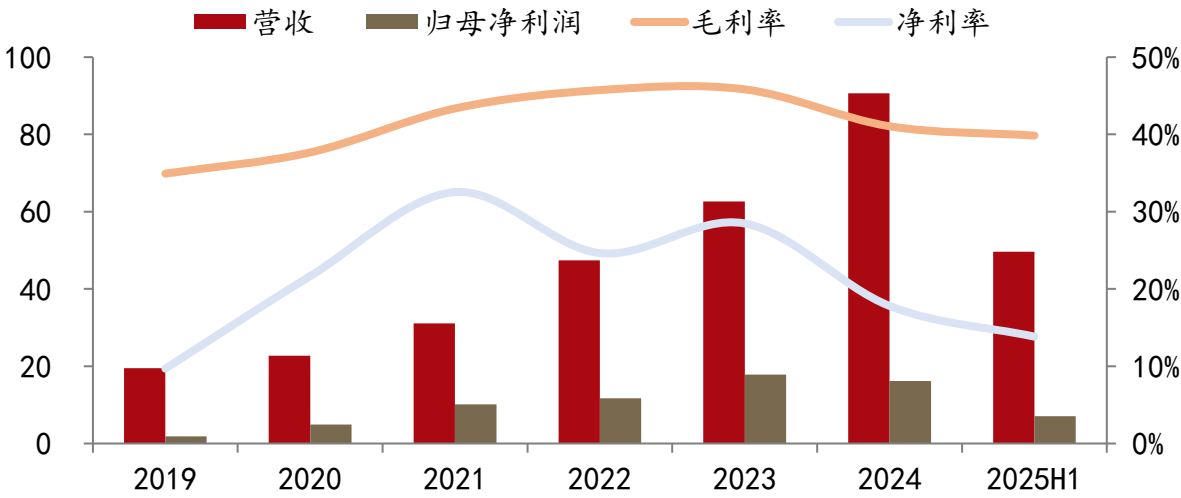
2025年3月正式发布，成为集成电路领域的重要拼图

- 中微公司从事高端半导体设备及泛半导体设备的研发、生产和销售，布局刻蚀设备、MOCVD设备、薄膜沉积设备及其他设备四大系列产品。25H1 公司营收约49.61亿元，同比增长约43.88%，其中刻蚀设备收入增长约40.12%达37.81亿元，LPCVD薄膜设备收入增长约608.19%达1.99亿元。
- 公司正在开发近40种导体薄膜 LPCVD/ALD/PVD 薄膜沉积设备，已有六款薄膜沉积产品推向市场。钨系列薄膜沉积产品：CVD（化学气相沉积）钨设备，HAR（高深宽比）钨设备和 ALD（原子层沉积）钨设备，可覆盖存储器件所有钨应用。应用于先进逻辑器件的金属栅系列产品：ALD 氮化钛，ALD 钛铝，ALD 氮化钽产品，已完成多个先进逻辑客户设备验证。此外，公司减压 EPI 设备已顺利付运成熟制程客户进行量产验证，并已经进入先进制程工艺验证和客户验证阶段。

公司薄膜沉积设备布局

	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
W Family	CVD W G1 HAR W G1 ALD W G1	WCN	ALD W G2	CVD W G2 HAR W G2 Liner-free W	→	WX	HAR W G3	→
ALD	TiN G1 TiAl G1 TaN G1	Mo G1	HfOx G1 LaOx G1 AlOx G1	Mo G2 TiN G2	High-k G2 LaOx G2	TiN G3 Mo G3	AlOx G2	→
PE		Ti G1	TiOx G1 Co G1	Ti G2 Co G2 AlOx	TiOx G2 Ad-PTN G1	→	Ad-PTN G2	→
PVD			CuBS G1 (w/ Sel.)	TaH/Al RF PVD	Impulse PVD CuBS G2	→	CuBS G3	→

历年公司财务数据（亿元，%）

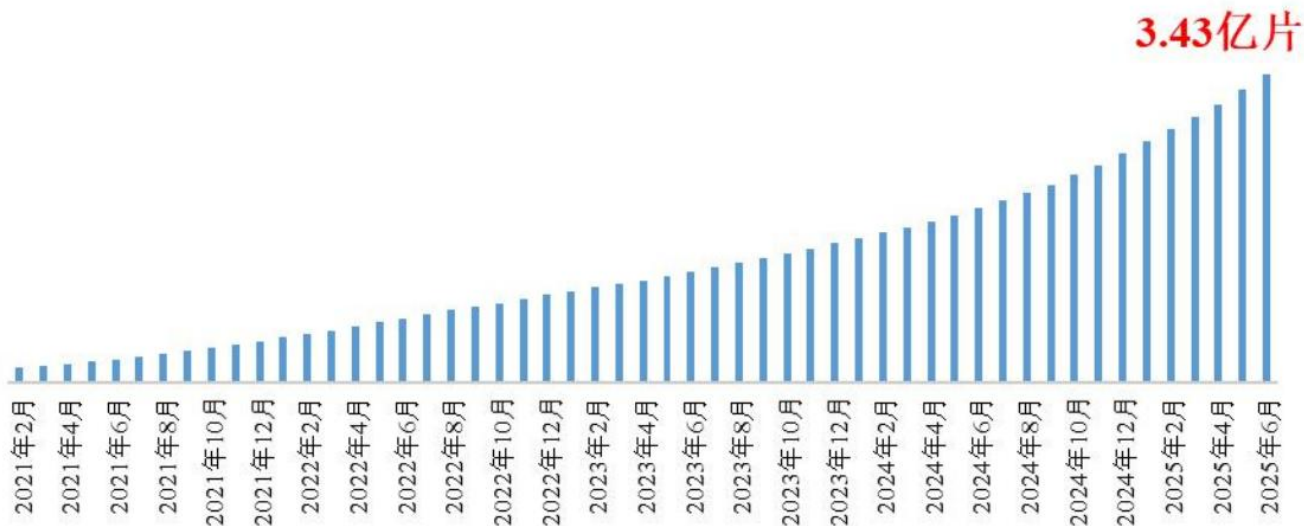


公司独特的双腔设计保障了高产出和低消耗

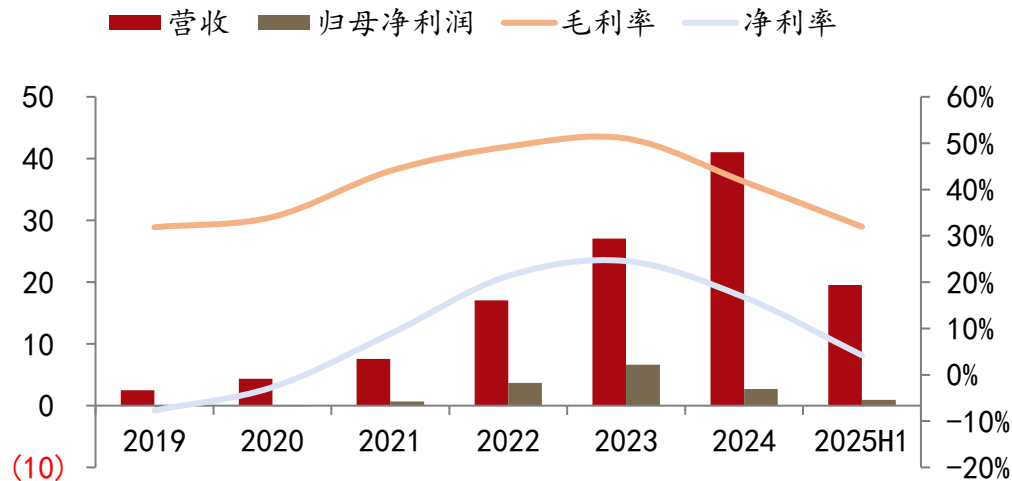


- 截至2024年末，公司推出的PECVD、ALD、SACVD、HDPCVD及Flowable CVD薄膜设备可以支撑逻辑芯片、存储芯片中所需的全部介质薄膜材料的约100多种工艺应用；累计出货超过2500个反应腔（包括超过220个新型反应腔pX和Supra-D），进入超过70条生产线；公司薄膜沉积设备在客户端产线生产产品的累计流片量已突破2.96亿片。
- 公司PECVD设备已实现全系列PECVD介质薄膜材料的覆盖，通用介质薄膜材料和先进介质薄膜材料均已实现产业化应用；基于新型设备平台（PF-300T Plus和PF-300M）和新型反应腔（pX和Supra-D）的PECVD Stack（ONO 叠层）、ACHM及PECVD Bianca等先进工艺设备，陆续通过客户验收，量产规模不断增加。ALD设备25Q2收入超2024全年收入；PE-ALD 设备高温、低温、高质量 SiO₂、SiN、SiCO 等介质薄膜工艺设备均已实现产业化应用；Thermal-ALD Al₂O₃、AlN等工艺设备持续出货至客户端，并扩大金属及金属化合物薄膜材料应用，整体进展顺利。

