

半导体  
设备

推荐  
逻辑



# 景气来临，设备先行 ——详解半导体前道7大类设备

[www.swsc.com.cn](http://www.swsc.com.cn)

西南证券研究发展中心  
电子行业研究小组 刘言 陈杭  
2018年9月5日

目录

一、全球半导体设备市场规模及竞争格局

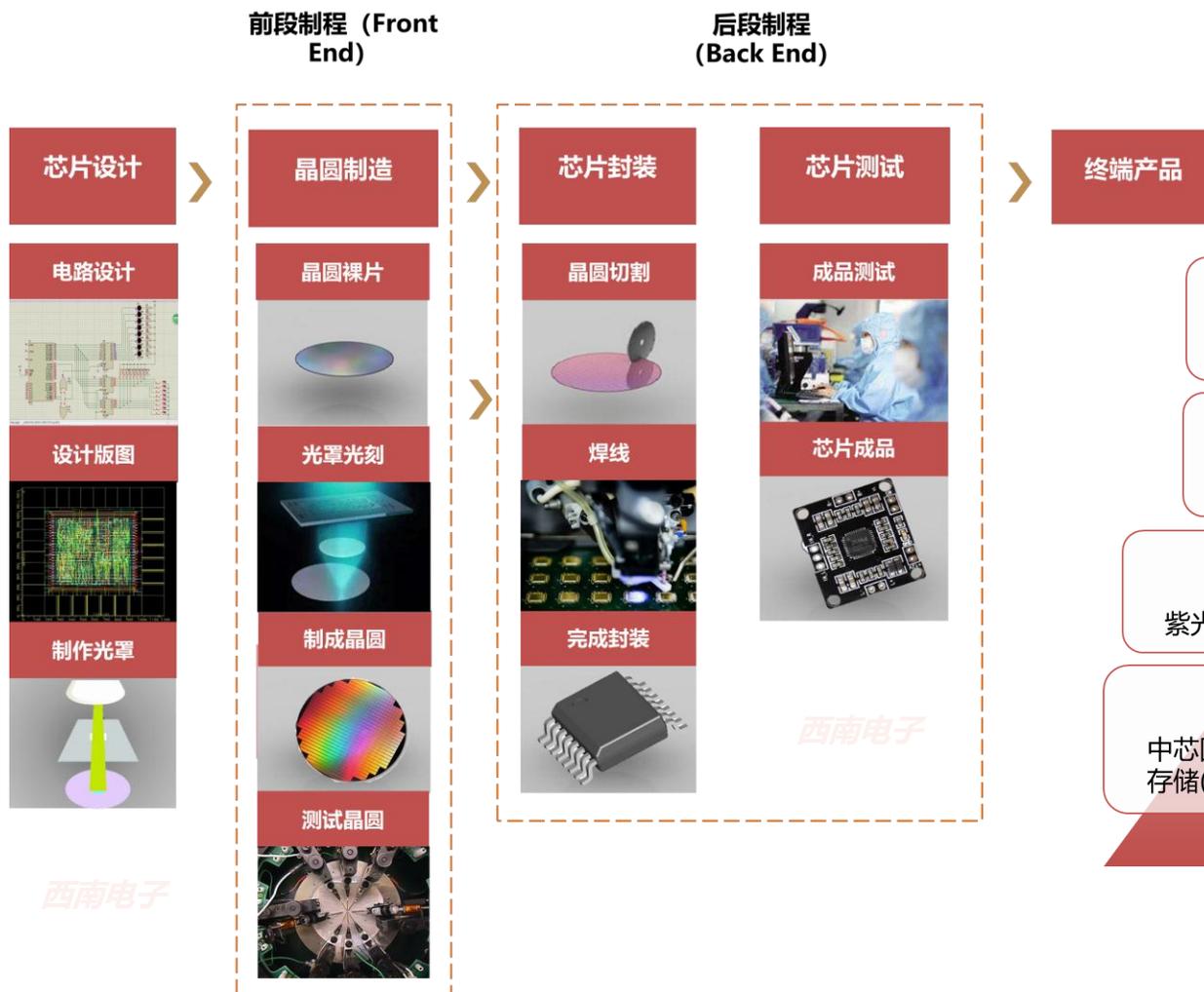
二、全球半导体设备详细拆分及国产化率分析

- 光刻机市场及国产化率情况
- 刻蚀机市场及国产化率情况
- 镀膜设备市场及国产化率情况
- 量测设备市场及国产化率情况
- 清洗设备市场及国产化率情况
- 离子注入设备市场及国产化率情况
- 其他设备市场及国产化率情况

三、半导体设备核心标的推荐逻辑

## 半导体整个产业链：设计-制造-封测

### 芯片制造全产业链示意图



数据来源：西南证券

### 国家产业基金承诺投资产业链占比

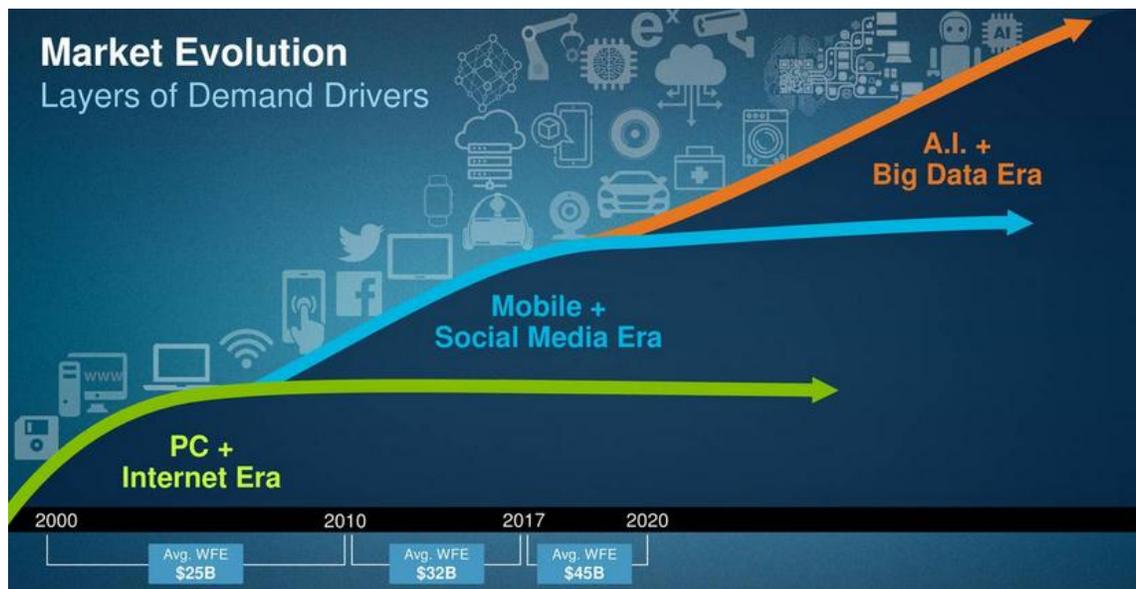


数据来源：华芯投资，西南证券整理

## 半导体市场不同阶段需求推动力

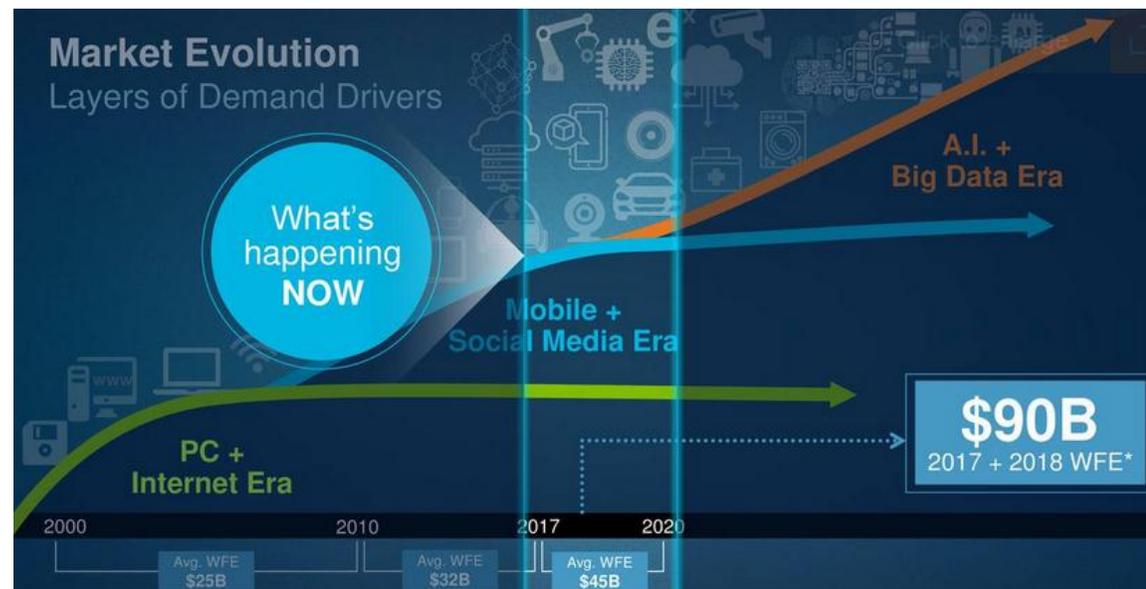
- 1990s-2005，PC机、互联网时代，2010年后成存量市场；
- 2005-2018：移动手机、社交媒体时代，2020年后成存量市场；
- 2018-未来：人工智能、大数据时代，AI成行业需求核心驱动力
- 2017-2020，移动消费市场缓慢增长+AI市场大幅增长；
- 2017-2020，硅片制造设备全球需求量平均为450亿美元/年；
- 2017+2018硅片制造设备总需求量达900亿美元

## 半导体市场不同阶段的核心驱动力



数据来源：应用材料，西南证券整理

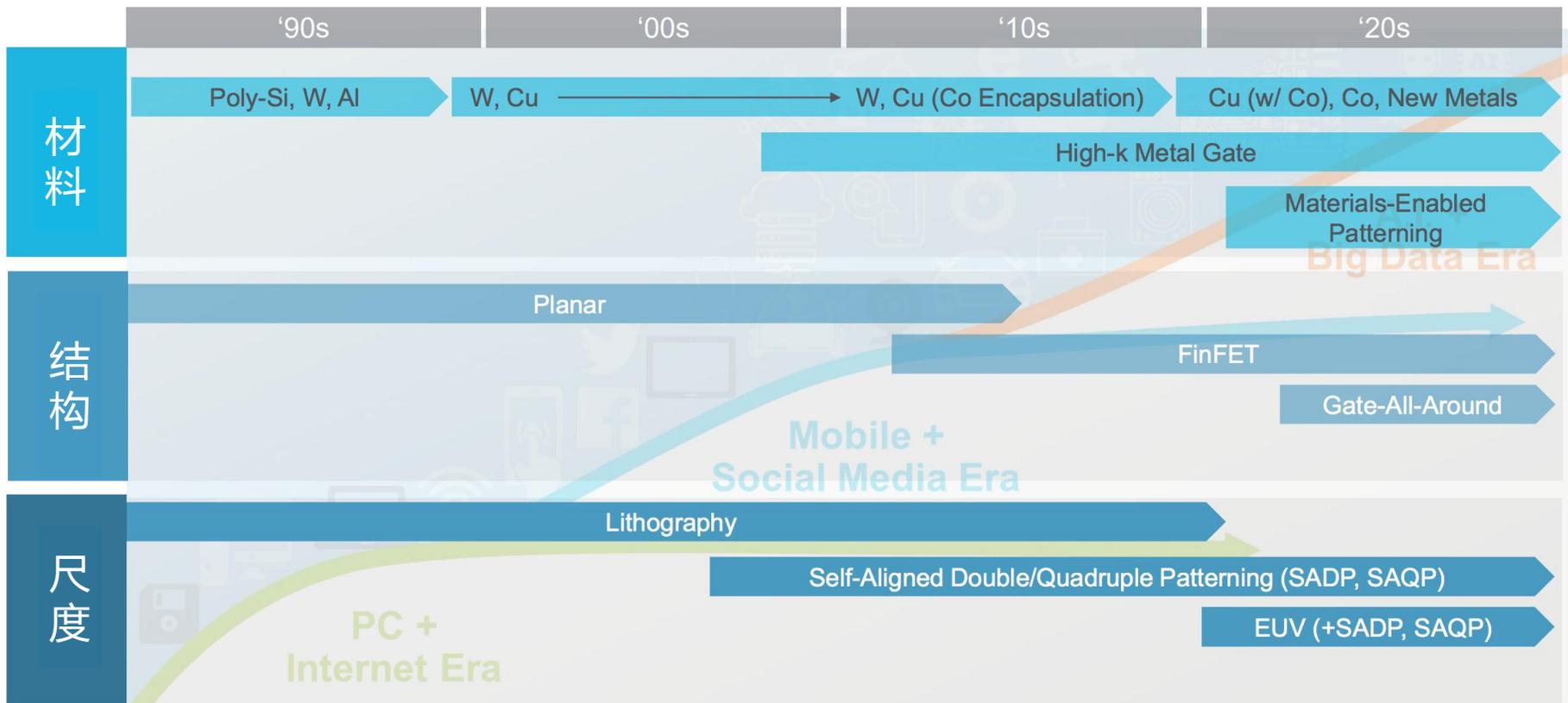
## 当前所处时代以及半导体设备市场规模



数据来源：应用材料，西南证券整理

- 尺度演变：光刻技术（1990s-2010s）、多重图案工艺（2000s-2020s）、EUV+多重图案（2010s-2020s）；
- 结构演变：平面结构（1990s-2010s）、FinFET结构（2010s-2020s）、Gate-All-Around结构（2020s）；
- 材料演变：Poly-Si，钨，铝（1990s）、钨，铜（2000s）、钨，铜，钴封装（2010s）、铜，钴，新材料（2020s）。

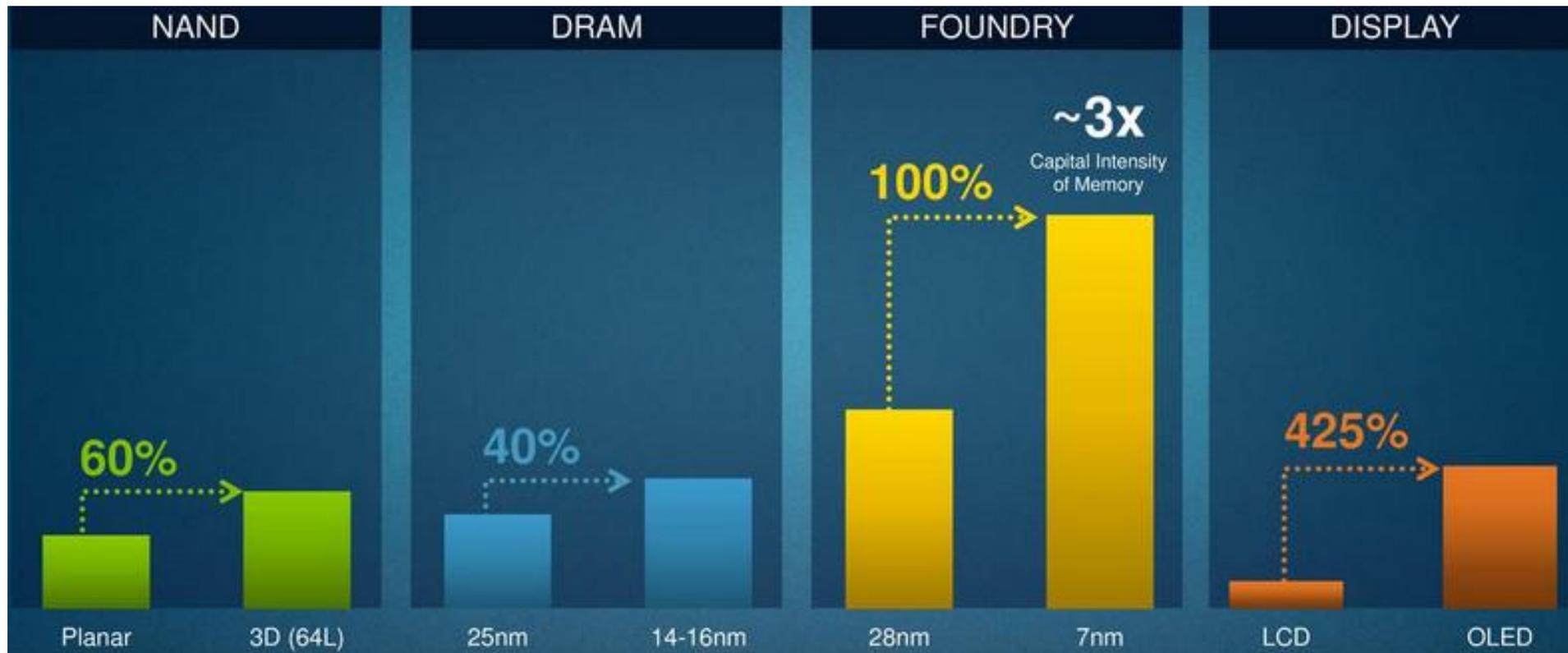
半导体技术变迁示意图



## 技术革新带来硅片制造设备资本支出大幅提升

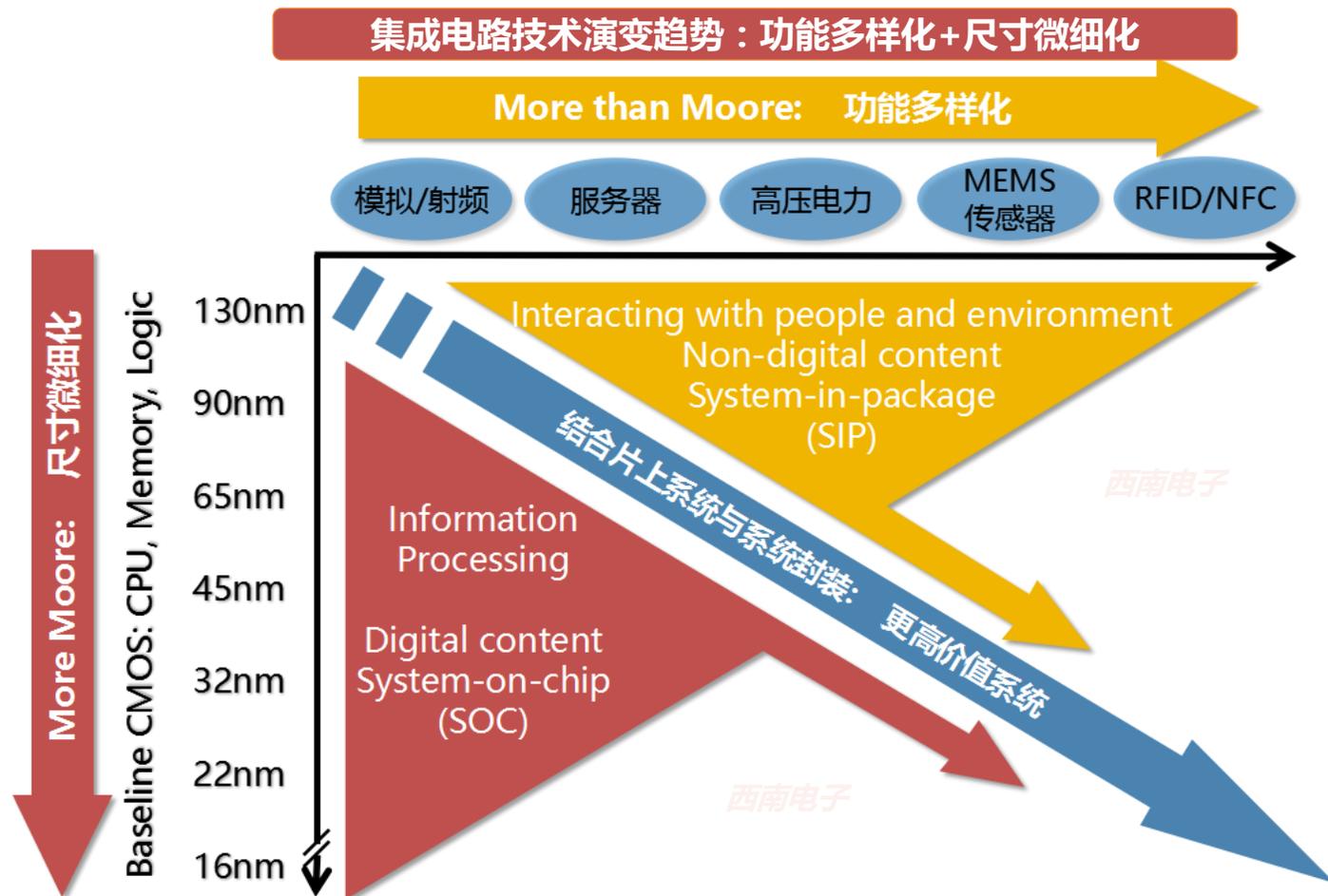
- ❑ NAND从Planar发展到3D 64层结构，制造设备支出增加60%；
- ❑ DRAM从25纳米发展到14-16纳米，制造设备支出增加40%；
- ❑ 晶圆代工厂加工工艺从28纳米发展到7纳米，制造设备支出增加100%；
- ❑ LCD发展到OLED技术，制造设备支出增加425%。

### 技术革新带来硅片制造设备资本支出大幅提升



# 设备商每隔18-24个月推出更先进的制造设备

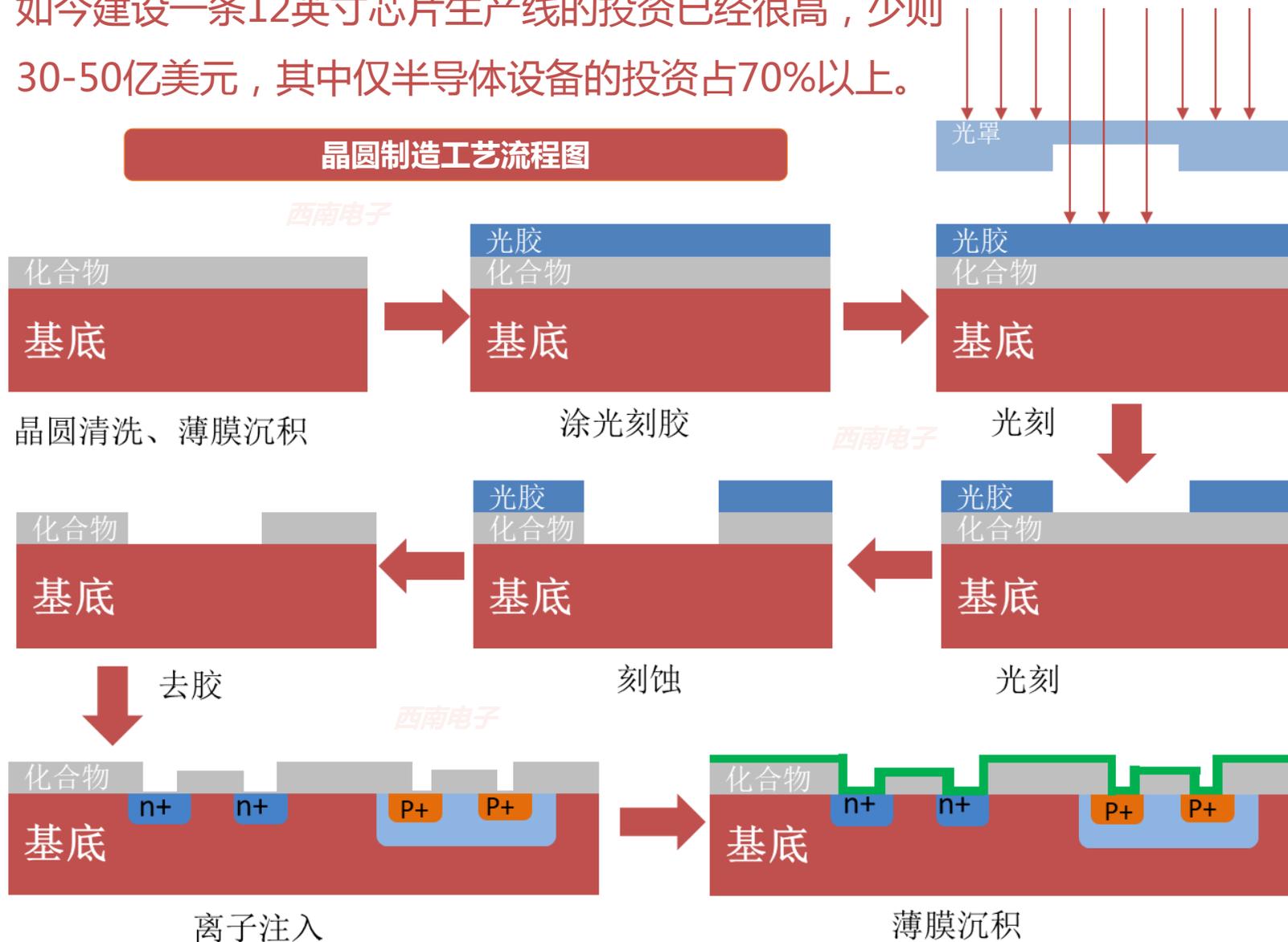
- 按照摩尔定律，每隔18-24个月集成电路的技术都要进步一代，那么相应的上游设备商也必须每隔18-24个月推出更先进的制造设备；
- 50多年来，光刻机的分辨率从10微米发展到目前的10纳米，整整提升了1000倍。



数据来源：OFweek，西南证券整理

## 半导体制造工艺流程

- 如今建设一条12英寸芯片生产线的投资已经很高，少则30-50亿美元，其中仅半导体设备的投资占70%以上。



- 根据2017年美国加州UC Berkeley大学的理论数据，一条月产12英寸硅片，5万片的生产线，需要50台光刻机，10台大束流离子注入机，8台中束流离子注入机，40台付蚀机以及30台薄膜淀积设备等，估计各类设备的总计台(套)要超过500个。

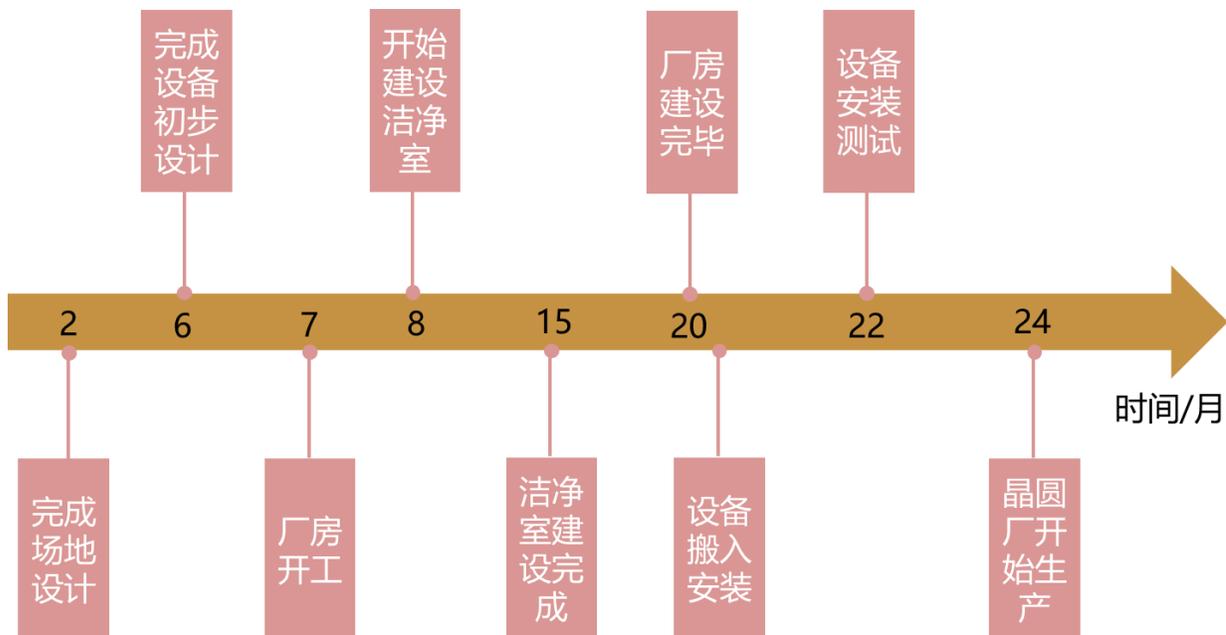
# 新建 产线

# 制造 资本支出

## 新建产线资本支出中半导体设备支出占比高达80%

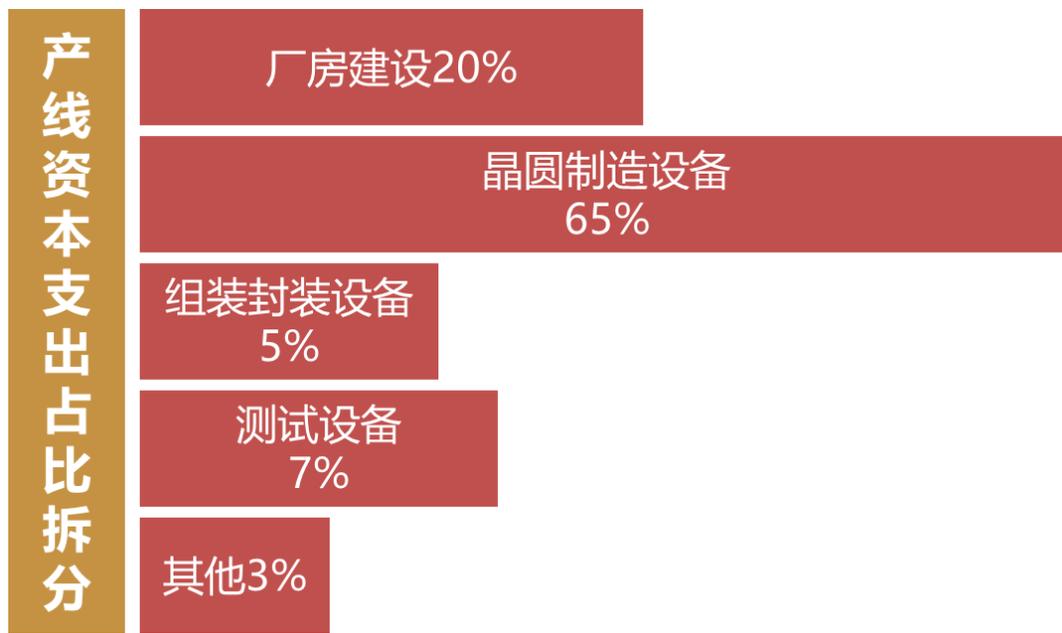
- ❑ 新晶圆制造厂从建立到生产的周期大概为2年；
- ❑ 一般在第20个月的时候开始进行设备搬入安装、测试、试生产；
- ❑ 一条新建产线最大的资本支出来自于半导体设备，资本支出占比高达80%，厂房建设占比仅20%。

### 新建产线各项目时间节点规划



数据来源：中国产业信息网，西南证券整理

### 新建产线资本支出占比拆分

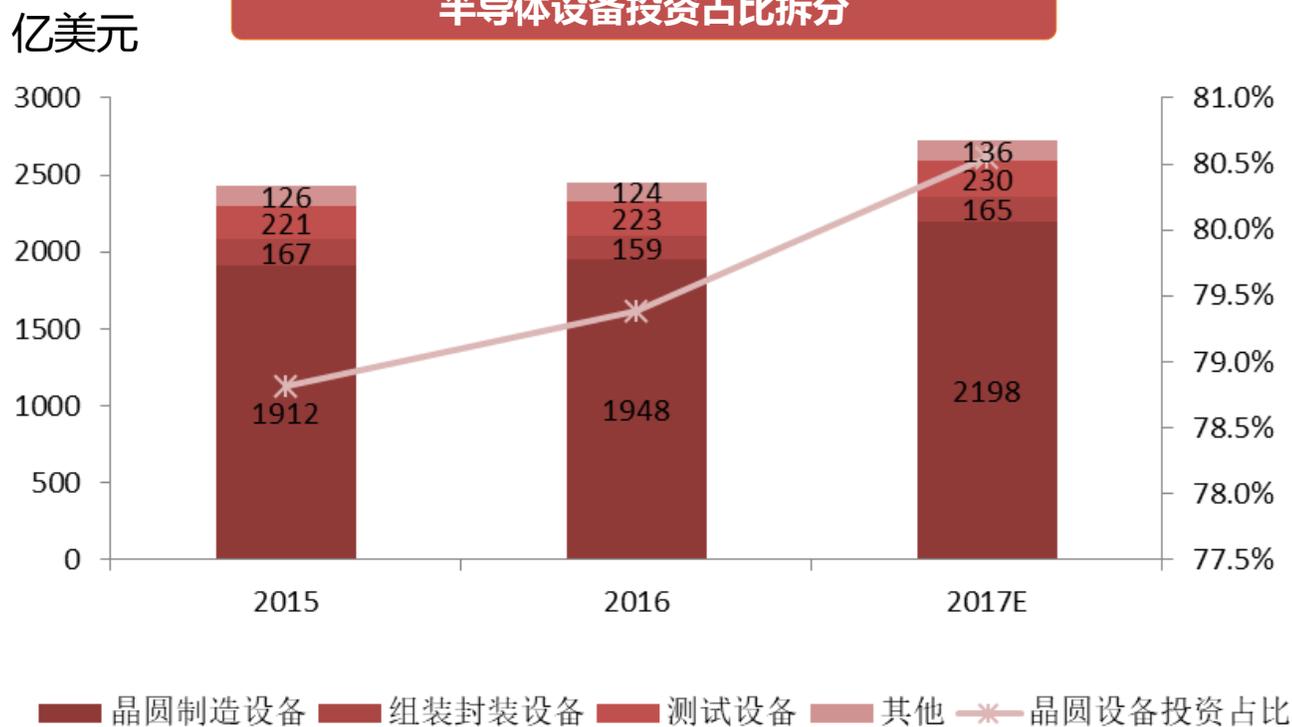


数据来源：中国报告网，西南证券整理

## 晶圆制造设备占半导体设备比例达80%，其中光刻、刻蚀、镀膜占比最高

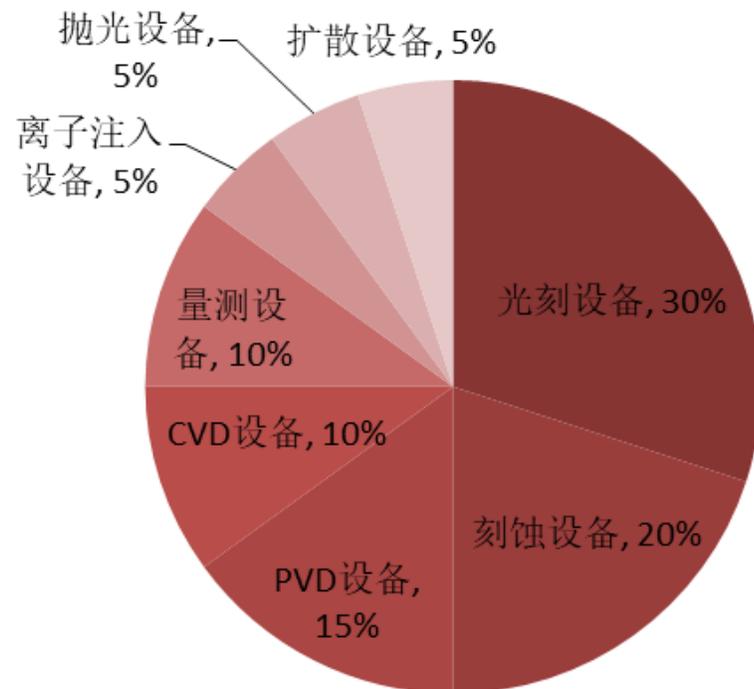
- 晶圆制造设备在整个半导体制造设备中占比最大，投资占比达80%；
- 晶圆制造设备种，光刻机占比最高（30%），其次是刻蚀设备（20%），PVD（15%），CVD（10%），量测设备（10%），离子注入设备（5%）等。

### 半导体设备投资占比拆分



数据来源：中国产业信息网，西南证券整理

### 晶圆制造设备投资占比拆分

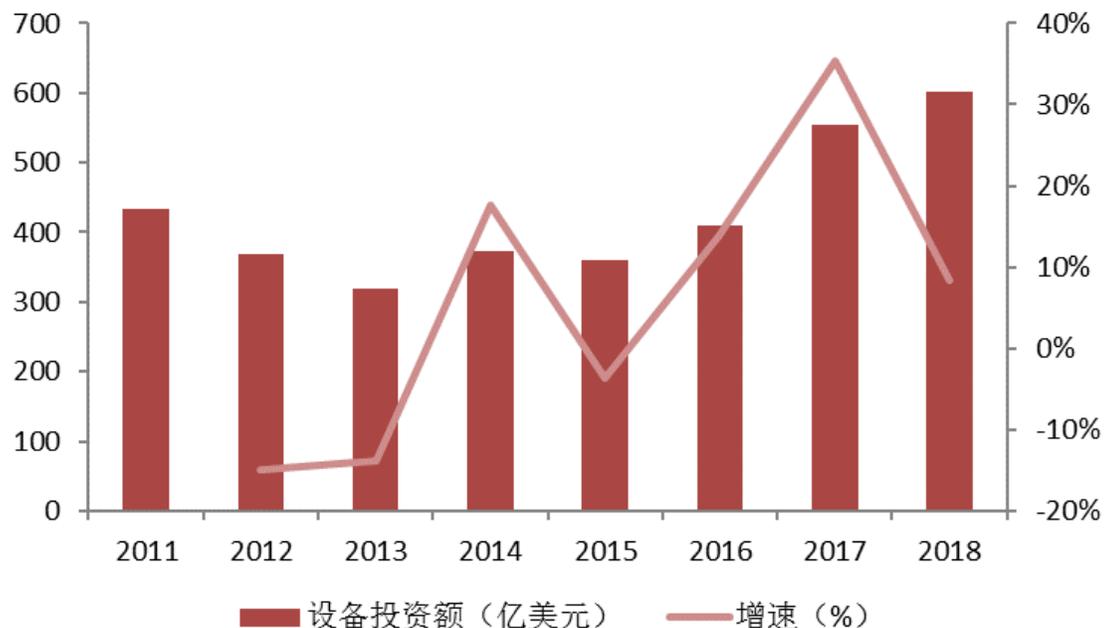


数据来源：Global Foundries，西南证券整理

## 全球半导体设备投资额呈上升趋势

- 2017年半导体设备市场总销售额达到566亿美元，相较于2016年的412亿美元，同比增长了37%。2018年有望达到超过600亿美元的规模，符合增长率7.7%。全球半导体设备投资额呈上升趋势；
- 2016年，中国大陆市场首次超过北美和日本，半导体设备销售额达到64.6亿美元，同比增长13%，成为全球半导体设备销售第三大市场。2017年，中国大陆市场仍处于全球半导体设备销售第三大市场，以27%的增速达到了82.3亿的市场规模。

### 全球半导体设备投资额呈上涨趋势



数据来源：中国产业信息网，西南证券整理

### 全球半导体设备各地区销售市场 (十亿美元)



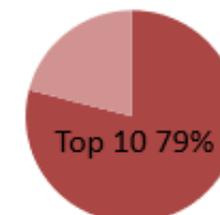
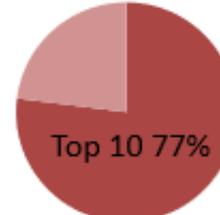
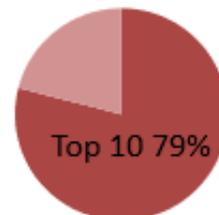
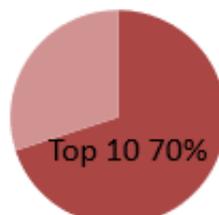
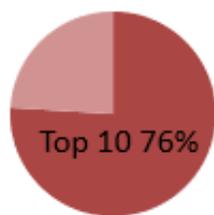
数据来源：SEMI/SEAJ，西南证券整理

## 全球半导体设备市场集中度高，美日厂商技术领先

- 产品市场集中度高，美日技术领先，以美国应用材料、荷兰阿斯麦、美国拉姆研究、日本东京电子、美国科磊等为代表的Top10国际知名企业占据了全球集成电路装备市场的主要份额。2016年全球半导体专用设备前10名制造商销售规模占全球市场的79%，前20名销售占比87%，前10名销售占比92%，市场集中度高。

半导体设备供应商Top10市占率情况

Rank	2012	2013	2014	2015	2016
1	应用材料 	应用材料 	应用材料 	应用材料 	应用材料 
2	阿斯麦 	阿斯麦 	阿斯麦 	拉姆研究 	拉姆研究 
3	东京电子 	拉姆研究 	东京电子 	阿斯麦 	阿斯麦 
4	拉姆研究 	东京电子 	拉姆研究 	东京电子 	东京电子 
5	科磊半导体 	科磊半导体 	科磊半导体 	科磊半导体 	科磊半导体 
6	迪恩士 	迪恩士 	迪恩士 	迪恩士 	迪恩士 
7	日立高新技术 	日立高新技术 	日立高新技术 	日立高新技术 	日立高新技术 
8	尼康 	爱德万 	尼康 	尼康 	尼康 
9	大福株式会社 	泰瑞达 	Hitachi Kokusai 	Hitachi Kokusai 	Hitachi Kokusai 
10	Semes 	尼康 	ASM国际 	ASM国际 	ASM国际 



数据来源：中国产业信息网，西南证券整理

## 半导体制造核心设备市场高度垄断

- ❑ 晶圆制造核心设备为光刻机、刻蚀机、PVD和CVD，四者总和占晶圆制造设备支出的75%；
- ❑ 光刻机被荷兰阿斯麦和日本的尼康及佳能垄断，TOP3 市占率高达92.8%；
- ❑ 刻蚀机被美国的拉姆研究、应用材料及日本的东京电子垄断，TOP3 市占率高达90.5%；
- ❑ PVD被美国的应用材料、Evatec、Ulvac垄断，TOP3 市占率高达96.2%；
- ❑ CVD被美国的应用材料、东京电子、拉姆研究垄断，TOP3 市占率高达70%；
- ❑ PVD被美国的应用材料、Evatec、Ulvac垄断，TOP3 市占率高达96.2%；
- ❑ 氧化/扩散设备主要被日本的日立、东电和ASM垄断，TOP3 市占率高达94.8%。