公司薄膜沉积设备累计流片量 (片)



历年公司财务数据（亿元，%）

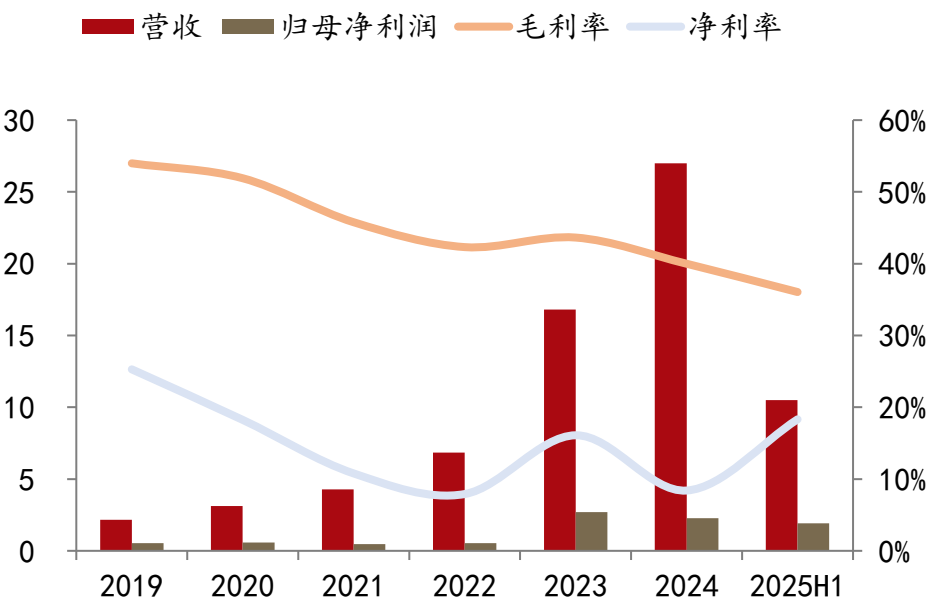


拓荆科技产品布局



- 微导纳米形成了以原子层沉积 (ALD) 技术为核心，化学气相沉积 (CVD) 等多种真空薄膜技术梯次发展的产品体系。
- 在半导体领域内，公司是国内首家成功将量产型 High-k 原子层沉积设备应用于集成电路制造前道生产线的国产设备厂商，也是行业内率先为新型存储提供薄膜沉积技术支持的设备厂商之一。目前公司已与国内多家厂商建立了深度合作关系，相关产品涵盖了逻辑、存储、化合物半导体、新型显示（硅基OLED等）等诸多细分应用领域，多项设备关键指标达到国际先进水平，能够满足国内客户当前技术的需求以及未来技术更迭的需要。
- 在光伏领域内，公司作为率先将ALD技术规模化应用于国内光伏电池生产的企业，已成为行业内提供高效电池技术与设备的领军者之一，与国内头部光伏厂商形成了长期合作伙伴关系。根据公开的市场数据统计，公司ALD产品已连续多年在营收规模、订单总量和市场占有率方面位居国内同类企业第一。

历年公司财务数据 (亿元, %)

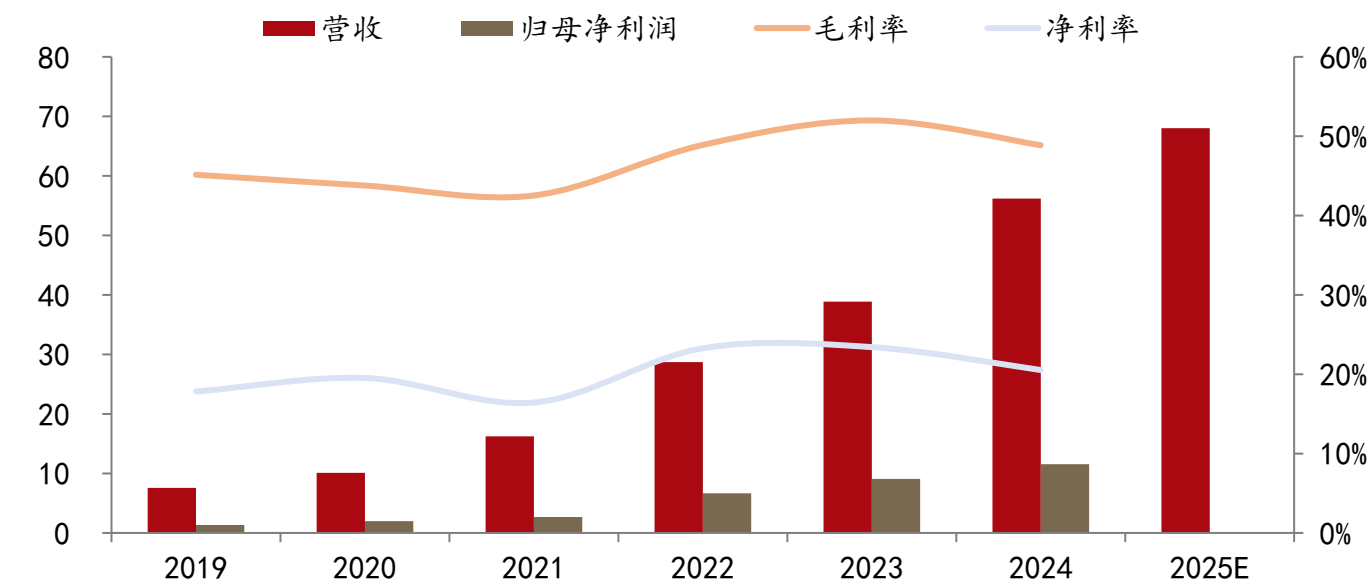


公司在半导体领域的产品布局

产品系列	产品说明
iTomic 系列原子层沉积系统	适用于高介电常数 (High-k) 栅氧层、MIM电容器绝缘层、TSV介质层等薄膜工艺需求。产品凭借原子级别的精确控制、沉积薄膜的高覆盖率和超薄膜厚的均匀性，可为逻辑芯片、存储芯片提供介质层等关键工艺解决方案。
iTomic MW系列批量式原子层沉积系统	采用创新的批量型 (mini-batch) 腔体设计，可一次处理25片12英寸晶圆，适用于成膜镀率低、厚度要求高以及产能要求高的关键工艺及应用。产品利用特有的流场设计，具有成膜速度快、占地面积小、产能高、使用成本低等优势，为存储芯片以及 Micro-OLED 显示器、MEMS等提供定制化量产的解决方案。
iTomic Lite系列轻型原子层沉积系统	产品采用原创设计开发的自动化平台与模块化 ALD 反应腔相结合，可按需配置PEALD或Thermal ALD 等工艺需求。产品具有强大的兼容性，其硬件配置在保持量产机型强大功能的前提下，可满足各类晶圆尺寸 (6、8 英寸) 量产工艺需求，同时也可满足客户高端研发和新工艺试量产需求，可广泛应用于 MEMS、光电器件等泛半导体器件领域。
iTomicPE 系列等离子体增强原子层沉积系统	产品可根据不同温度要求制备氧化硅、氮化硅、氮氧化硅、氮碳化硅等薄膜，通过精准快速控制成膜速度、低反应温度、材料配比等技术，实现材料厚度均匀性、膜应力、热过程以及阶梯覆盖率等极具挑战的工艺需求。可为逻辑芯片、存储芯片、先进封装等提供客制化掩膜层、介质层、多级图案化等关键工艺解决方案。
iTronix 系列化学气相沉积系统	产品采用自主研发的反应腔室和电气软件集成化服务，在逻辑、存储、先进封装、显示器件等芯片制造领域具有广泛应用，可满足多种功能性薄膜沉积工艺的开发和应用需求。搭载新型平台可安装更多反应腔以满足高产能需求。
Trancendor 系列晶圆真空传输系统	公司独立研发的、适用于高产能半导体制程设备的晶圆传输系统。该系统可根据客户工艺需要，灵活挂载一至多个工艺腔体 (每个工艺腔体可配备一至多个工作站) 在真空环境下进行快速高效晶圆传输。