半导体制造核心设备市场Top 3市占率情况

	光刻 (30%)	刻蚀 (20%)	PVD (15%)	CVD (10%)	氧化/扩散
TOP3	ASML 75.3%	LAM 52.7%	AMAT 84.9%	AMAT 29.6%	Hitachi 43.1%
	Nikon	TEL	Evatec	TEL	TEL
	Canon	AMAT	Ulvac	LAM	ASM
TOP3市占率	92.8%	90.5%	96.2%	70.0%	94.8%

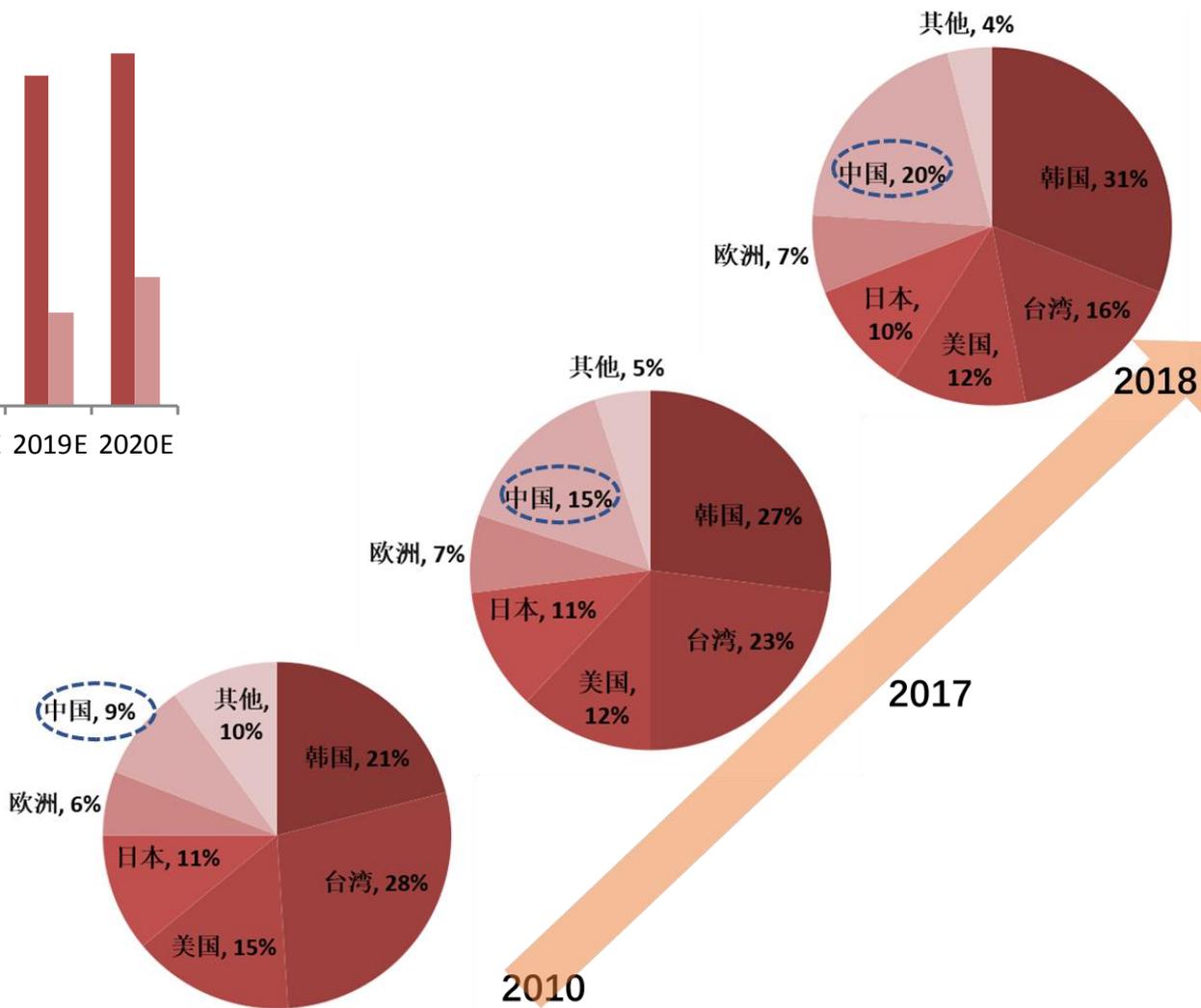
## 全球半导体设备投资情况：中国地区比重日益提高

### 全球与中国集成电路设备投资规模情况



数据来源：北方华创，西南证券整理

### 全球各地区集成电路装备投资占比



数据来源：北方华创，西南证券整理

- 2017-2020全球集成电路设备投资规模小幅增长，CAGR=6.2%；中国集成电路设备投资额高速增长，CAGR=44.8%。预计2018年中国集成电路设备投资全球占比将达20%，超越台湾，成为仅次于韩国的全球第二大半导体设备投资大国。

## 国产半导体设备产业地位：众多核心设备缺乏自主性生产能力

### 国产半导体设备产业地位

#### 化学气相沉积(CVD)

应用材料(美), Lam Research(美)  
北方华创, 沈阳拓荆

#### 原子层沉积(ALD)

应用材料(美), ASM(荷)  
北方华创

#### 涂胶/显影

东京电子(日)  
无国产, 必须和光电厂商合作

#### 光刻曝光

ASML(荷)  
上海微电子(技术难度最大)

#### 离子反应刻蚀/等离子去胶

应用材料(美), Lam Research(美), 日立(日), 东京电子(日)  
北方华创, Mattson, 中微半导体

#### 湿法清洗/刻蚀

大日本网屏(日), Lam Research(美)  
盛美, 北方华创/Akron Systems

#### 物理气相沉积(PVD)/溅射

应用材料(美)  
北方华创

#### 离子注入

应用材料(美), Axcelis(荷), 日昕(日)  
北京中科信

#### 批次热处理/扩散炉

东京电子(日), 日立国际电子(日)  
北方华创

#### 单片热处理/退火

应用材料(美), 东京电子(日), 日立国际电子(日)  
Mattson, 北方华创

#### 在线量测

KLA-Tencor(美), Nano-Metric(美)  
Nova(以), Rudolph(美)  
上海睿励

#### 铜电镀1.6%

应用材料(美), Lam Research(美)  
无国产

#### 自动化搬送

村田机械(日), 大福(日)  
无国产, 技术难度大, 以面板业为进阶

#### 晶格扩张外延生长

应用材料(美)  
无国产, 技术难度大, 以单晶硅外延为进阶

#### 化学机械研磨

应用材料(美)  
浙江, 北京四十五所

#### 各类衬底(含碳化硅)研削抛光研磨

冈本(日), Speedfam(美)  
无国产型

#### 缺陷拍照分类

应用材料(美), KLA-Tencor(美), 日立(日)  
无国产, 技术难度大

#### 关键尺寸测量

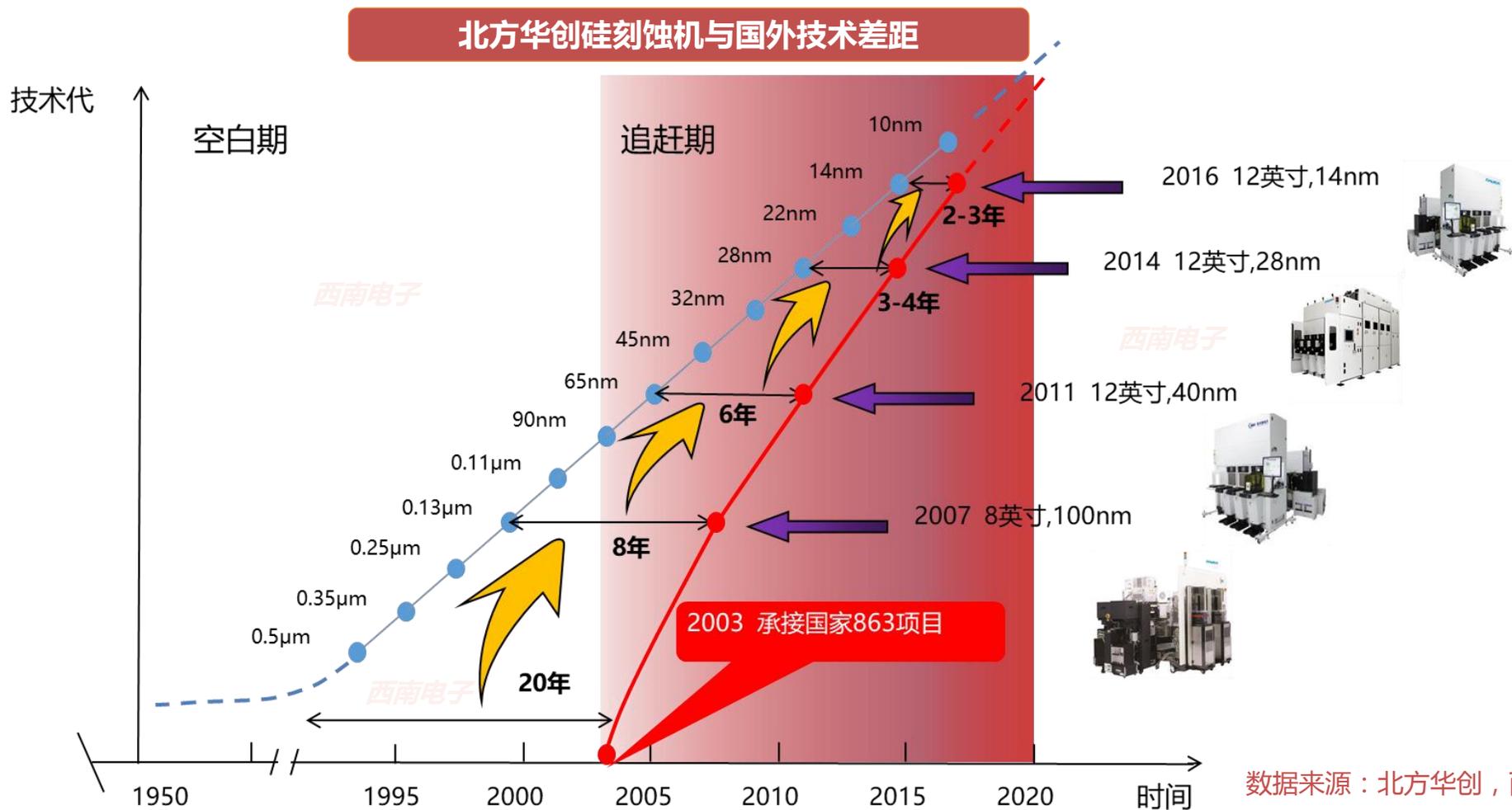
应用材料(美), 日立(日)  
无国产, 技术难度大,

#### 缺陷扫描

应用材料(美), KLA-Tencor(美)  
无国产, 技术难度大

## 国产刻蚀机设备与国际先进技术水平差距缩短至2-3年

- 以02专项实施最早的硅刻蚀机为例，于2003年启动时，与国外相差20多年的差距；经过这些年的发展，和国家专项的大力支持，北方华创每一代的设备推出后，差距都在缩小。2016年14nm的刻蚀机进入生产线时，技术差距基本缩小到2-3年。



## 目录

一、全球半导体设备市场规模及竞争格局

二、全球半导体设备详细拆分及国产化率分析



光刻机市场及国产化率情况



刻蚀机市场及国产化率情况



镀膜设备市场及国产化率情况



量测设备市场及国产化率情况



清洗设备市场及国产化率情况



离子注入设备市场及国产化率情况

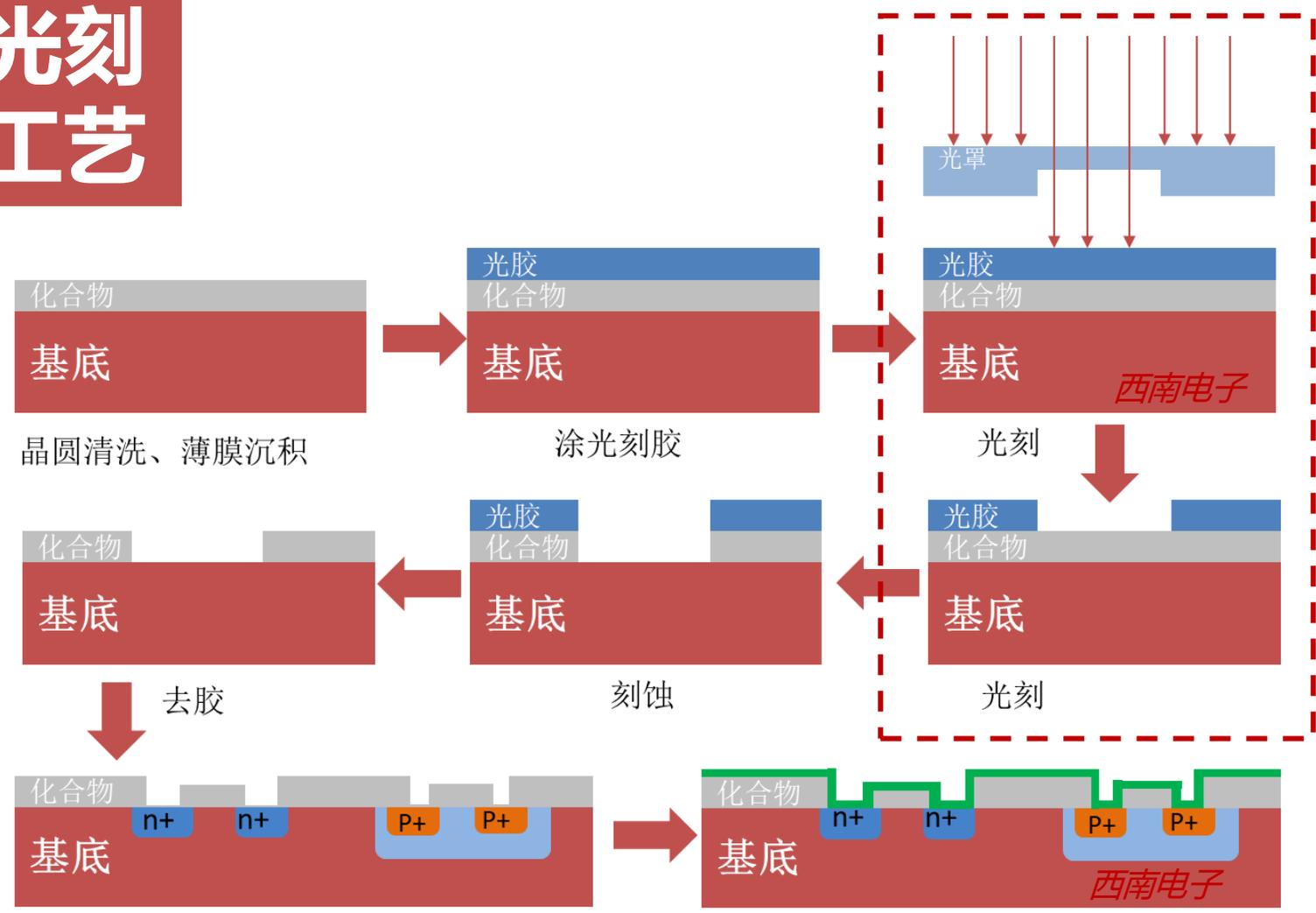


其他设备市场及国产化率情况

三、半导体设备核心标的推荐逻辑

## 光刻工艺：IC制造中的关键环节

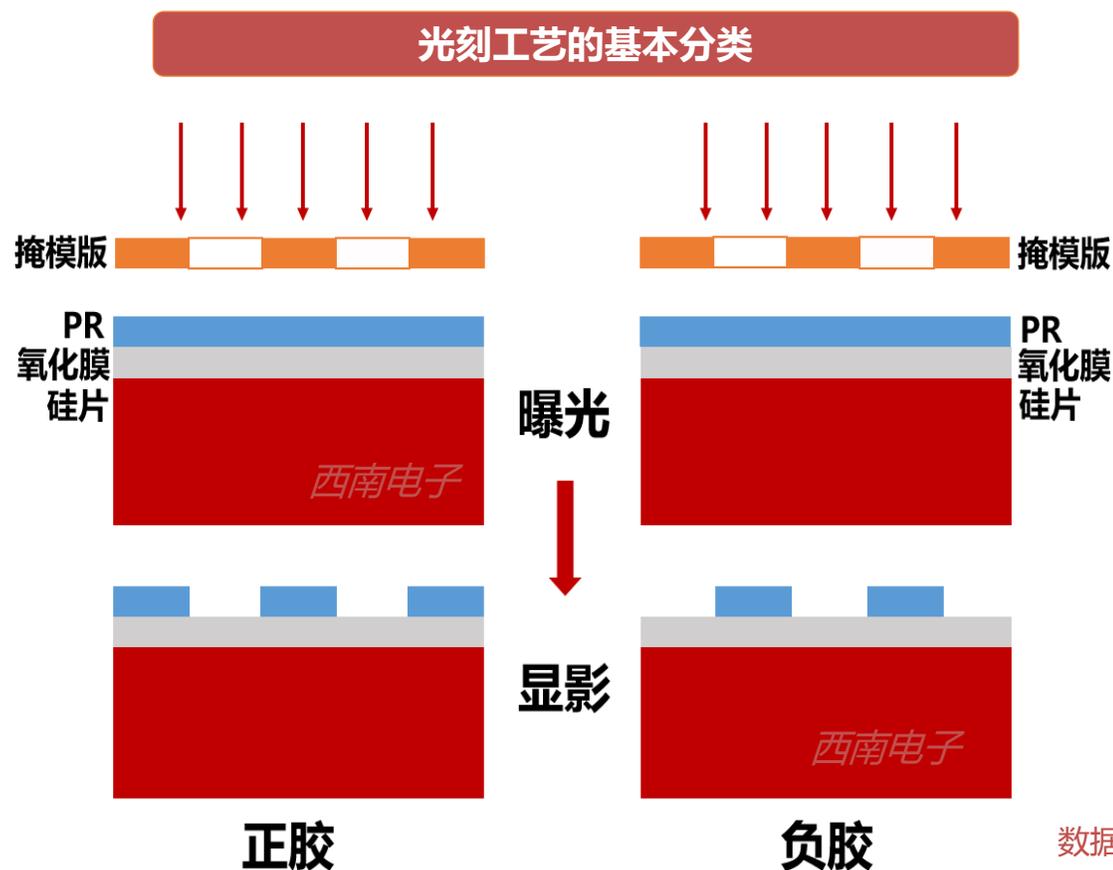
### IC制作工艺流程



在半导体芯片制造过程中，光刻的主要作用就是将掩模板上的图形复制到硅片上，为下一步进行刻蚀工序做好准备。光刻的原理起源于印刷技术中的照相制版，它通过激光或电子束直接写在了光掩模板上，然后用激光辐照光掩模板，晶圆上的光敏物质因感光而发生材料性质的改变，通过显影，便完成了芯片从设计版图到硅片的转移。

## 光刻工艺：IC制造中的关键环节

- 光刻分为**正性光刻**和**负性光刻**两种基本工艺，在正性光刻中，光刻胶上的图形与掩模板上**图形相同**，在负性光刻中，光刻胶上的图形与掩模板上**图形相反**。

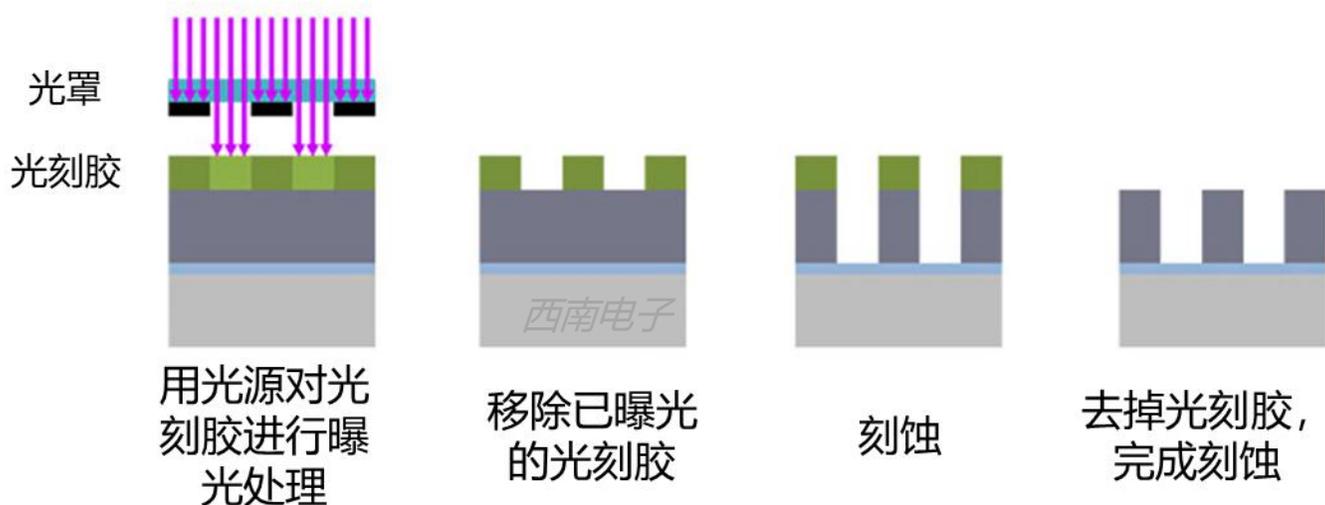


- 光刻工艺**定义了半导体器件的尺寸，是IC制造中的关键环节。作为芯片生产流程中**最复杂、最关键的步骤**，光刻工艺难度最大，耗时最长，**芯片在生产过程中一般需要进行20~30次光刻**，**耗时间约占整个硅片工艺的40~60%**，**成本极高**，约为整个硅片制造工艺的**1/3**。

一般的光刻工艺要经历硅片表面清洗烘干、涂底、旋涂光刻胶、软烘、对准曝光、后烘、显影、硬烘、刻蚀、检测等工序

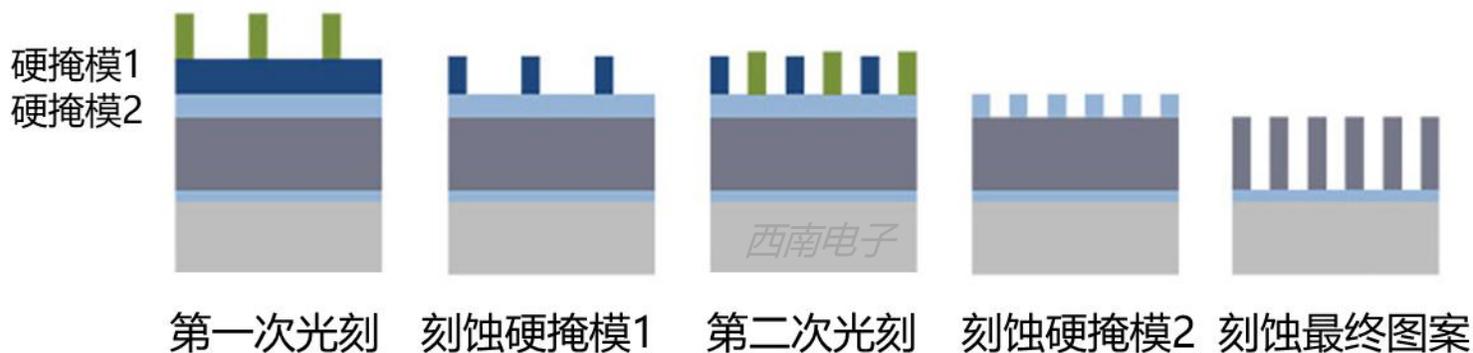
## 双重图案技术用来增加一倍图案密度

### 普通光刻技术



数据来源：Lam Research，西南证券整理

### 双重图案技术

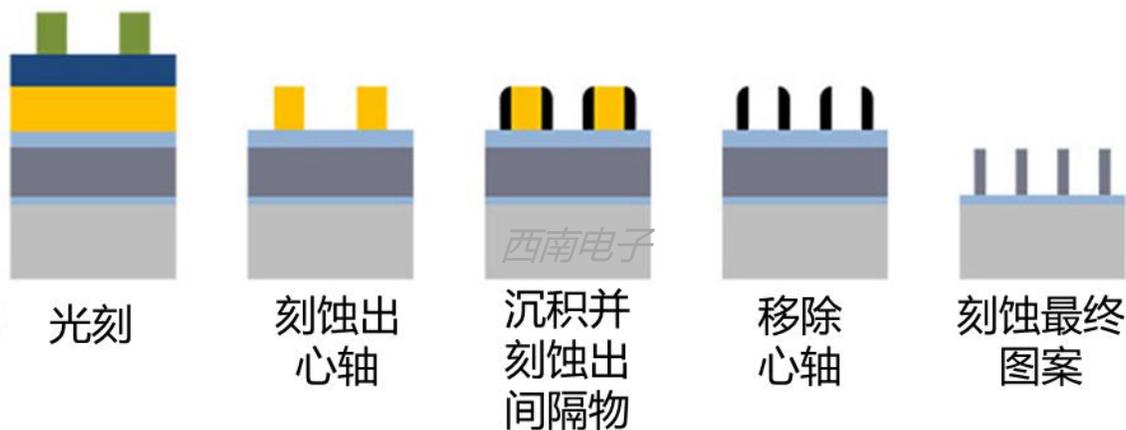


数据来源：Lam Research，西南证券整理

- 最简单的多重图案工艺是双重图案，它将特征密度提高了两倍。最广泛采用的双图案化方案之一是双曝光/双蚀刻（LELE）。该技术将给定的图案分成两个密度较小的部分。通过在光刻工艺中曝光光刻胶，然后蚀刻硬掩模，将第一层图案转移到下面的硬掩模上。然后将第二层图案与第一层图案对准并通过第二次光刻曝光和刻蚀转移到硬掩模上。最终在衬底上进行刻蚀，得到的图案密度是原始图案的两倍。

## 自对准的双重图案技术

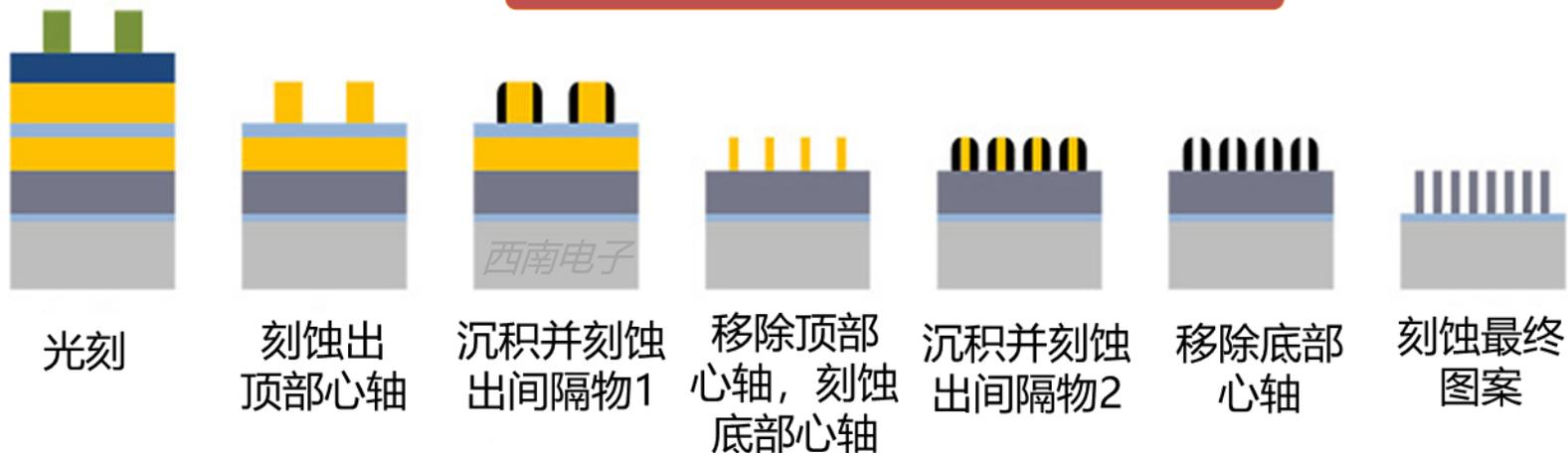
### 双重图案技术中的自对准间隔技术



数据来源：Lam Research，西南证券整理

- 自对准双重图案(SADP)技术是通过沉积和刻蚀工艺在心轴侧壁上形成的间隔物。然后通过一个额外的刻蚀步骤移除心轴，使用间隔物来定义所需的最终结构，因此特征密度增加了一倍。SADP技术主要用于FinFET技术中的鳍片形成、线的互连以及存储设备中的位线/字线的形成，其关键的优点在于避免了在LELE期间时可能发生的掩模不对齐。

### 双重图案技术中的自对准间隔技术



数据来源：Lam Research，西南证券整理

- 将SADP加倍可以得到四重图案化工艺(SAQP)。193nm浸没式光刻的SADP可以实现~20nm的半间距分辨率，但是SAQP可以实现~10nm的半间距分辨率。

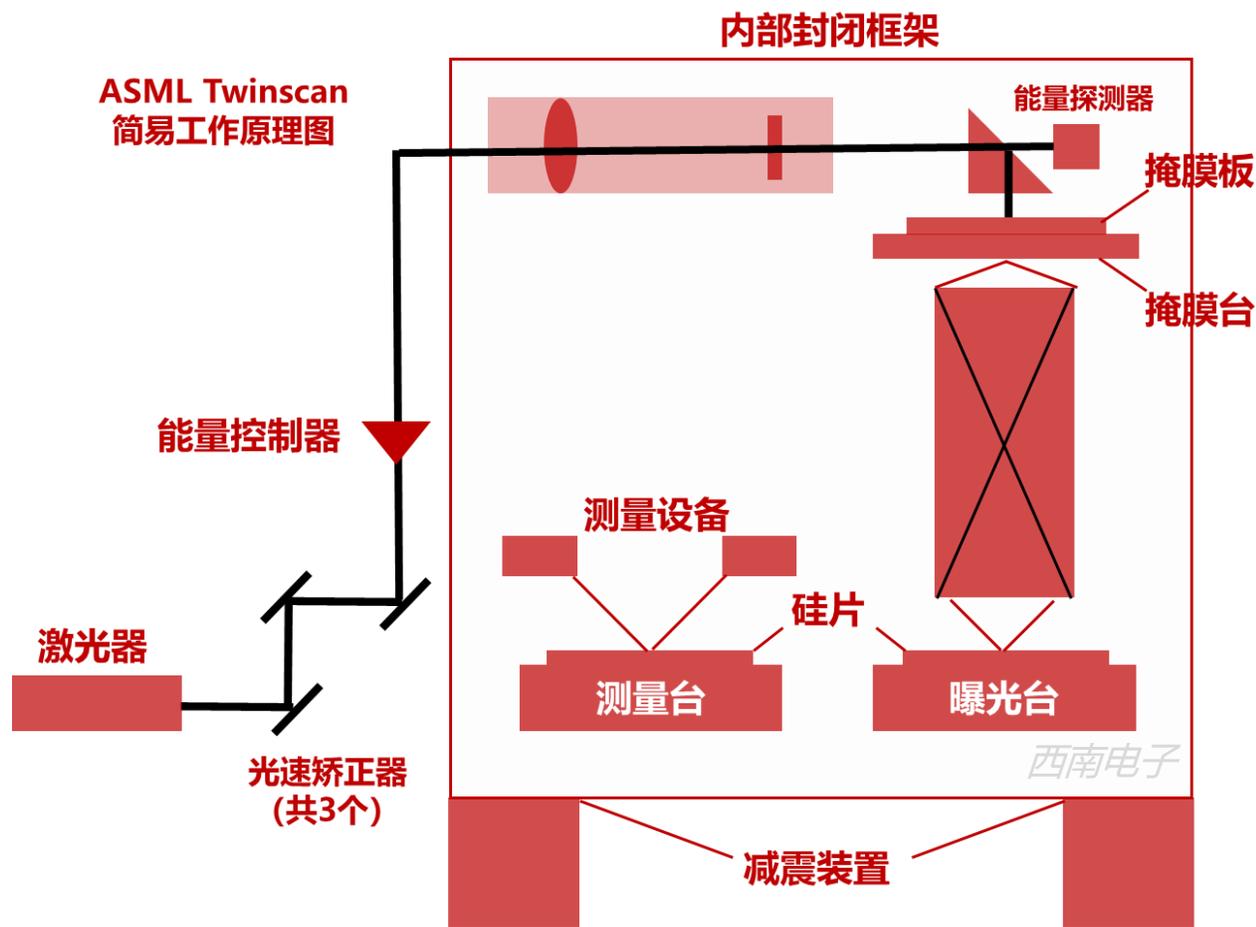
# 光刻机

## 工作原理

### 光刻机：半导体工业皇冠上的明珠

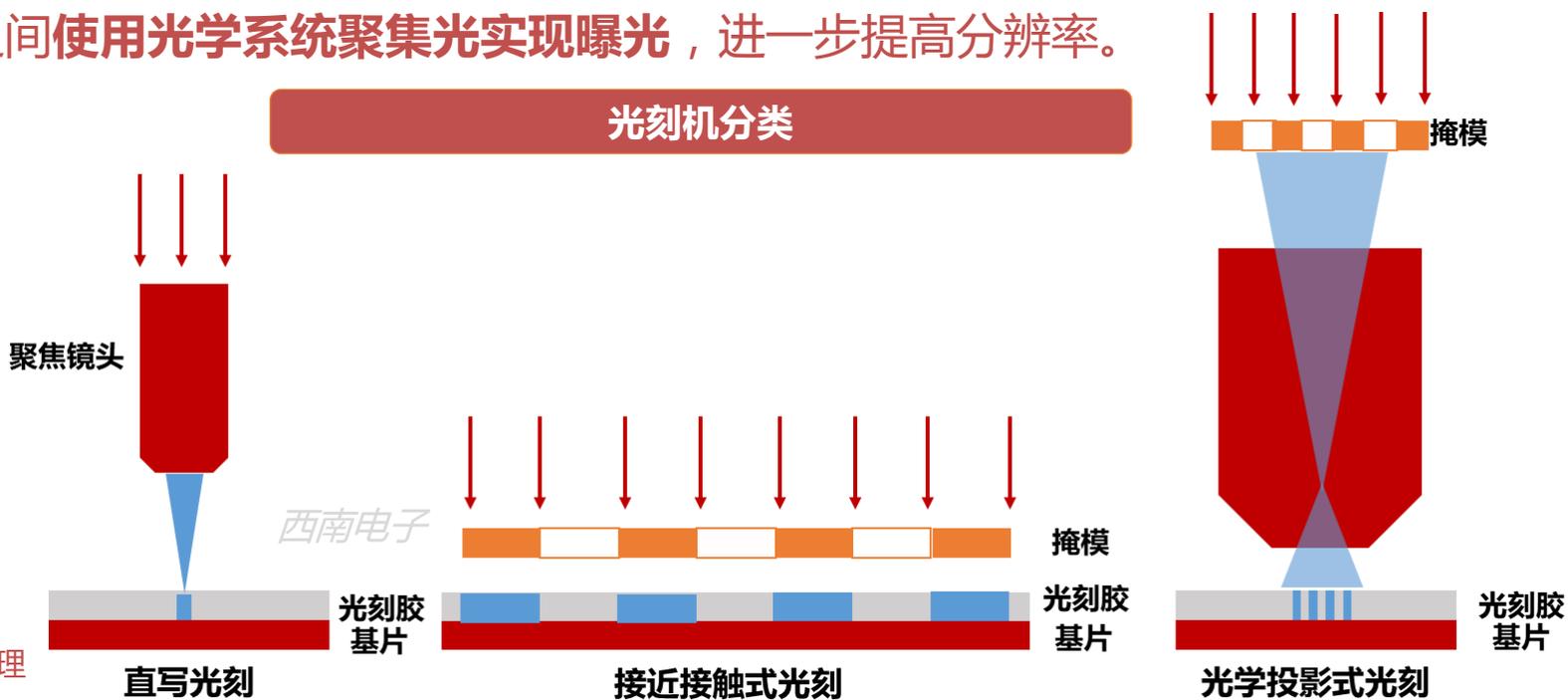
- 光刻机是光刻工艺的核心设备，价值含量大、技术要求高。光刻机作为光刻环节的核心设备，也是所有半导体制造设备中技术含量最高的设备，涉及精密光学、精密运动、高精度环境控制等多项先进技术，其设备投入相应最多，目前世界上最先进的ASML EUV光刻机单价达到一亿欧元。
- 光刻机工作原理：在IC制作过程中，光束穿过掩模及镜片，经物镜补偿光学误差，将线路图曝光在带有光感涂层的硅晶圆上，然后显影在硅片上。**激光器作为光源**，物镜补偿光学误差，是光刻机的核心设备，光刻机物镜系统一般由近**20个直径为200~300mm的透镜组成**。

光刻机工作原理图



## 光刻机技术变迁

- 光刻机决定了晶体管的尺寸，晶体管的尺寸对于芯片的性能具有重大意义。随着半导体产业的向前发展，不断追求着尺寸更小、速度更快、性能更强的芯片。摩尔定律提出：当价格不变时，集成电路上可容纳的元器件的数目，约每隔18-24个月便会增加一倍，性能也将提升一倍。正是半导体行业对于芯片的不断追求推动了光刻机产品的不断升级与创新；
- 按照**曝光方式**，光刻机可分为**直写式**、**接近接触式**和**投影式光刻**三种。直写式由于曝光场太小，通常用于制作**掩模板**；接近接触式是指光刻胶与掩模板接触或略有缝隙，应用较广；投影式是指在掩模板与光刻胶之间**使用光学系统聚集光实现曝光**，进一步提高分辨率。



## 光刻机技术变迁

- 芯片追求更快的处理速度，需要缩短晶体管内部导电沟道的长度，而**光刻设备的分辨率决定了IC的最小线宽**。因而，光刻机产品的升级就势必要往更小分辨率水平上发展,光刻机演进过程是随着**光源改进和工艺创新**而不断发展的。
- 根据所用光源改进和工艺创新，光刻机经历了**5代产品**发展，每次光源的改进都显著提升了光刻机所能实现的**最小工艺节点**。

	光源		波长 ( nm )	对应设备	最小工艺节点 ( nm )	说明
第一代	DUV	g-line	436	接触式光刻机	800-250	易受污染，掩膜板寿命短
				接近式光刻机	800-250	成像精度不高
第二代		i-line	365	接触式光刻机	800-250	易受污染，掩膜板寿命短
				接近式光刻机	800-250	成像精度不高
第三代	KrF	248	扫描投影式光刻机	180-130	采用投影式光刻机，大大增加掩膜板寿命	
第四代	ArF	193	步进扫描投影光刻机	130-65	最具代表性的一代光刻机，但仍面临45nm制程下的分辨率问题	
			浸没式步进扫描投影光刻机	45-22		
第五代	EUV		13.5	极紫外光刻机	22-7	成本过高，技术突破困难

# 光刻机

# 技术变迁

## 光刻机技术变迁

- 1970s中期以前主要采用的是接触式光刻机，分辨率在**微米级**。之后发展到接近式光刻机，实现了超过**3 $\mu\text{m}$ 分辨率**。1986年ASML首先推出步进式扫描投影光刻机，实现了光刻过程中掩模和硅片的同步移动，突破了以往硅片的静止状态，将芯片的制程和生产效率提升一个台阶。
- 双工作台、沉浸式光刻等新型光刻技术的创新与发展也在不断提升光刻机的工艺制程水平，双工作台使得光刻机的生产效率提升**大约35%**。ASML于2007年成功推出第一台浸没式光刻机，这也成为ASML**全面超越尼康、佳能的关键转折点**。



数据来源：西南证券

# 光刻机

## 技术变迁

光刻机价格每4年翻一倍



1.3亿美元

EUV  
(ASML垄断)

步进式扫描投影式光刻机

反射扫描摄影式光刻机

扫描投影式光刻机

接近式光刻机

25-30万美元

接触式光刻机



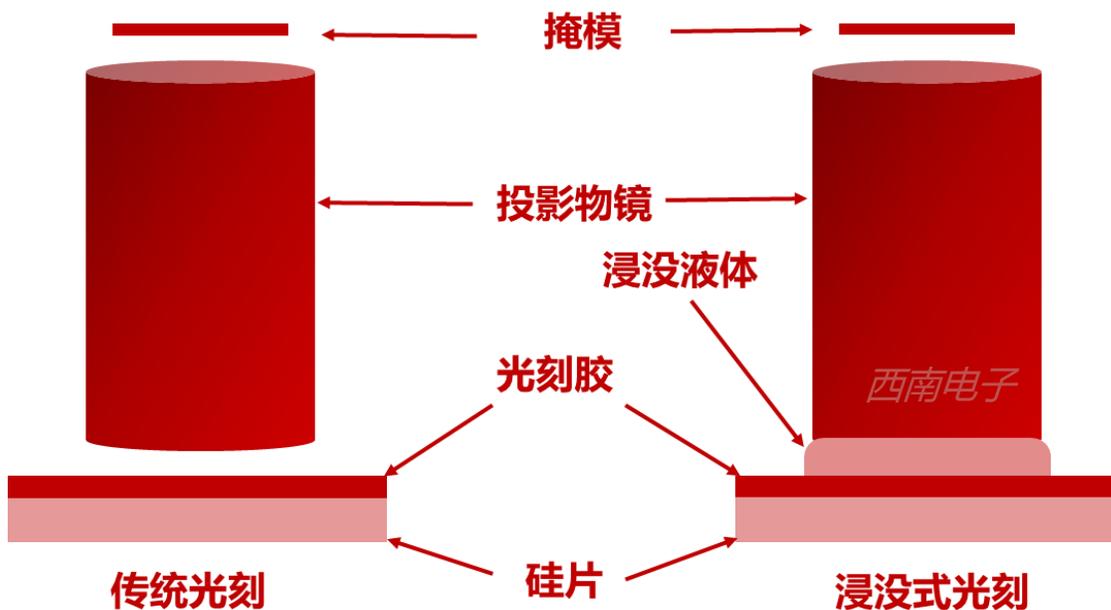
1970年

数据来源：公司官网，西南证券整理

## 浸没式光刻机技术：ASML崛起的转折点

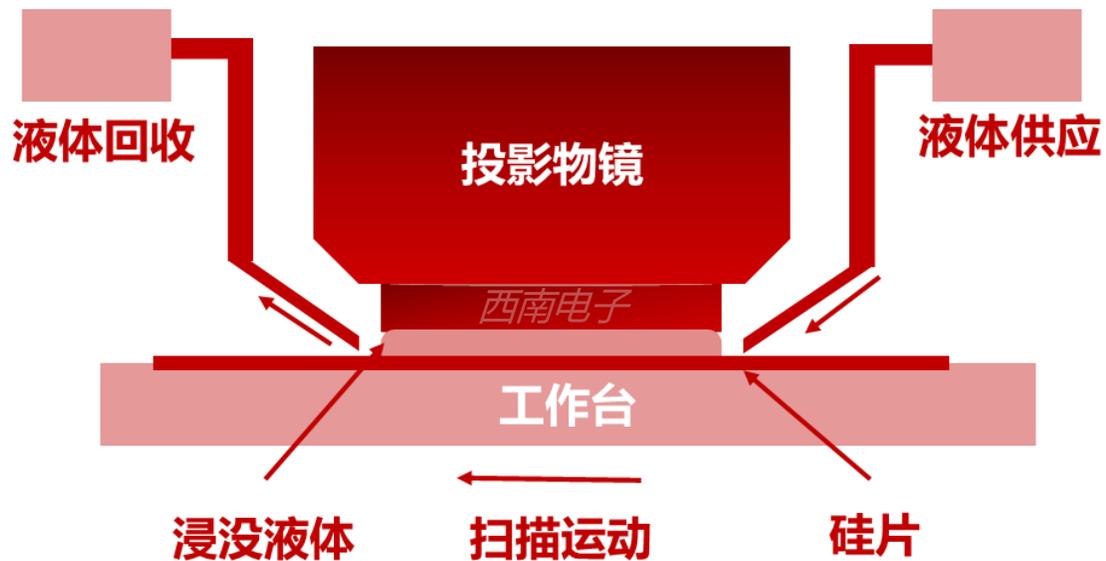
- 与传统光刻技术相比，浸没式光刻技术需要在光刻机投影物镜最后一个透镜下表面与硅片光刻胶之间充满高折射率的液体，以提高分辨率；目前主要有三种液体浸没方法：硅片浸没法，工作台浸没法，局部浸没法，业界多采用局部浸没法。
- 2010年，193nm液浸式光刻系统已能实现32nm制程产品，并在20nm以下节点发挥重要作用，浸没式光刻技术凭借展现出巨大优势，成为EUV之前能力最强且最成熟的技术。

光刻技术结构对比简图



数据来源：百度文库，西南证券整理

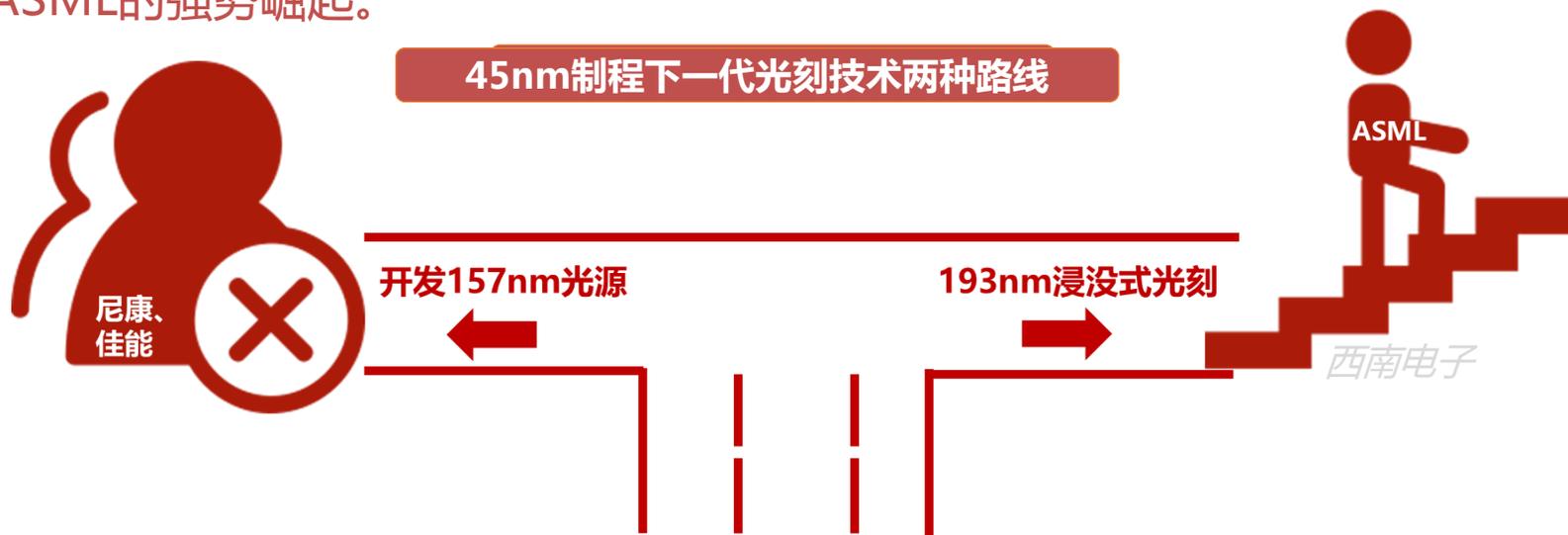
局部浸没法示意图



数据来源：百度文库，西南证券整理

## 浸没式光刻机技术：ASML崛起的转折点

- 在45nm制程下ArF光刻机遇到了分辨率不足的问题，业内对下一代光刻机的发展提出了两种路线。一是**开发波长更低的157nmF2准分子激光做为光源**，二是**林本坚（台积电研发副总经理）提出的浸没式光刻**。2002年以前，业界普遍认为193nm光刻无法延伸到65nm技术节点，而157nm将成为主流技术，但157nm光刻技术同样遭遇到了来自光刻机透镜的巨大挑战。在时代的十字路口上，TSMC提出了193nm浸入式光刻的概念，尼康、佳能则倒向了开发波长更低的光源；
- **随着ASML与台积电合作开发，于2007年成功推出第一台浸没式光刻机**。193nm光波在水中的等效波长缩短为134nm，足可超越157nm的极限，193nm浸入式光刻的研究随即成为光刻界追逐的焦点，也宣告ASML的强势崛起。



## EUV光刻机造价昂贵的主要原因

- 前四代光刻机使用都属于深紫外光，ArF已经最高可以实现22nm的芯片制程，但在摩尔定律的推动下，半导体产业对于芯片的需求已经发展到14nm，甚至是7nm。
- EUV研发面临五大技术难题，这也是EUV造价昂贵的重要原因。第一，真空环境约束。EUV光刻机只能在真空下运行；第二，让射线弯曲。由于EUV 能被玻璃吸收，必须使用布拉格反射器；第三，高功率难以实现。等离子光源在反复使用过程中，需在中心焦点达到**250瓦特**的功率；第四，如何保护掩模板。若不使用护膜则很可能是最终良率为0；第五，EUV掩模板和光刻胶；
- ASML从1999年就已开始EUV光刻机的研发工作，但由于技术与资金问题，直到2010年ASML才研发出第一台EUV原型机，比预计时间晚了十几年，也正是这一滞后使得摩尔定律的更替时间从理论上的**18-24个月延长至3-4年**，目前，ASML在EUV技术上具有**绝对领先地位**。

问题类型	原因	措施
光线吸收问题	13.5nm波长的射线非常容易被各种材料吸收	保证真空环境，使用气闸
射线弯曲	应对EUV被玻璃吸收问题	改变射线走向，用布拉格反射镜代替透镜
射线功率	多重吸收损耗过多	保证射线中心焦点功率
掩模板	保护掩模板&高效方式验证其无暇	需制造出能够抵抗 EUV 破坏的护膜
光刻胶	对EUV吸收效果&量子随机性	仍然难以克服

# 光刻机

## 上下游产业链

### 光刻机上下游市场：供应不足，需求强劲

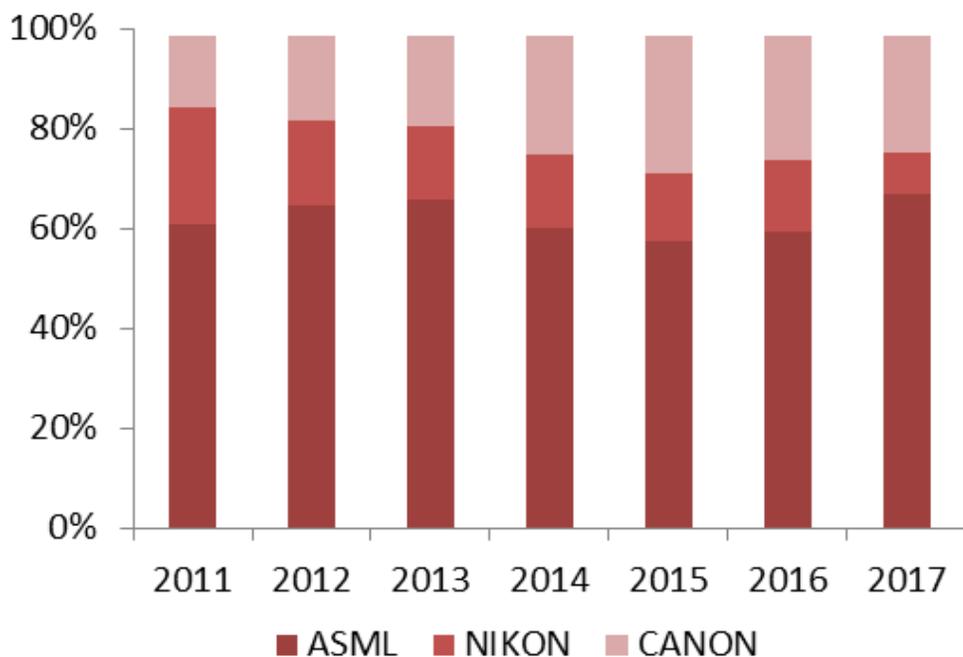
- 光刻机下游终端市场需求旺盛。目前光刻系统市场供给远远不足需求，很重要的原因在于上游原材料/部件精度不符合要求，除了来自蔡司的镜头的供应不足之外，还有设备上的芯片保护膜仍需要改进。
- 光刻设备厂商的下游客户主要在于存储和逻辑芯片制造商，未来存储市场需求将继续保持强劲，存储芯片尤其是DRAM价格仍然保持持续增长态势。



## 光刻机全球市场竞争格局：三分天下

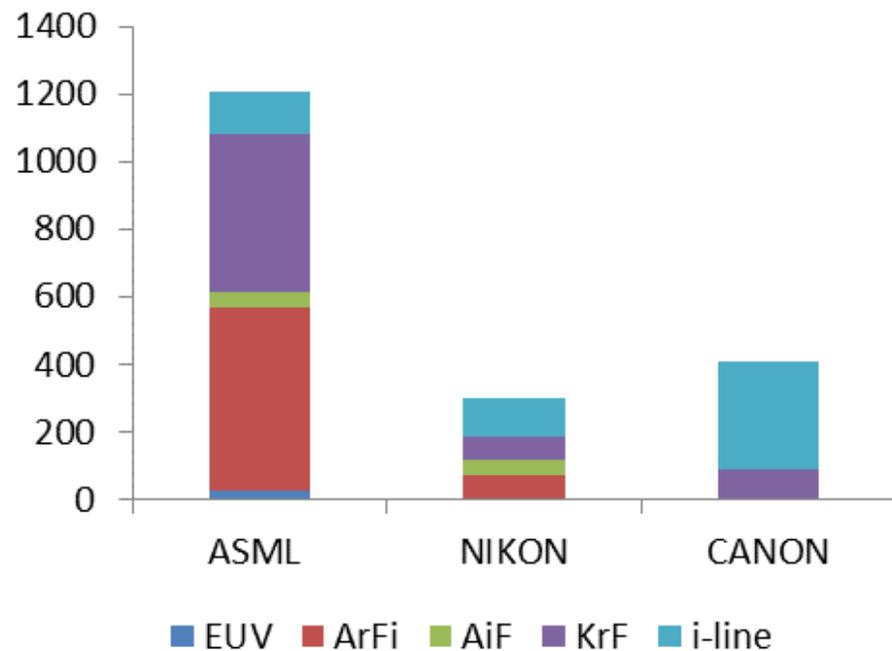
- 从全球角度来看，高精度的光刻机长期由ASML、尼康和佳能三家把持，从2011-2017历年全球光刻机出货比例可以看出，ASML，尼康，佳能三家公司几乎占据了**99%**的市场份额，其中ASML光刻机市场份额常年在**60%**以上，市场地位极其稳固。

2011-2017全球光刻机出货比例



数据来源：各公司官网，西南证券整理

2011-2017年三大公司各品类累计出货量（台）



数据来源：各公司官网，西南证券整理

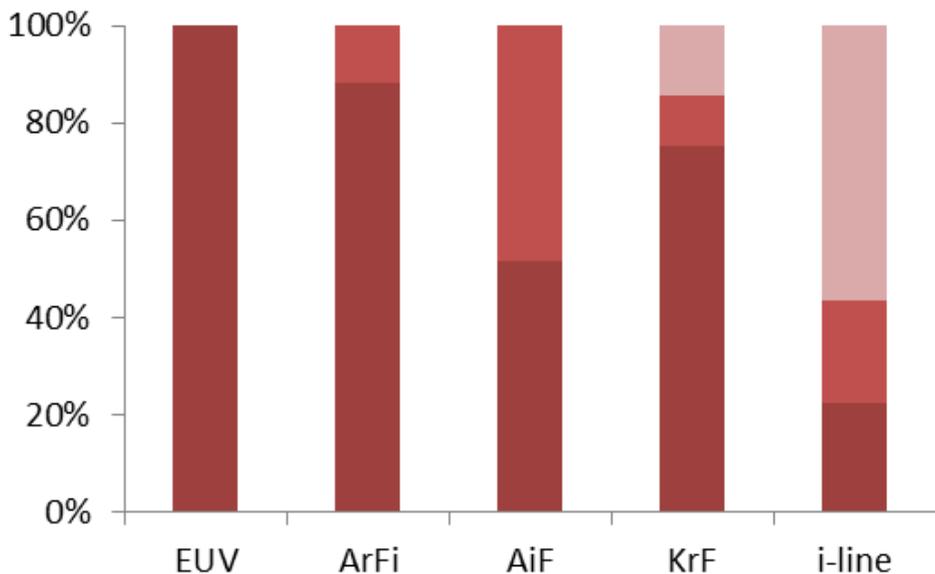
# 光刻机

# 竞争格局

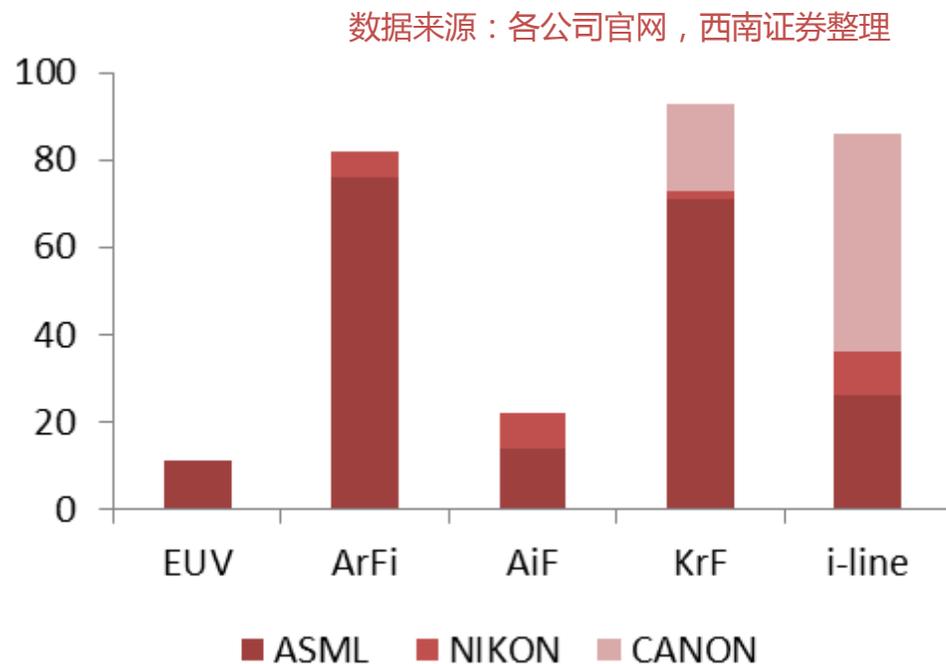
## 光刻机全球市场竞争格局：高端市场一家独大

- 顶级光刻机市场ASML一家独大。2011-2017年顶级光刻机累计出货量中，**EUV完全由ASML垄断，出货来源达到100%**，ArFi光刻机**超过80%**也都由ASML提供。尼康和佳能的先进制程远落后于ASML，主要市场在中低端，最大优势仅在于成本；
- 2017年全球晶圆制造用光刻机台出货不足300台，其中ASML共就出货198台，占全球近7成的市场。其中EUV光刻机11台，ArFi光刻机76台，ArF光刻机14台，KrF光刻机71台，i-line光刻机26台。

### 2011-2017年光刻机各品类累计出货量来源



### 2017年光刻机各品类出货量及来源（台）



# 光刻机

# 竞争格局

## ASML：高端光刻机垄断者

- ASML是世界领先的半导体设备制造商之一，向全球复杂集成电路生产企业提供领先的综合性关键设备。2006年，ASML交付第一台光刻机；2007年成功推出第一台浸没式光刻机TWINSCANXT:1990i，采用折射率达到1.44的去离子水做为媒介，实现了45nm的制程工艺，并一举垄断市场。当时的另两大光刻巨头尼康、佳能主推的157nm光源干式光刻机被市场抛弃，不仅损失了巨大的人力物力，也在产品线上显著落后于ASML。

### ASML光刻机升级历程

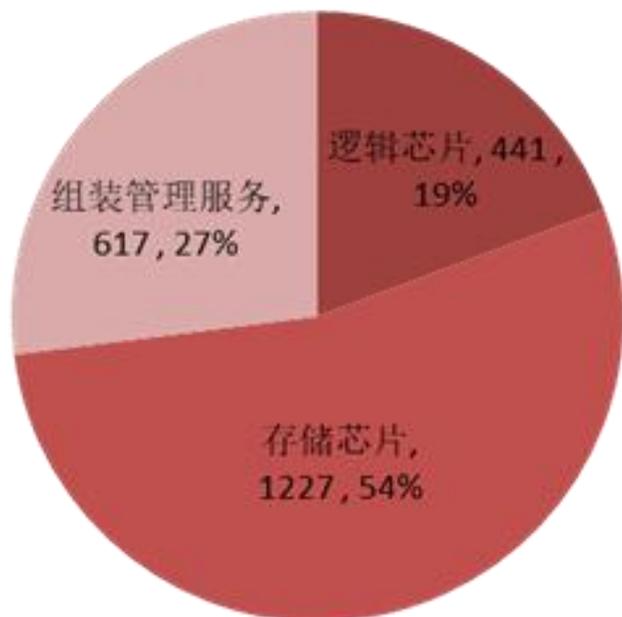


数据来源：ASML，西南证券整理

## ASML：高端光刻机垄断者

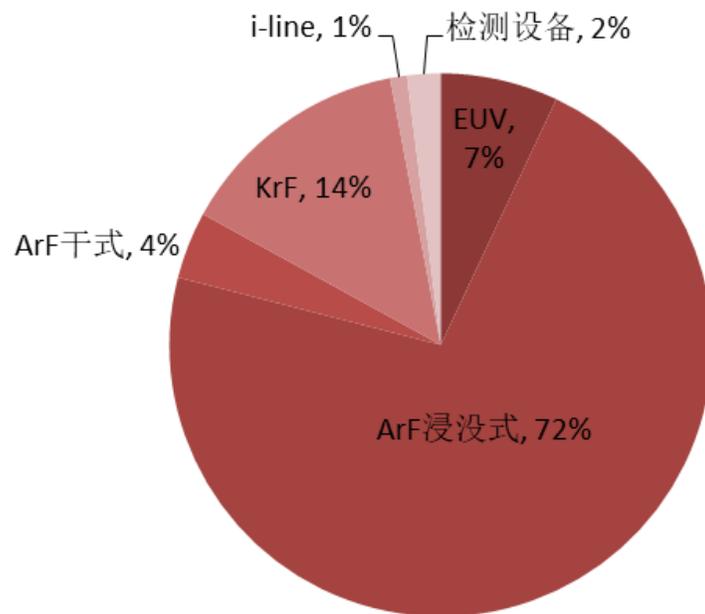
- ASML 2018Q1实现营收22.85亿欧元，主要来自系统销售，占比73%；其中**ArF浸没式设备贡献72%**的营收，**KrF型以14%**的贡献居于第二。平均来说，ASML中高端设备单台售价超过7000万美元，高端EUV设备单台售价超过1亿美元。从Q1业务拆分情况看出，高价值的EUV销售量**仅一台就贡献7%**的营收，公司预计2018全年EUV收入将达到21亿欧元。从终端市场看来，主要下游市场在于**存储芯片**，营收12.27亿欧元，**占比达53.7%**，较2017年的32.8%有很大提升。

ASML 2018Q1按下游市场营收拆分（百万欧元）



数据来源：ASML，西南证券整理

ASML 2018Q1 按产品类型业务拆分



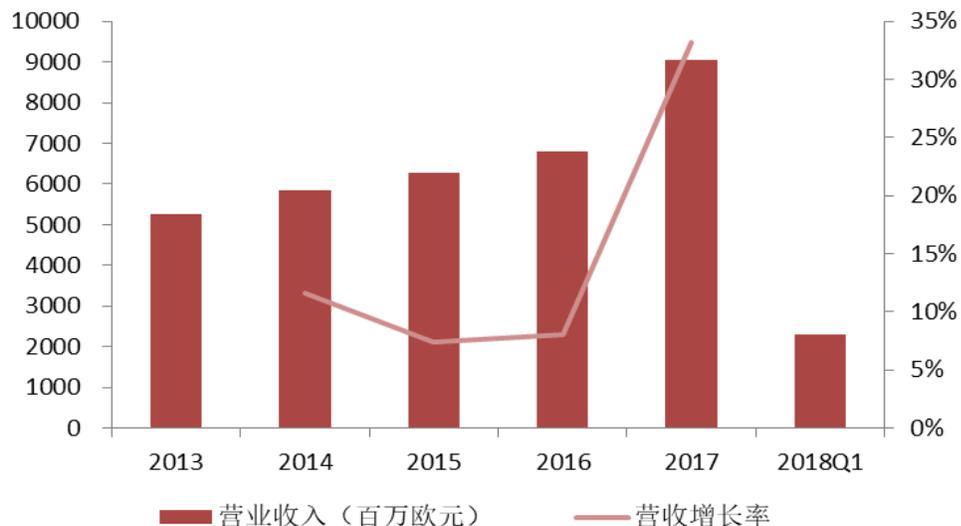
数据来源：ASML，西南证券整理

# 光刻机

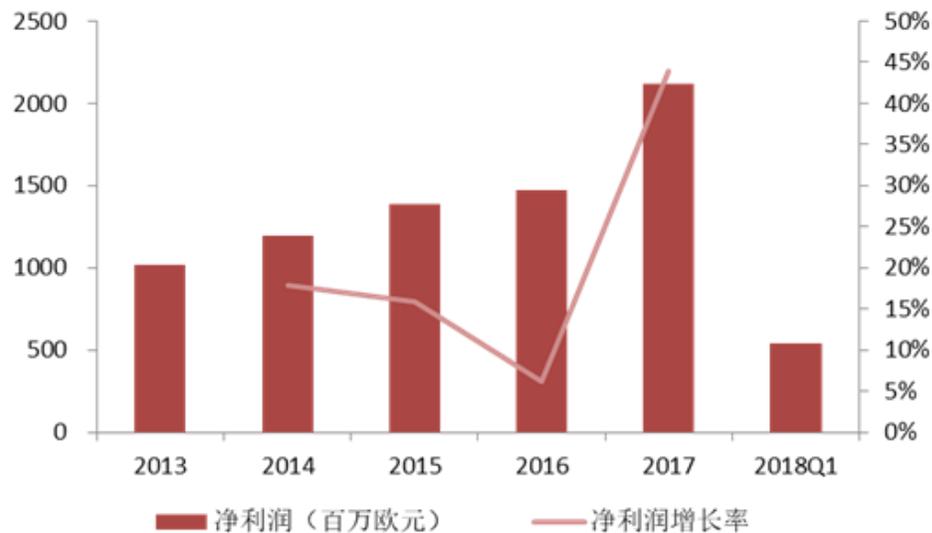
# 竞争格局

## ASML：高端光刻机垄断者

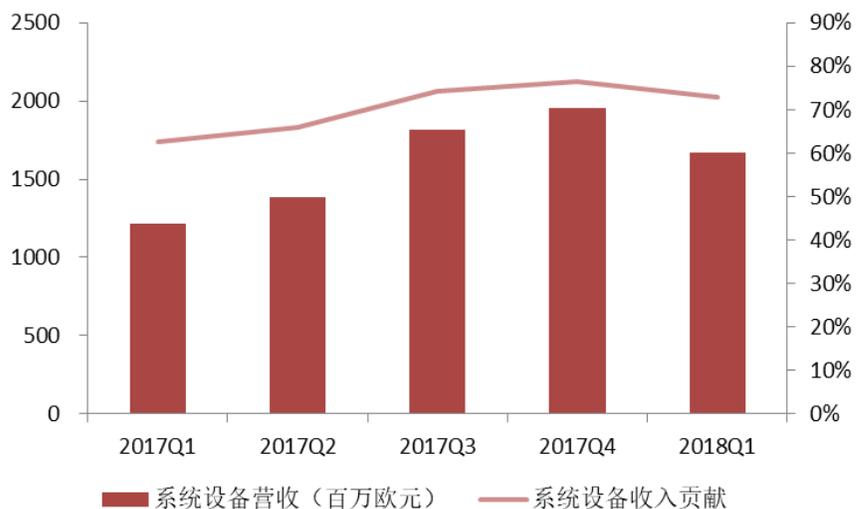
### ASML 2013年以来营业收入及其增长情况



### ASML 2013年以来净利润及增长情况



### ASML 2017Q1-2018Q1设备收入情况



### ASML 2017Q1-2018Q1设备订单情况



数据来源：ASML，西南证券整理

- 公司营业收入和净利润始终保持较高水平。自2016年推出EUV设备后，营收和净利润实现大幅增长；
- 其中系统设备尤其是光刻设备贡献在各个季度均超过60%。

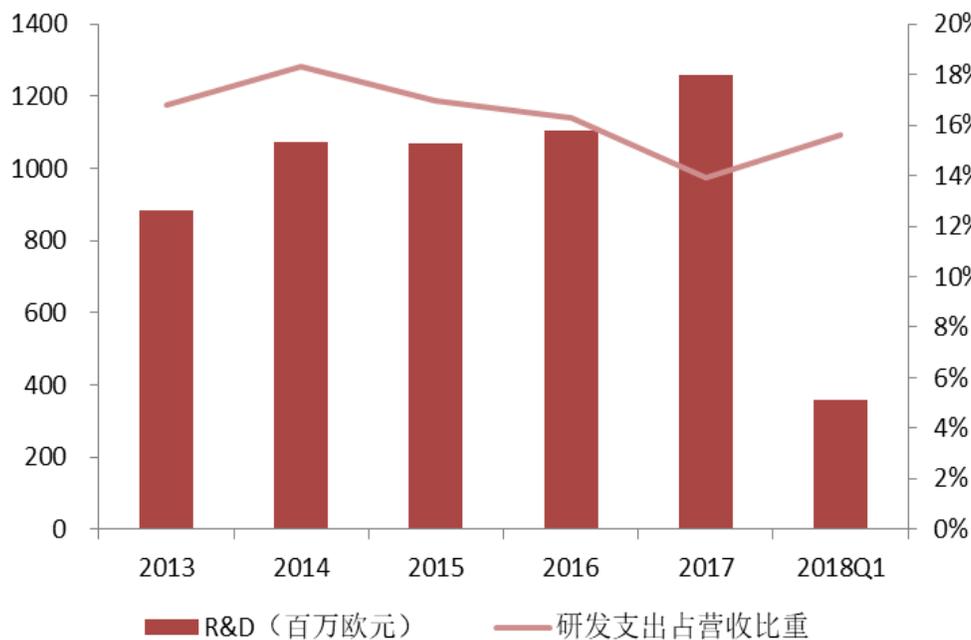
# 光刻机

# 竞争格局

## ASML：高端光刻机垄断者

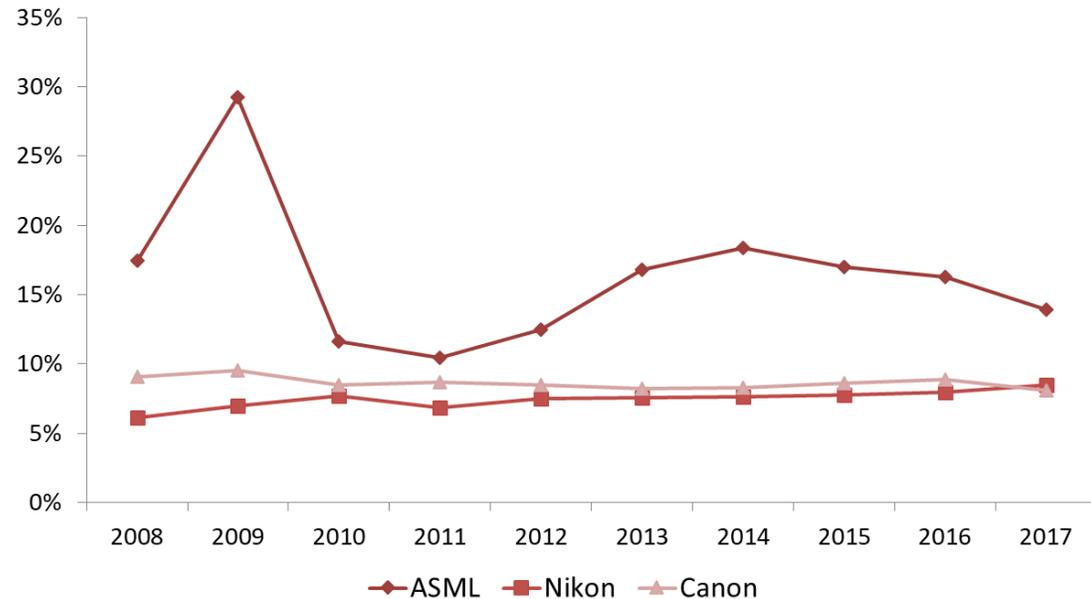
- ASML在光刻设备市场具有不可撼动的霸主地位，尼康和佳能难以与之抗衡的一大重要原因在于其积极研发和开放式创新发展思路，在新品研发和工艺改进上充分发挥其网络创新优势，比佳能和尼康的“孤岛式”研发模式更具效率和灵活性。
- ASML 2017年研发费用高达**15亿美元**，占营业收入比重为**14%**，远高于佳能与尼康的8%左右。

### ASML 2013年以来研发支出情况



数据来源：ASML，西南证券整理

### 2008年以来三家公司研发占营收比重对比



数据来源：ASML，西南证券整理

# 光刻机

# 竞争格局

## 尼康：发挥面板光刻比较优势

- 尼康成立于1917年，最早通过相机和光学技术发家，1980年开始半导体光刻设备研究，1986年推出第一款FPD光刻设备，如今业务线覆盖范围广泛。尼康既是半导体和面板光刻设备制造商，同时还生产护目镜，眼科检查设备，双筒望远镜，显微镜，勘测器材等健康医疗和工业度量设备；
- 在**FPD光刻**方面，尼康则可发挥其**比较优势**，尼康的机器范围广泛，从采用独特的多镜头投影光学系统处理大型面板到制造智能设备中的中小型面板，为全球领先的制造商提供多样化的机器。

尼康主要产品及业务情况

业务范围	成像产品	电影摄像机 可换透镜 闪光灯 摄影配件 软件	FPD 光刻机
	精密技术	面板光刻机 半导体光刻机	
	健康医疗	生物显微镜 超高分辨率显微镜 细胞培养观察系统 超宽场视网膜成像设备	芯片 光刻机
	工业度量	工业度量产品 定制化产品 玻璃和编码业务 眼镜片	

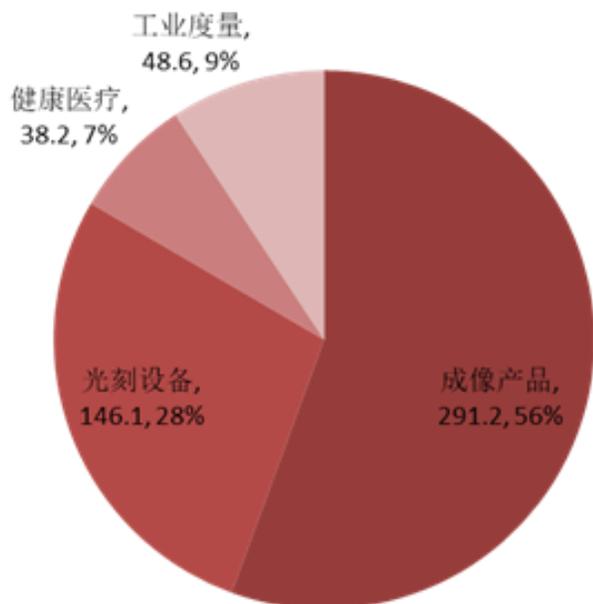


数据来源：尼康，西南证券整理

## 尼康：发挥面板光刻比较优势

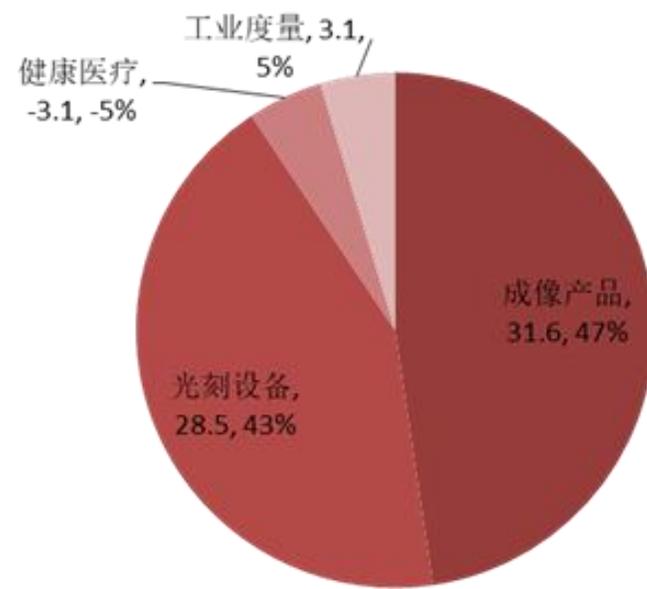
- 尼康FY2017营收5.25千亿日元，下降7.2%，在**成像产品和精密设备（光刻设备）**领域利润均有增长，经营利润达4.15百亿日元，增长**123.2%**，归母净利润达2.23百亿日元，增长56.7%。
- 由于成像产品和FPD及芯片光刻设备单位产品销售额下降，2018Q3营收下降11%，但成像产品业务高附加值产品和精密设备领域的重大技术突破带来了经营利润上涨，使得经营利润增加124%。

尼康2018 Q3营业收入结构情况（十亿日元）



数据来源：尼康，西南证券整理

尼康2018 Q3营业利润结构情况（十亿日元）

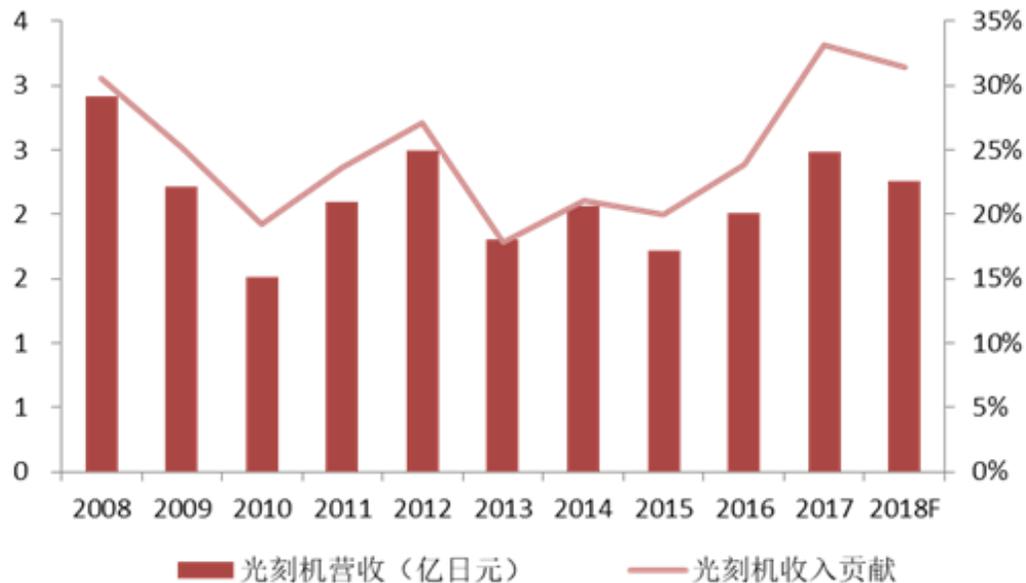


数据来源：尼康，西南证券整理

## 尼康：发挥面板光刻比较优势

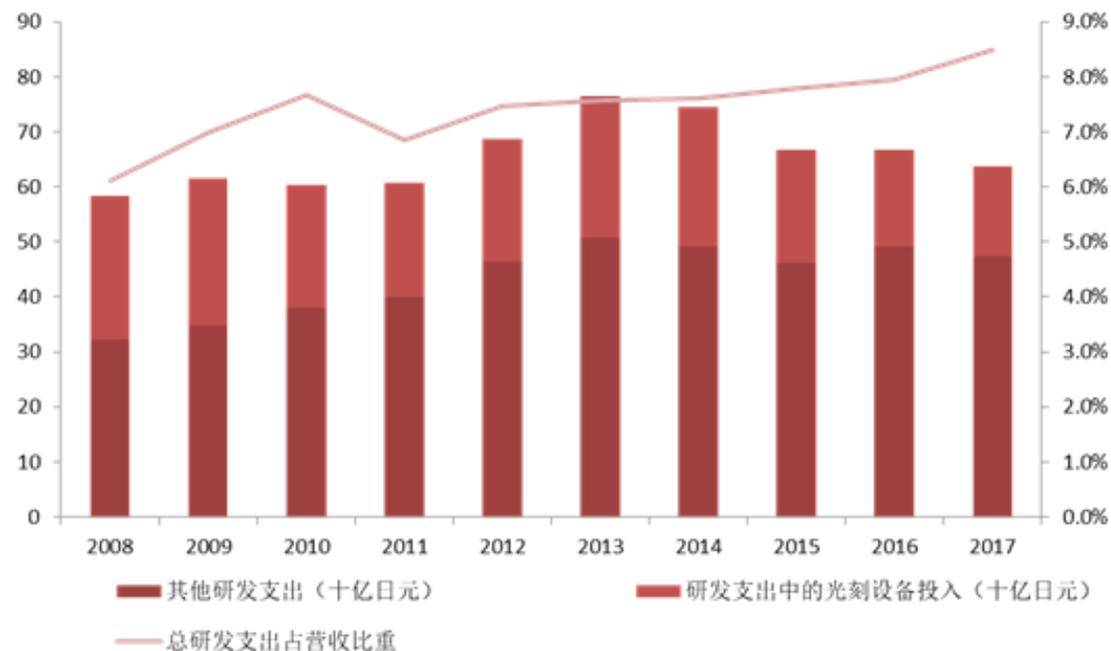
- 尼康虽然在芯片光刻技术上远不及ASML，目前的产品还停留在ArF和KrF光源，且售价也远低于ASML，和EUV更加难以相提并论。但目前，其盈利性也很大程度上依赖光刻设备，尤其是芯片光刻设备，2017年**光刻设备营收占比高达33%**；
- 尼康研发投入持续增长，但其中对于**光刻设备的投入**比重却在**下降**。从2008年260亿日元一路下降至2017年160亿日元。