- 盛美上海坚持“技术差异化”和“产品平台化”战略，成功布局七大板块产品，分别是清洗设备、电镀设备、先进封装湿法设备、立式炉管设备、涂胶显影设备、PECVD设备和面板级封装设备，可覆盖市场约200亿美元。
- 公司立式炉管设备首先集中在LPCVD设备，再向氧化炉和扩散炉发展，最后逐步进入到ALD设备应用，现已完成三大类炉管产品包括常压、低压、原子层炉管的布局。公司已推出Ultra PmaxTM PECVD设备，并在该设备平台的基础上，新推出了 Ultra PmaxTM+ PECVD设备平台，该设备平台具有占地面积小，单位产出速度更快的优势，同时晶圆在腔体多加热盘中进行旋转切换的技术可以适配新型的工艺需求。在下一个技术节点，公司计划依据Ultra PmaxTM+平台将工艺扩展到单片式PEALD应用。
- 公司预计2025年全年营收为65~71亿元，同比增长15.70%~26.39%。

历年公司财务数据（亿元，%）



盛美上海主要产品

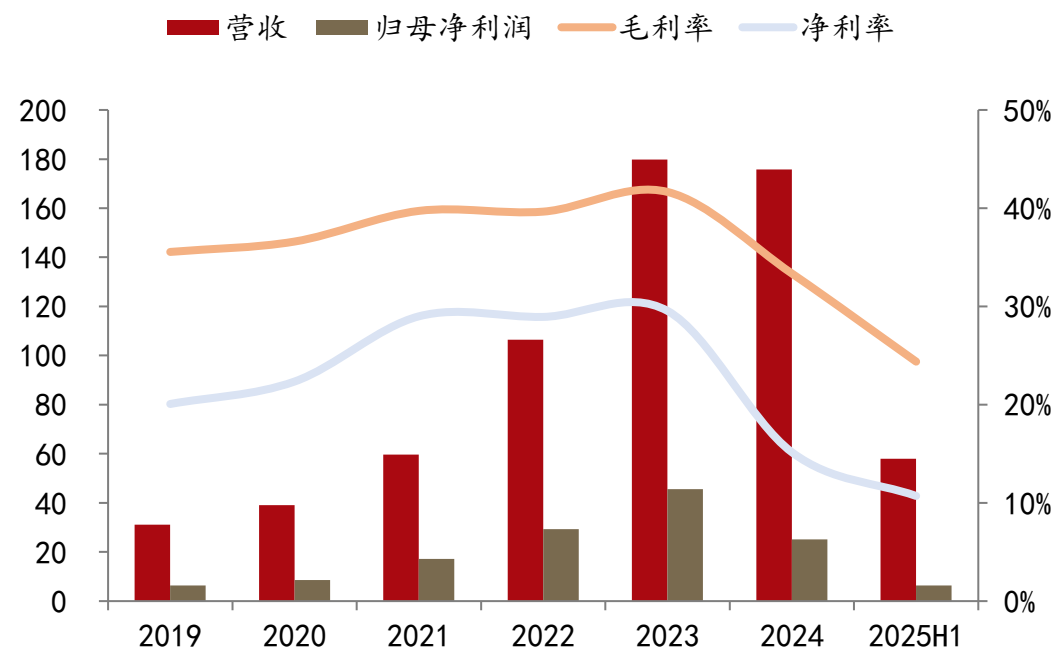
产品系列	具体产品
前道湿法	前/后段单片清洗设备
	单片回收清洗设备
	自动槽式清洗设备
	单片槽式组合清洗设备
	背面清洗设备
	湿法刻蚀设备
	斜边清洗设备
	前后段刷洗设备
	单片高温硫酸设备
	SCCO2
后道湿法	刷洗设备
	涂胶设备
	显影设备
	湿法刻蚀设备
	去胶设备
大硅片湿法	单片清洗设备
	单片湿法刻蚀设备
	Wet in dry out清洗
电镀	双大马士革电镀设备
	TSV电镀设备
	后道封装电镀设备
	化合物半导体电镀设备
炉管	常压化学气相沉积氧化炉
	超高温退火炉
	低压化学气相沉积炉
	超高真空合金炉
	原子层沉积炉
PECVD	SiH4 base
	TEOS base
	Carbon
Track	ArF Line
抛光	无应力抛光

- 晶盛机电坚持先进材料、先进装备双引擎可持续发展的战略定位，形成了装备+材料协同发展的良性产业布局，主营业务产品涉及半导体装备、半导体衬底材料以及半导体耗材及零部件领域。
- 在集成电路装备领域，公司已构建8-12英寸半导体大硅片核心装备的全产业链布局，产品质量达国际先进水平，国内市占率领先；同时，延伸至芯片制造与封装环节，成功布局8-12英寸硅常压外延、8-12英寸减压外延设备及减薄机等关键设备，相关产品取得市场认可并实现批量销售。在化合物半导体装备领域，公司6-8英寸碳化硅外延设备、氧化炉、激活炉实现国产替代，市占率行业领先。

公司先进制程及先进封装设备产品

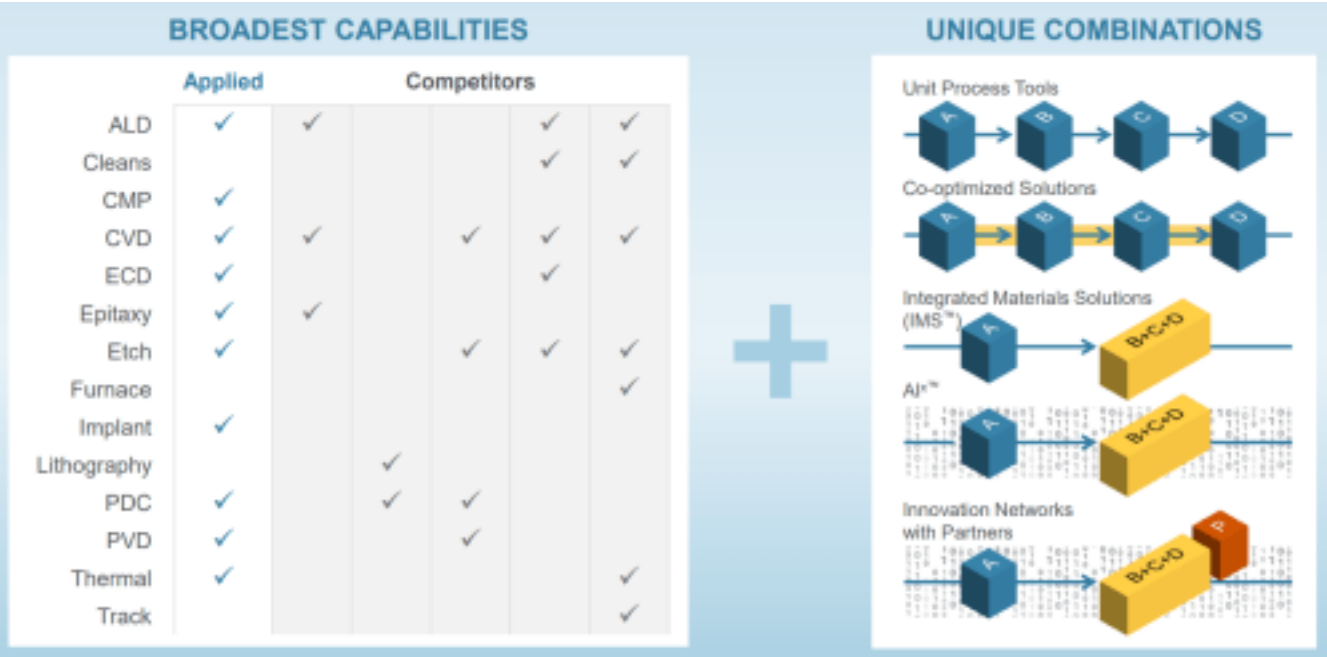


历年公司财务数据 (亿元, %)