### 尼康FY2008以来光刻设备营收及占比



数据来源：尼康，西南证券整理

### 尼康FY2008以来研发支出情况

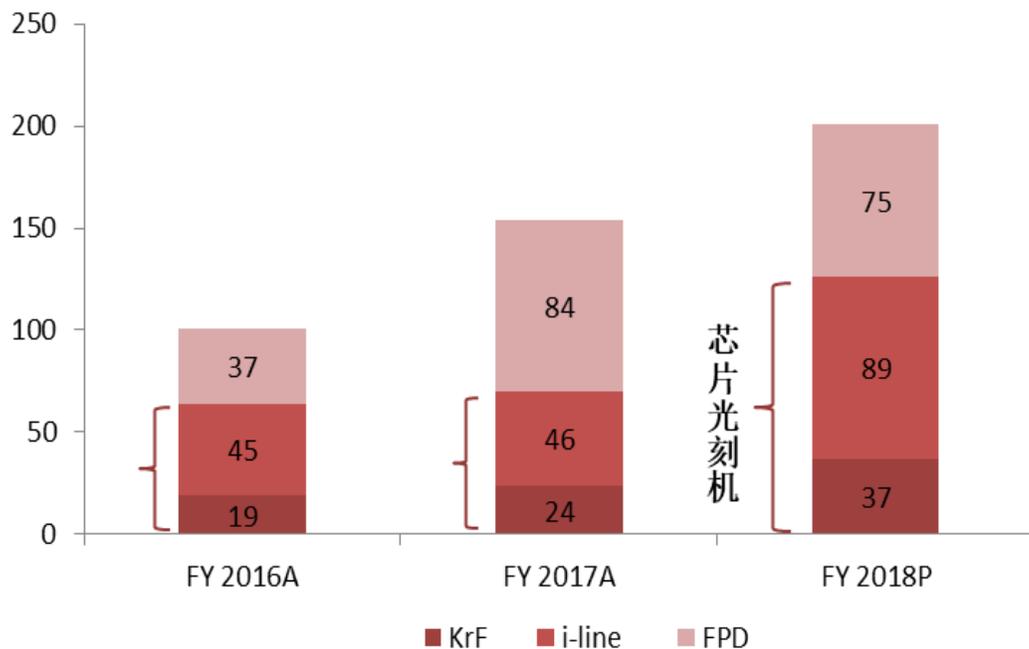


数据来源：尼康，西南证券整理

## 佳能：光电为主，光刻为辅

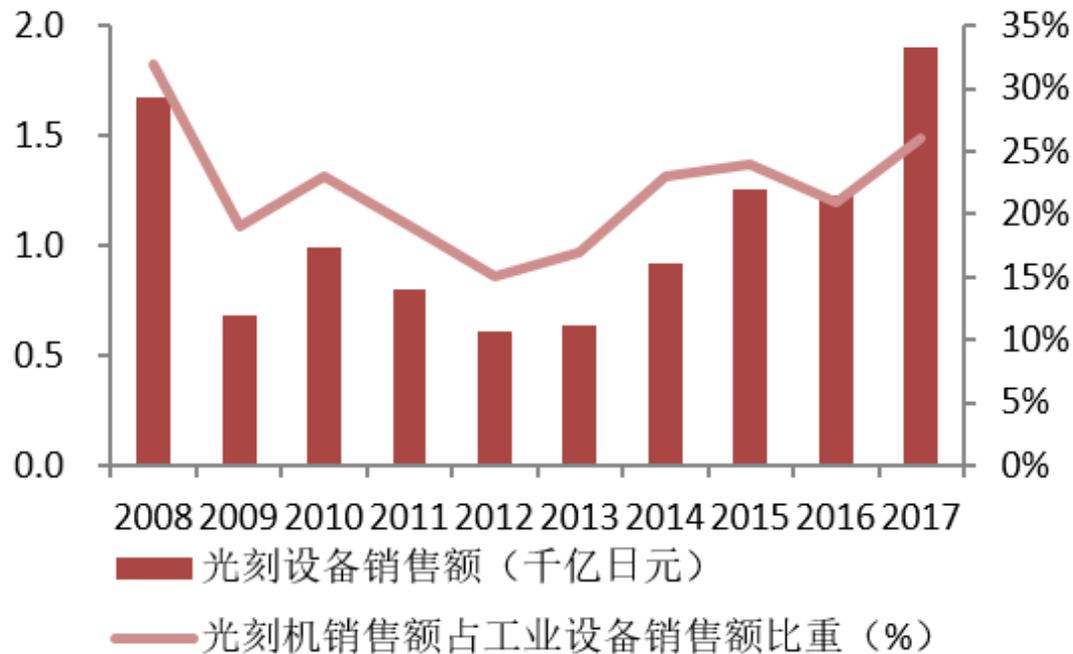
- 佳能工业设备销售业绩整体上处于上升态势，但光刻设备的比重越来越低，尽管从2016年到2018年光刻设备尤其是芯片光刻设备的销售量有显著上升，但价值量贡献却并无相同趋势；
- 在2017财年，其他工业设备如网络摄像头、商用打印机和三维机器视觉系统加总销售额贡献超过80%，反映出佳能在光刻设备市场上议价能力不足，深层原因还是技术精度未能达到高端市场要求，仅能通过价格优势获得销售量的提升。

佳能FY2008以来光刻设备出货量情况（台）



数据来源：佳能，西南证券整理

佳能FY2008以来光刻设备营收及占比



数据来源：佳能，西南证券整理

## 上海微电子：国产光刻机的星星之火

- 目前国内光刻机设备商较少，在技术上与国外还存在巨大差距，且大多以激光成像技术为主，在IC前道光刻设备方面，**上海微电子装备（集团）股份有限公司（SMEE）**代表了国内顶尖水平。
- 公司设备广泛于集成电路前道、先进封装、FPD面板、MEMS、LED、Power Devices等制造领域。**公司的封装光刻机在国内市占率高达80%，全球市占率也可达到40%；前道制造光刻机最高可实现90nm制程，有望快速将产品延伸至65nm和45nm。**上海微电子承担着多项国家重大科技专项以及02专项光刻机科研任务，有望实现国产光刻设备的重大突破。

上海微电子主要设备及工艺

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

数据来源：上海微电子，西南证券整理

## 目录

### 一、全球半导体设备市场规模及竞争格局

### 二、全球半导体设备详细拆分及国产化率分析



光刻机市场及国产化率情况



刻蚀机市场及国产化率情况



镀膜设备市场及国产化率情况



量测设备市场及国产化率情况



清洗设备市场及国产化率情况



离子注入设备市场及国产化率情况

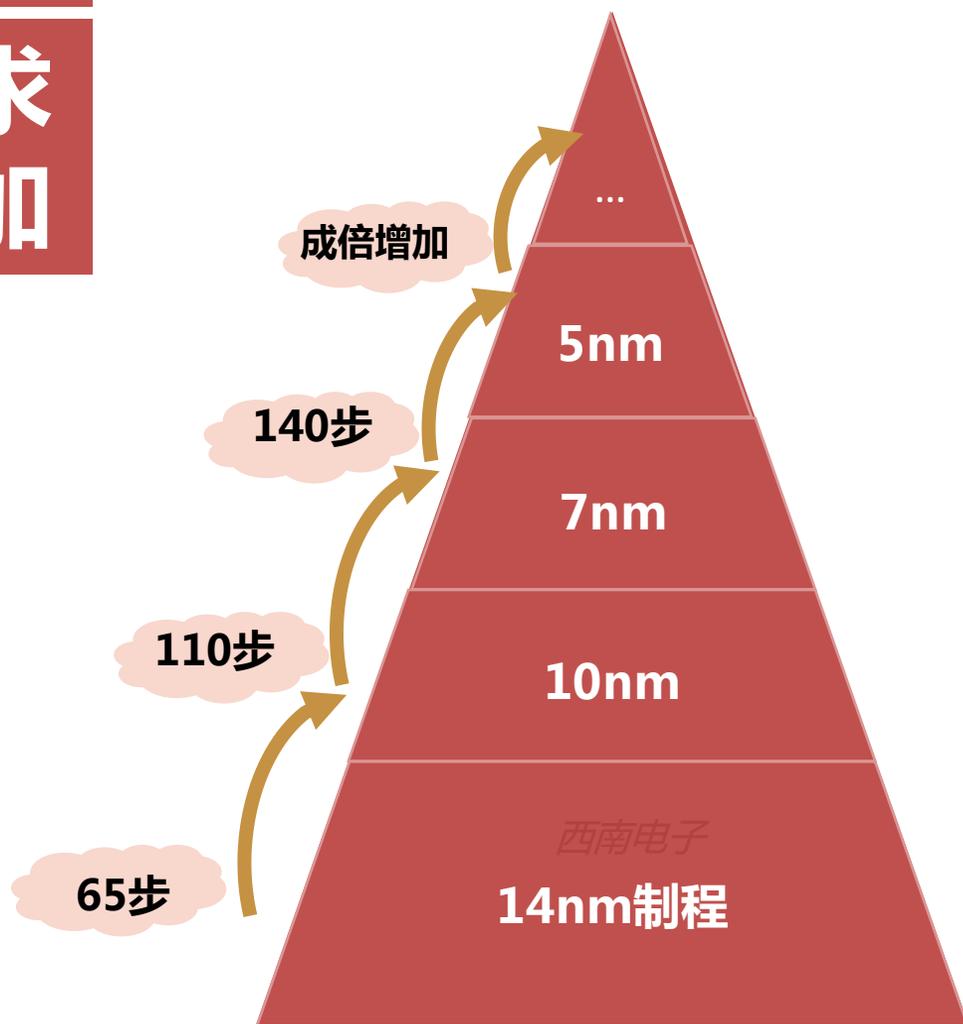


其他设备市场及国产化率情况

### 三、半导体设备核心标的推荐逻辑

## 先进制程日渐复杂，刻蚀设备需求增加

刻蚀步数随工艺制程变化情况



数据来源：微电子制造，西南证券整理

- 刻蚀机的工作原理是按光刻机刻出的电路结构，在硅片上进行微观雕刻，刻出沟槽或接触孔。刻蚀利用显影后的光刻胶图形作为掩模，在衬底上腐蚀掉一定深度的薄膜物质，随后得到与光刻胶图形相同的集成电路图形。
- 由于光刻光波长限制因素，逻辑工艺从14nm、10nm走向7nm、5nm，甚至是3nm和2nm不断微缩，工艺制程越先进，刻蚀加工步骤也越多。一般而言，**14nm制程需要65步等离子刻蚀加工，10nm制程增加到110步以上，到了7nm则需要140步，预计5nm刻蚀步骤将会成倍增加。**因而未来刻蚀设备的市场将会取得长足的进展。
- 根据SEMI的预测，2017-2020年，全球将新增62座半导体晶圆厂。**一个晶圆厂大概需要40-50台刻蚀机，单价在200万美元左右。因此我们预计2017-2020年，全球新增晶圆厂仅刻蚀设备就将带来50多亿美元的市场需求。**

## 最主要的两类刻蚀工艺——介质刻蚀和硅刻蚀

- 根据刻蚀原理，可分为干法刻蚀和湿法刻蚀。干法刻蚀是亚微米尺寸下刻蚀器件的最重要方法，主要通过等离子体与硅片发生物理或化学反应，从而去掉曝露的表面材料。湿法刻蚀一般只是用在尺寸较大的情况下（大于3微米），主要利用液体化学试剂（如酸、碱和溶剂等）来去除硅片表面材料。
- 按待刻蚀材料来分，刻蚀主要分成金属刻蚀、介质刻蚀和硅刻蚀。介质刻蚀是用于介质材料的刻蚀，如二氧化硅，接触孔和通孔结构的制作需要刻蚀介质。硅刻蚀（包括多晶硅）应用于需要去除硅的场合，如刻蚀多晶硅晶体管栅和硅槽电容。金属刻蚀主要是在金属层上去掉铝合金复合层，制作出互连线。介质刻蚀和硅刻蚀为最主要的刻蚀设备，两者市占率达95%。

刻蚀工艺主要分类

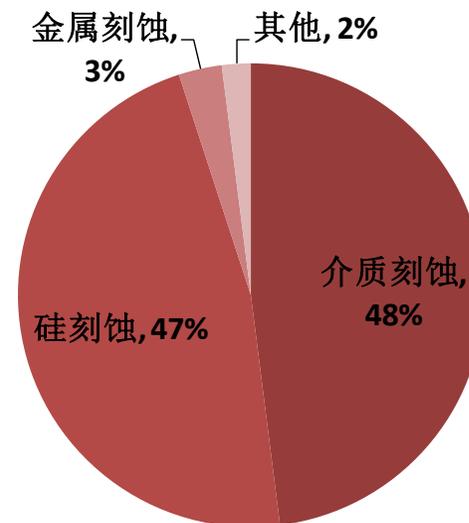
刻蚀设备分类	刻蚀原理	干法刻蚀	湿法刻蚀			
	待刻蚀材料	金属刻蚀	介质刻蚀	硅刻蚀		
	应用	逻辑、存储	MEMS	电源设备	射频芯片	图像传感器

分类标准

具体分类

数据来源：百度文库，西南证券整理

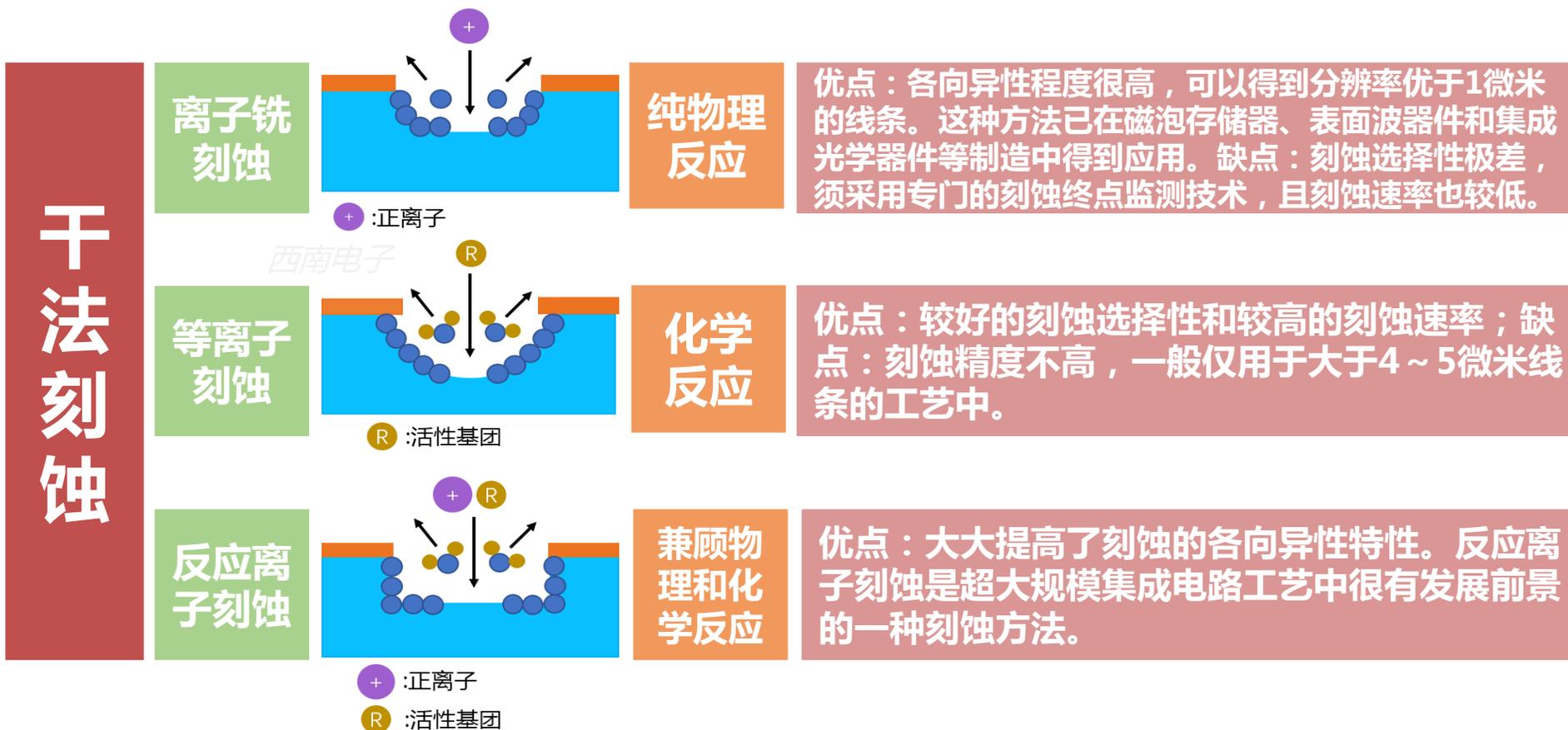
不同刻蚀机的市场份额情况



数据来源：BARRON'S，西南证券整理

## 干法刻蚀的分类

- 干法刻蚀又可以分为离子铣刻蚀、等离子刻蚀和反应离子刻蚀。离子铣刻蚀主要用于磁泡存储器、表面波器件、集成光学器件等。等离子刻蚀一般仅用于大于4~5μm线条的工艺中。反应离子刻蚀是超大规模集成电路工艺中很有发展前景的一种刻蚀方法。



数据来源：OLEDindustry，西南证券整理

不同刻蚀方法

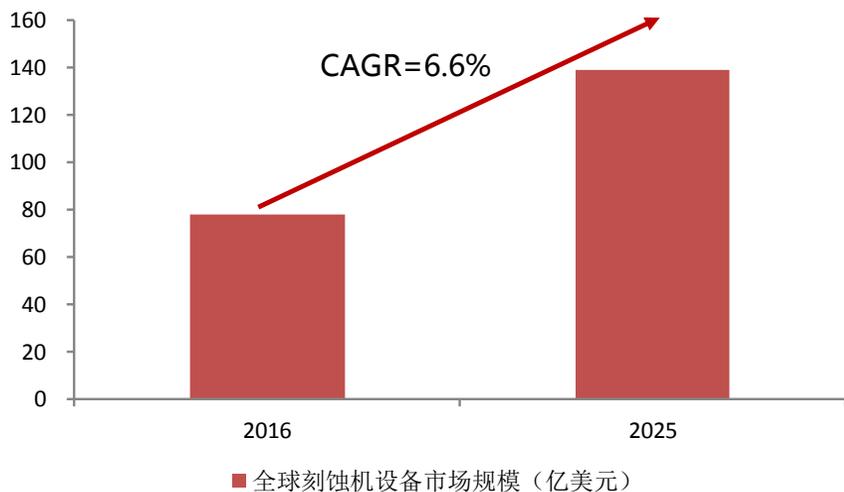
原理

优缺点

## 全球刻蚀机市场规模及增长趋势

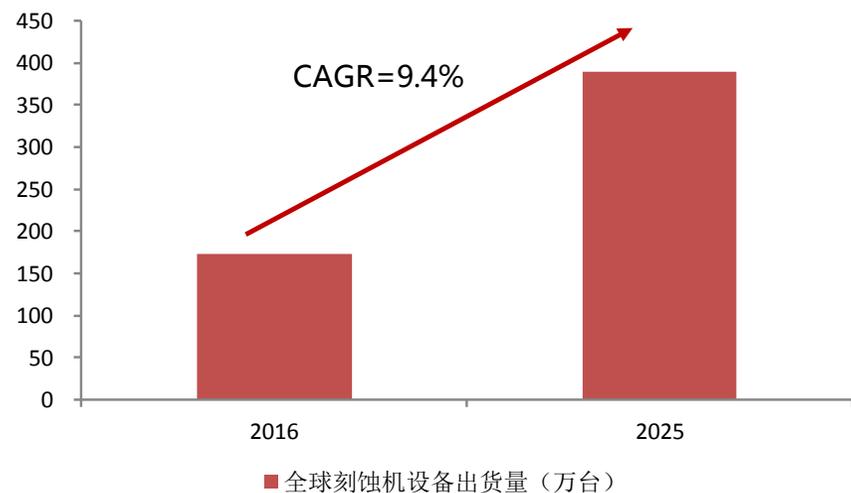
- 2017-2025年，按照收入计算，全球半导体刻蚀设备市场的年复合增长率为6.8%，按产量计算，从2017至2025年间年增长率为8.5%。预计到2025年收入将达到138.9亿美元，2016年度市场收入为78亿美元，2016年度半导体蚀刻设备市场规模为173.3万台，到2025年底将达到389.1万台。
- 按照地理测算，亚太地区的市场占有率最大。该地区的优势被归因于技术先进的便携式设备以及该地区的智能设备的出货量上升。

全球刻蚀设备市场规模（亿美元）



数据来源：Factor&amp;Equilibrium，西南证券整理

全球刻蚀设备市场规模（万台）

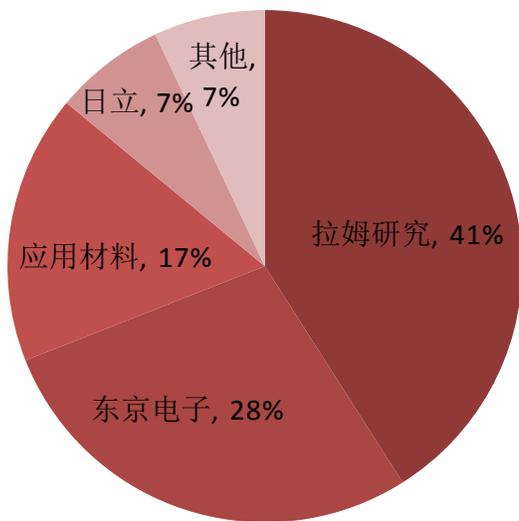


数据来源：Factor&amp;Equilibrium，西南证券整理

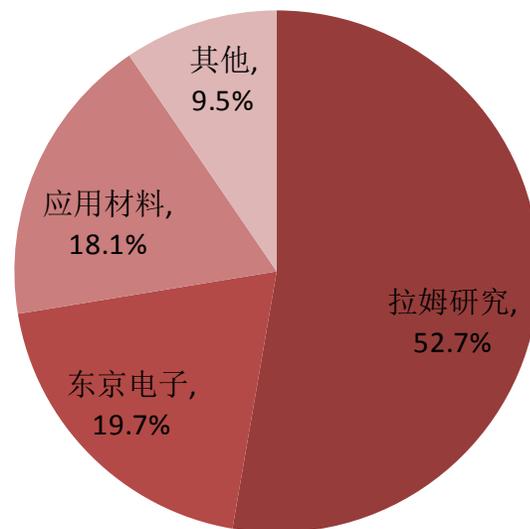
## 全球刻蚀设备竞争格局

- 半导体刻蚀市场的领先企业主要包括拉姆研究、东京电子、应用材料、日立。细分市场表现出一家独大的态势，**Top3设备供应厂商的市占率超过90%**。2008年全球半导体刻蚀市场，拉姆研究占41%的份额，东京电子占28%，应用材料占17%，日立占7%，其余公司占7%。2016年，拉姆研究的市场份额增加至52.7%，东京电子的市场份额下降至19.7%，应用材料居第三位，市场份额为18.1%。因此，拉姆研究为当之无愧的刻蚀设备龙头。

2008年全球刻蚀设备市场份额

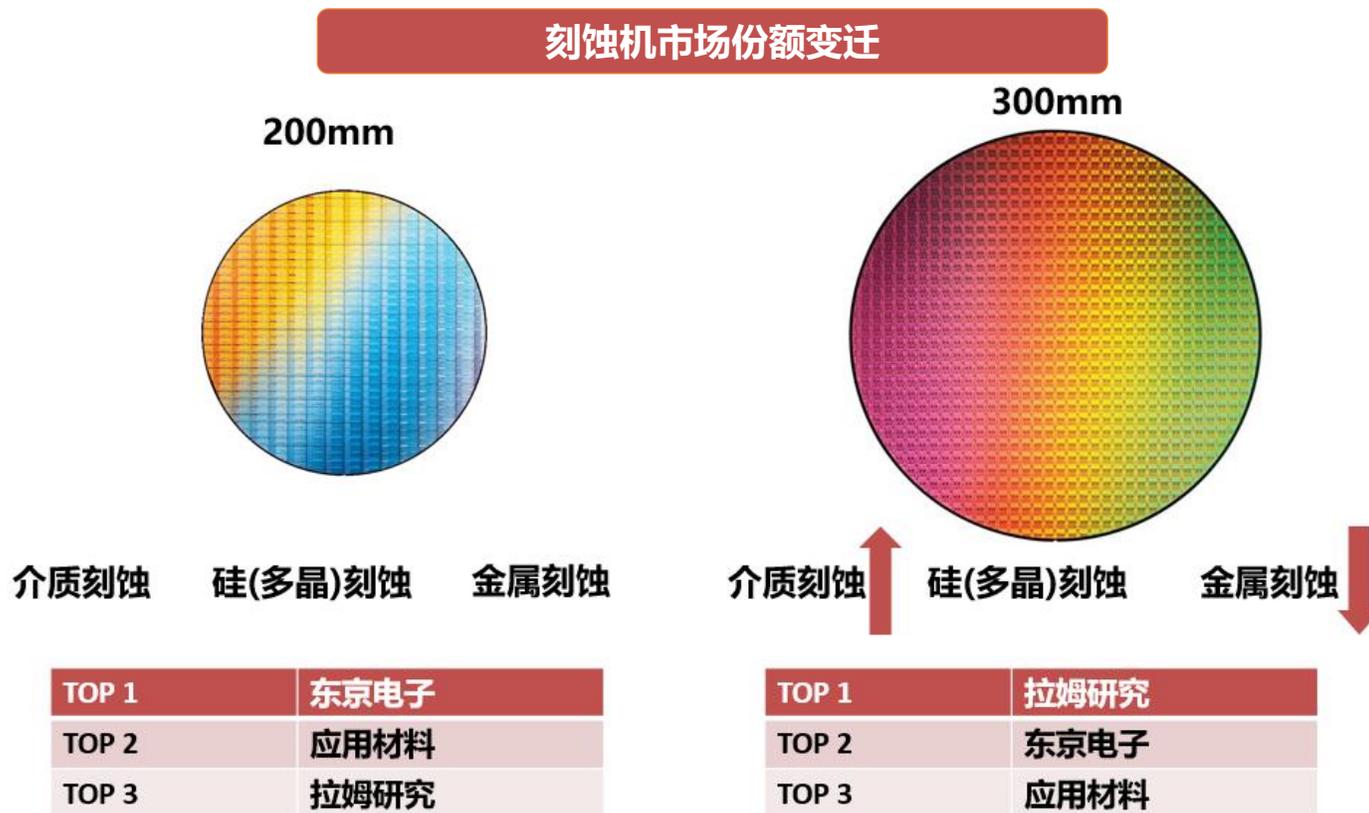


2016年全球刻蚀设备市场份额

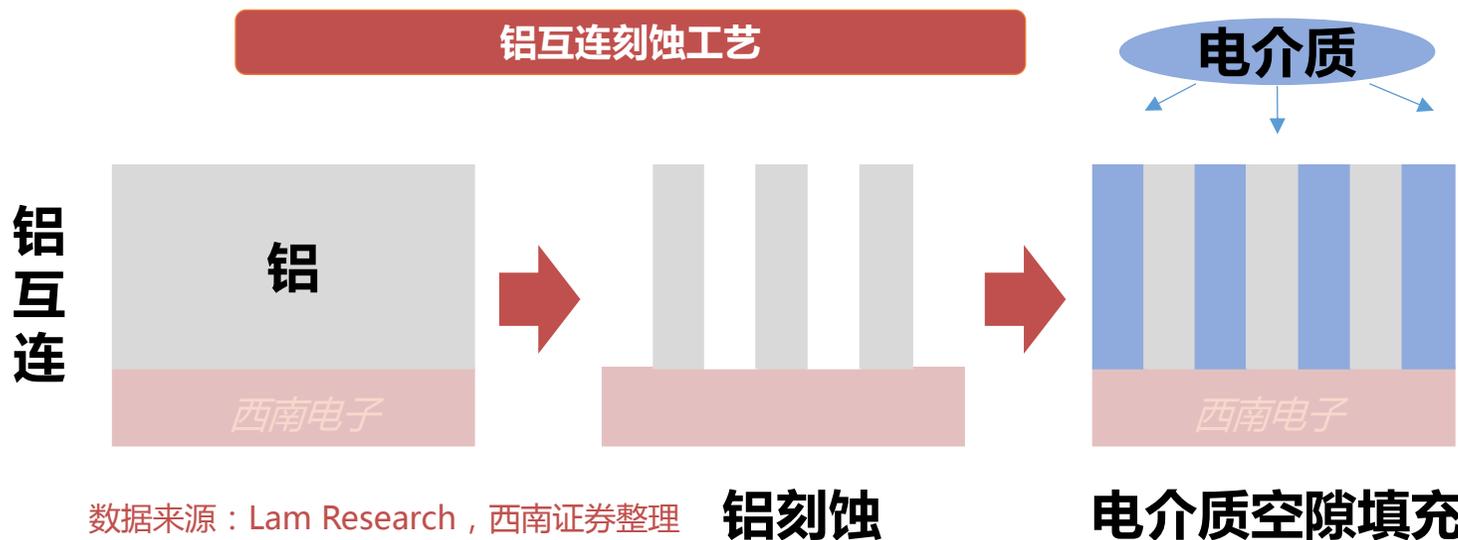


## 刻蚀机市场份额变迁-金属刻蚀逐渐萎缩，介质刻蚀份额逐渐加大

- 在200mm晶圆时代；介质、硅（多晶）以及金属刻蚀是刻蚀设备的三大块。进入300mm时代以后，随着铜互连的发展，金属刻蚀逐渐萎缩，介质刻蚀份额逐渐加大，目前介质刻蚀设备市场份额已经接近50%；
- 200mm时代介质刻蚀市场份额依次为东京电子、应用材料、拉姆研究。进入300mm时代以来，Lam由于其简单的设计、较低的设备成本，逐渐在65nm、45nm设备市场超过东京电子，占据了大半市场。

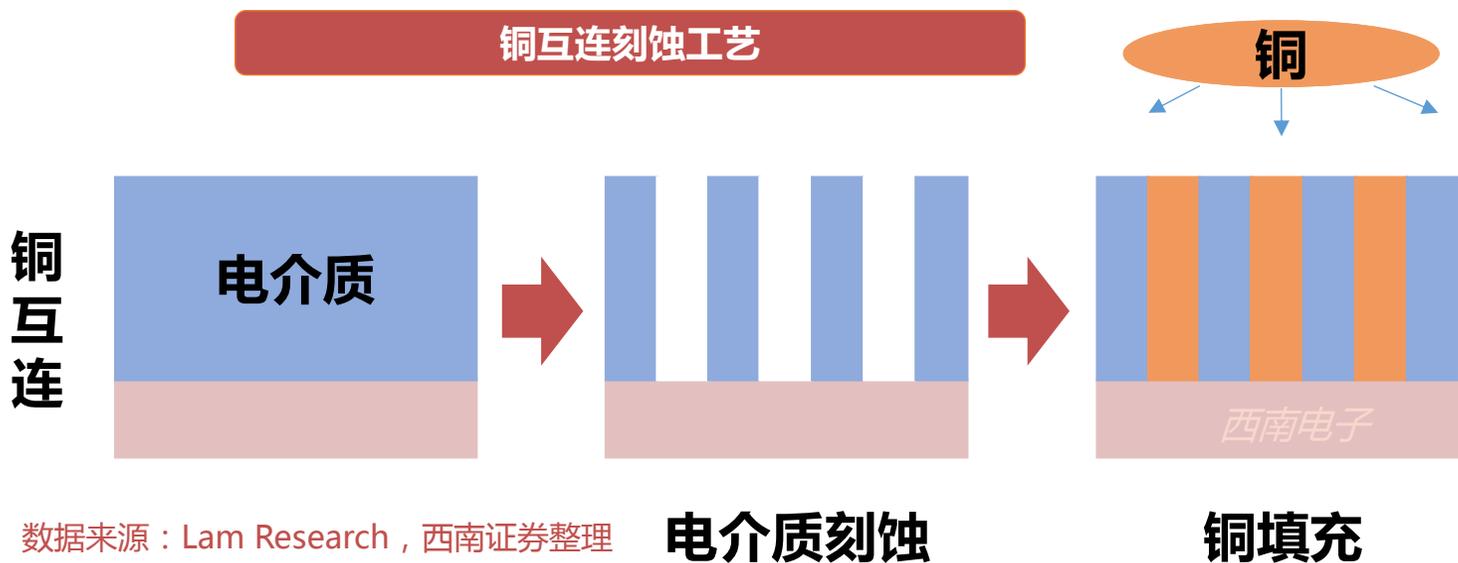


## 铝互联先铝刻蚀再进行电介质填充，铜互连先电介质刻蚀再进行铜填充



随着半导体器件的尺寸不断缩小，由于铝的电阻率较高，导致电阻增大，越来越薄的铝线无法实现所需的速度和电性能。铜具有更低的电阻率，且不容易发生电迁移，具有更高的可靠性。

然而，由于铜不容易形成挥发性化合物，通过干法刻蚀并不能轻松地将其从晶片表面除去。IBM 等公司借鉴大马士革珠宝制作工艺，先沉积和刻蚀电介质材料，形成由沟槽和孔洞组成的图案，然后，将金属填充到图案中。



## 全球刻蚀设备龙头——Lam Research

- Lam Research目前是全球刻蚀设备市场份额最高的设备制造商，市占率高达50%以上。
- Lam Research产品通过协作和利用多个领域的专业知识，持续开发新的功能，以满足结构日益复杂且尺寸不断缩小的器件的生产需求。公司目前刻蚀产品有五大系列，解决方案涵盖了晶体管、连接导线、成像、先进存储器和先进封装工艺，为先进芯片生产提供了广泛的晶圆制程能力。

拉姆研究刻蚀设备分类

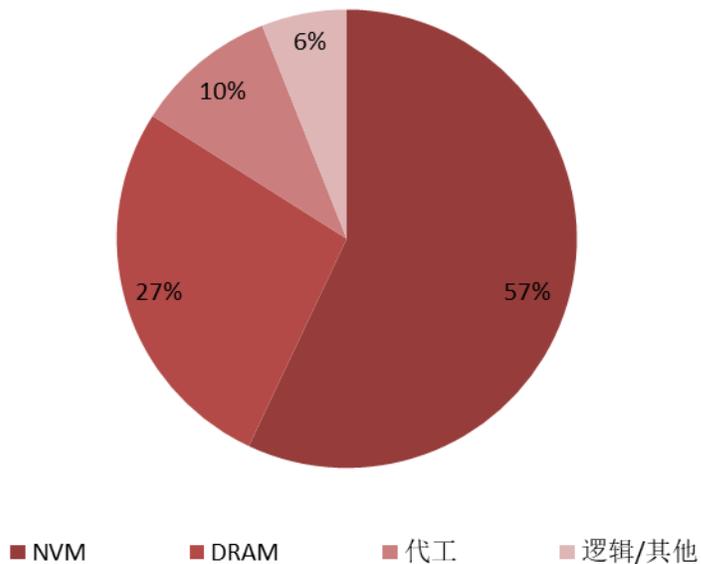
产品家族	刻蚀用途	工艺	技术
Kiyo	晶体管/互连/成像/ 存储刻蚀	导体刻蚀	反应离子刻蚀/原子 层刻蚀
Flex	晶体管/互连/成像/ 存储刻蚀	介质刻蚀	反应离子刻蚀
Versys Metal	晶体管/互连/成像/ 存储刻蚀	金属刻蚀	反应离子刻蚀
Syndion	硅通孔刻蚀	TSV刻蚀	深度反应离子刻蚀
DSiE	MEMES	MEMS刻蚀	深度硅刻蚀

数据来源：Lam Research，西南证券整理

## 全球刻蚀设备龙头——Lam Research

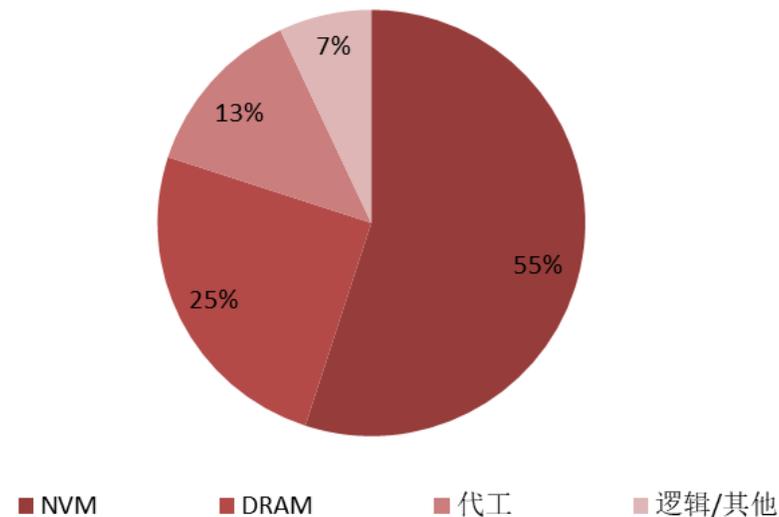
- 拉姆研究2018财年**第四季度出货量为30.28亿美元**，比第三季度31.35亿美元略有下滑，**同比减少3%**，主要系存储芯片出货量下降导致，存储芯片（NVM+DRAM）出货量占比由第三季度84%下降到第四季度80%；
- 存储为主。存储芯片在拉姆研究中的**出货量占比长期在80%以上**，说明在拉姆研究的产品结构中以存储芯片为绝对核心，是其营业收入及利润的主要来源。

拉姆研究2018第三季度出货量占比



数据来源：Lam Research，西南证券整理

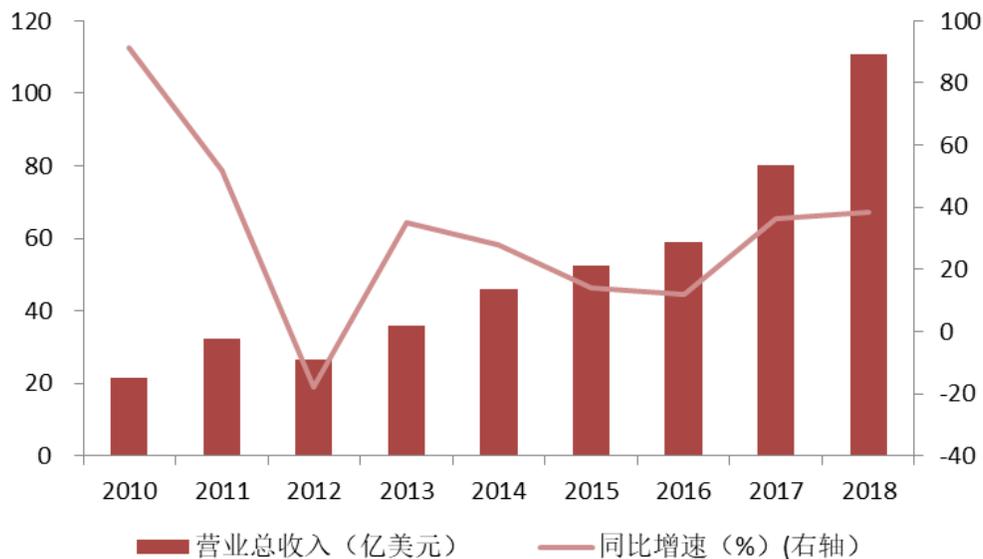
拉姆研究2018第四季度出货量占比



数据来源：Lam Research，西南证券整理

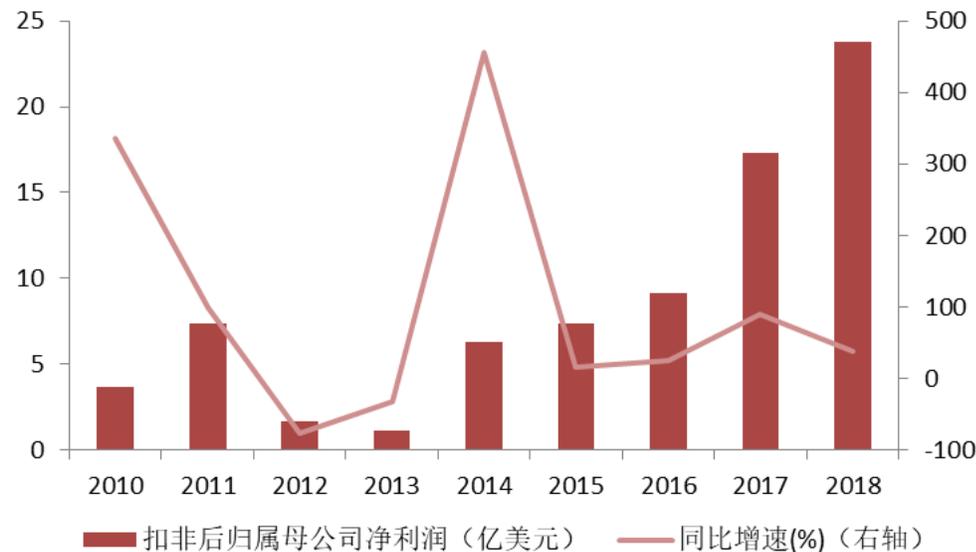
## 全球刻蚀设备龙头——Lam Research

拉姆研究2010年以来营收及增长情况



数据来源：Lam Research，西南证券整理

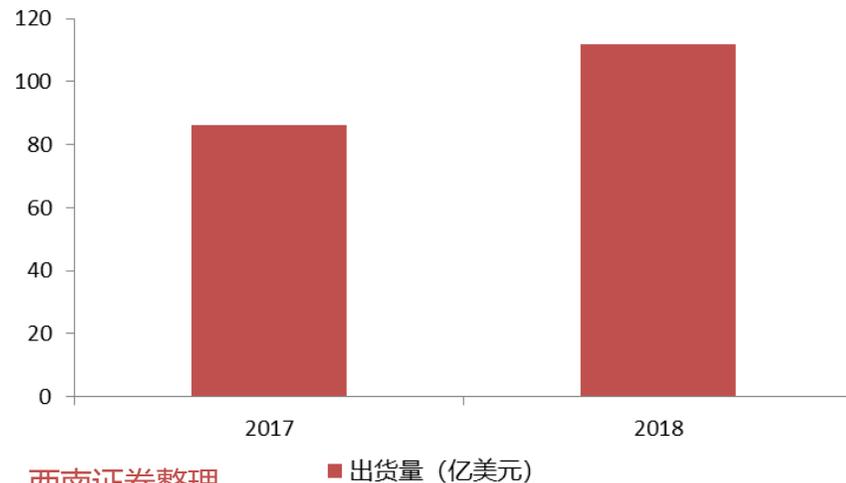
拉姆研究2010年以来净利润及增长情况



数据来源：Lam Research，西南证券整理

- 拉姆研究的**营收及净利润一直保持高度增长**。  
2018年，拉姆研究实现营业收入**110亿美元**，  
同比增长**38.23%**，扣非后归母净利润为**23.80**  
**亿美元**，同比增长**37.26%**；
- 拉姆研究2018年出货量为**112亿美元**，同比增  
长**30.2%**，保持良好增长趋势。

拉姆研究近两年出货量对比



数据来源：Lam Research，西南证券整理

■ 出货量 (亿美元)