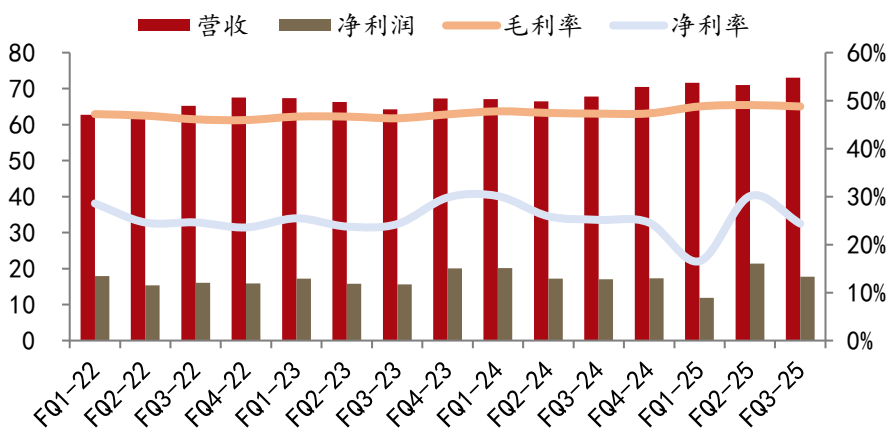


- 应用材料于1967年在美国成立，并于1984年进入中国市场，成为第一家进入中国的海外半导体设备公司。应用材料现已成为全球第一大半导体和显示设备厂商。
- 公司推出了Producer XP Pioneer CVD图案薄膜用于埃时代图案化。Pioneer薄膜在光刻胶图案处理之前沉积在晶圆上，其独特设计可将所需图案以卓越的保真度转移到晶圆上。Pioneer基于独特的高密度碳配方，该配方对最先进工艺节点中使用的蚀刻化学物质更具弹性，从而允许更薄的薄膜叠层具有卓越的侧壁特征均匀性。Pioneer已被领先的内存制造商采用用于DRAM图案化。
- FQ3-25应用材料实现营收73.02亿美元，同比增长7.73%，环比增长2.85%；其中，中国大陆为第一大收入来源，占比为35%。

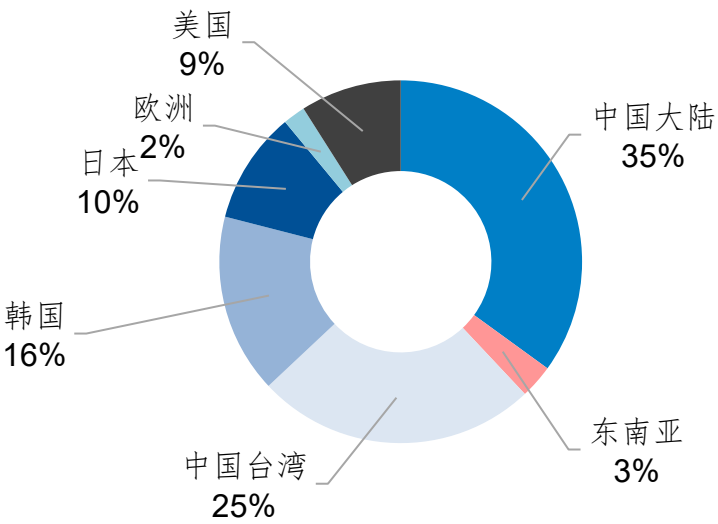
应用材料技术布局



历年各季度公司财务数据（亿美元，%）

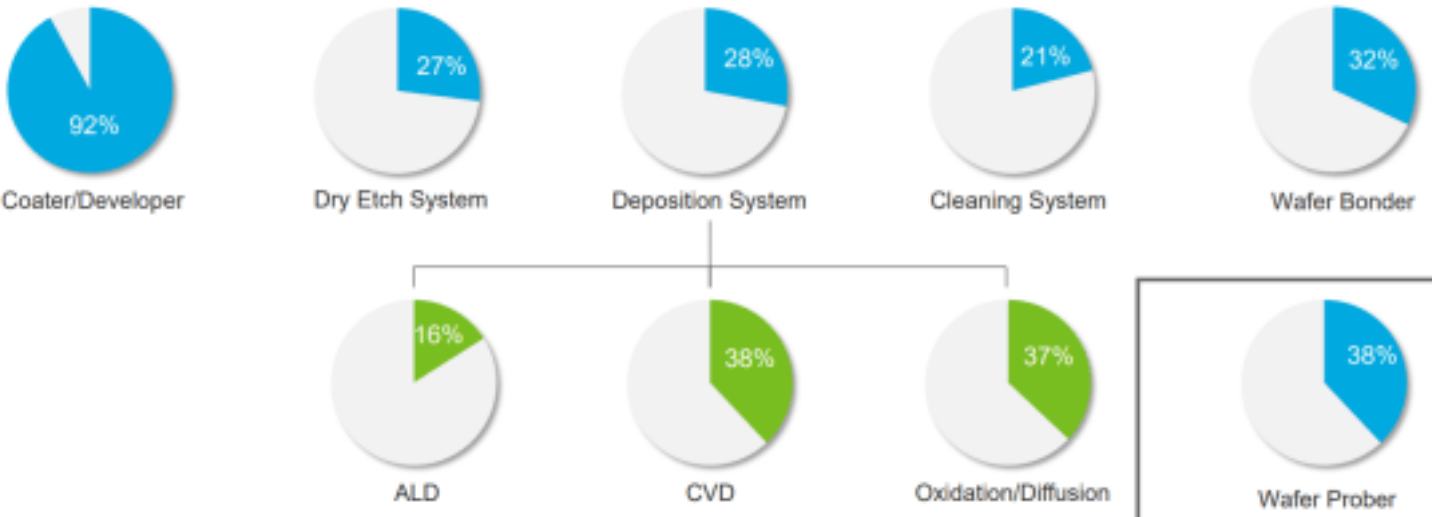


FQ3-25公司营收结构（%）

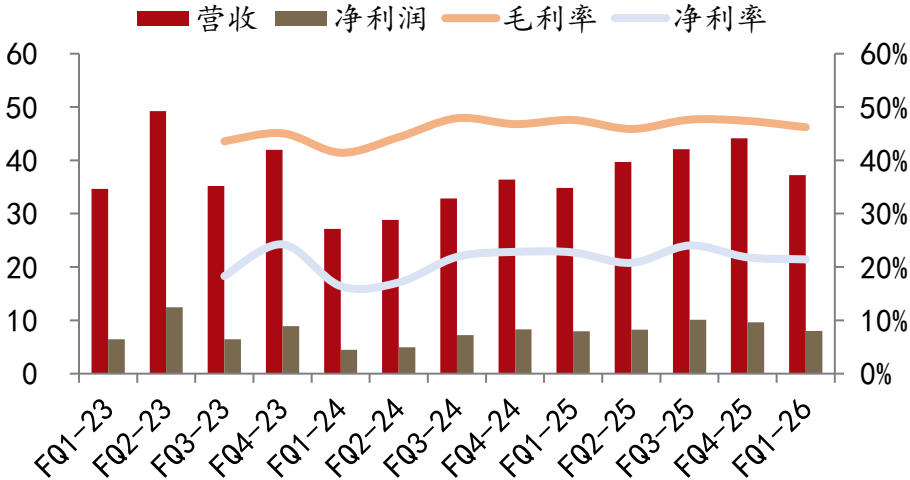


- 东京电子于1963年在日本成立，是全球第四大半导体设备厂商，也是全球唯一一家提供在半导体图案化加工中必不可少的四道关键制程（沉积、涂布显影、刻蚀和清洗）设备的公司。
- 根据东京电子数据，2024年其多款产品市占率位居全球前列，其中ALD、CVD的市占率分别达16%和28%。
- FQ1-26东京电子实现营收37.21亿美元，同比减少0.99%，环比减少16.15%；其中，中国大陆为第一大收入来源，占比为38.6%。