## 全球刻蚀设备龙头——Lam Research

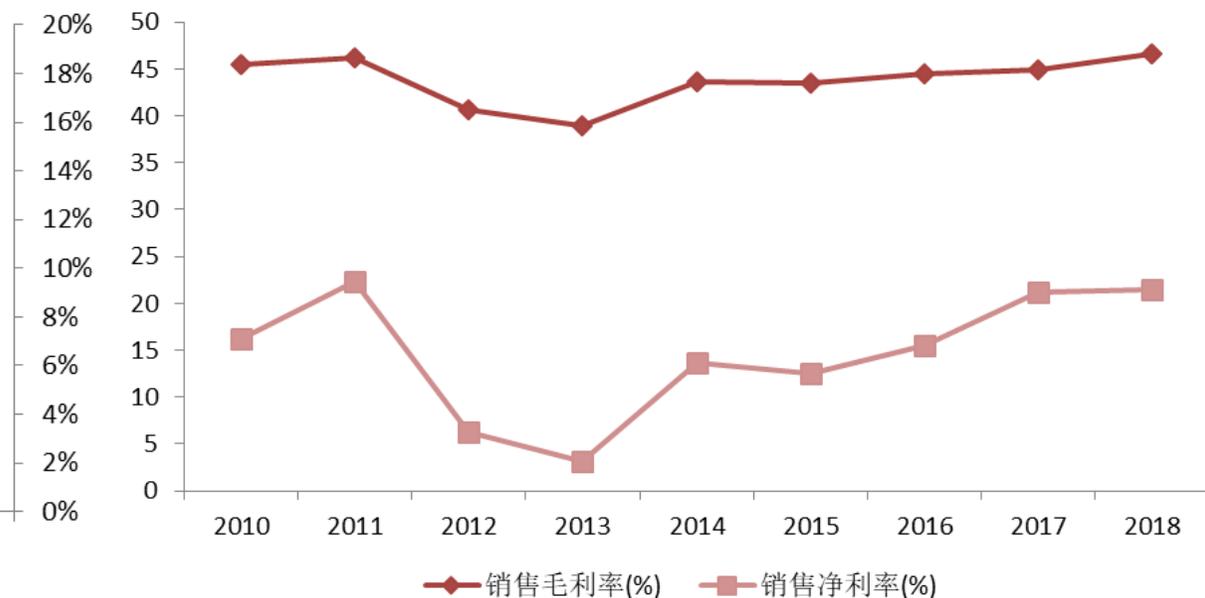
- 拉姆研究极度重视研发，保持核心竞争力。拉姆研究2010年以来研发支出不断增加，从2010年3亿美元，快速增长至2018年12亿美元，其研发支出占比长期维持在10%以上；
- 拉姆研究毛利率保持相对稳定，净利率显著上升。拉姆研究经营结构相对稳定，近十年间毛利率在45%上下浮动，净利率由于早期高额的研发支出相对较低，5年以来不断上升，2018年净利率为21%，保持在较高水平。

拉姆研究2010年以来研发支出及占比



数据来源：Lam Research，西南证券整理

拉姆研究2010年以来毛利率及净利率



数据来源：Lam Research，西南证券整理

## 等离子刻蚀面临的挑战

- 只要蚀刻已经存在，均匀性一直是一个问题。变化的容差通常约为关键特征大小的10%。例如，10nm宽的晶体管栅极结构可能仅能够变化1nm，或仅3-4个原子层。随着特征尺寸的缩小，所有变化源都需要尽可能小。另外，在传统等离子体蚀刻中，宽度不同的结构有可能呈现不同的刻蚀深度。在高深宽比（深和窄）结构中，关键反应性粒子更难到达结构底部，进而导致刻蚀速率更慢。
- 另一个挑战是蚀刻工艺需要去除目标材料而不需要去除下面的材料。例如，如果薄膜叠层中存在不同的层，我们可能想要仅移除顶层（材料1）而不移除或损坏下面的层（材料2）。材料1与材料2的蚀刻速率的比率称为“选择性”，并且许多蚀刻工艺需要非常高的选择性。第三个问题是等离子体中的高能离子会导致在达到所需深度后仍然存在亚表面损伤和表面粗糙度过大的情况。

### 等离子刻蚀面临的挑战

#### 深宽比相关刻蚀



#### 低选择性



#### 表面粗糙



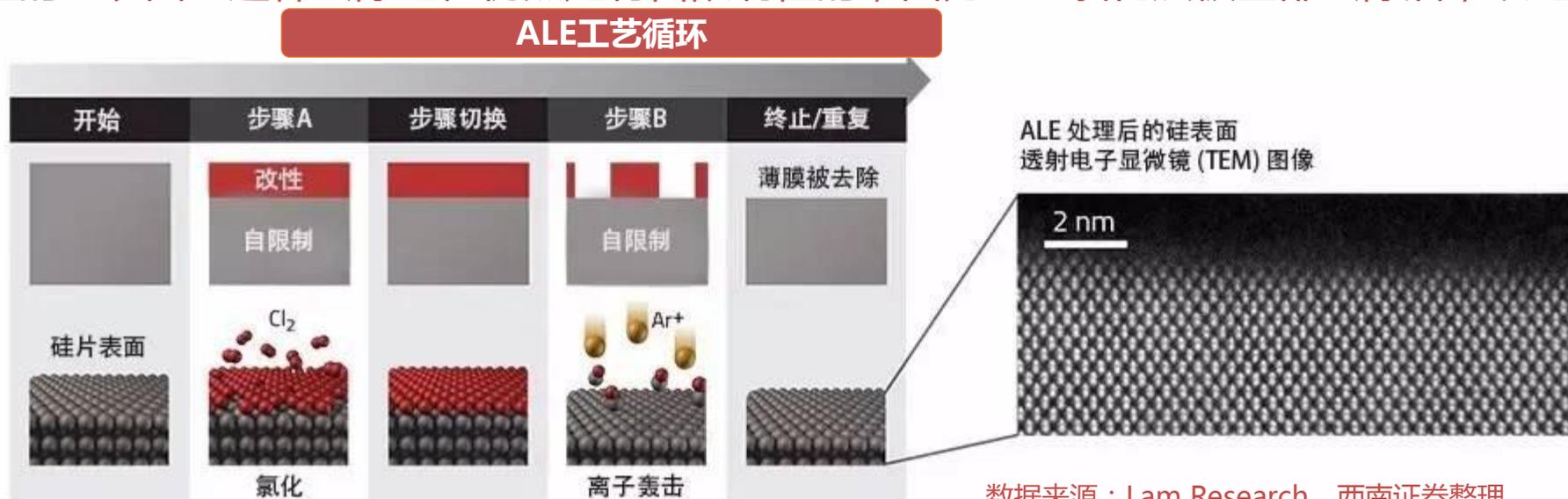
## 10纳米技术节点及以后半导体刻蚀领域新的进展-原子层刻蚀

原子层刻蚀 (ALE) 是一种能够精密控制被去除的材料量的先进技术。实现这一技术的一大关键在于将刻蚀工艺分为两个步骤：改性 (步骤A) 和去除 (步骤B)。第一步对表面层进行改性处理，使其在第二步中能够轻易去除。每次循环只去除薄薄一层材料，可重复循环直至达到期望的深度。

以硅片商的原子层刻蚀为例，主要刻蚀原理为：

1、氯气 ( $\text{Cl}_2$ ) 被导入刻蚀腔，氯气分子吸附于 (或者被吸收入) 硅材料的表面，形成一个氯化层。这一改性步骤具有“自限制性”：表面一旦饱和，反应立即停止。

2、清除刻蚀腔中过量的氯气，并引入氩离子 ( $\text{Ar}^+$ ) 轰击硅片去除硅-氯反应后产生的氯化层，留下下层未经改性的硅表面。这种去除过程仍然是有自限制性的，因为一旦氯化层被全部去除后，该过程也将终止。



数据来源：Lam Research，西南证券整理

## 原子层刻蚀的优越性

- 除了提供具有精确尺寸的物理光滑表面之外，原子层刻蚀（ALE）还能够定向刻蚀（仅在一个方向上）或各向同性刻蚀（在所有方向上）。如果改性或去除步骤中任意一个是定向的，则ALE工艺也将是定向的。在硅实例中，虽然氯化（改性）步骤是各向同性的，但氩离子（去除）步骤是定向的，因此只去除了水平表面上的材料。如果实现各向同性蚀刻，那么改性和去除步骤都必须是各向同性的。
- ALE的另一个优点在于，即使深宽比不同也可以获得等量刻蚀，这最大限度减少乃至消除了深宽比相关刻蚀效应（ARDE）。与传统等离子刻蚀相反，无论结构深宽比如何，ALE每个循环都只去除一层材料，而且改性和去除步骤都只在表面材料全部得到处理后才会停止，这种自限制性能够使被加工的不同结构具有相同的刻蚀深度。

### ALE工艺独特优势

### ALE: 无ARDE

均受自限制性的控制



一次ALE循环

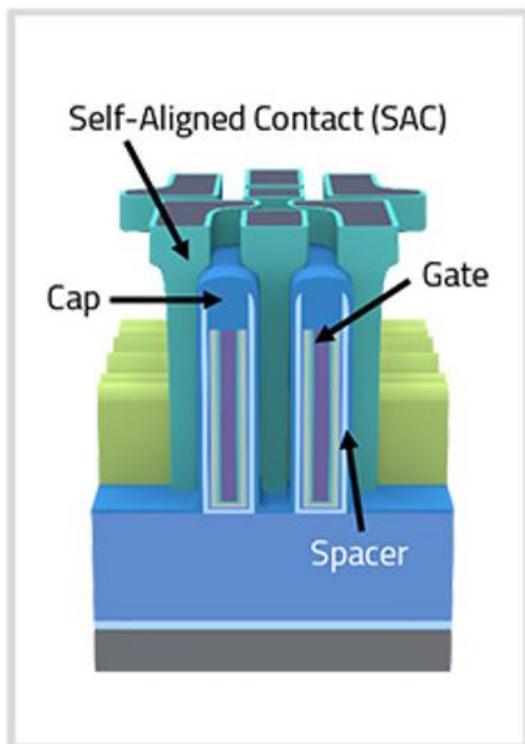
二次ALE循环

数据来源：Lam Research，西南证券整理

传统刻蚀：存在ARDE

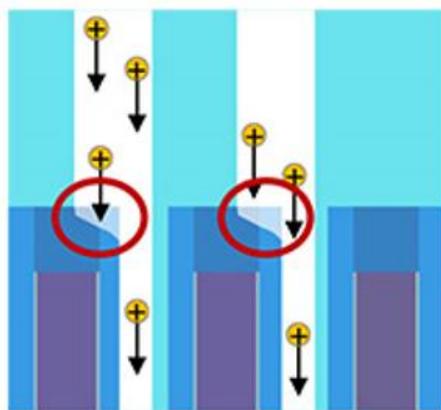
## ALE工艺帮助应对SAC刻蚀中的关键挑战

- 随着晶体管尺寸的不断缩小，封装的愈发紧密，留给接触孔制造和电隔离的空间也愈发有限，这促使了自对准接触孔（SAC）的研发与应用。由于所涉及的器件结构复杂狭小，SAC刻蚀工艺也是一大挑战。实现预想的整体设计结果需要处理好三大关键要素。首先是边角损失，较低的选择比会导致刻蚀过程中不需要被刻蚀的膜层也遭到刻蚀，形成边角损失。其次是夹止现象，我们通常用高聚物来保护间隔层（spacer），但高聚物过多会导致接触孔开口“夹止”或堵塞。最后是轮廓控制，聚合物在接触孔顶端堆积阻止了等离子体到达底部，从而形成不良的锥形轮廓（上宽下窄）。

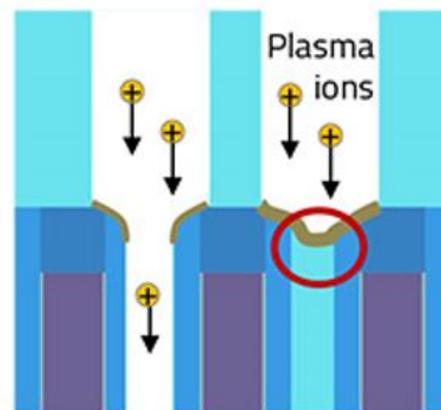


## 自对准接触孔（SAC）刻蚀中的挑战

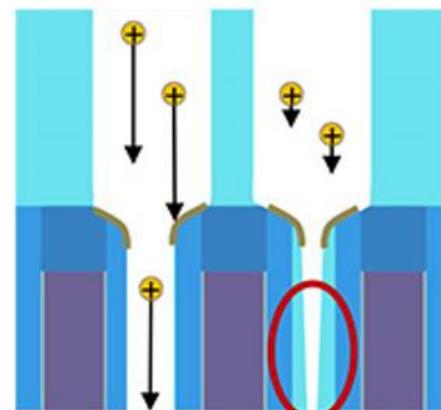
## 边角损失



## 夹止现象

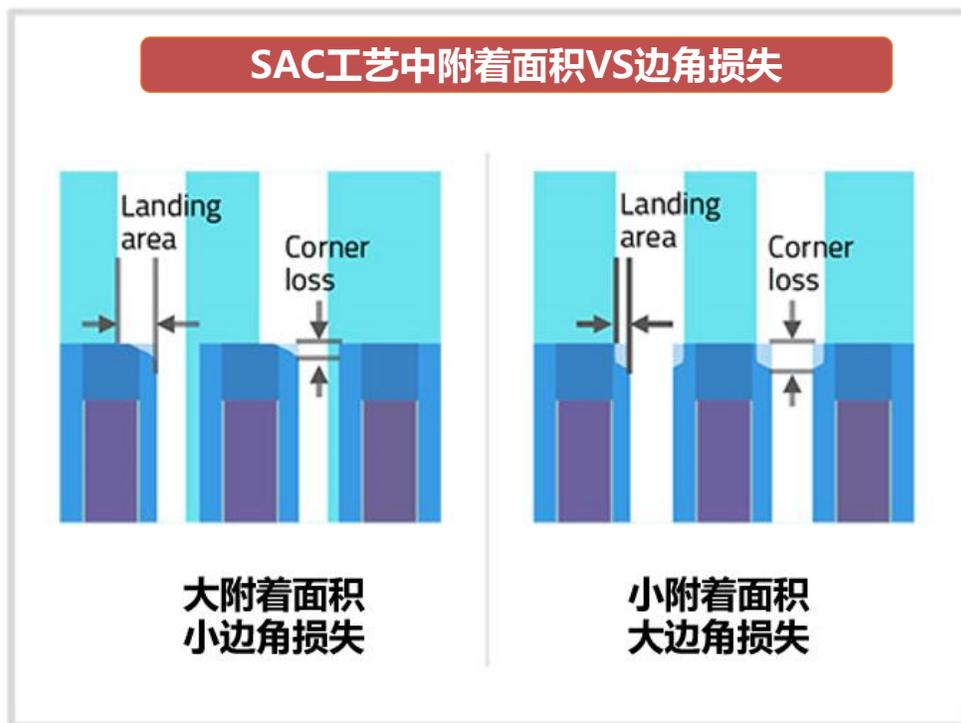


## 轮廓控制

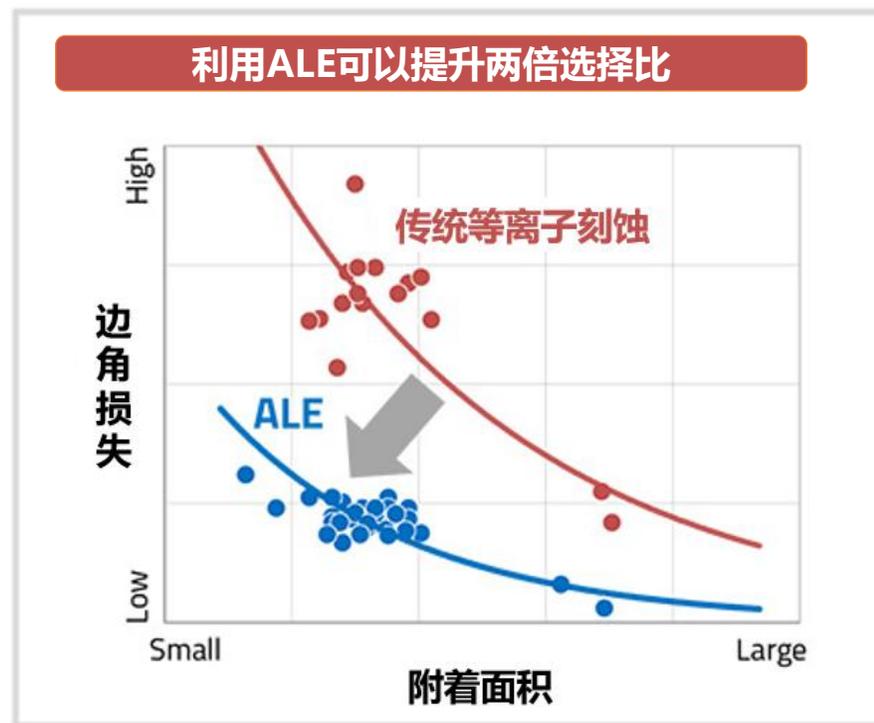


## ALE工艺帮助应对SAC刻蚀中的关键挑战

- Lam Research最新的用于电介质薄膜（如二氧化硅）的ALE工艺能提供精准的工艺控制，帮助应对上述这些工艺挑战。定向刻蚀和提升达两倍的选择比能帮助塑造精确的接触孔轮廓，却又不损伤邻近的间隔层；
- ALE工艺通过不断循环沉积和移除步骤，一次只移除几层原子，从而大幅提高控制精度，帮助应对自对准接触孔工艺以及其他关键电介质刻蚀应用中出现的挑战。



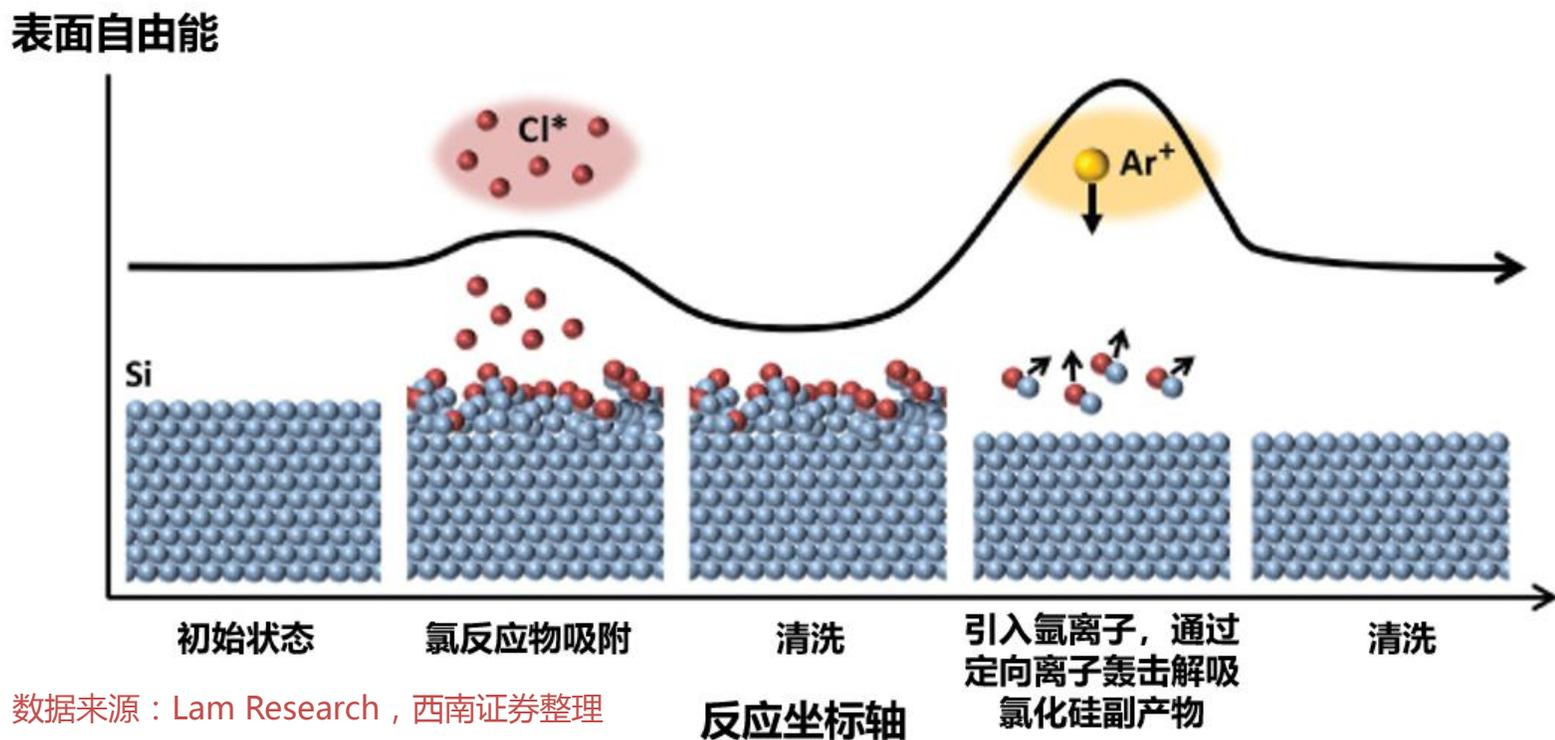
数据来源：Lam Research，西南证券整理



数据来源：Lam Research，西南证券整理

## 原子层刻蚀提速的关键-等离子体轰击

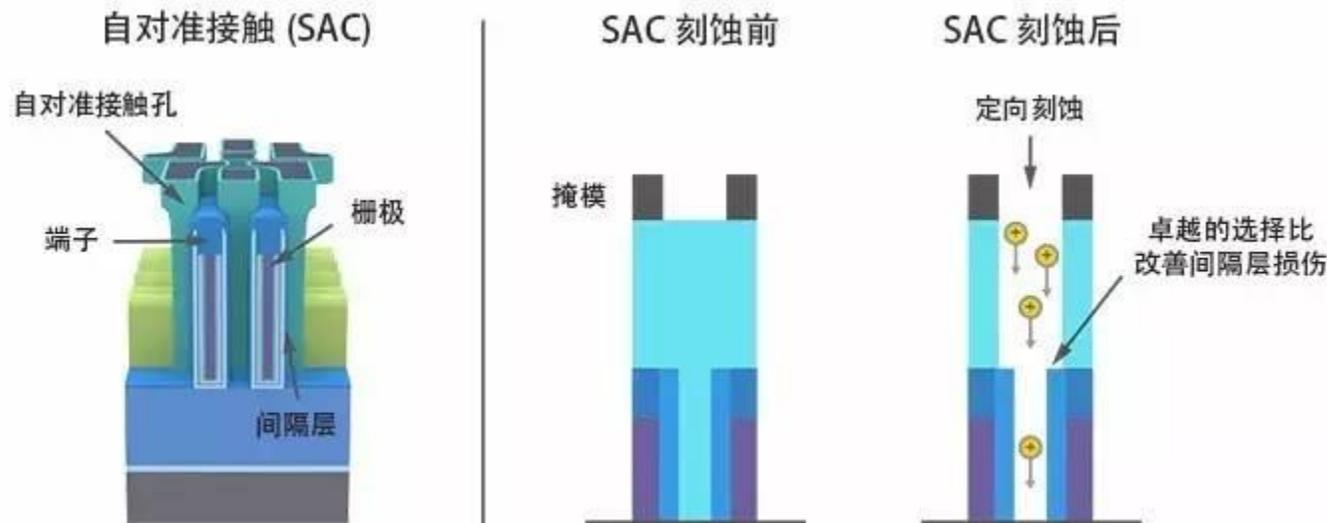
- 原子层刻蚀 (ALE) 落后于其相对应的ALD工艺，它在二十世纪九十年代早期才被首次应用。ALE要获得足以满足大批量制造所需求的生产率水平仍然面临很大挑战。这里给出一个加工工艺时间，以硅刻蚀薄膜的ALE工艺为例，ALE循环时间通常为1-5分钟，对应刻蚀速率约为0.1-0.01nm/min。由于ALE工艺时间较长，难以投入大规模生产。通过等离子体增强技术可以提高ALE刻蚀速率。
- 氯气在硅表面吸附速度是由氯分子解离所需的时间所限定的，采用了等离子体增强ALE方法，氯气会受激成为等离子体，使氯分子即刻发生离解而产生自由原子基团，从而迅速与硅表面悬空键发生反应。



数据来源：Lam Research，西南证券整理

## 原子层刻蚀需求日益增长

- 随着器件尺寸的不断缩小，芯片制造商需要持续提高制造工艺的精度，而可用于导体刻蚀和电介质刻蚀中的ALE工艺为整体工艺精度的提高提供了解决方案；
- 原子层刻蚀在芯片制造领域并没有取代传统等离子刻蚀工艺，而是多被应用于目标材料去除过程需要原子级精密控制的情况下。当今制造环节正在使用ALE来实现自对准接触：定向刻蚀和高选择比使接触轮廓得到高度精准的加工，且避免了对邻近间隔层的损伤；
- 目前ALE的业务介于5000万美元到1亿美元之间。预计到2020财年，包括ALE在内的选择性蚀刻将具有4.5亿美元的市场。



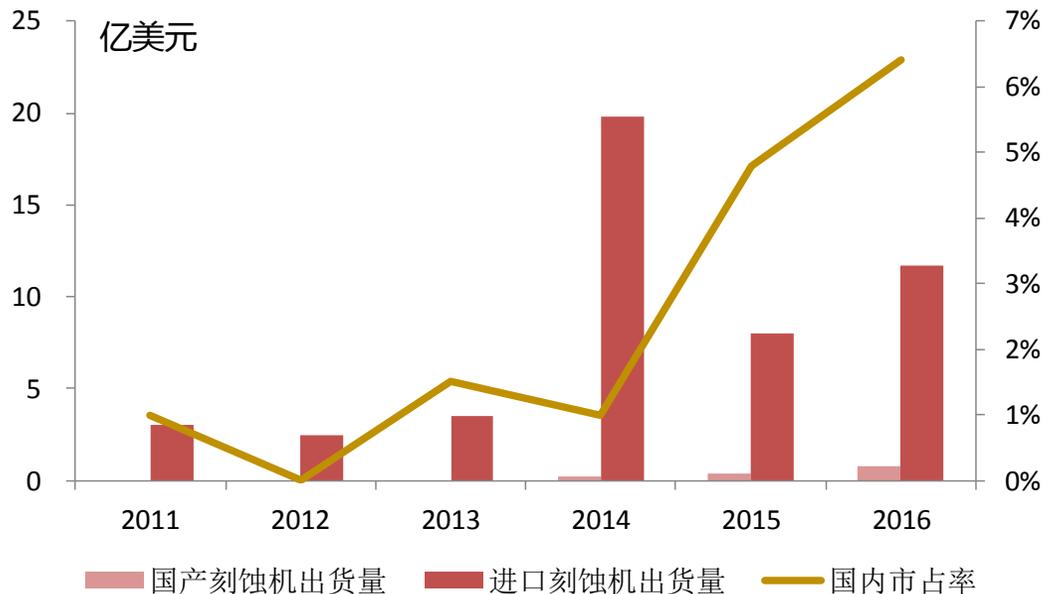
# 刻蚀设备

## 刻蚀机国产化情况

# 国产化进程

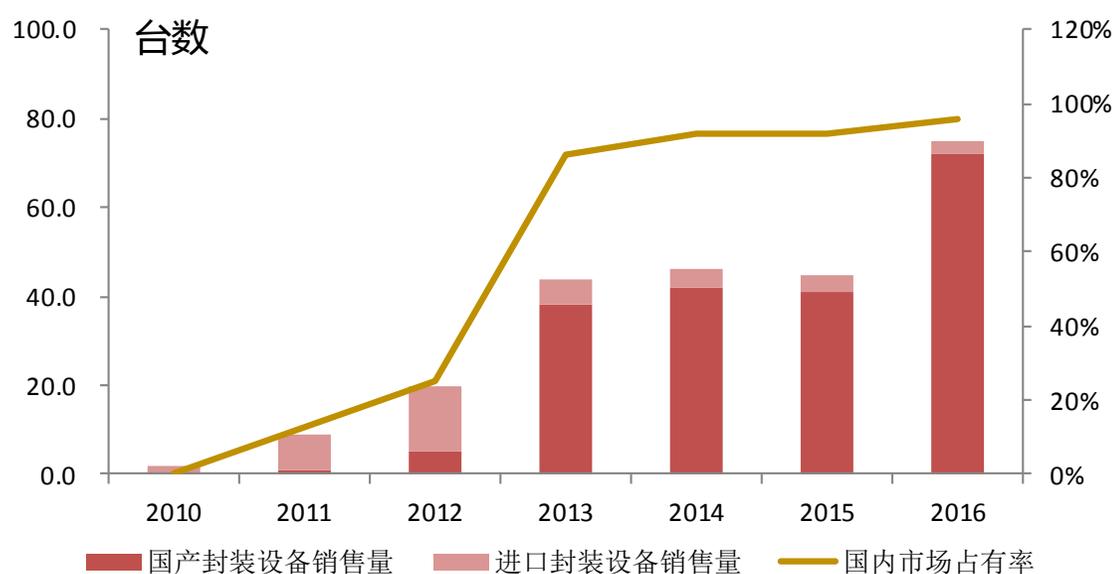
- 863项目的时候，科技部在2001年提出了重点发展三款核心设备，一台是北方华创的**硅刻蚀机**，一台是北京中科信的离子注入机，还有一台是上海微电子的光刻机；
- 虽然国产刻蚀机的市场份额仅6%，但国内企业也正在高端制程上不断发力。中微是唯一打入台积电7纳米制程蚀刻设备的大陆本土设备商，并与台积电联合进行5nm认证。北方华创8英寸高密度等离子硅刻蚀机已进入中芯国际产线，深硅刻蚀设备也挺近了东南亚市场；
- 先进封装制程中的刻蚀机已经基本实现国产化，国产化率已超过90%，产品性能达到国际先进水平。

### 刻蚀机国产化率情况



数据来源：北方华创，西南证券整理

### 国产封测端刻蚀机国产化率已超90%



数据来源：北方华创，西南证券整理

## 中微半导体——介质刻蚀的行业领导者

- 中微半导体设备（上海）有限公司成立于2004年5月31日，此时正值集成电路工艺正从铝互连向铜互连技术转移，金属刻蚀的需求迅速萎缩。公司认定介质刻蚀设备将是未来的主流。于是通过全新的工艺和技术，以自主创新的介质刻蚀设备为突破口，抢占被国际巨头垄断的市场地位。
- 中微半导体专利申请达1157项，已经获得了748项专利，还有409项正在申请。公司目前已经完成了65-45纳米、32-22纳米、22-14纳米三代电介质刻蚀装备产品研制并实现了产业化。

### 中微半导体主要的刻蚀设备产品

#### Primo D-RIE



300毫米甚高频去耦合反应离子刻蚀设备可以用于加工64/45/28纳米氧化硅，氮化硅及低介电系数膜层等不同电介质材料。

#### Primo AD-RIE



流程前端（FEOL）及后端（BEOL）关键刻蚀应用的第二代电介质刻蚀设备，主要用于22纳米及以下的芯片刻蚀加工。

#### Primo TSV



8英寸硅通孔（TSV）刻蚀设备Primo TSV200E™结构紧凑且具有极高的生产率，可应用于8英寸晶圆微电子器件、微机电系统、微电光器件等的封装。中微TSV刻蚀设备的单位投资产出率比市场上其他同类设备提高了30%。

#### Prismo D-BLUE



Prismo D-Blue™的专利架构最多可容纳4个反应器，可同时处理多达216个2英寸晶圆，并可扩展至4,6和8英寸晶圆生产。

## 中微半导体——介质刻蚀的行业领导者

- 中微半导体是国家大基金成立后投资的首个企业，**其推出的芯片介质刻蚀设备已打入全球顶级企业台积电的7nm、10nm量产线，并占据了中芯国际50%以上的新增采购额。**截止2017年底，已经有620多个中微生产的刻蚀反应台运行在海内外39条先进生产线上，高质量地加工了5500多万片12英寸晶圆。**在世界最先进的7纳米生产线上，中微是被验证合格、实现销售的全球五大刻蚀设备供应商之一，介质刻蚀已经占到40纳米到28纳米的国内Foundry市场的40%以上。**
- **中微半导体硅通孔刻蚀设备占有约50%的国内市场，而且已经进入了台湾、新加坡、日本和欧洲市场。**

### 中微半导体刻蚀设备出货量情况

#### 芯片介质刻蚀设备



#### 产品打入国际市场

620多个刻蚀反应台运行在海内外39条先进生产线上，高质量地加工了5500多万片12英寸晶圆

#### 硅通孔刻蚀设备



#### 产品打入国内市场

产品不但占有了约50%的国内市场，而且已经进入了台湾、新加坡、日本和欧洲市场

#### MOCVD设备



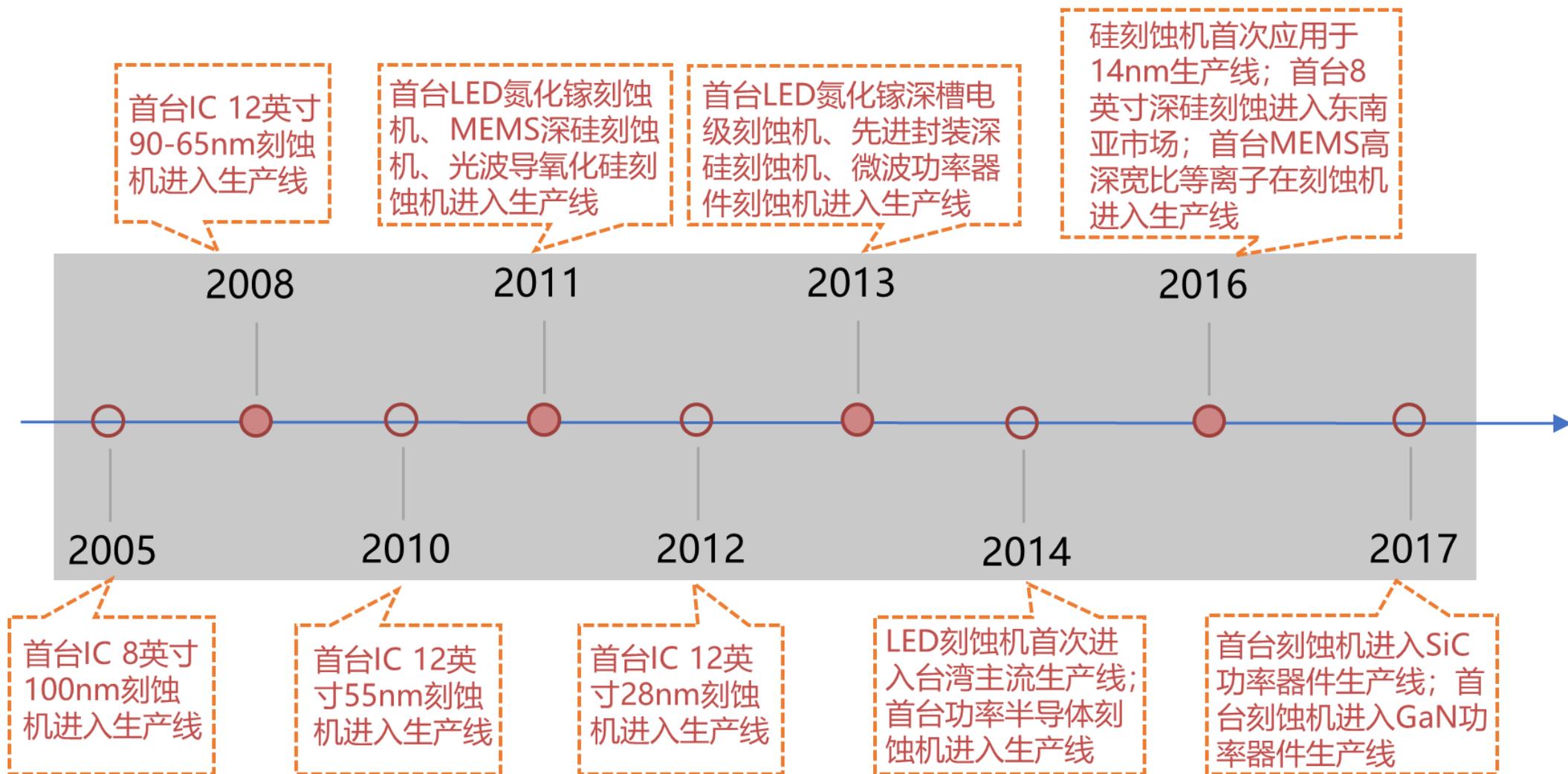
#### 产品进入国内市场

第二代Primo A7设备，已在国内全面取代德国Aixtron和美国Veeco的设备，并且已有100多台设备付运

- 中微第二代Primo A7设备已在国内全面取代德国Aixtron和美国Veeco的设备。同时A7已在中国大陆、台湾、日本、韩国和美国等国家和地区申请专利155项。自2016年第二代MOCVD设备Prismo A7第一次推向市场以来，**已经付运超过100台腔体。**

## 北方华创——硅刻蚀的拓荒者

### 北方华创刻蚀设备发展历程

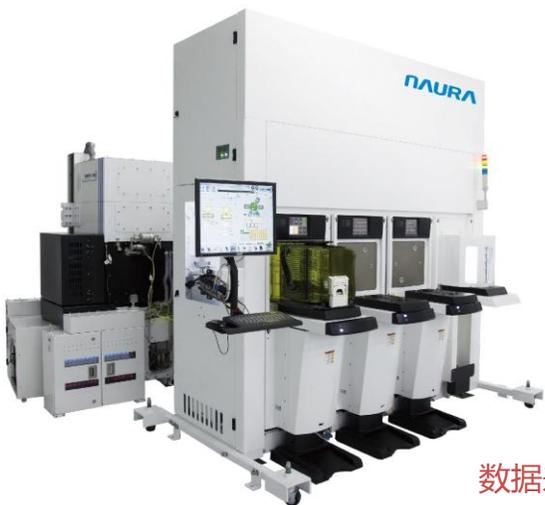


数据来源：北方华创，西南证券整理

## 北方华创——硅刻蚀的拓荒者

- 北方华创NMC 612D 14nm FinFET刻蚀机多项关键指标达到国际先进水平，并于2016年7月Move in上海集成电路研发中心；应用于55nm 的NMC612 系列12 英寸硅刻蚀机被国内领军集成电路芯片制造企业指定为Baseline机台；2017年11月，国内首台8英寸金属刻蚀设备Move in中国最大代工厂生产线。
- 2018年8月，北方华创成功获得了位于苏州的一家知名化合物半导体公司批量采购订单，订单包括了ELEDE® 330SG刻蚀机、SW GDE C200刻蚀机、EPEE550 PECVD在内的数十台设备。
- 在LED领域，ELEDE系列刻蚀机自2010年面市以来销售量已经超过两百余台，其中氮化镓刻蚀机在2014~2016连续三年新增市场占有率达到80%以上，出货量全球第一。

北方华创NMC612D 12英寸硅刻蚀机



数据来源：北方华创，西南证券整理

北方华创NMC508M 8英寸铝金属刻蚀机



数据来源：北方华创，西南证券整理

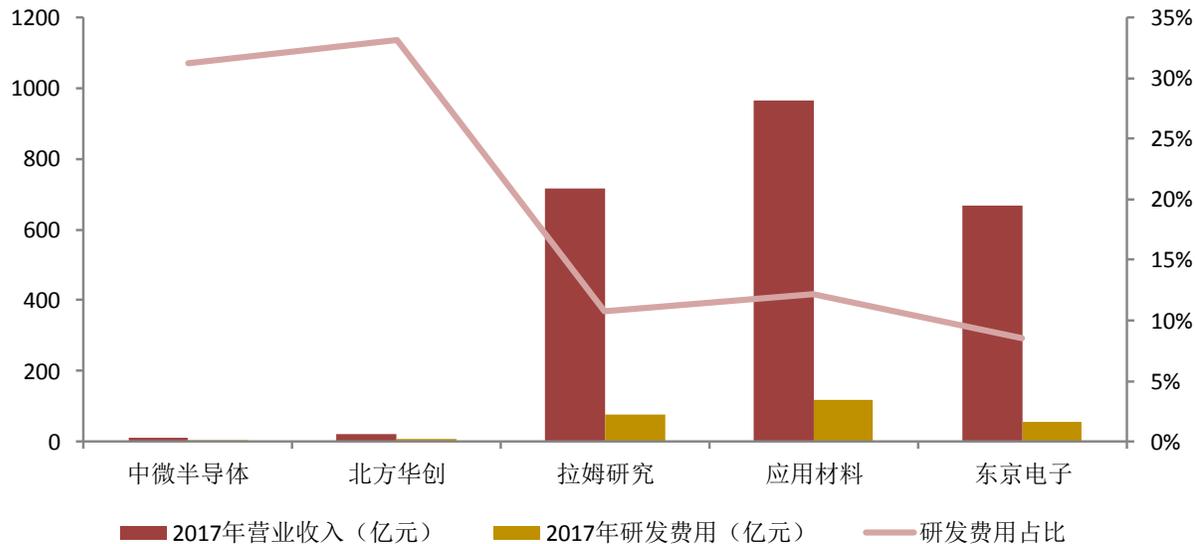
ELEDE® 380G+/G380C刻蚀机



## 国内厂商营收规模和研发投入与国外巨头差距巨大

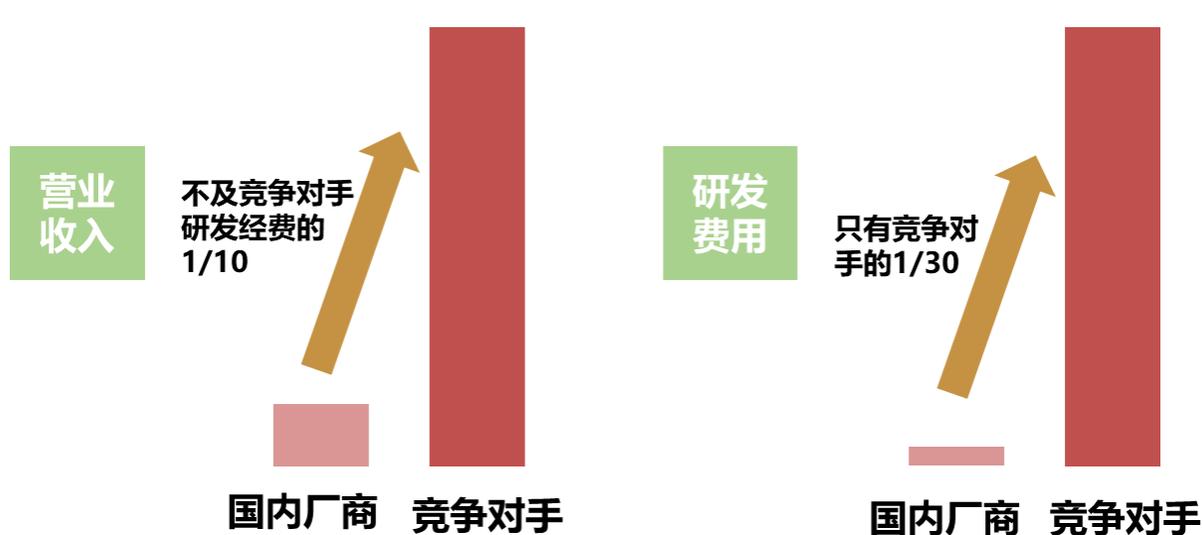
- 2017年中微半导体全年营收仅仅10.95亿元，研发投入3.42亿元，北方华创营收22.23亿元，研发投入7.36亿元。相比之下，应用材料、拉姆研究、东京电子2017年营业收入分别为966.32、717.83、667.88亿元，研发投入分别为117.92、77.09、57.35亿元。平均而言，中微半导体等国内设备商营收还不足竞争对手研发经费的十分之一，研发投入只有竞争的三十分之一，因此无论从市场竞争力还是技术储备上来说，国内设备商与国外巨头还有相当大的差距。