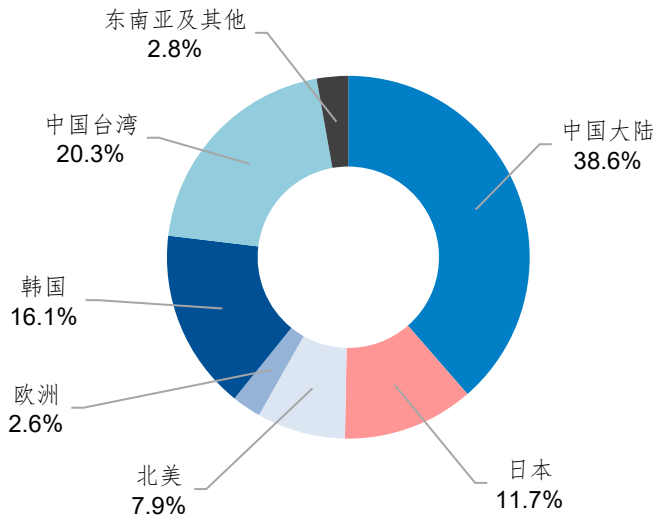
东京电子多款产品市占率位居全球前列



历年各季度公司财务数据（亿美元，%）

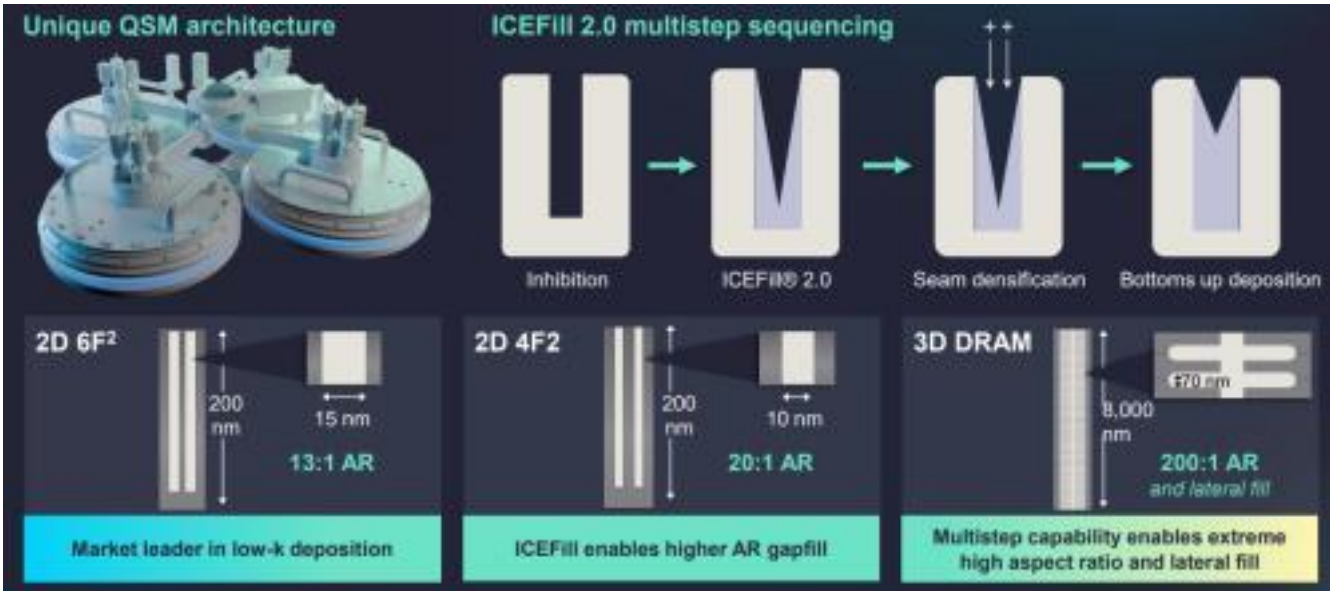


FQ1-26公司营收结构（%）

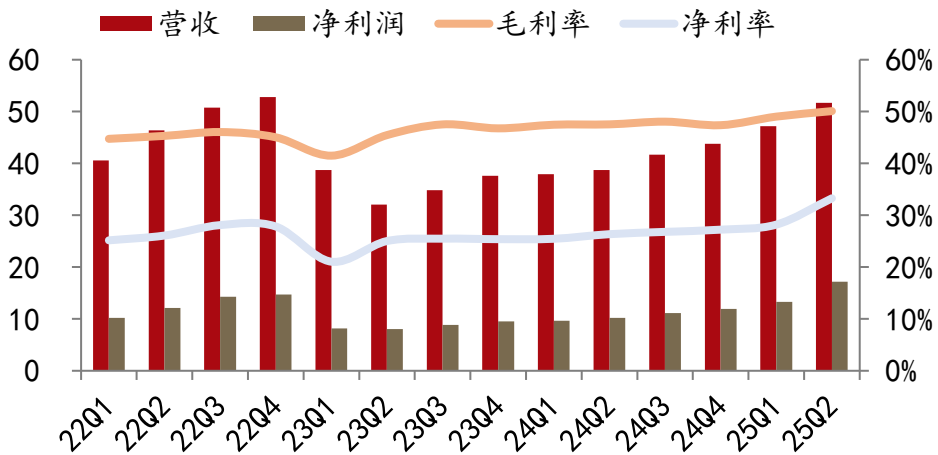


- 泛林集团于1980年在美国成立，于1981年推出第一台自动化多晶硅等离子刻蚀机AutoEtch 480；随后，公司开始向海外扩张，在中国台湾、韩国、日本等地新建工厂，并开展了一系列重大收购；现已形成刻蚀、薄膜沉积和清洗三大产品系列。
- 泛林集团的沉积设备均具备出色的精度、性能和灵活性，包括适用于钨金属化工艺的ALTUS®系列、具有后薄膜沉积处理能力的SOLA®系列、高密度等离子体化学气相沉积SPEED®系列、采用先进ALD技术的Striker®系列以及VECTOR® PECVD系列等。
- 25Q2公司实现营收51.71亿美元，同比增长33.58%，环比增长9.56%；其中，中国大陆为第一大收入来源，占比为35%。

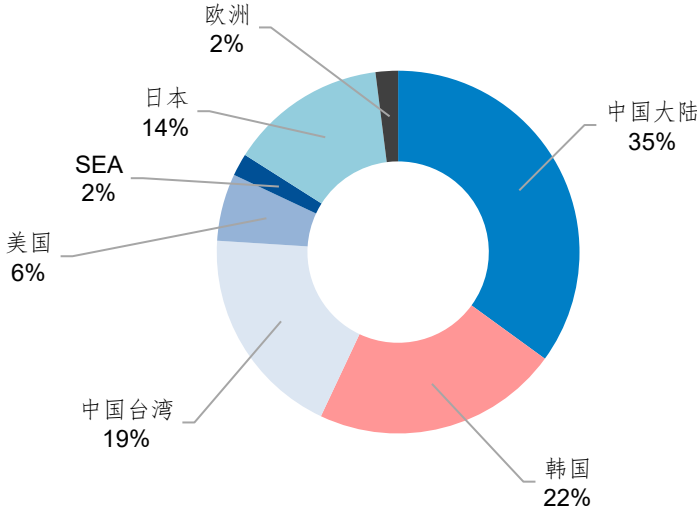
泛林DRAM薄膜沉积解决方案



历年各季度公司财务数据 (亿美元, %)



25Q2公司营收结构 (%)



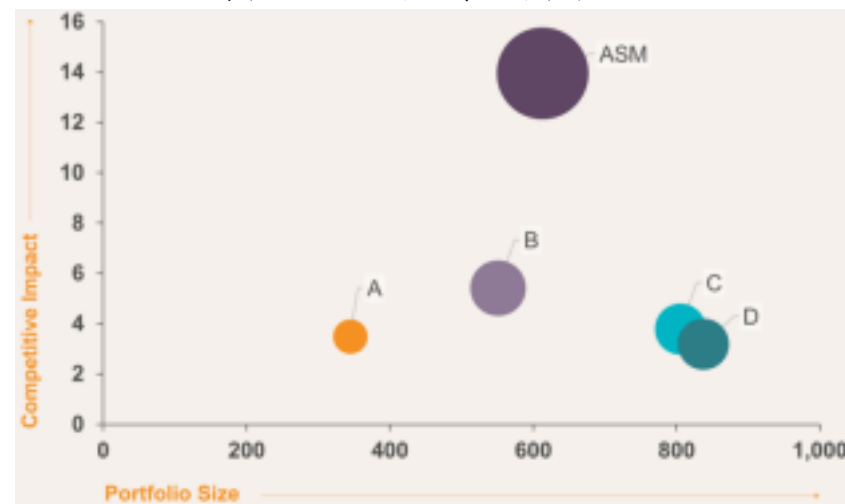
ASM (ASM. AS)

- 1968年ASM先晶半导体于荷兰成立，ASM深耕原子层沉积 (ALD)、外延 (Epitaxy)、等离子体增强化学气相沉积 (PECVD)、SiC、立式炉管五大领域，其中ALD及Epitaxy产品的市场占有率位居全球前列。
- 根据Gartner数据，2020年ASM在全球ALD市场的份额高达46%，位居全球第一。
- 25Q2 ASM实现营收8.36亿欧元，同比增长18.40%，环比减少0.36%；净利润2.02亿欧元；毛利率51.8%。

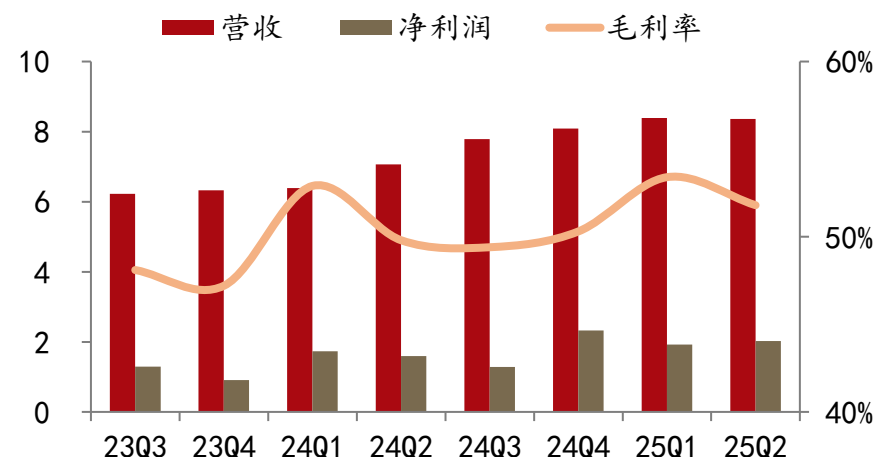
公司业绩规划

	FY 2024 ⁽¹⁾	FY 2025*	FY 2027
Revenue	€ 2.9 billion	€ 3.2 - 3.6 billion	€4.0 - €5.0 billion
Revenue growth	12% yoy ⁽²⁾	16 - 21% CAGR (FY20-FY25)	11 - 16% CAGR (FY22-FY27)
Gross margin %	50.5%	46 - 50% (FY21-FY25)	46 - 50% (FY25-FY27)
SG&A % revenue	10.6%	High single digit (FY25)	High single digit (FY25-FY27)
R&D (net) % revenue	12.1%	High single digit to low teens (FY25)	High single digit to low teens (FY25-FY27)
Operating margin %	28.0%	26-31% (FY21-FY25)	26-31% (FY25-FY27)
Capex	€168 million	€100 - €180 million (FY25)	€100 - €180 million (FY27)
Effective Tax Rate	21.2% ⁽³⁾	High teens to low twenties (FY25)	High teens to low twenties (FY25-FY27)
Total working capital	50 days	55-75 days (FY25)	55-75 days (FY25-FY27)

公司在ALD领域的专利实力



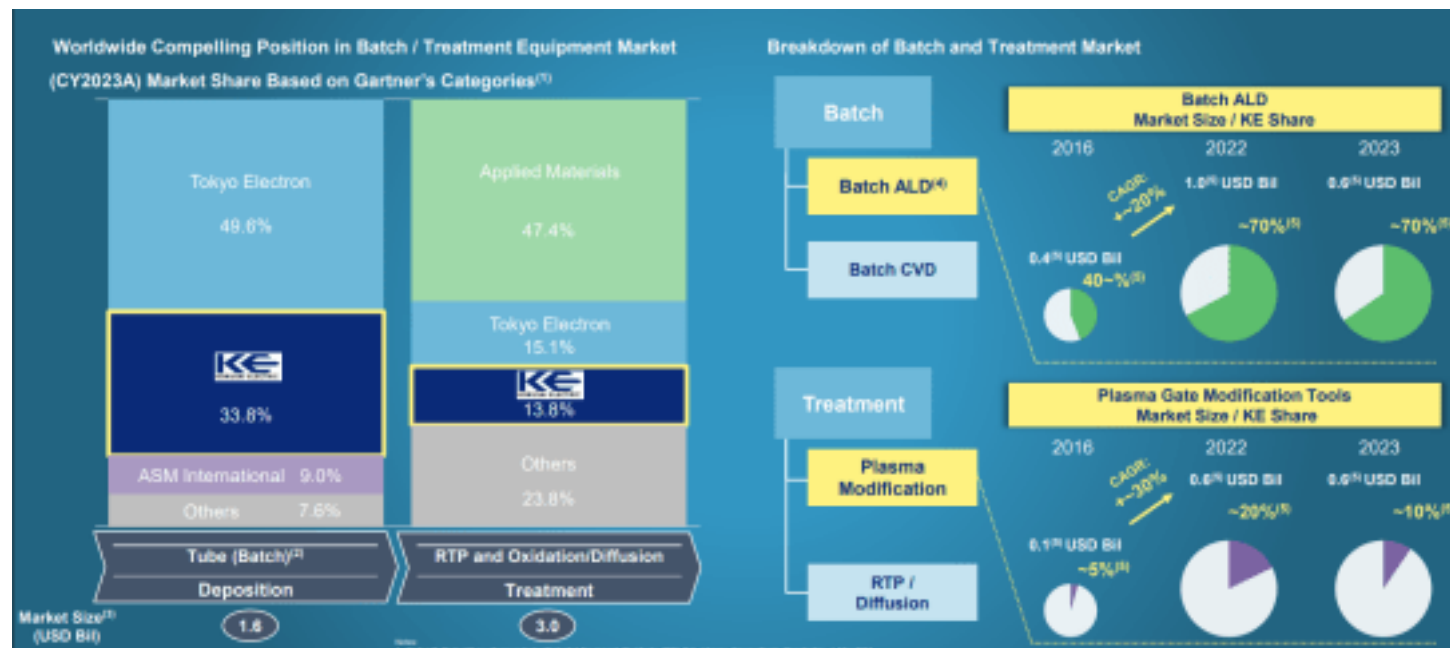
历年各季度公司财务数据 (亿欧元, %)



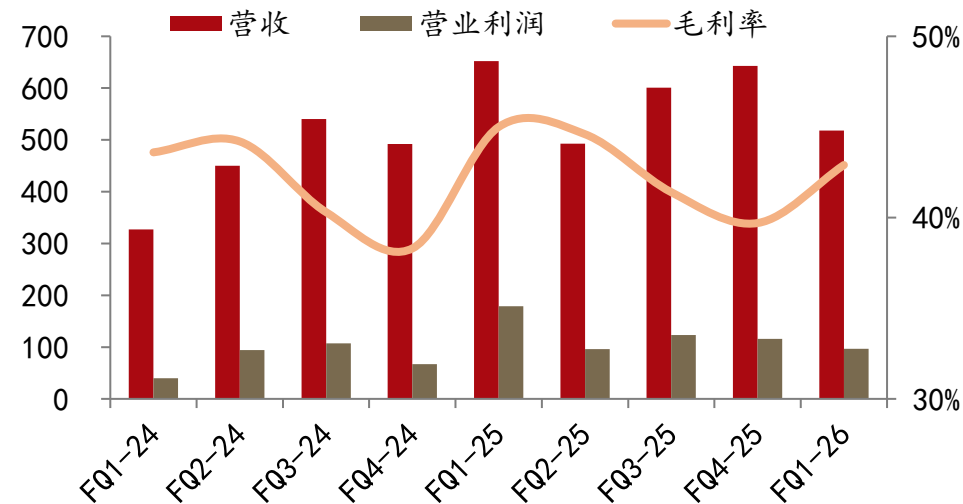
KE (6525.T)

- KE科意半导体，全称KOKUSAI ELECTRIC CORPORATION，于1949年在日本成立，是全球十大半导体制造设备原厂，专注于高性能半导体成膜技术的研发、成膜设备的设计、制造、安装及技术服务。
- 根据TechInsights数据，2023年KE在全球批量式ALD市场中的份额位居全球第一。公司平衡控制沉积（BCD，Balance Controlled Deposition）技术可提供更低的温度处理和更严格的过程控制，同时保持非常高的生产率。
- FQ1-26公司实现营收518亿日元，同比减少20.55%，环比减少19.44%；其中，来自中国大陆的收入占比为46%。

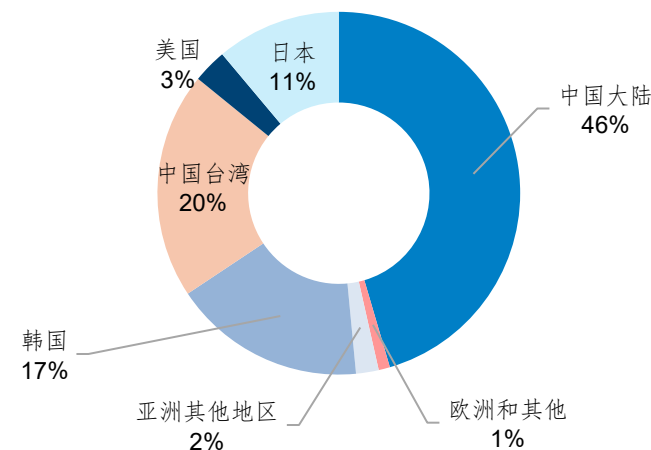
KE在批量式ALD的领先地位



历年各季度公司财务数据 (亿日元, %)



FQ3-25公司营收结构 (%)



1. 新工艺新结构拓宽空间，国产厂商多维发展突破海外垄断
2. CVD：种类繁多，PECVD占比最高
3. ALD：高台阶覆盖率+膜厚控制精准，先进节点及3D结构应用广泛
4. PVD：溅射为主，多用于沉积金属薄膜
5. 建议关注标的
6. 风险提示