### 国内刻蚀设备商于国外刻蚀巨头营收与研发情况



数据来源：各公司官网，西南证券整理

### 国内刻蚀设备商于国外刻蚀巨头营收与研发对比



数据来源：各公司官网，西南证券整理

目录

一、全球半导体设备市场规模及竞争格局

二、全球半导体设备详细拆分及国产化率分析



光刻机市场及国产化率情况



刻蚀机市场及国产化率情况



镀膜设备市场及国产化率情况



量测设备市场及国产化率情况



清洗设备市场及国产化率情况



离子注入设备市场及国产化率情况



其他设备市场及国产化率情况

三、半导体设备核心标的推荐逻辑

## 集成电路中不同薄膜的作用

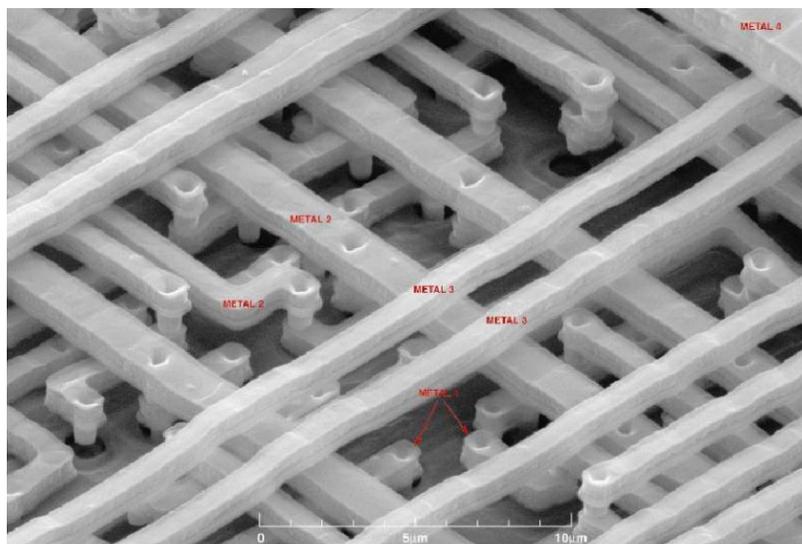
### IC中的薄膜类型：

- 介电质薄膜 (  $\text{SiO}_2$ 、 $\text{SiN}$  )：用来隔离导电层、作为扩散及离子注入的掩蔽膜，或是防止掺杂物的流失，或用来覆盖器件免受杂质、水汽或刮伤的损害。
- 多晶硅：MOS器件的栅淀积材料，多层金属导通材料或接触材料。
- 金属薄膜 ( 铝、铜或金属硅化物 )：形成低电阻值金属连线。

### 薄膜性能要求：

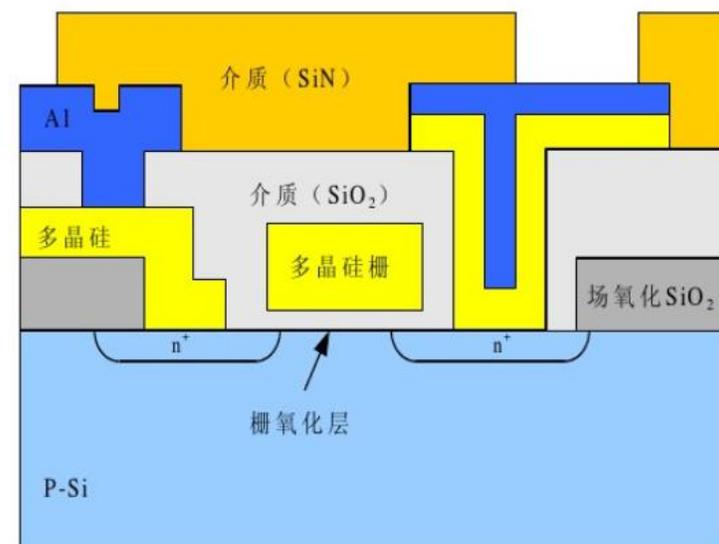
- 厚度均匀
- 高纯度以及高密度
- 可控制组分及组分的比例
- 薄膜结构的高度完整性
- 良好的电学特性及附着性
- 台阶覆盖性好
- 低缺陷密度

集成电路中的金属薄膜



数据来源：百度文库，西南证券整理

MOSFET剖面图

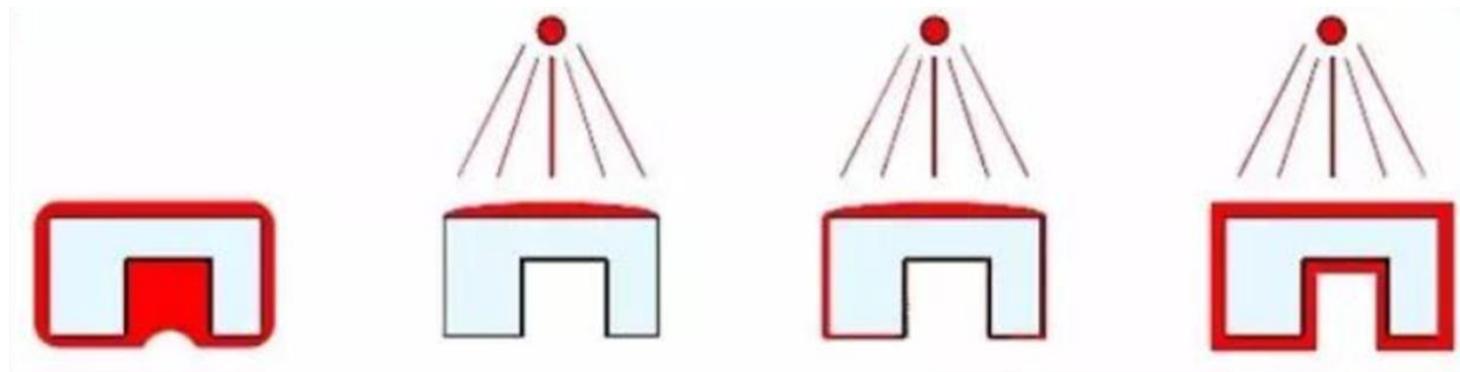


数据来源：百度文库，西南证券整理

### 三种镀膜工艺的比较

- 在晶圆加工过程中，镀膜工艺是十分重要的一个工艺，主要用于在晶圆表面镀上各类金属、氧化物、氮化物等各类不同的薄膜用于形成局部晶体管结构。
- 按照原理上的不同，镀膜工艺可以分为PVD（物理气相沉积）、CVD（化学气相沉积）和ALD（原子层沉积）。物理气相沉积是指利用物理过程实现物质转移，将原子或分子由源转移到基材表面上的过程；化学气相沉积是指高温下的化学气相反应在基材表面析出金属、氧化物、碳化物等无机材料的方法；原子层沉积是一种可以将物质以单原子膜形式一层一层的镀在基底表面的方法。

三种镀膜工艺台阶覆盖性比较



液相沉积法

PVD

CVD

ALD

## 三种镀膜工艺的比较

- 在从镀膜速率上看，PVD和CVD均有较高的成膜速率，每分钟都能达到几微米的量级，而ALD由于是一层原子一层原子地方式去镀，因此成膜速率远低于PVD和CVD，大约每分钟几纳米。
- PVD生长机理简单，沉积速率高，但是不适于在三维复杂结构衬底表面进行沉积制膜。CVD薄膜成分控制性、均匀性、重复性、台阶覆盖性好，但是需对前驱体扩散以及反应室温度均匀性严格控制，难以满足薄膜均匀性和薄厚精确控制的要求。ALD所制备薄膜具有优异的三维共形性、大面积的均匀性等特点，适应于复杂高深宽比衬底表面沉积制膜，同时还能保证精确的亚单层膜厚控制。

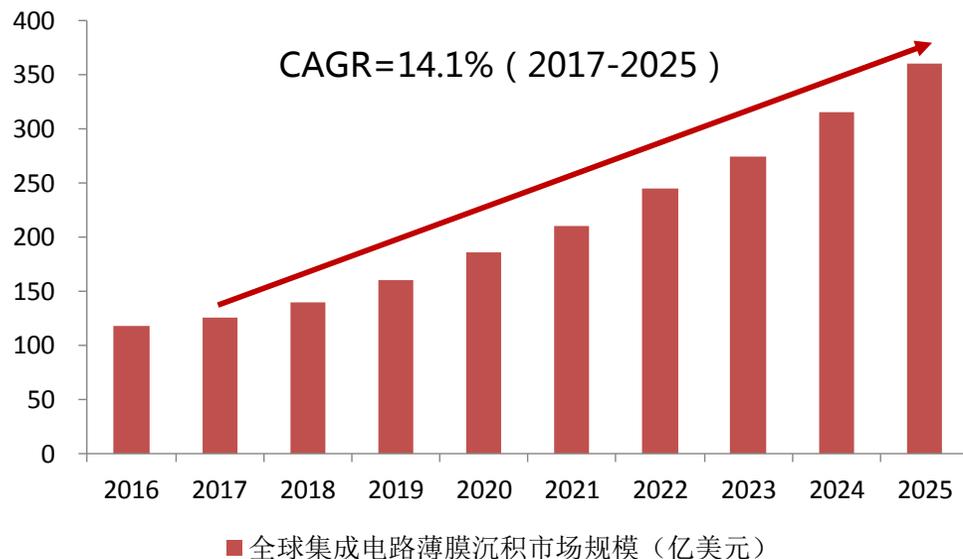
镀膜工艺	PVD	物理气相沉积	成长速率高	生长机理简单、淀积速率较高、薄膜纯度高，厚度控制精确	单一金属膜(铝、钛、锆、铬等)、氮化物膜(TiN、ZrN等)、碳化物膜(TiC、TiCN)和氧化物膜(如TiO等)
	CVD	气相化学反应	成长速率高	薄膜成分和厚度易于控制、均匀性和重复性好、台阶覆盖优良、适用范围广、设备简单等	SiO <sub>2</sub> 、多晶硅、非晶硅、氮化硅、金属(钨、钼)
	ALD	表面饱和式反应	生长速率慢	沉积参数的高度可控型(厚度, 成份和结构), 优异的沉积均匀性和一致性	氧化物, 氮化物, 氟化物, 金属, 碳化物, 复合结构, 硫化物, 纳米薄层等。

数据来源：百度文库，西南证券整理

## 全球镀膜工艺市场规模及细分市场

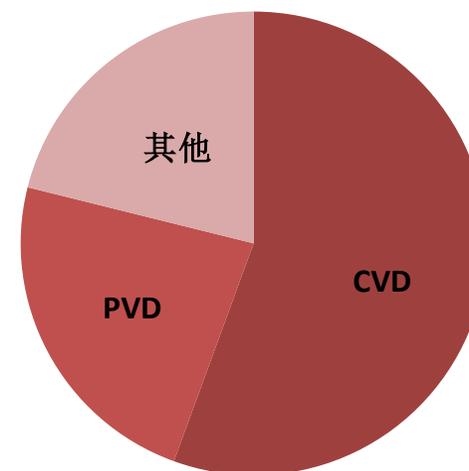
- 全球半导体薄膜沉积市场预计到2025年将达到360亿美元；从2017年到2025年将以复合年增长率14.1%的速度增加。由于高效能DRAM、AMOLED显示屏以及安装太阳能电站等新兴应用需求的增加是驱动半导体薄膜沉积市场增长的核心驱动力；
- 从半导体镀膜细分市场上看，CVD占比最大，市占率达到55%，PVD市占率约24%，其次是ALD等其他镀膜设备。

2016-2025全球半导体薄膜沉积市场规模(亿美元)



数据来源：Variant Market Research，西南证券整理

全球半导体薄膜沉积市场拆分

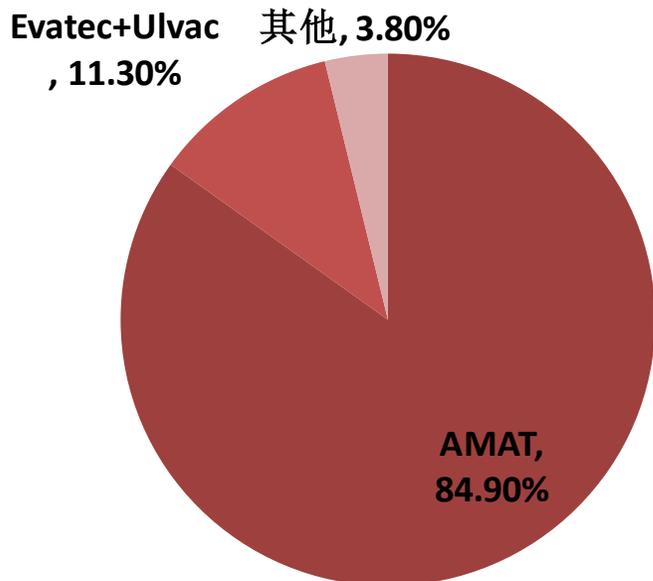


数据来源：Variant Market Research，西南证券整理

## 全球镀膜设备巨头 — 应用材料

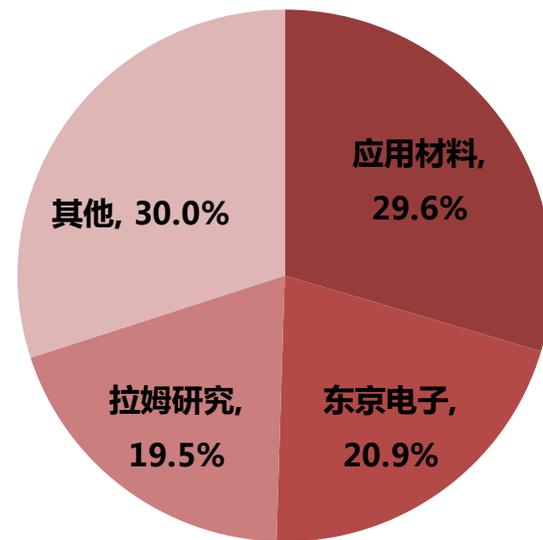
- 应用材料是全球第一大半导体设备制造商，全球范围来看，应用材料（AMAT）在CVD和PVD设备领域都保持领先地位，自1992年以来，应用材料就是全球最大的半导体设备供应商；
- 在PVD设备市场，AMAT全球占比近85%，算上 Evatec 和 Ulvac，前三大全球占比 96.2%。在CVD市场，AMAT全球占比近30%，连同 TEL（20.9%）和 LAM（19.5%），合计全球市场占有率占比达 70%。

### 2016全球PVD市场竞争格局



数据来源：中国报告网，西南证券整理

### 2016年全球CVD市场竞争格局

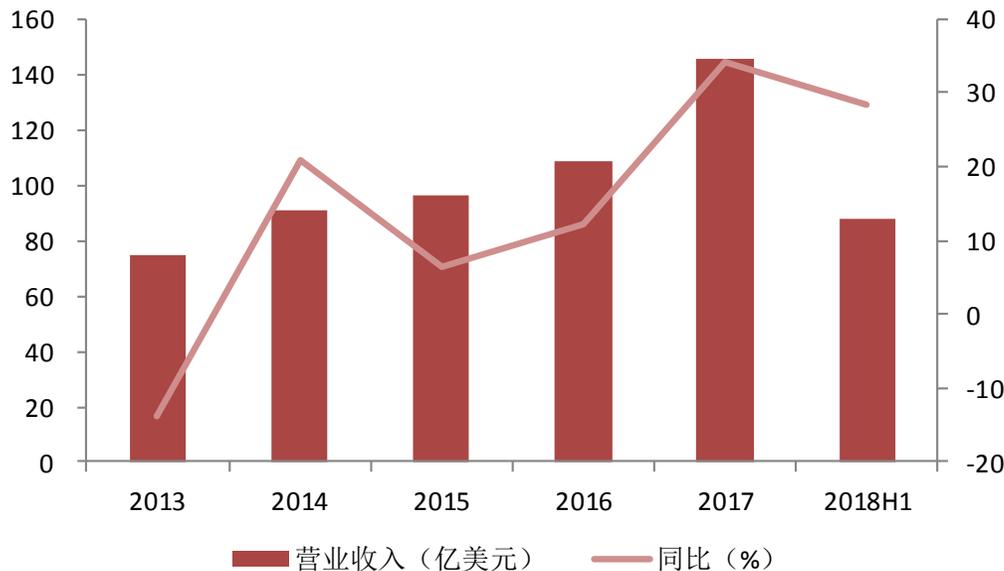


数据来源：中国报告网，西南证券整理

## 全球镀膜设备巨头 — 应用材料

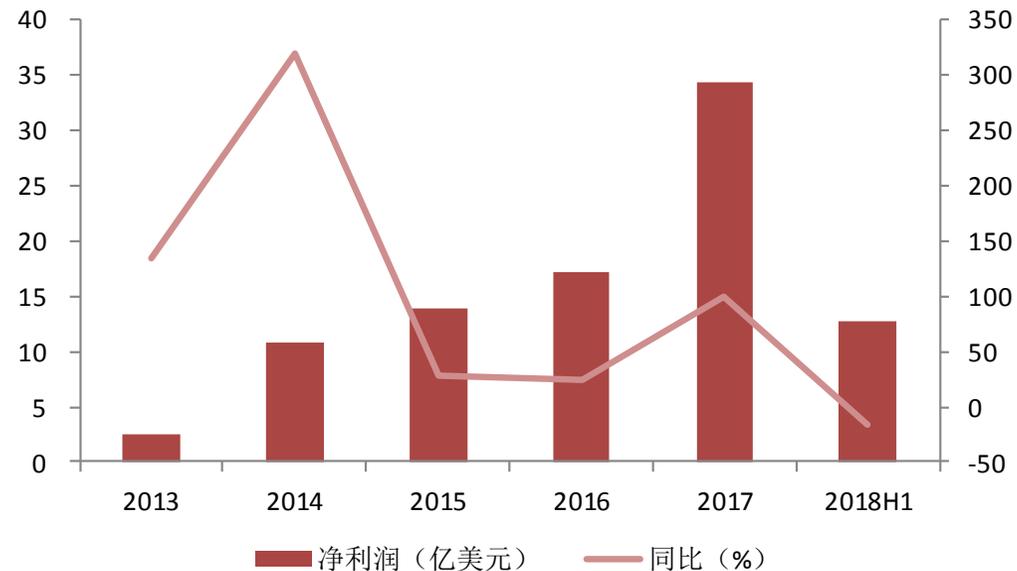
- 应用材料2018年上半年营收87.71亿美元，同比增长28.53%。预计2018全年营收将达到170亿美元。2013-2018年，应用材料营业收入始终保持稳中有升，这与全球半导体行业的发展是分不开的；
- 利润方面，2018年上半年，应用材料净利润为12.64亿美元，同比下降17.22%。

### 2013-2018年应用材料营收情况



数据来源：应用材料，西南证券整理

### 2013-2018应用材料净利润情况

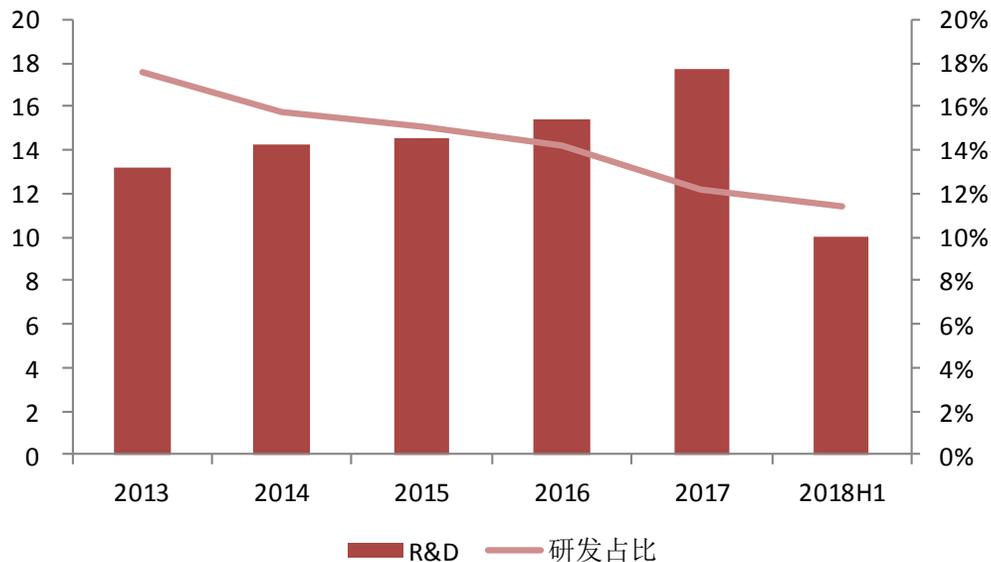


数据来源：应用材料，西南证券整理

## 全球镀膜设备巨头 — 应用材料

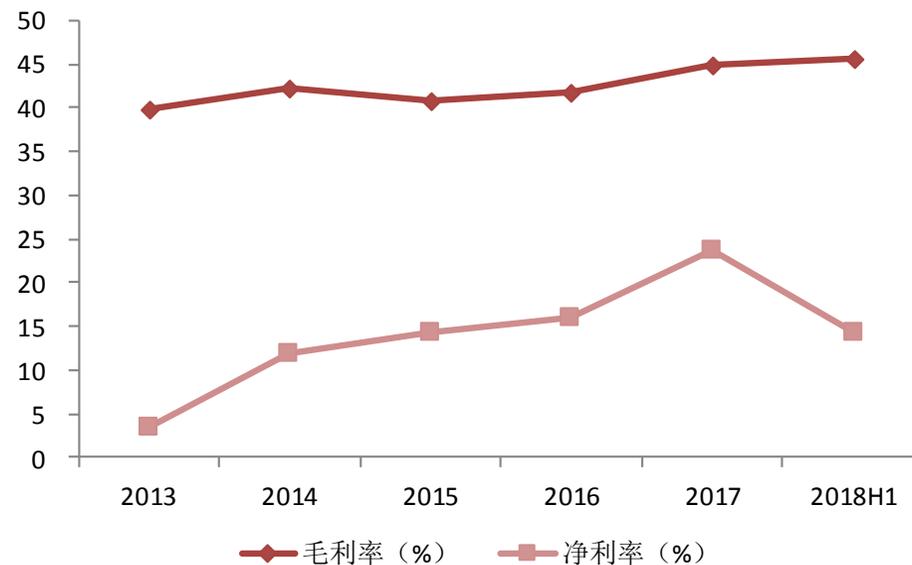
- 作为全球最大的半导体设备制造商，应用材料非常注重研发。每年的研发占比均保持在10%以上。2018年上半年研发费用近10亿美元；
- 应用材料的毛利率也维持在较高水平，2013-2018年毛利率水平均保持在40%以上。净利率方面，2013—2018年保持稳中有升。

### 2013-2018年应用材料研发情况（亿美元）



数据来源：应用材料，西南证券整理

### 2013-2018年年应用材料毛利率、净利率情况



数据来源：应用材料，西南证券整理

## PVD工艺细分

- PVD技术主要分为三类，**真空蒸发镀膜、真空溅射镀膜和真空离子镀膜**。磁控溅射技术是利用带电荷的粒子在电场中加速后具有一定动能的特点，将离子引向被溅射的物质制成的靶电极（阴极），并将靶材原子溅射出来使其沿着一定的方向运动到衬底并最终在衬底上沉积成膜的方法。**磁控溅射设备使得镀膜厚度及均匀性可控，且制备的薄膜致密性好、粘结力强及纯净度高。**

PVD工艺主要分类

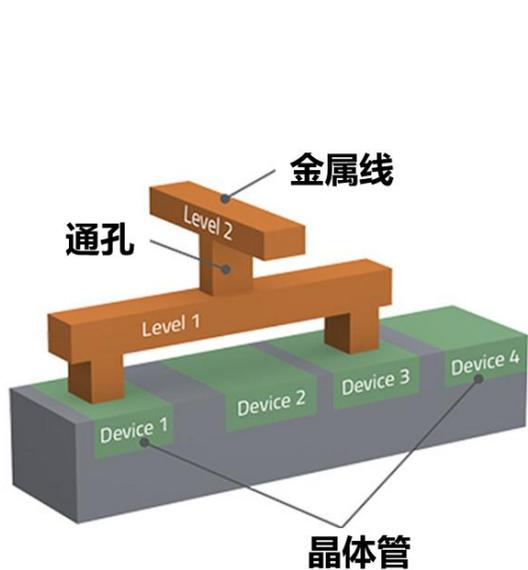
		真空蒸发镀膜	真空溅射镀膜	真空离子镀膜
压强 ( ×133Pa )		10E-5~10E-6	0.15~0.02	0.02~0.005
粒子能量	中性	0.1~1eV	1~10eV	0.1~1eV
	离子	-	-	数百到数千
沉淀速率 ( 微米/分 )		0.1~70	0.01~0.5	0.1~50
绕射性		差	较好	好
附着能力		不太好	较好	很好
薄膜致密性		密度低	密度高	密度高
薄膜中的气孔		低温时较多	少	少
内应力		拉应力	压应力	压应力

数据来源：半导体行业联盟，西南证券整理

## 集成电路互连技术的发展

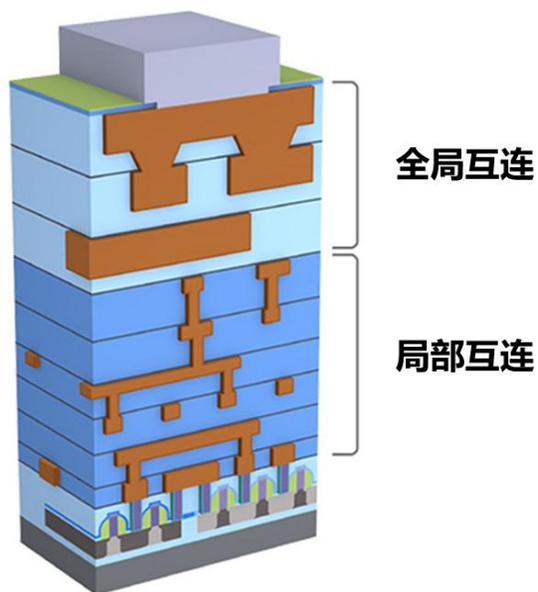
- ❑ 集成电路互连技术就是将同一芯片内各个独立的元器件通过一定的方式，连接成具有一定功能的电路模块的技术。集成电路对互连金属材料的要求有：1.具有较小的电阻率，2.易于沉积和刻蚀，3.具有良好的抗电子迁移特性；
- ❑ 局部互连通常很薄且长度很短，全局互连在电路的不同块之间进行电流传输，因此全局互连线路通常很厚很长并且被广泛分开。互连级别之间的连接（称为通孔）允许信号和功率从一层传输到下一层。

IC中晶体管间金属互连示意图

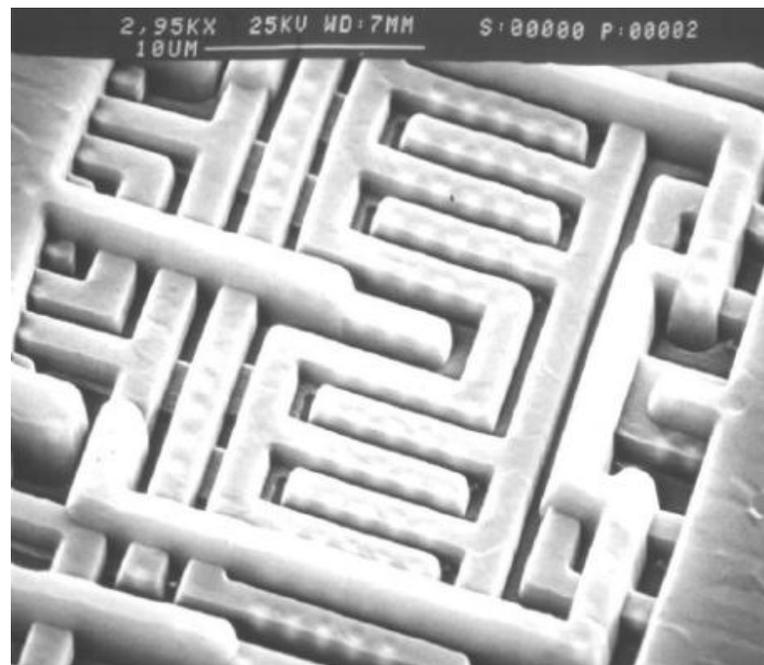


数据来源：Lam Research，西南证券整理

真实集成电路中金属互连



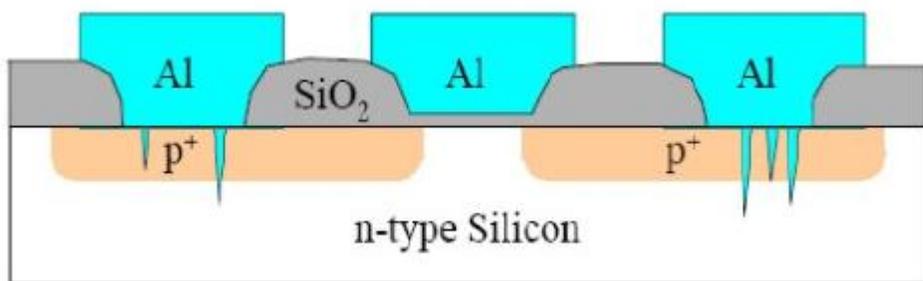
数据来源：百度文库，西南证券整理



## 铝互连技术的优缺点

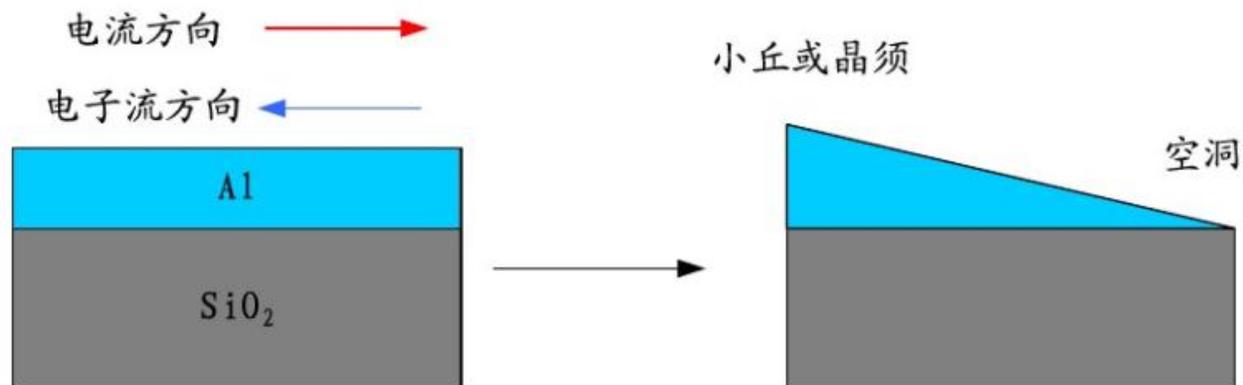
- 几十年来，铝互连一直是行业标准，主要因为铝在室温下的电阻率很低，与硅和磷硅玻璃的附着性好，易于沉积与刻蚀。
- 铝作为互连技术材料的两大缺点：
  1. Al/Si接触的尖楔现象（硅向铝中扩散，铝向硅中扩散，形成尖楔，可能会导致pn结失效）
  2. 在较大电流密度下的电迁移现象（本质是导体原子与通过该导体电子流之间存在相互作用）
- 电迁移现象的物理机理：大电流密度通过导体时，导体原子受到导电电子的碰撞，从而导致导体原子沿电子流的方向迁移，结果在一个方向上形成孔洞，而在另一个方向由于铝原子的堆积形成小丘，从而会造成断路和短路失效现象。

Al/Si接触的尖楔现象



数据来源：百度文库，西南证券整理

铝互连在较大电流密度下的电迁移现象

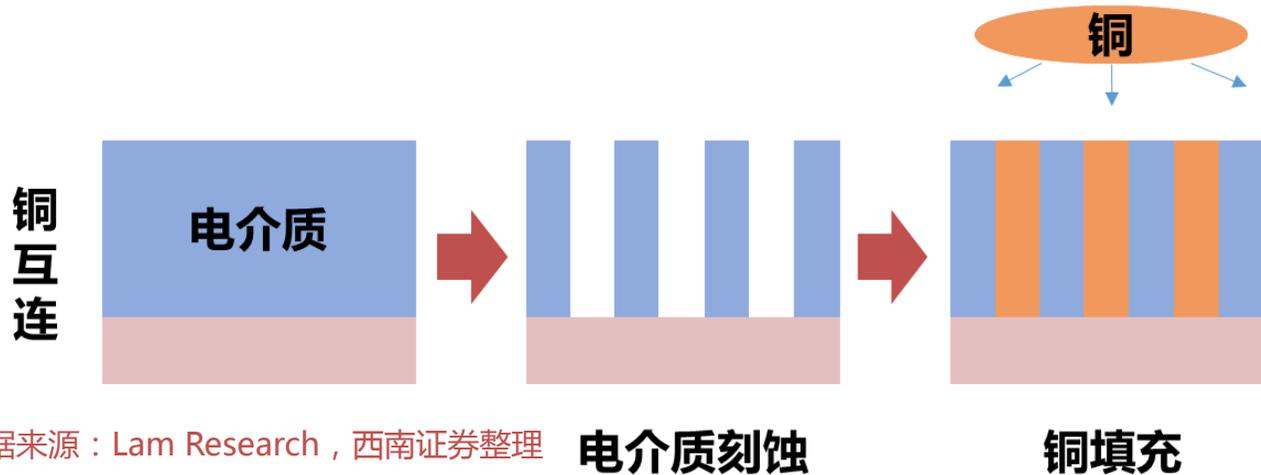


数据来源：百度文库，西南证券整理

## 铜互连技术的发展

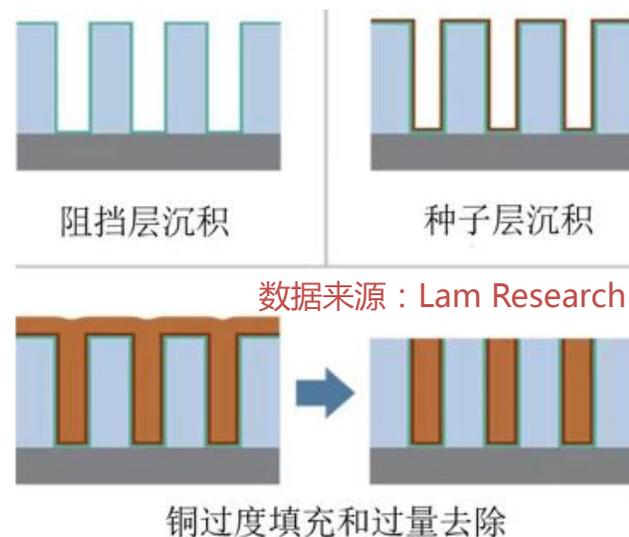
- 20世纪80年代后期，随着器件特征尺寸继续缩小，越来越薄的铝线无法实现所需的速度和电性能。铜具有更低的电阻率，且可实现更快的器件速度。此外，铜不容易发生电迁移，可靠性跟高。由于铜不容易形成挥发性化合物，因此，通过干法刻蚀并不能轻松地将其从晶片表面除去。
- 工程师借鉴大马士革的珠宝行业，先在基底金属上刻蚀图案，再将贵金属嵌入图案之中。该工艺绕过刻蚀铜的难题，先沉积和刻蚀电介质材料，形成由沟槽和孔洞组成的图案。然后将金属填充到图案中。
- 由于铜原子可扩散到电介质中，降低电介质所需的绝缘属性，所以任何铜互连解决方案都需要一个阻挡层来保护电介质。阻挡层上方需要沉积一层薄薄的导电种子层，以便为电镀工艺做好准备。

### 铜互连工艺



数据来源：Lam Research，西南证券整理

### 其他铜互连挑战

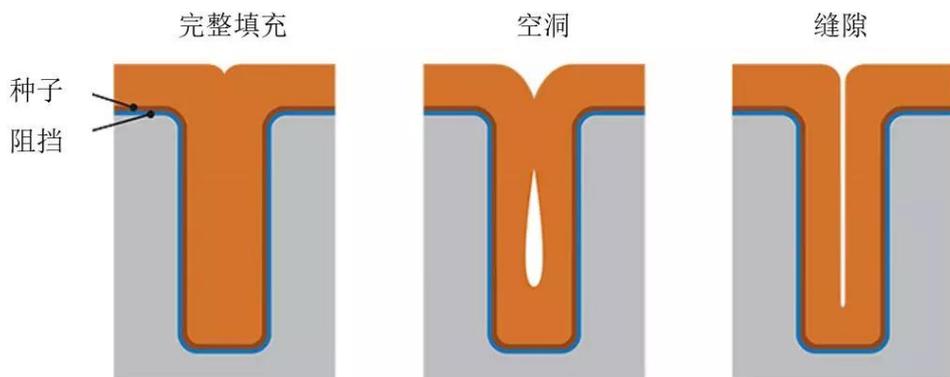


数据来源：Lam Research，西南证券整理

## 铜互连电镀工艺

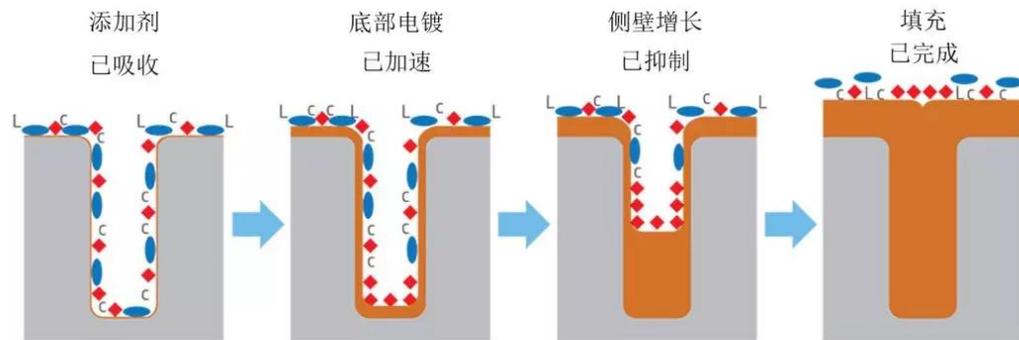
- 在芯片制造的过程中，需要沉积电介质材料层和金属材料层。目前，**电镀技术经常被用来创建铜互连和导通孔**，相比于物理气相沉积等沉积方法，使用电镀技术沉积的铜具有较低的电阻率和更好的填充特性。
- 在创建互连结构时，为了防止层间的电介质层中出现铜污染，工艺过程的**第一步就是沉积扩散阻挡层 (Ta/TaN)**。由于铜电镀过程通常不会在电阻较高的扩散阻挡层上成核，所以可以通过**使用物理气相沉积法在阻挡层上沉积出非常薄的铜种子层**，然后采用铜电镀来形成所需厚度的铜膜。此外，完全填充又深又窄的互连沟槽十分困难。如果形成空洞或缝隙，会降低芯片的电性能和可靠性并影响产品良率。
- 无空洞填充可以通过铜在沟槽中自下而上的沉积实现。在“超填充”过程中，需要将一些化学剂添加到电镀液中，其中，加速剂可以加速铜在沟槽底部的沉积，而抑制剂则可抑制铜在表面和侧壁上形成电镀层。第三种称为整平剂的添加剂可以尽量减少填充后形成过高的铜凸块。