- 宏观经济和行业波动风险：半导体设备行业受下游半导体市场及终端消费需求波动的影响，其发展往往呈现一定的周期性，如果未来宏观经济疲软，终端消费市场的需求尤其是增量需求下滑，半导体制造厂商将会减少半导体设备的采购，因此本行业面临一定的行业波动风险。
- 下游客户资本性支出波动较大及行业周期性特点带来的经营风险：随着全球经济的波动、行业景气度等因素影响，下游客户晶圆厂仍然存在资本性支出的波动及行业周期性，并造成半导体设备行业的波动，带来相应的经营风险。在行业景气度提升过程中，半导体产业往往加大资本性支出，快速提升对半导体设备的需求，但在行业景气度下降过程中，半导体产业则可能削减资本支出，从而对半导体设备的需求产生不利影响。
- 下游客户扩产不及预期的风险：近年来，在持续旺盛的下游市场需求的推动下，芯片制造商扩产积极，景气程度向设备类公司传导，薄膜沉积等半导体设备行业整体呈现快速增长态势。但不能排除下游个别芯片制造商的后续投资不及预期，对相关设备的采购需求减弱，这将影响相关公司的订单量，进而对公司的业绩产生不利影响。
- 市场竞争加剧风险：目前国内半导体设备市场主要由欧美、日本等国家和地区的国际知名企业所占据。近年来随着我国对集成电路及装备业的高度重视，加大支持力度，我国半导体设备行业技术水平不断提高，国产设备在产品性价比、售后服务、地缘等方面的优势逐渐显现。我国半导体设备厂商的逐步崛起，可能引起竞争对手的重视，使得竞争加剧。半导体设备市场的快速增长以及我国市场的进口替代预期，还将吸引更多的潜在进入者。因此，相关公司面临市场竞争加剧的风险。
- 研发投入不足导致技术被赶超或替代的风险：半导体设备行业属于技术密集型行业，半导体关键设备的研发涉及等离子体物理、射频及微波学、结构化学、微观分子动力学、光谱及能谱学、真空机械传输等多种科学技术及工程领域学科知识的综合应用，具有产品技术升级快、研发投入大、研发周期长、研发风险高等特点。如果相关标的未来研发资金投入不足，无法满足技术升级需要，可能导致公司技术被赶超或替代的风险，对当期及未来的经营业绩产生不利影响。
- 研发方向存在偏差的风险：半导体设备行业属于半导体产业链的上游核心环节之一，半导体设备需要超前研发设计，研发方向是否符合未来市场需求和发展趋势尤为重要，如果公司未来不能紧跟行业前沿需求，正确把握研发方向，将有可能使公司技术落后于竞争对手，导致客户订单减少，市场份额下降。

附录一：全球半导体CVD/ALD设备商统计（1）

公司	国家/地区	化学气相沉积CVD												原子层沉积ALD	
		低压 LPCVD	常压 APCVD	准常压 SACVD	超低压 UHVCVD	等离子增强 PECVD	高密度等离子 HDPCVD	金属有机 MOCVD	等离子辅助 MOPA-MO	激光 LCVD	快速热处理 RTCVD	直接液体注入 DLI-CVD	其它	普通/等离子增强 ALD-PEALD	直接液体注入 DLI-ALD
AMAT	美国	✓		✓		✓	✓	✓			✓		✓	✓	
LAM RESEARCH						✓	✓							✓	
KLA		✓	✓			✓		✓							
VEECO								✓						✓	
PVD PRODUCTS						✓									
SPT Micro		✓	✓												
NANO-MASTER						✓			✓					✓	
CVD EQUIPMENT		✓	✓		✓	✓	✓							✓	
KURTJ. LESKER														✓	
PROTOFLEX						✓									
SVTA														✓	
DENTON VACUUM						✓									
Plasma-Therm						✓	✓								
Trion Technology						✓									
SHELLBACK						✓									
YES		✓													
Expertech		✓													
MTI		✓				✓									

附录一：全球半导体CVD/ALD设备商统计（2）

公司	国家/地区	化学气相沉积CVD												原子层沉积ALD	
		低压 LPCVD	常压 APCVD	准常压 SACVD	超低压 UHVCVD	等离子增强 PECVD	高密度等离子 HDPCVD	金属有机 MOCVD	等离子辅助 MOPA-MO	激光 LCVD	快速热处理 RTCVD	直接液体注入 DLI-CVD	其它	普通/等离子增强 ALD-PEALD	直接液体注入 DLI-ALD
TEL	日本	✓	✓			✓								✓	
KE		✓				✓									
ULVAC		✓				✓									
NuFlare								✓							
SAMCOH						✓								✓	
HORIBA								✓							
JSW AFTY														✓	
CHEMTRONICS										✓			✓	✓	
KOYO		✓													
JAC						✓						✓			
HITS		✓													
showa shinku														✓	
Technofine								✓						✓	
AMAYA			✓												
EpiQues								✓							
SPP TECHNOLOGIES		✓				✓									
ASMI	荷兰	✓				✓								✓	
Tempress Systems		✓													

附录一：全球半导体CVD/ALD设备商统计（3）

公司	国家/地区	化学气相沉积CVD												原子层沉积ALD	
		低压 LPCVD	常压 APCVD	准常压 SACVD	超低压 UHVCVD	等离子增强 PECVD	高密度等离子 HDPCVD	金属有机 MOCVD	等离子辅助 MOPA-MO	激光 LCVD	快速热处理 RTCVD	直接液体注入 DLI-CVD	其它	普通/等离子增 强 ALD-PEALD	直接液体注入 DLI-ALD
EVATEC	瑞士					✓									
Picosun	芬兰													✓	
AIXTRON	德国					✓		✓							
SENTECH							✓							✓	
CENTROTHERM		✓				✓									
Tetreon/THERMCO	英国	✓													
OXFORD INSTRUMENTS						✓	✓							✓	
Memsstar														✓	
ANNEALSYS	法国									✓		✓			✓
WONIK IPS	韩国					✓								✓	
WONIK TERA		✓													
CHARM ENGINEERING						✓									
JUSUNG					✓	✓								✓	
TES		✓				✓									
EUGENE TECH		✓												✓	
NCD														✓	
天虹科技	中国台湾													✓	
鲁汶仪器	中比合资					✓	✓								
至纯科技	中国大陆	✓													
万业企业						✓	✓								
稷以科技		✓												✓	
陞通半导体				✓		✓								✓	
邦芯半导体													✓		
普达特		✓													
微釜半导体		✓													
楚赞精工								✓							

附录一：全球半导体CVD/ALD设备商统计（4）

公司	国家/地区	化学气相沉积CVD												原子层沉积ALD	
		低压 LPCVD	常压 APCVD	准常压 SACVD	超低压 UHVCVD	等离子增强 PECVD	高密度等离子 HDPCVD	金属有机 MOCVD	等离子辅助 MOPA-MO	激光 LCVD	快速热处理 RTCVD	直接液体注入 DLI-CVD	其它	普通/等离子增强 ALD-PEALD	直接液体注入 DLI-ALD
先导智能	中国大陆							✓							
松煜科技		✓				✓									
尚积半导体						✓							✓		
北方华创		✓	✓			✓	✓							✓	
中微公司		✓						✓						✓	
拓荆科技				✓		✓	✓							✓	
中电科48所		✓				✓		✓							
盛美半导体		✓				✓								✓	
原磊纳米														✓	
微导纳米						✓								✓	
研微半导体						✓								✓	
沈阳科仪						✓		✓						✓	
帕萨电子		✓				✓									

附录一：全球半导体CVD/ALD设备商统计（5）

公司	国家/地区	化学气相沉积CVD												原子层沉积ALD	
		低压 LPCVD	常压 APCVD	准常压 SACVD	超低压 UHVCVD	等离子增强 PECVD	高密度等离 子HDPCVD	金属有机 MOCVD	等离子辅助 MOPA-MO	激光 LCVD	快速热处理 RTCVD	直接液体注 入DLI-CVD	其它	普通/等离子增强 ALD-PEALD	直接液体注入 DLI-ALD
赛瑞达	中国大陆	✓													
思锐智能														✓	
纳设智能								✓							
力冠微电子		✓				✓		✓						✓	
科民电子														✓	
邑文电子						✓								✓	
华旗科技		✓													
众元半导体								✓							
中科卓尔														✓	
苏科斯															
创世威纳						✓									
首芯半导体						✓									
金盛微纳						✓									

附录二：中芯国际天津T2车间月产9万片180nm的8寸晶圆产线设备配置数量

设备种类	设备名称	单位	数量	合计	设备种类	设备名称	单位	数量	合计
氧化炉管/高温/退火	常压垂直炉管	台	27	113	物理气相沉积	金属铝物理气相沉积	台	23	43
	单晶硅外延炉	台	9			物理气相沉积	台	4	
	低压垂直炉管	台	21			物理气相沉积仪	台	16	
	多晶硅垂直炉管	台	6		研磨抛光	金属钨化学机械研磨	台	14	33
	二氧化硅平坦化炉管	台	3			氧化硅化学机械研磨	台	19	
	高温退火炉管	台	3		清洗	晶片清洗机	台	28	41
	高温烘烤机	台	3			酸清洗机	台	13	
	高温氧化炉	台	26		检测	电性参数测试仪	台	20	217
	快速热处理器	台	15			电阻检测仪	台	9	
化学气相沉积	化学气相沉积仪	台	75	电子显微镜		台	59		
	金属钨化学气相沉积	台	14	叠对标记差测量仪		台	11		
涂胶机	深紫外涂胶机	台	16	光掩膜版颗粒物检测机		台	8		
	紫外涂胶机	台	23	晶片缺陷检测仪		台	22		
光刻机	深紫外光刻机	台	16	粒子计数器		台	17		
	紫外光刻机	台	23	磷含量检测仪		台	5		
刻蚀	氧化层刻蚀机	台	13	膜厚测量仪		台	39		
	氮化物刻蚀机	台	10	缺陷检测仪		台	7		
	多晶硅刻蚀机	台	12	外延缺陷测量仪		台	5		
	金属铝刻蚀机	台	23	硅片深度测量仪		台	5		
	刻蚀机	台	15	剂量测试仪		台	5		
	湿蚀刻工作站	台	19	应力测量仪		台	5		
去胶机	去胶机	台	32	32	其他	紫外光烘烤机	台	4	32
离子注入	高能量离子注入机	台	4	自动晶片定位机		台	20		
	低能量离子注入机	台	6	成分分析仪		台	8		
	高速流离子注入机	台	11						
	中电流离子注入机	台	10						

附录三：中芯国际天津T3车间月产1万片90nm的12寸晶圆产线设备配置数量（1）

设备种类	设备名称	单位	数量	合计	设备种类	设备名称	单位	数量	合计		
氧化炉管/高温/退火	合金垂直炉管	台	1	22	去胶机	光刻胶去除	台	8	8		
	沉积退火设备	台	1			离子注入	高能离子注入设备	台	1	13	
	氮化物化学气相沉积垂直炉管	台	5				高速流离子注入设备	台	8		
	多晶硅沉积垂直炉管	台	1		物理气相沉积		中速流离子注入设	台	4		24
	高温退火垂直炉管	台	3			铝接点沉积设备	台	1			
	快速退火设备	台	3			镍物理气相沉积设备	台	1			
	退火设备	台	2			钛及氮化钛沉积设备	台	1			
	氧化物生长垂直炉管	台	2			铜电镀设备	台	3			
	闸极氧化物垂直炉管	台	2			沉积设备	台	15			
	化学气相沉积垂直炉管	台	2			屏障和种子沉积设备	台	3			
化学气相沉积	氮化钛沉积设备	台	2	42	研磨抛光	硅片平坦仪	台	1	12		
	氮化物沉积设备	台	4			金属化学机械抛光设备	台	2			
	氮氧化物沉积设备	台	1			浅沟槽化学机械抛光设备	台	1			
	氧化物沉积设备	台	12			氧化物化学机械抛光设备	台	2			
	氧化物沉积设备	台	1			钨化学机械抛光设备	台	1			
	含氟氧化物沉积设备	台	6			铜化学机械抛光设备	台	5			
	含碳氧化物沉积设备	台	3		检测	表面电荷分析仪	台	3	45		
	薄膜沉积设备	台	3			X 射线光谱分析设备	台	1			
	浅沟槽氧化物沉积设备	台	1			X 射线荧光光谱仪	台	1			
	碳化物沉积设备	台	1			暗区缺陷检测仪	台	3			
	钨化学气相沉积设备	台	1			半自动目测光学台	台	1			
	锗硅沉积设备	台	5			表面电荷分析	台	1			
	闸极氧化物沉积设备	台	2			电子束检测机	台	1			
	涂胶机	光阻涂布机	台			1	7	电阻测量仪		台	1
		深紫外涂胶显影机	台			3		分析仪		台	1
		涂布机	台			2		覆盖度测量机		台	2
紫外涂胶显影机		台	1	关键尺寸测量扫描电镜	台	5					
光刻机	深紫外沉浸式涂胶曝光机	台	4	8	检测	光罩缺陷检测仪	台	1	45		
	深紫外涂胶曝光机	台	3			光罩扫描仪	台	1			
刻蚀	紫外涂胶曝光机	台	1	25		宏观检测器	台	1			
	保护层刻蚀设备	台	2			厚度检测设备	台	5			
	介电质刻蚀设备	台	7			剂量检测机	台	1			
	刻蚀设备	台	4			检测仪	台	4			
	连接层刻蚀设备	台	1			亮区缺陷检测仪	台	2			
	铝接点刻蚀设备	台	2			晶片盒检测	台	1			
	浅沟槽刻蚀	台	2			缺陷分析仪	台	1			
	湿法氮化物刻蚀设备	台	1			缺陷复查器	台	4			
	闸极刻蚀设备	台	3			缺陷检测仪	台	1			
	掩膜刻蚀设备	台	3			自动宏观缺陷检查机	台	3			

附录三：中芯国际天津T3车间月产1万片90nm的12寸晶圆产线设备配置数量（2）

设备种类	设备名称	单位	数量	合计	设备种类	设备名称	单位	数量	合计	
检测	自动目测光学台	台	3	5	其他	氮浓度测量机	台	1	17	
	自动目检仪	台	1			光罩仓储机	台	1		
	光学显微镜	台	1			包装机	台	1		
测试	测试探针	台	8	33		擦片机	台	5		
	测试仪	台	17			打印机	台	1		
	晶圆最终测试探针	台	7			粒子计数器	台	2		
	纳米探针仪	台	1			掩膜版绑定机	台	2		
清洗	金属硅化物选择性去除设备	台	1	17		紫外处理设备	台	3		
	晶背清洗设备	台	4			条形码打印机	台	1		
	清洗机	台	2							
	清洗设备	台	9							
	闸极清洗设备	台	1							

分析师声明

作者具有中国证券业协会授予的证券投资咨询执业资格，保证报告所采用的数据和信息均来自公开合规渠道，分析逻辑基于作者的职业理解，本报告清晰准确地反映了作者的研究观点，力求独立、客观和公正，结论不受任何第三方的授意或影响。研究报告对所涉及的证券或发行人的评价是分析师本人通过财务分析预测、数量化方法、或行业比较分析所得出的结论，但使用以上信息和分析方法存在局限性。特此声明。

免责声明

本研究报告由方正证券制作及在中国（香港和澳门特别行政区、台湾省除外）发布。根据《证券期货投资者适当性管理办法》，本报告内容仅供我公司适当性评级为C3及以上等级的投资者使用，本公司不会因接收人收到本报告而视其为本公司的当然客户。若您并非前述等级的投资者，为保证服务质量、控制风险，请勿订阅本报告中的信息，本资料难以设置访问权限，若给您造成不便，敬请谅解。

在任何情况下，本报告的内容不构成对任何人的投资建议，也没有考虑到个别客户特殊的投资目标、财务状况或需求，方正证券不对任何人因使用本报告所载任何内容所引致的任何损失负任何责任，投资者需自行承担风险。

本报告版权仅为方正证券所有，本公司对本报告保留一切法律权利。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，不得将报告内容作为诉讼、仲裁、传媒所引用之证明或依据，不得用于营利或用于未经允许的其它用途。如需引用、刊发或转载本报告，需注明出处且不得进行任何有悖原意的引用、删节和修改。

类别	评级	说明
公司评级	强烈推荐	分析师预测未来12个月内相对同期基准指数有20%以上的涨幅。
	推荐	分析师预测未来12个月内相对同期基准指数有10%以上的涨幅。
	中性	分析师预测未来12个月内相对同期基准指数在-10%和10%之间波动。
	减持	分析师预测未来12个月内相对同期基准指数有10%以上的跌幅。
行业评级	推荐	分析师预测未来12个月内行业表现强于同期基准指数。
	中性	分析师预测未来12个月内行业表现与同期基准指数持平。
	减持	分析师预测未来12个月内行业表现弱于同期基准指数。
基准指数说明		A 股市场以沪深300 指数为基准；香港市场以恒生指数为基准，美股市场以标普500指数为基。



方正证券研究所

专注·专心·专业

北京市朝阳区朝阳门南大街10号兆泰国际中心A座17层

长沙市天心区湘江中路二段36号华远国际中心37层

上海市静安区延平路71号延平大厦2楼

深圳市福田区竹子林紫竹七道光大银行大厦31层

广州市天河区兴盛路12号楼隼峰院2期3层方正证券