铜电镀工艺常见缺陷



数据来源：Lam Research，西南证券整理

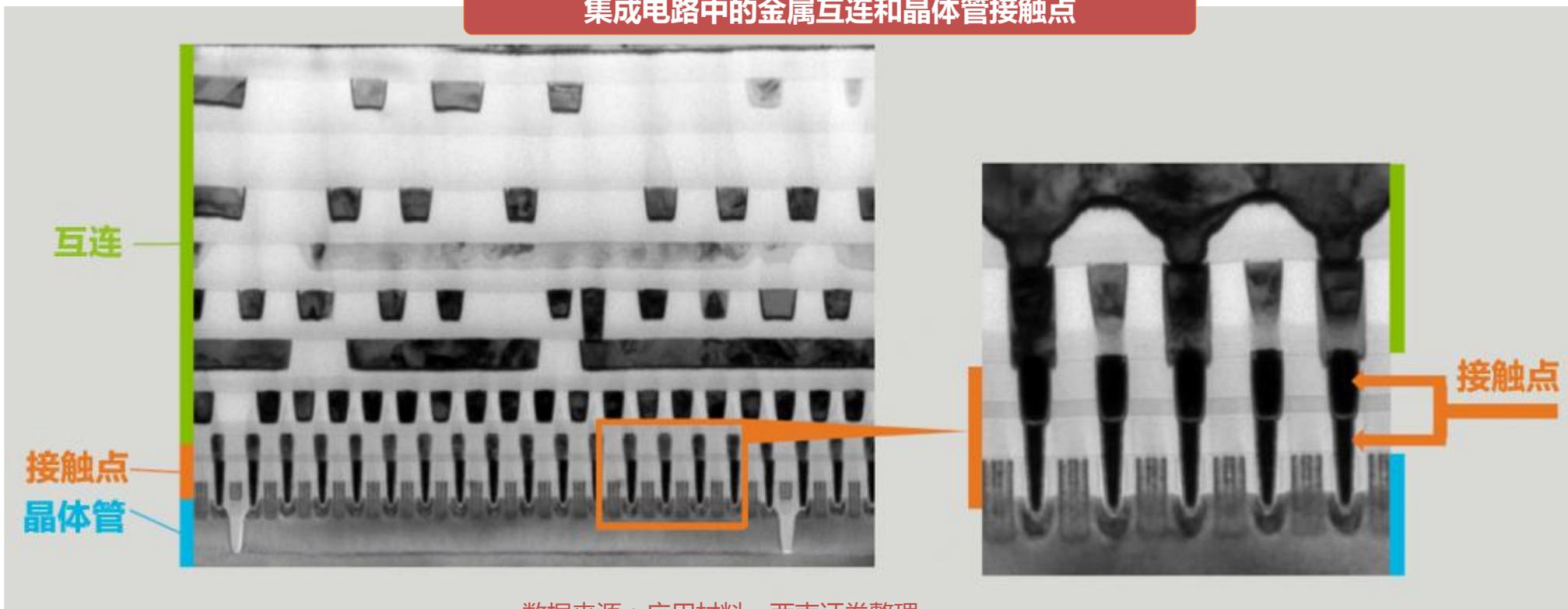
铜电镀自上而下工艺



◆ = 加速剂    ● = 抑制剂    c = 氯离子    L = 整平剂  
数据来源：Lam Research，西南证券整理

- 位于晶体管顶部的互连由微小的铜布线组成，这些布线将电信号从一个晶体管传输到另一个晶体管。通常情况下，芯片可能具有10到15个级别的铜互连，这些互连使用通孔连接；
- 在逻辑器件中，晶体管接触点和局部互连形成晶体管和电路其余部分之间的关键电通路。因此，低电阻率对于稳健可靠的器件性能至关重要。25年以来，低电阻率导电材料钨（W）被用于逻辑接触和局部互连填充。

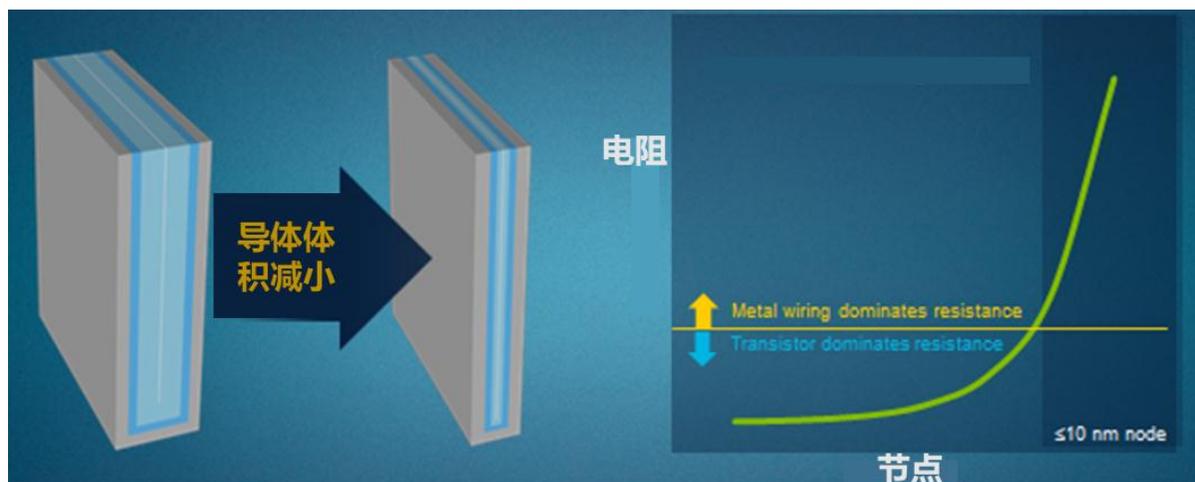
集成电路中的金属互连和晶体管接触点



## 随着摩尔定律的推进，接触孔填充材料将从钨逐渐演变成钴

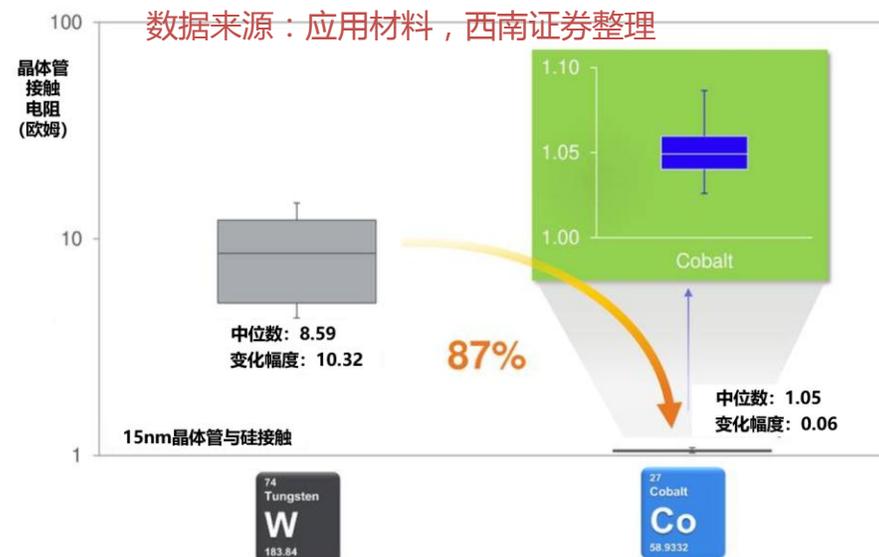
- 制造钨触点需要很厚的阻挡层和成核层，高电阻率TiN阻挡层用于在整体填充过程中阻止氟渗透，此外，钨不能直接在TiN上生长，需要在填充步骤之前沉积成核层。随着特征的缩小，这些薄膜的厚度不能再进一步减小，这限制了导电金属的可用体积。随着晶体管触点收缩到~12nm，达到物理极限，钨的可用体积很小，导致接触电阻增大；
- 钴（Co）的较低平均自由程引起较少的电子散射较小从而导致较低的电流阻抗。此外，钴互连仅需要单个1nm厚的阻挡膜层，这使得通孔电阻最小化。采用钴晶体管触点使得电阻中位数降低了87%，变化幅度从超过10欧姆降低到约0.06欧姆。

### 钨填充中的阻挡层和衬垫消耗了大部分接触体积



数据来源：应用材料，西南证券整理

### 钴互连可以带来更小的接触电阻



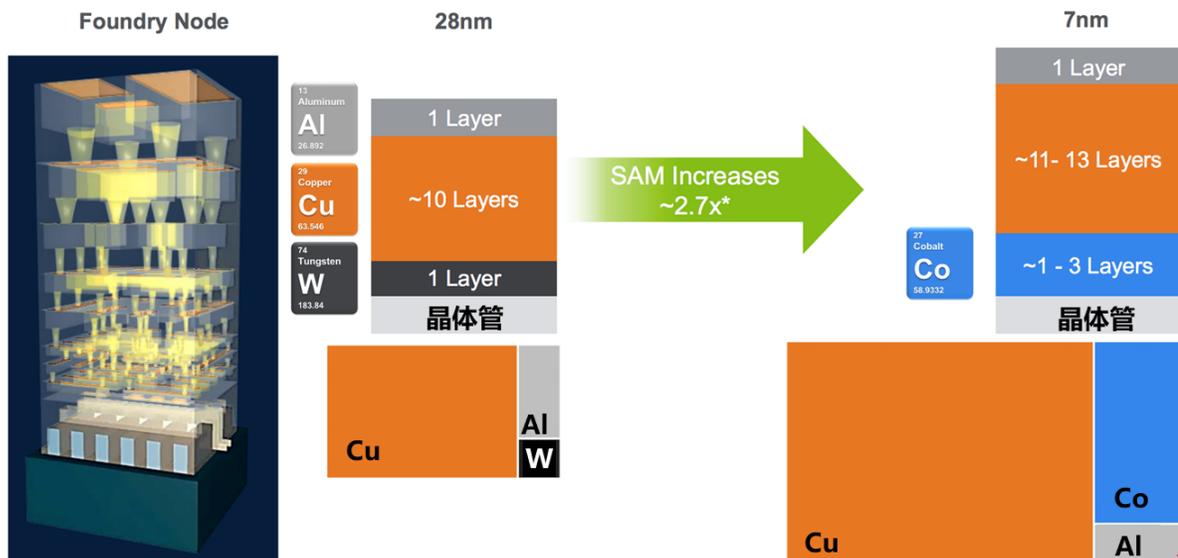
数据来源：应用材料，西南证券整理

# 接触孔

## 摩尔定律的推进导致局部互连填充与接触孔材料从钨向钴演化

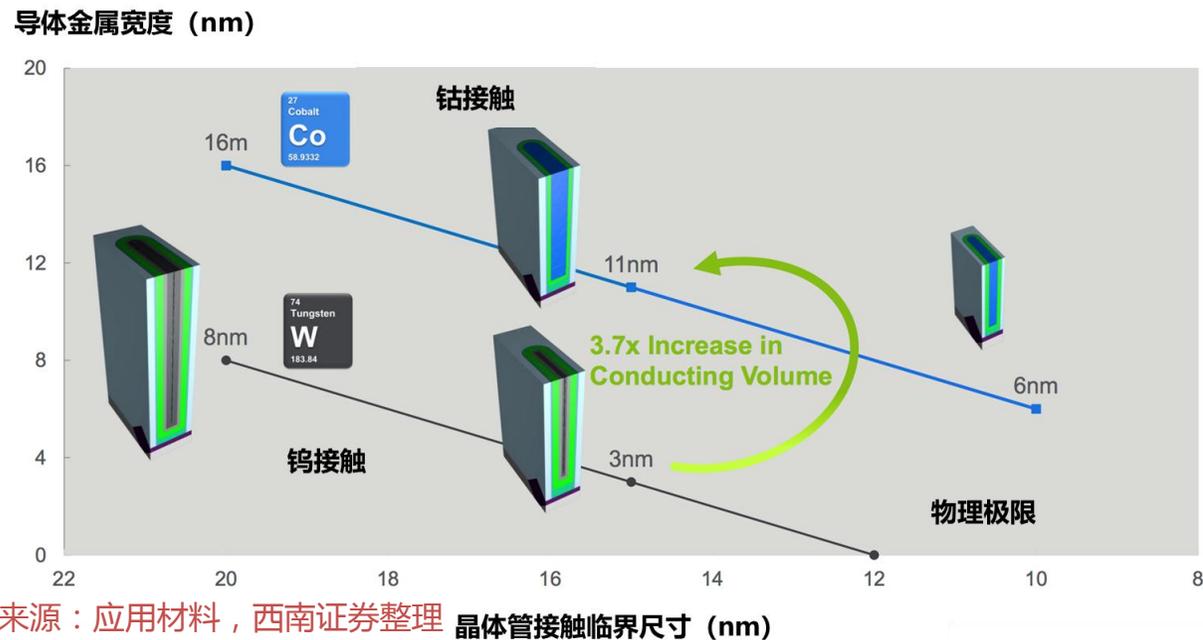
- ❑ 钴本身不仅是比钨更低的电阻材料，而且用于产生钴接触的工艺流程也导致更大的导电金属体积，这极大改善了导电性能。类似地，在互连中，钴表现出比铜更好的线路和通孔电阻缩放以及更少的电迁移，从而促进更高的电流密度；
- ❑ 随着逻辑器件扩展到10nm节点以及更先进的节点，局部互连的最大临界尺寸将 $<25\text{nm}$ 。对于低电阻钨填充，最大临界尺寸 $<12\text{nm}$ ，这导致高的总接触电阻。因此，钴接触与互连材料的引入将晶体管尺寸拓展到10纳米以下。

### 从28纳米到7纳米接触材料的演变情况



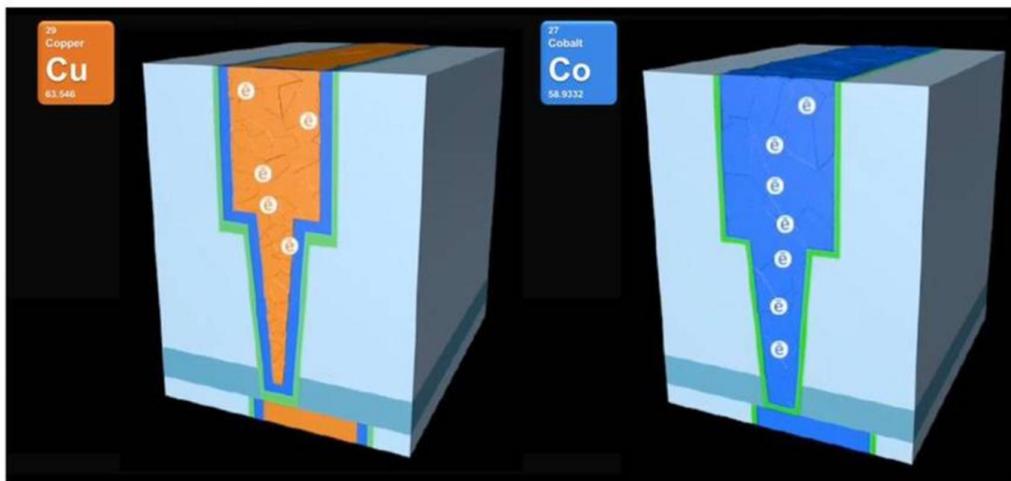
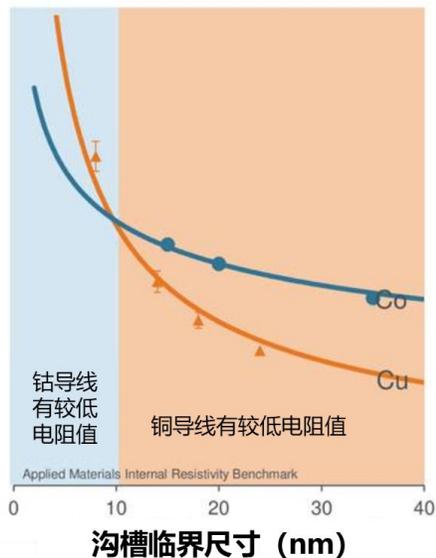
数据来源：应用材料，西南证券整理

### 钴接触材料可以将晶体管尺寸拓展到10纳米以下



数据来源：应用材料，西南证券整理

线电阻率

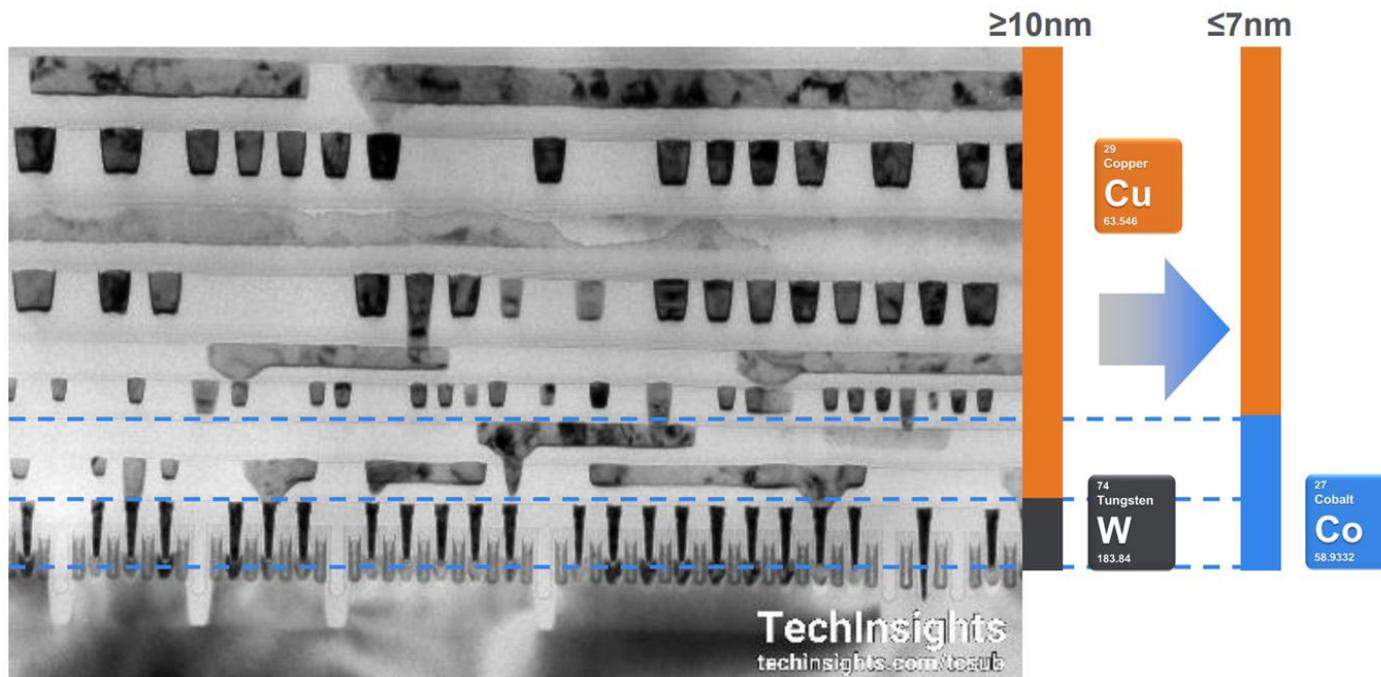


数据来源：应用材料，西南证券整理

- 当沟槽临界尺寸小于10纳米时，钴导线的电阻率低于铜导线。此外，钴导线的电子散射较低而且垂直电阻较小，因此在较低级的局部互连（例如M0-M1）可以用钴导线导体铜导线。

互连层 (M2-M10+)

局部互连 (M0-M1)  
晶体管接触点  
晶体管



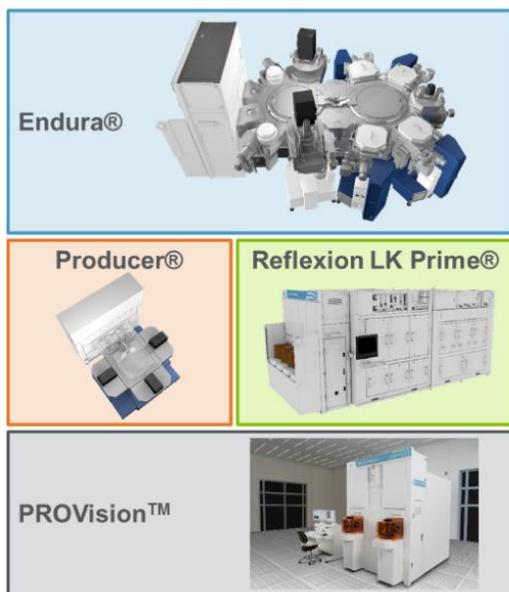
数据来源：应用材料，西南证券整理

- 应用材料的钴互连解决方案分别包括Endura®，Producer®和Reflexion®平台上的沉积，退火和平坦化技术。这些系统经过高度优化，可以协同工作。Endura平台用于多个沉积步骤，是唯一提供集成PVD和CVD钴解决方案的平台。Producer退火系统为钴提供独特的、高生产率的金属退火室。Reflexion LK Prime CMP系统通过先进的过程控制去除覆盖层材料。此外，PROVision™平台为钴空洞检测提供了一种新的非破坏性电子束方法。

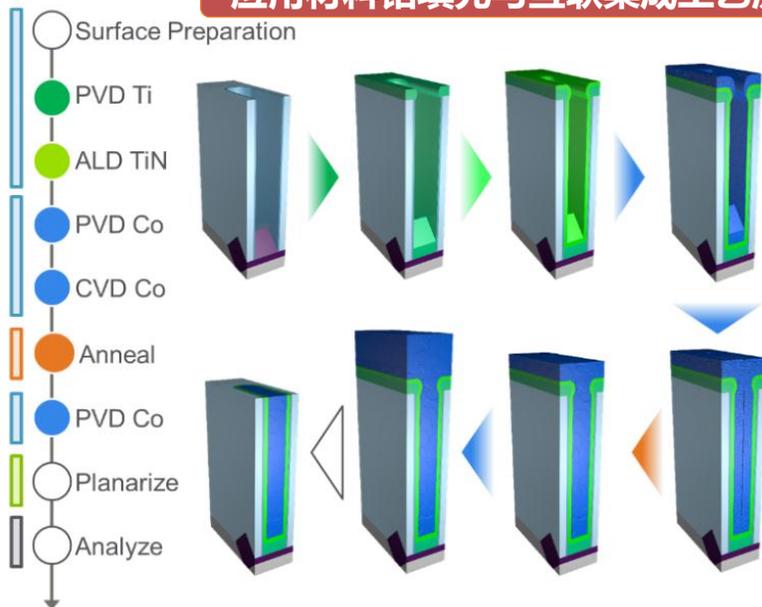
### 应用材料钴互连解决方案



- PVD钛和ALD氮化钛用于硅化物和阻挡层
- PVD钴用作锚固层，以确保将钴附着到底部良好的特征
- 然后使用CVD钴沉积保形膜以批量填充该特征
- 退火净化和回流钴，去除CVD接缝，并合并晶粒，形成更易结晶，更低电阻的材料
- PVD钴用于形成厚的覆盖膜
- CMP去除覆盖层材料以形成光滑的平面表面
- 电子束技术监控过程并检测空隙



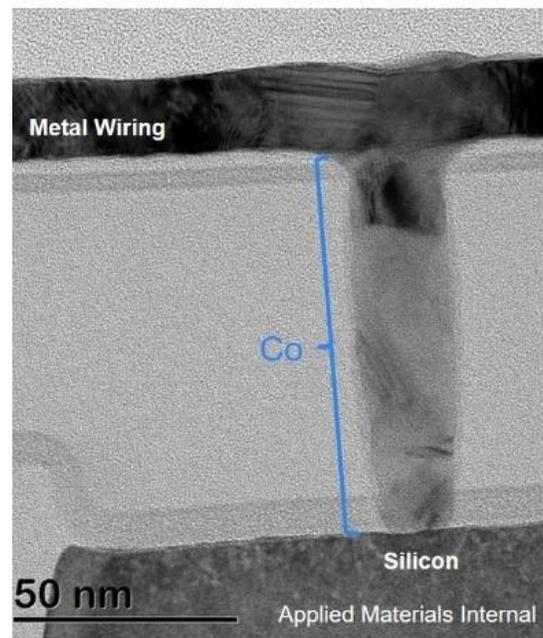
### 应用材料钴填充与互联集成工艺流程



数据来源：应用材料，西南证券整理

### 钴填充沟槽效果图

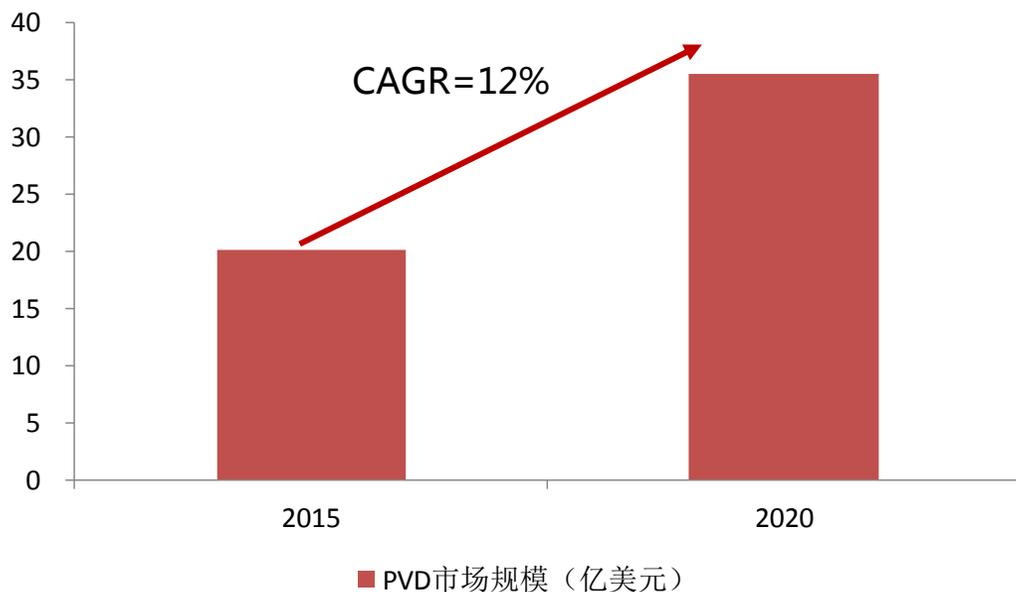
Co Fill: Seamless, Void-Free



# 全球半导体PVD设备市场规模及竞争格局

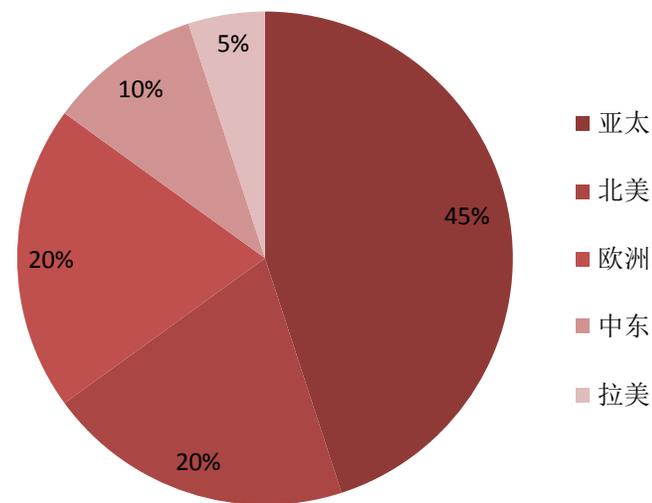
- PVD下游应用广泛，集成电路、太阳能产品、医疗设备、切削工具、建筑玻璃等各种应用领域对PVD均有不断增加的需求，预计全球PVD市场将出现快速增长。2016年，集成电路市场在全球物理气相沉积市场中占据了40%以上的份额，预计在未来几年将保持主导地位；
- 2015年全球半导体PVD设备市场为20.1亿美元，**预计2020年将达到35.5亿美元**，年均复合增长率将达到12%。预计2017年亚太地区PVD设备市场将**占到全球市场份额的45%**。

### 2015-2020全球PVD设备市场规模(亿美元)



数据来源：Transparency Market Research，西南证券整理

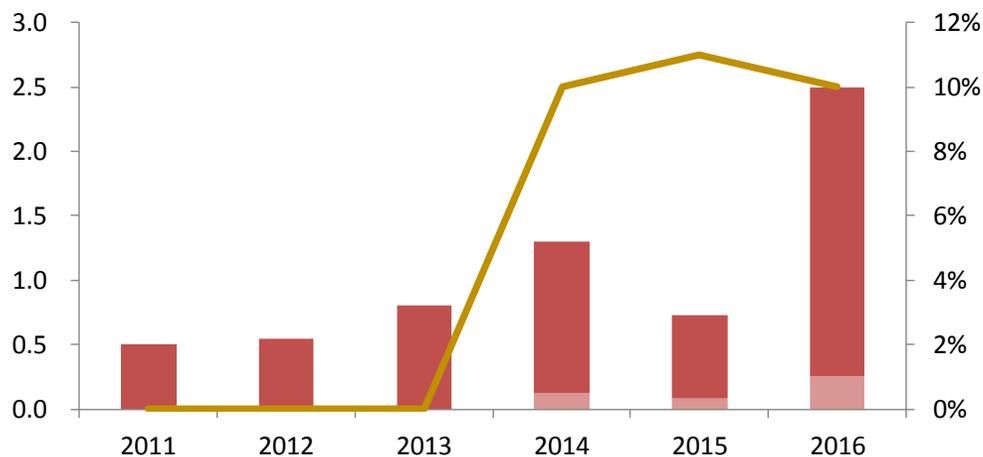
### 2017全球PVD设备市场份额



数据来源：Transparency Market Research，西南证券整理

- 北方华创、沈阳拓荆等公司正在不断突破，北方华创的28nm Hardmask PVD设备，实现了我国PVD设备零的突破和技术跨越，已被指定为28nm制程工艺的Baseline机台，率先进入国际供应链体系。从2013年开始，中国PVD设备市场规模开始逐步扩大，到2016年国内市占率已经达10%，这一比例未来有望进一步提高；
- 在先进封装行业，高端工艺设备国产占比较高，国产封装PVD设备市场占有率将近70%。

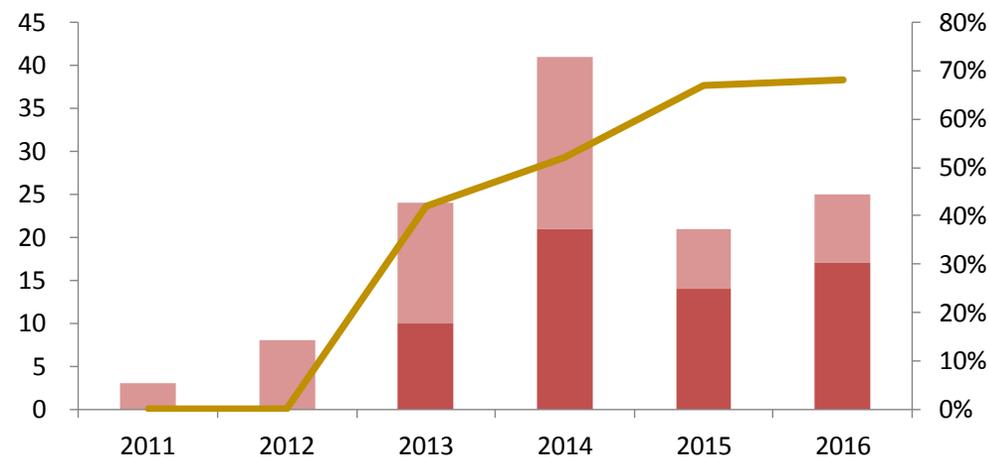
### 中国晶圆制造PVD设备国产化情况



■ 国产PVD出货量 (亿美元) ■ 进口PVD出货量 (亿美元) — 国内市占率

数据来源：北方华创，西南证券整理

### 国产封装PVD设备销量及国内市场占有率



■ 国产封装PVD设备销量 (台数) ■ 进口封装PVD设备销量 (台数)  
— 国内市场占有率

数据来源：北方华创，西南证券整理

### 北方华创各类PVD产品

eVictor  
AX30 Al  
pad PVD  
系统



集成电路Al PVD工艺

平台配置8个工艺模块，可根据客户实际需求，进行多样化配置；采用dual-mode工艺加热方式，温度控制性和均匀性好

exiTin  
H430 TiN  
金属硬掩膜  
PVD系统



集成电路12英寸生产线40-28nm物理气相沉积工艺

与ULK介质材料相容性良好；在刻蚀阶段具有优越的选择性；成膜均匀性好、应力低

Polaris  
G620系列  
通用溅射  
系统



AP领域的Fan-out、Ti/Cu-Copper Pillar等工艺，IC领域的Ti、TiN、Al等金属工艺，功率器件、MEMS相关领域及Ti、Ag、Al、Cr、TiW、SiO<sub>2</sub>、ITO等薄膜工艺

兼容性强，工艺种类多样，应用领域广泛，满足不同客户需求；先进等离子溅射源，靶材利用率均可达到40%以上等

硅通孔  
Polaris  
Series TSV  
PVD 系统



晶圆级3D先进封装中的硅通孔阻挡层、籽晶层薄膜沉积工艺，可实现铜、钛、钽、铝等金属薄膜沉积

可实现12:1深宽比TSV深孔的无孔洞电镀填充；设备兼容硅、玻璃等多种基片等

Polaris B  
Series  
Bumping  
PVD 系统



晶圆级先进封装领域的Fan-out、CIS、Gold Bump、Copper Pillar等相关的RDL、UBM薄膜沉积工艺，可实现铜、钛、钽、钛钨、金、铝等金属薄膜沉积

设备兼容硅、玻璃等多种基片；优秀的薄膜均匀性、Rc控制能力、应力调节能力、颗粒控制能力等

产品型号

应用领域

产品优势

北方华创成功开发的TiN Hardmask PVD、Al pad PVD、AlN PVD、TSV PVD等一系列磁控溅射PVD产品，实现了在集成电路、先进封装、半导体照明、微机电系统、功率器件等领域的全面产品布局。其中应用于28nm/300mm晶圆生产的Hardmask PVD设备已成为国内主流芯片代工厂的Baseline设备，代表着国产集成电路工艺设备的最高水平，并成功进入国际供应链体系。

## CVD工艺细分

- 根据压力分类，CVD主要有常压CVD（APCVD）、亚常压CVD（SACVD）、低压CVD（LPCVD）、超高真空CVD（UHCVD），科研和工业中应用较多的是APCVD和LPCVD。
- 根据反应类型可以分为等离子体增强CVD（PECVD）、高密度等离子体CVD（HDPCVD）、快热CVD（RTCVD）、金属有机物CVD（MOCVD）等。
- 根据生成膜性质CVD可以分为金属CVD、半导体CVD和介质CVD。



## PECVD

- PECVD ( Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition ) 是借助微波或射频等使含有薄膜组成原子的气体电离，在局部形成等离子体，而等离子体化学活性很强，很容易发生反应，在基片上沉积出所期望的薄膜。为了使化学反应能在较低的温度下进行，利用了等离子体的活性来促进反应，因而这种CVD称为等离子体增强化学气相沉积PECVD。

PECVD反应原理示意图



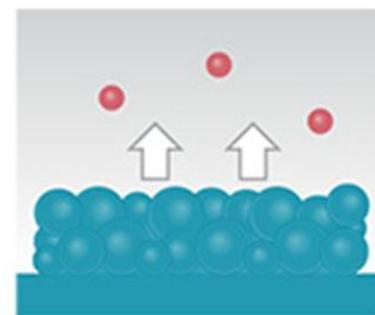
化学反应物前驱  
体流入腔体



等离子体帮助反  
应物混合



反应物吸附在表  
面上并发生反应

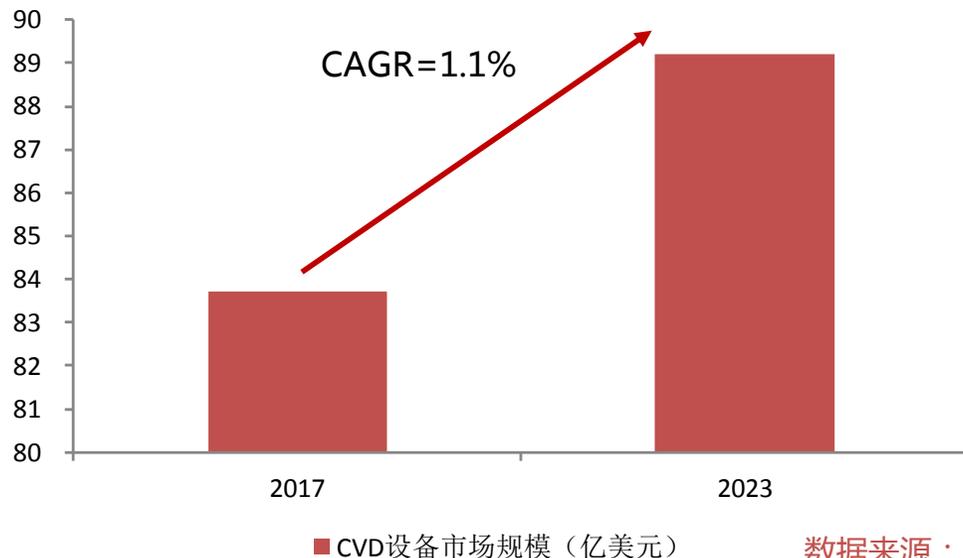


薄膜生长以及其  
他生成物被释放

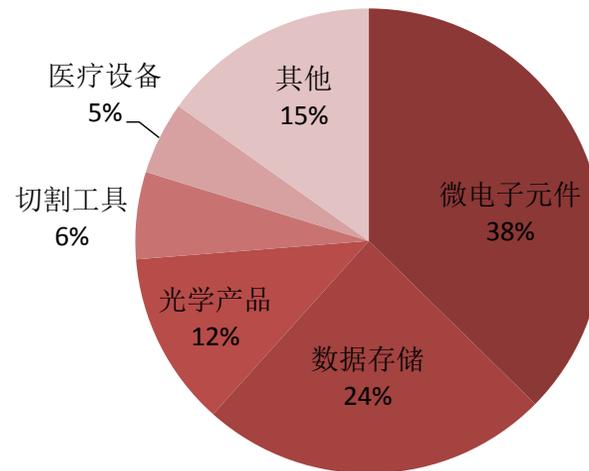
## CVD设备市场规模及竞争格局

- CVD用于各种应用，例如微电子元件，数据存储，太阳能产品，切割工具，医疗设备和一些其他最终用途应用。其中微电子部分所占比重最大，2016年全球CVD市场中，微电子元件占到近40%的比重；
- 预计全球半导体CVD设备市场将在未来五年内以约1.1%的复合年增长率增长，从2017年的83.7亿美元到2023年达到89.2亿美元；
- LPCVD是CVD设备中最大的技术领域，2014年占据CVD设备市场35.6%以上的份额；

### 2015-2020全球半导体CVD设备市场规模(亿美元)

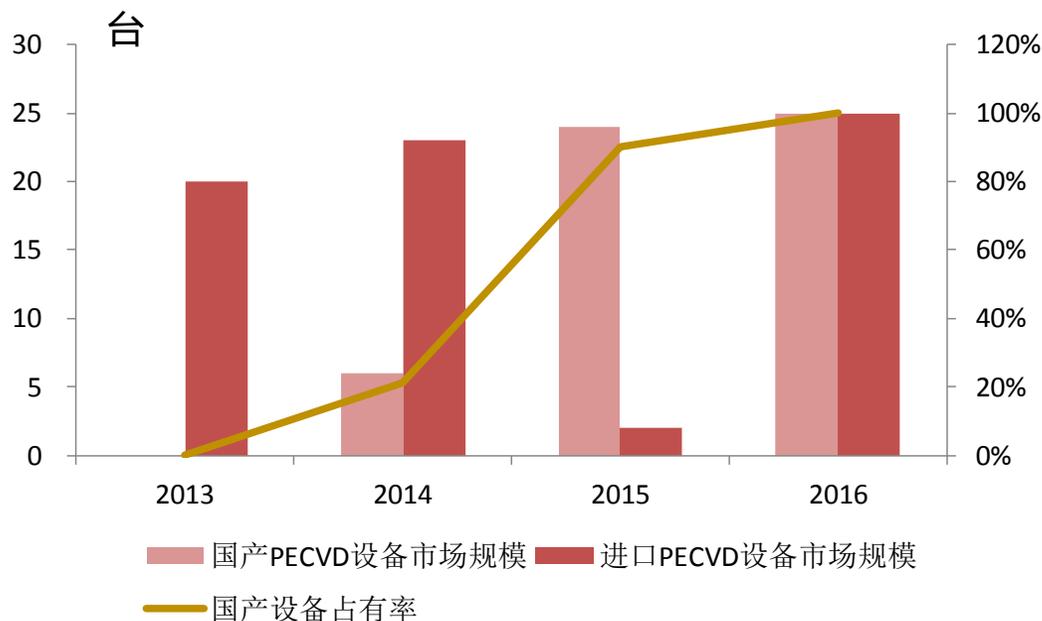


### 2016全球CVD在各细分市场的份额



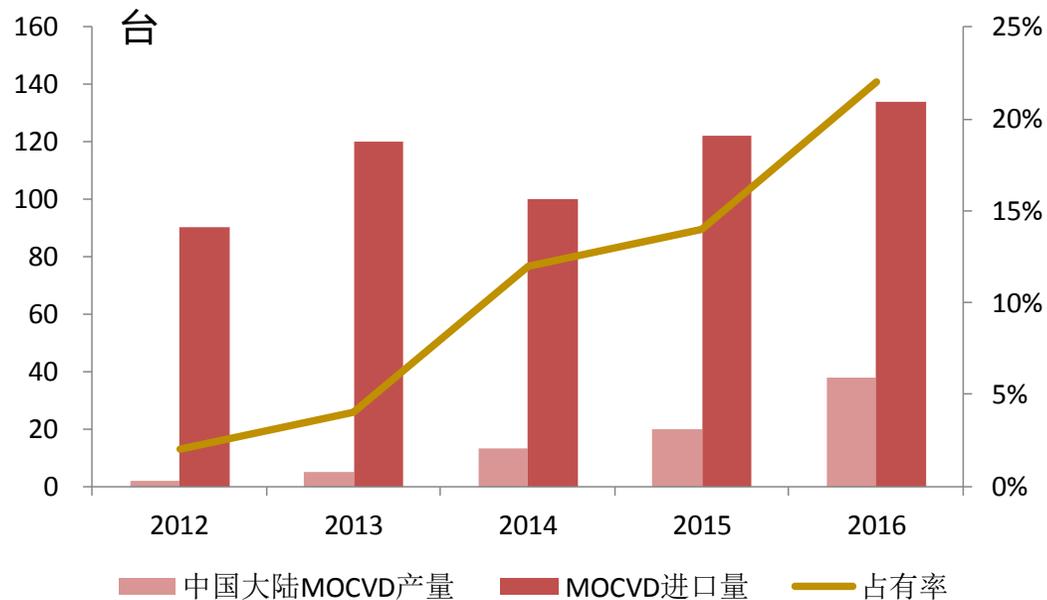
- 在LED行业，外延芯片的核心设备基本实现国产化；
- 其中MOCVD是国产化最晚的一个设备，目前也已经达到20%以上的国产化率；
- 光伏行业是国产化率做的最早的行业，这两年也有很大的发展。现在我国的光伏的效率、成本上都很有优势，这和PECVD、扩散炉等核心设备国产化性能的提升是分不开的。

### LED领域PECVD设备市场规模及国产设备占有率



数据来源：北方华创，西南证券整理

### 中国大陆MOCVD产量及占有率



数据来源：北方华创，西南证券整理

## 北方华创各类CVD产品

HORIS  
L6471A  
多功能  
LPCVD



用于IC、MEMS、POWER、PV等领域二氧化硅、氮化硅、多晶硅、磷硅玻璃、硼磷硅玻璃、掺杂多晶硅、石墨烯、碳纳米管等多种薄膜工艺

独特的进气方式和分布，保证工艺成膜均匀性和重复性；成熟的工艺控制满足客户对不同LPCVD工艺高端需求

SES630A  
硅APCVD  
系统



集成电路、功率半导体、分立器件、IGBT

优异的工艺性能；高效的产能输出：单炉多片8片（6寸）/5片（8寸）的生产效率；先进的感应加热温度控制技术等

HORIS  
P8571A管  
式PECVD



用于PV、MEMS、POWER、IC领域淀积SiNx、SiOx、SiONx、AlOx单层或多层薄膜工艺

单台产能满足160MW以上晶硅电池产线；独特的进气方式和分布，保证工艺成膜均匀性和重复性等

EPEE i800  
PECVD



用于IC、Power、MEMS、LED等领域二氧化硅、氮化硅、氮氧化硅、掺杂硅玻璃等镀膜工艺

单腔六个沉积位旋转式流水线构架，生产效率高；全自动传输系统，高效省力；独有的热衬技术，兼容远程等离子清洗

THEORIS  
302 立式  
LPCVD



用于28nm及以上的集成电路氮化硅薄膜淀积、多晶硅薄膜淀积、非晶硅薄膜淀积、二氧化硅薄膜淀积

高精度温度场、压力控制技术；优良微环境低氧控制技术；良好的薄膜均匀性；先进的颗粒控制能力

- 北方华创先后完成了PECVD、APCVD、LPCVD、ALD等设备的开发，致力于为集成电路、半导体照明、微机电系统、功率半导体、化合物半导体、新能源光伏等领域提供各种类型的CVD设备，满足客户多种制造工艺需求。北方华创微电子自主开发的卧式PECVD已成功进入海外市场，为多家国际领先光伏制造厂提供解决方案。

产品型号

应用领域

产品优势

## ALD工艺

- ALD设备是先进集成电路制造工艺中必不可少的薄膜沉积设备，**ALD工艺具有工艺温度低、薄膜厚度控制精确及台阶覆盖率高等优点。**在集成电路特征线宽发展到28纳米节点后，ALD工艺应用日益广泛。
- ALD过程开始于使反应室充满前体，该前体涂覆（或“吸附”）到晶片的暴露表面上。该过程称为自限制，因为前体只能吸附在暴露区域上；一旦所有这些都覆盖，吸附就会停止。然后引入第二种气体并与前体反应形成所需的物质。第二步也是自限性的：一旦可用的前体位点用完，反应就会停止。重复这两个步骤，直到获得所需的膜厚度。

### 二氧化硅薄膜ALD工艺过程



数据来源：Lam Research，西南证券整理

## ALD工艺优点及其适用复杂工艺

- ALD所有优点都来自于自限性的、连续的反应。首先，虽然每个循环的沉积不完全是单个原子层，但是薄膜厚度得到很好的控制，并且可以在整个晶片上实现优异的均匀性。ALD创造的薄膜与晶圆形貌非常吻合，在器件特征的顶部、侧面和底部沉积了相同的薄膜厚度。最后，由ALD创建的表面是原子级光滑的，化学成分控制性良好。
- 根据前驱体的选择，ALD工艺能够产生电介质（绝缘）和金属（导电）薄膜。鉴于ALD自限连续反应所带来的诸多优点，因此ALD技术可以用于自对准图案、3D NAND、FinFET等多种复杂应用及结构。

### ALD镀膜效果的优点

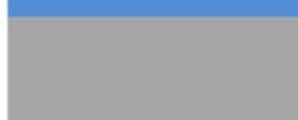
均匀性

保形性

表面光滑度

沉积效果差

沉积效果好



数据来源：Lam Research，西南证券整理

### ALD工艺所适用的复杂应用

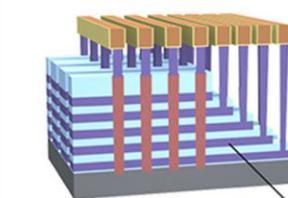
多重图案

3D NAND

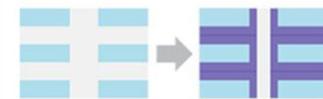
FinFET



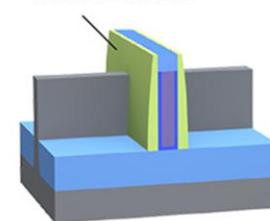
电介质  
ALD  
间隔物



金属ALD字线



ALD栅极侧壁间隔物

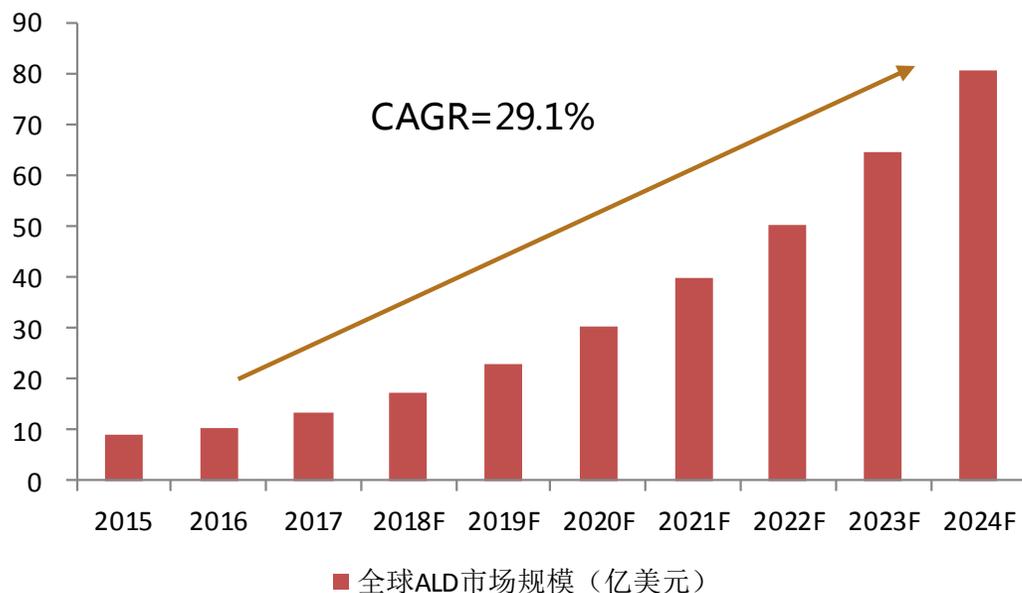


数据来源：Lam Research，西南证券整理

## ALD设备市场规模及竞争格局

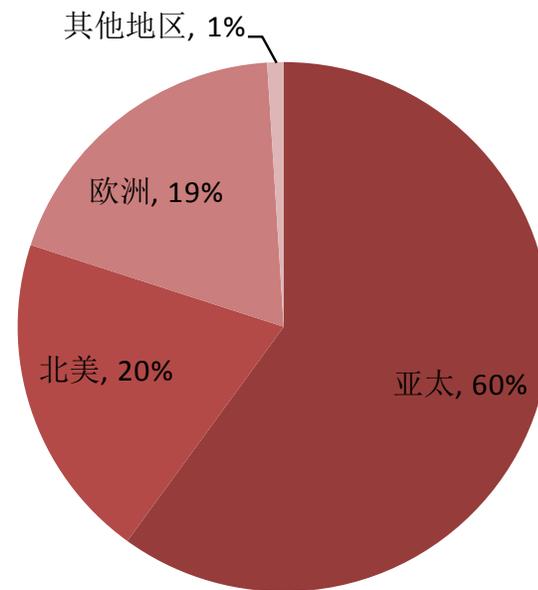
- 预计到2024年，全球原子层沉积（ALD）设备市场将达到80.59亿美元，从2016年到2024年将以年复合增长率29.1%的速度增加。在智能手机、微型打印机、电子游戏、便携式媒体播放器、DVD播放器和其他电子设备的生产中，对ALD设备和技术的需求有所增加。
- 从地区分布来看，亚太地区ALD份额最大，约占60%。其次是北美和欧洲地区，分别占20%和19%。

2015-2024全球ALD设备市场规模



数据来源：Variant Market Research，西南证券整理

2016全球CVD市场份额



数据来源：Variant Market Research，西南证券整理

## 北方华创ALD设备

- 北方华创微电子自2014年开始布局ALD设备的开发计划，历时四年，成功推出应用于集成电路领域的量产型单片ALD设备——Polaris A630，应用于沉积集成电路器件中的高介电常数和金属栅极薄膜材料，设备的核心技术指标达到国际先进水平。2017年12月5日，12英寸原子层沉积 (Atomic Layer Deposition, ALD)设备进驻上海集成电路研发中心。

## 北方华创ALD产品

Promi  
系列ALD  
系统



用于集成电路，半导体照明，功率半导体，微机电系统，先进封装领域中的Hi-K介质材料，金属栅极，阻挡层，掩膜，钝化层的制造工艺

成熟的工艺控制满足28-14nm及更低技术代的高端需求；紧凑的腔室结构设计、独特的进气结构，提高前驱物的吹扫效果，缩短ALD的工艺时间等

产品型号

应用领域

产品优势

## 目录

一、全球半导体设备市场规模及竞争格局

二、全球半导体设备详细拆分及国产化率分析



光刻机市场及国产化率情况



刻蚀机市场及国产化率情况



镀膜设备市场及国产化率情况



量测设备市场及国产化率情况



清洗设备市场及国产化率情况



离子注入设备市场及国产化率情况



其他设备市场及国产化率情况

三、半导体设备核心标的推荐逻辑

# 前道检测

# 后道终测

## 半导体检测分为前道晶圆检测和后道中测及终测

### 半导体检测工艺分类

半导体检测工艺	前道检测	晶圆制造	检测芯片线宽、膜厚、距离差、杂质、缺陷等参数	光学检测	晶圆形状测量设备、掩模板检测设备、显微镜	科磊 应用材料 日立高新
	后道中测 (CP)	芯片封装前	测试整个晶圆片上每个芯粒是否正常	电参数检测	探针台测试机	东京电子 SUSS
	后道终测 (FT)	芯片封装后	检测封装好的芯片是否完好	电参数检测	测试机分选机	泰瑞达 爱德万 科利登

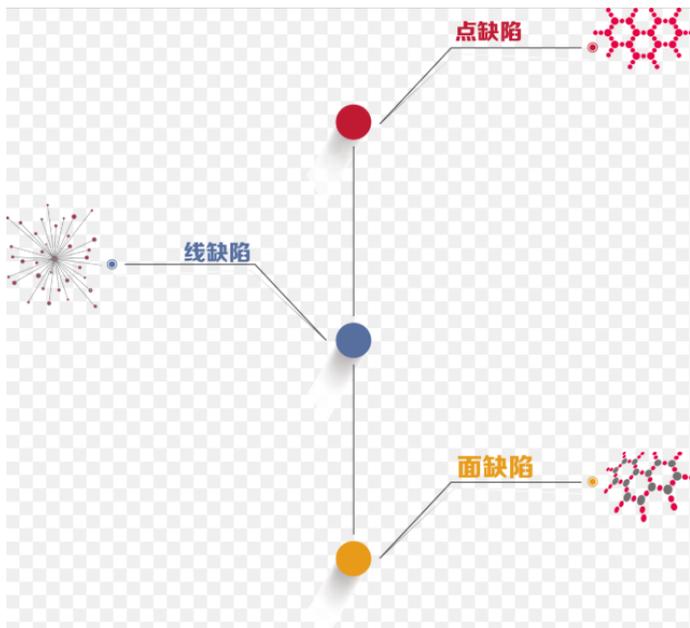


- 按照检测目的划分，芯片检测工艺主要分为前道检测、后道中测和后道终测三大类。
- 其中前道检测更多偏向于外观性/物理性检测，主要使用光学检测设备及各类 inspection 设备；后道测试更多偏向于功能性/电性测试，主要使用自动检测设备（ATE）、分选机和探针台。

## 前道检测：外观性/物理性检测

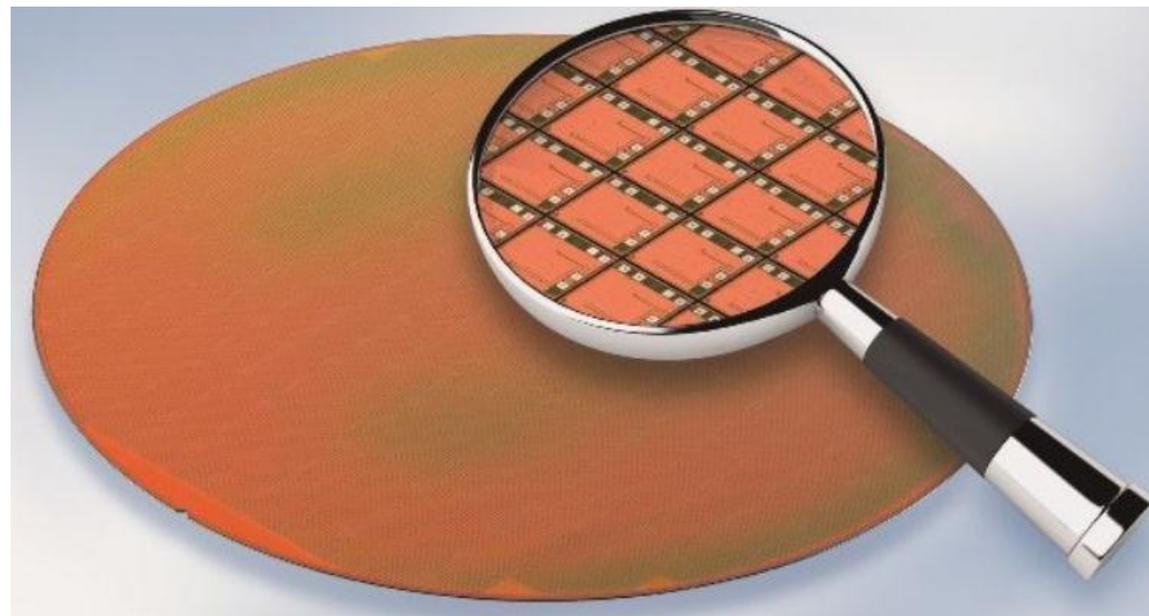
- 由于工艺水平不同，晶圆可能会在生产阶段产生冗余物、晶体缺陷和机械损伤三种缺陷。晶圆检测设备主要针对晶圆切割后的外观检测，比如：尺寸，破损，裂粒，气孔，裂痕，镍层不良等等。相较于传统人工检测而言，机器视觉检测具有精度高、效率高、可连续性以及非接触式避免污染等优势。高效准确的检测设备，是提供高可靠性晶圆材料的保证。
- 晶体缺陷：实际晶体中原子排列与理想晶体的差别称为晶体缺陷，每一类缺陷都会对晶体的性能产生很大影响，例如点缺陷会影响晶体的**电学、光学等性能**，线缺陷会严重影响晶体的**强度等机械性能**

晶体缺陷示意图



数据来源：百度文库，西南证券整理

前道检测示意图

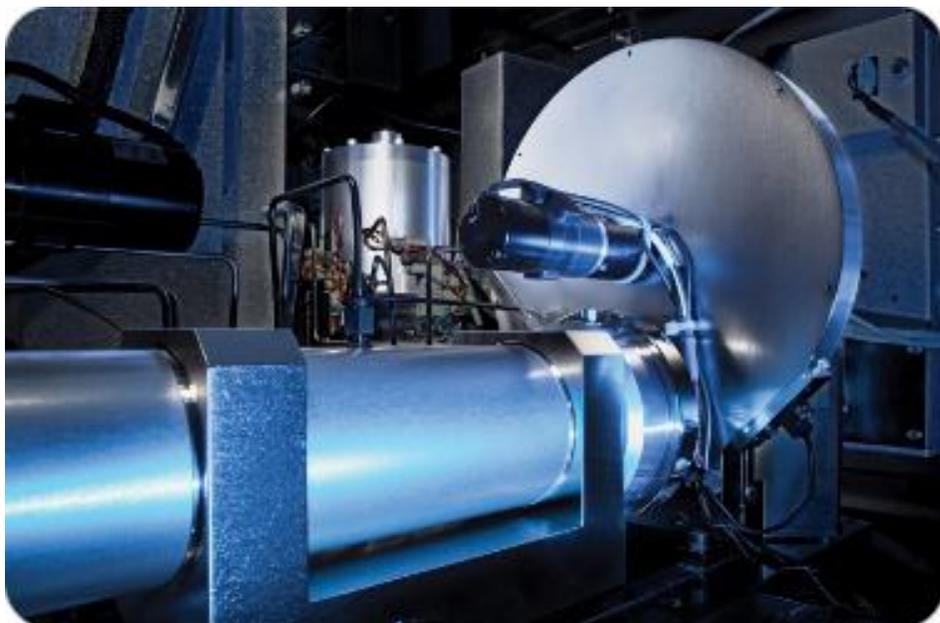


数据来源：bing，西南证券整理

## 前道检测设备：实现效率和准确率的极大提升

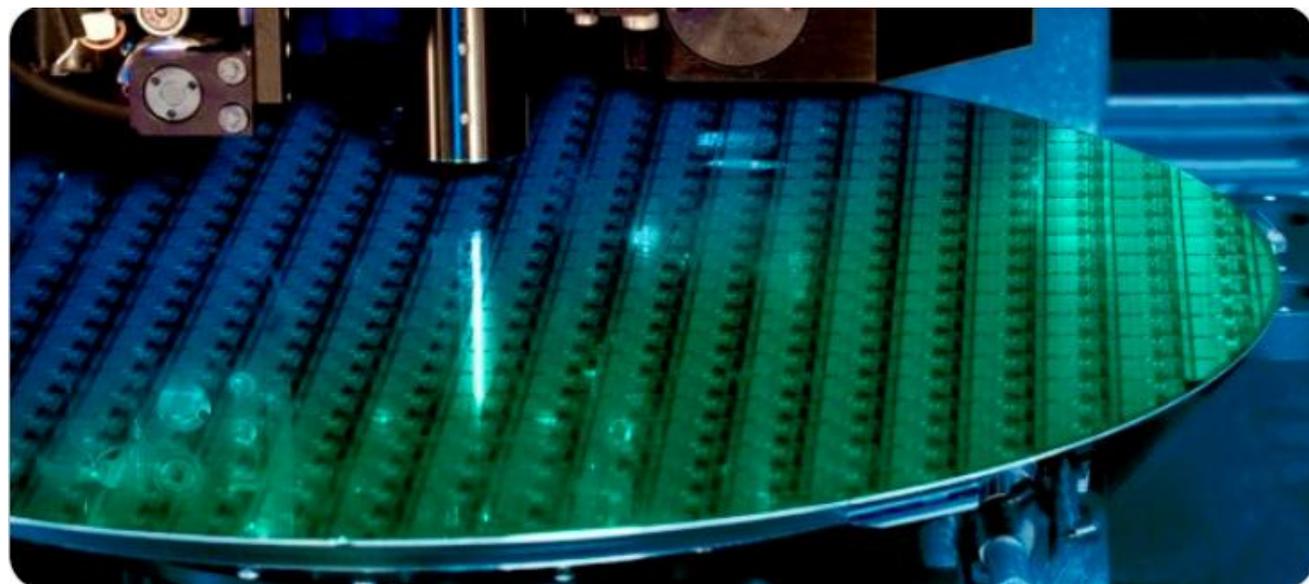
- 工作过程：通过振动盘自动上料，根据设定的速度送到玻璃盘上，再通过摄像头的拍摄，传送到软件，通过特点的算法分析产品的外观，并**自动分拣良品及次品**；
- 特点：自动上下料，**检测速度可达400-1200颗/分钟，精度可达1 $\mu$ ，准确率99.99%**；
- KLA-Tencor的缺陷检查和审查系统涵盖了芯片和晶圆制造环境中的所有良率应用。图案化和未图案化的晶片缺陷检查和检查系统发现，识别和分类晶片的前表面，后表面和边缘上的颗粒和图案缺陷，从而实现更快的产量增加和更高的产量。

科磊半导体39xx系列产品



数据来源：科磊半导体，西南证券整理

晶圆缺陷审查

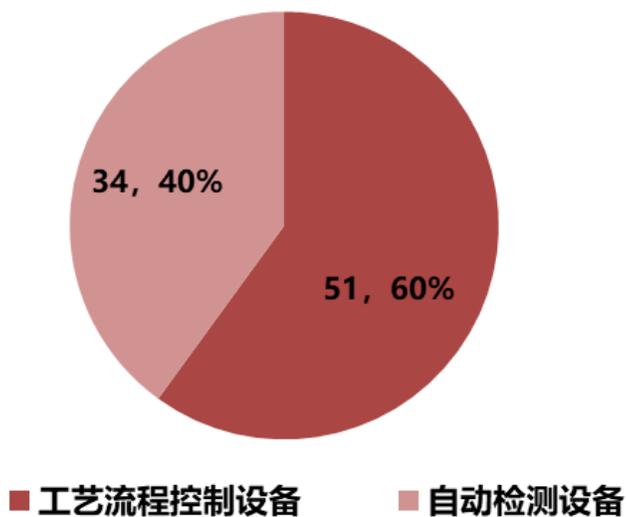


数据来源：科磊半导体，西南证券整理

## 半导体前端检测设备占比60%，科磊半导体一家独秀

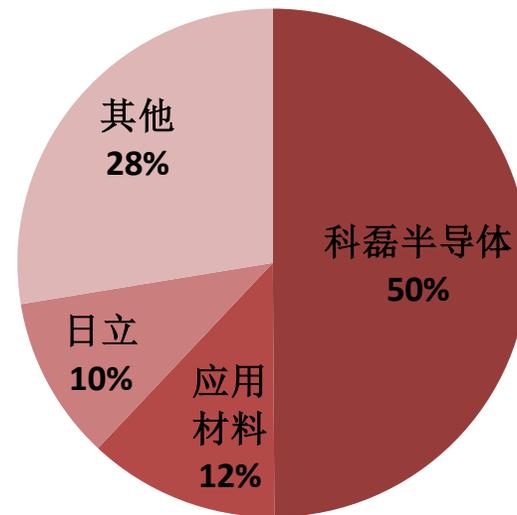
- 前道检测主要为工艺流程控制设备，后道检测主要为自动检测设备，从市场规模上来看，工艺流程控制设备市场规模为**51亿美元**，占比**60%**，自动检测设备（ATE）市场规模为**34亿美元**，大概占总测试设备市场份额的**40%**；
- 在工艺流程检测市场全球竞争格局中，科磊半导体市占率为**50%**，位居**第一位**，遥遥领先，应用材料市占率12%左右，位居第二，日立的市占率10%左右，位居市场第三。前三大设备商市占率为72%，**市场集中度较高**。

### 2017年半导体测试设备细分情况（亿美元）



数据来源：中国报告网，西南证券整理

### 全球半导体前端检测市场竞争格局



数据来源：科磊半导体，西南证券整理

## 科磊半导体：前道检测一家独秀

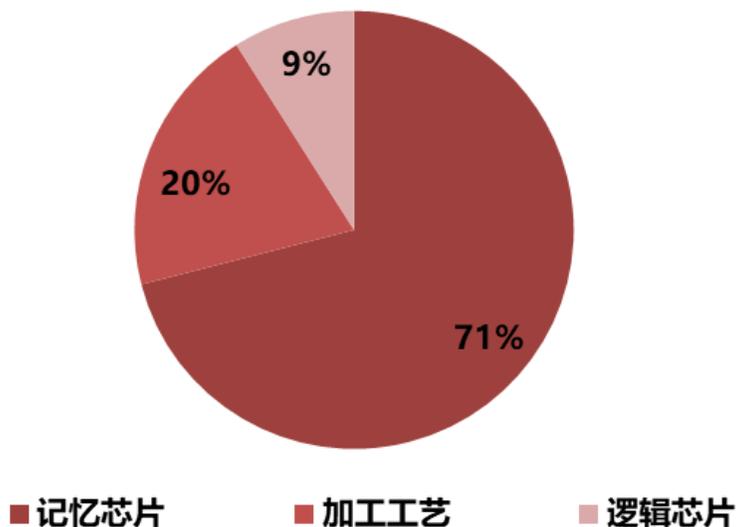
- 科磊通过开发新的过程控制和良率管理工具，帮助芯片制造商加速将这些新技术应用于批量生产；
- KLA-Tencor系统不仅可以分析晶圆，光罩和IC制造工艺中关键点的缺陷和计量问题，还可以为客户提供信息，以便他们识别和解决潜在的工艺问题。定位缺陷源并解决潜在过程问题的能力使客户能够改进对制造过程的控制。从而提高高性能零件的产量，并更快地将产品推向市场；
- 科磊凭借广泛的以应用为中心的技术和专业的产量技术专业知知识，成为客户下一代产品综合良率管理解决方案的主要供应商。

	应用	产品
晶圆缺陷检查	图案化晶圆	3900系列、2930系列、2920系列、Puma™9980系列、Puma™9850系列、Puma™9650系列、Voyager™1015系列
	所有表面	CIRCL™与8系列、CV350i、BDR300™ 和Micro300模块、8系列
	无图案化晶圆	Surfscan® SP7系列、Surfscan® SP5系列、Surfscan® SP3系列
	电子束审查	eDR7200™ 系列
	数据分析	Klarity产品系列、5D分析、RDC、FabVision®、ProDATA™

## 科磊半导体：前道检测一家独秀

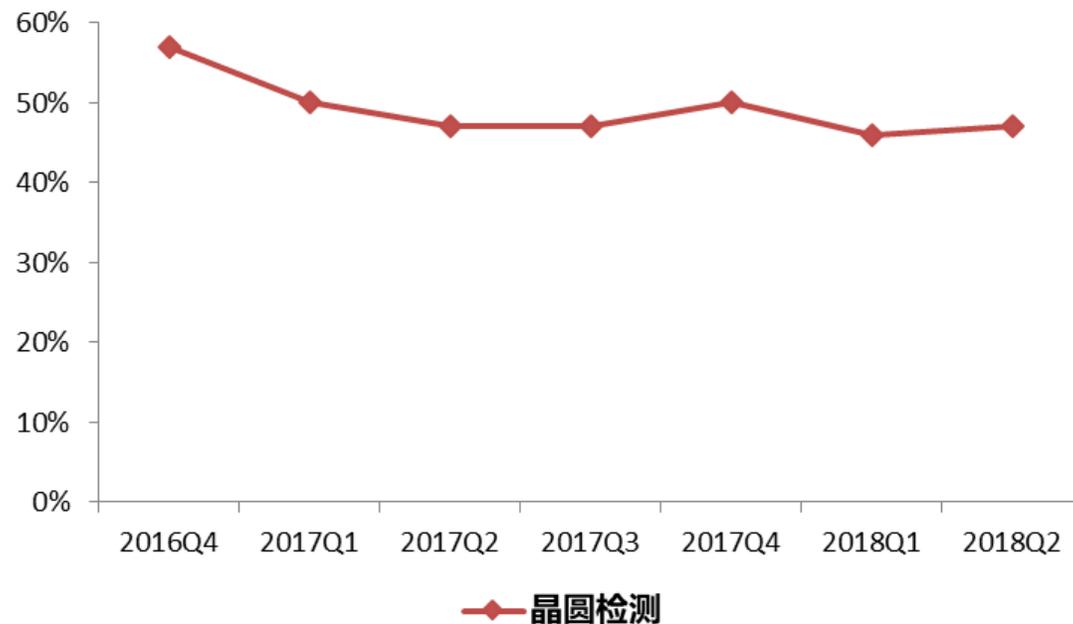
- 在科磊前端设备出货量中，记忆芯片分类占比高达**71%**，而加工工艺和逻辑芯片合计占比**29%**，说明了科磊在记忆芯片前道检测设备中的**龙头地位**；
- 在科磊半导体的营收结构中，晶圆检测设备近七个季度营收占比常年**维持在50%左右**，市场地位及其稳固。

### 科磊2018Q2前端检测出货量分类



数据来源：科磊半导体，西南证券整理

### 科磊2016Q4以来晶圆检测营收占比



数据来源：科磊半导体，西南证券整理

## 前道检测设备国产化进程：路漫漫其修远兮

- 前端检测设备国产化情况：目前，我国前端检测设备由于技术问题与国外仍有较大差距；
- 国内前端检测装备领头羊：睿励科学仪器。目前，睿励拥有12寸晶圆全自动光学膜厚检测系统和关键尺寸、形貌检测系统等产品，2018年5月6日睿励TFX3000薄膜测量设备三星重复订单发货；

睿励科学仪器TFX3000--300mm全自动光学膜厚测量系统



数据来源：睿励科学仪器，西南证券整理

TFX3000 OCD--300mm全自动光学关键尺寸和形貌测量系统

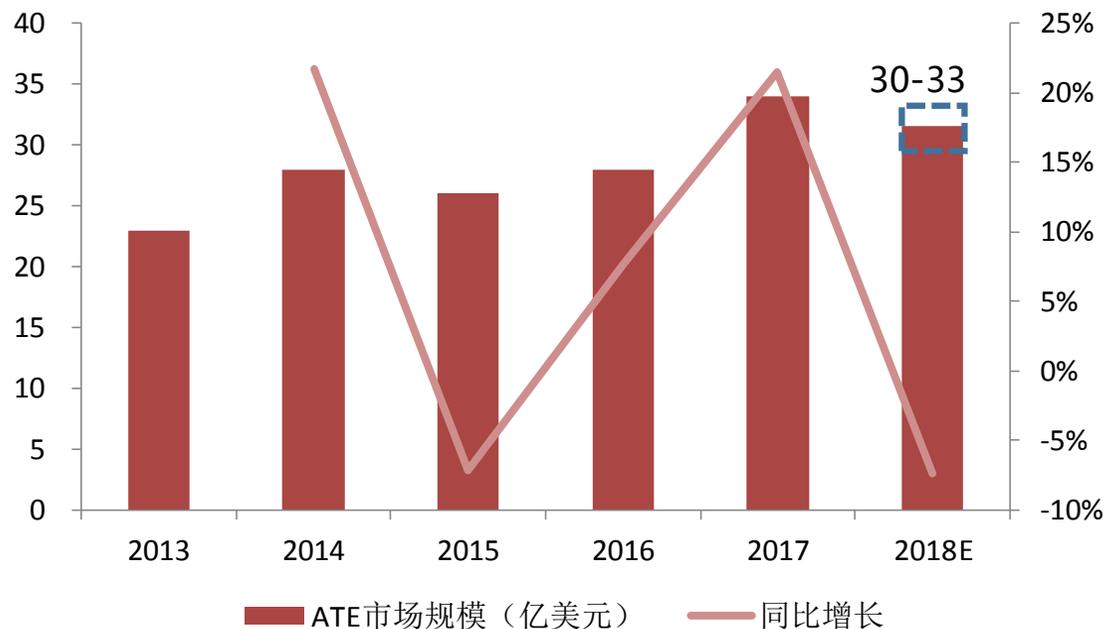


数据来源：睿励科学仪器，西南证券整理

## 半导体后道测试设备行业格局

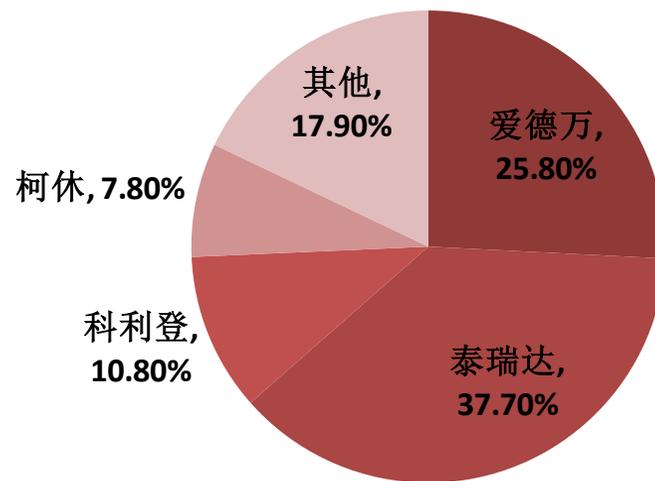
- 2017年ATE市场规模34亿美元，工艺流程控制设备市场规模为51亿美元，预计2018年ATE市场份额处于30-33亿美元之间，到2025年ATE市场预计将达到45.9亿美元；
- 从行业集中度来看，美国泰瑞达（Teradyne）、日本爱德万（Advantest）两家公司测试设备全球市场份额2016年占比已高达63.5%，市场集中度很高；

2013-2018ATE市场规模情况



数据来源：泰瑞达，西南证券整理

2016全球半导体测试设备市场情况



数据来源：Gartner，西南证券整理

## 全球后道测试设备竞争情况

- 美国泰瑞达、日本爱德万两家公司全球市场份额2016年占比已高达63.5%，市场集中度很高；
- 探针台市场主要由东京电子把控；
- 国内的北京华峰和上海中艺也分别在测试机和分选机业务上有所布局。

## 国内外主要测试设备制造商



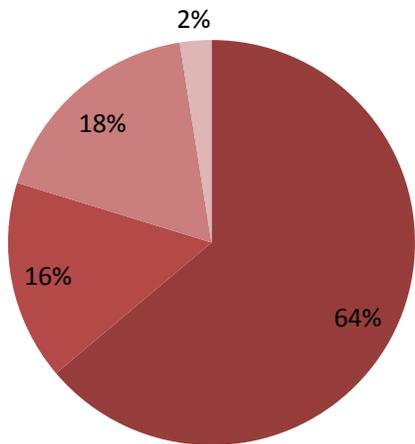
数据来源：长川科技，西南证券整理

细分领域	龙头企业	市占率
测试机	爱德万、泰瑞达、	90%以上
分选机	科休、爱德万、爱普生、Multitest	70%
探针台	东京精密、东京电子和SEMES	基本垄断

数据来源：浦科投资，西南证券整理

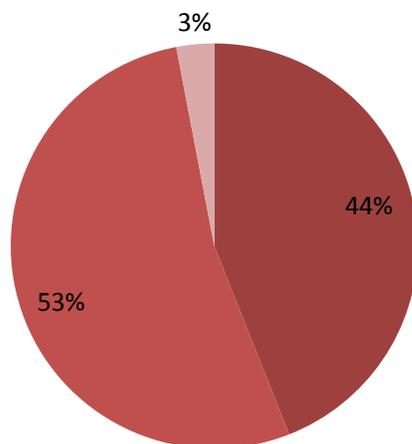
## 半导体后道测试设备下游市场

### 半导体检测设备细分市场结构



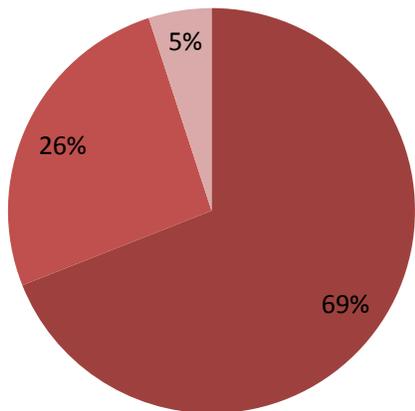
■ SOC检测 ■ RF检测 ■ 存储检测 ■ 模拟芯片检测

### SOC芯片测试市场情况估计



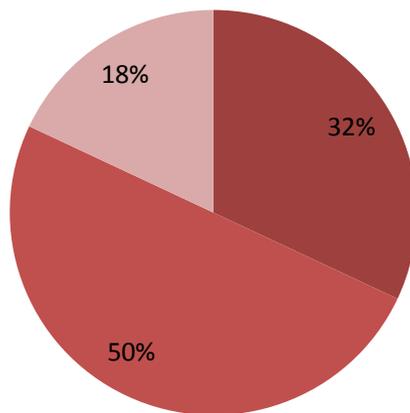
■ 爱德万 ■ 泰瑞达 ■ 其他

### 存储芯片测试市场情况估计



■ 爱德万 ■ 泰瑞达 ■ 其他

### 高级射频芯片测试市场情况估计



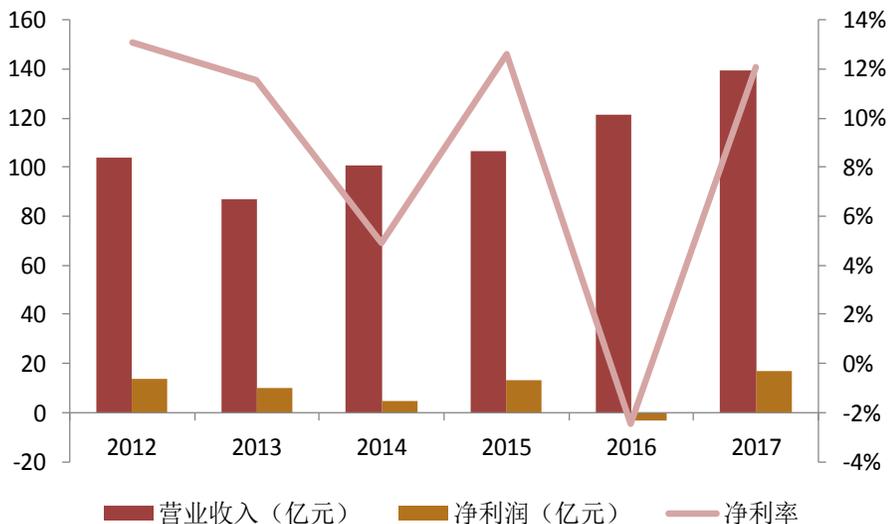
■ 爱德万 ■ 泰瑞达 ■ 其他

数据来源：浦科投资，西南证券整理

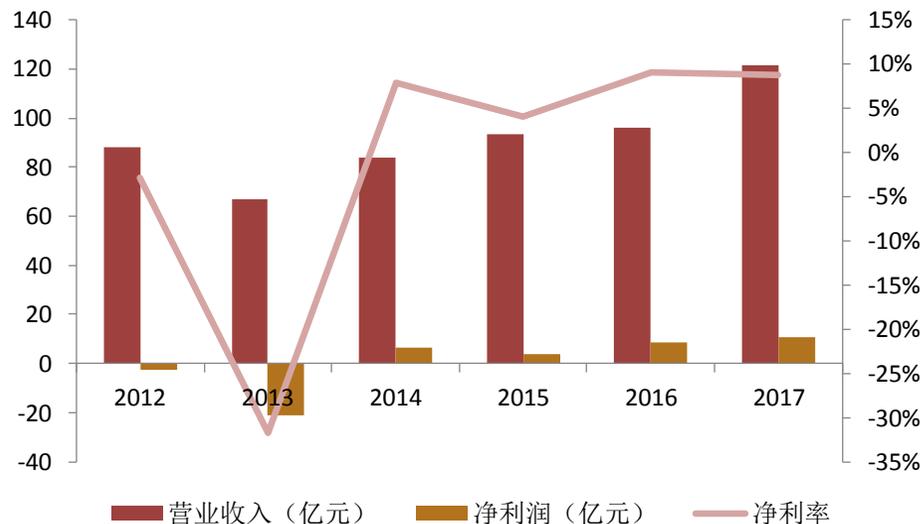
- 在诸多下游细分市场中，SOC测试、存储器测试、高级射频测试是市占率最高的，其中SOC和存储测试市占率两者合计将超过80%，SOC测试、存储器测试、高级射频测试三者加起来市占率超95%；
- 高端市场的主要份额均被泰瑞达和爱德万垄断，其中两者加起来垄断了97%的SOC测试市场、95%的存储芯片测试市场、82%的高级射频芯片测试市场。

## 爱德万、泰瑞达营收规模超百亿，继续保持强者恒强地位

### 泰瑞达2012-2017年营收和净利润情况



### 爱德万2012-2016财年营收和净利润情况



### 爱德万SoC测试系统V93000 Wave Scale



### 爱德万存储器测试系统V93000 High Speed Memory

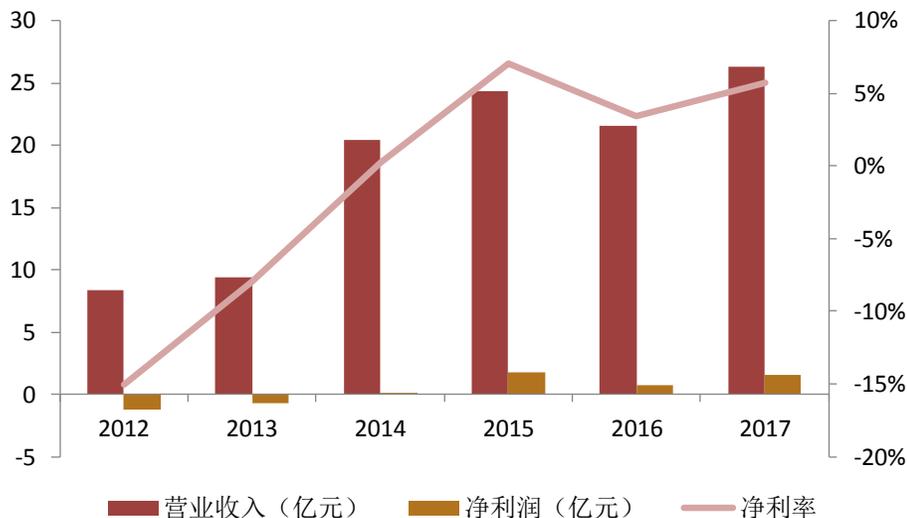


数据来源：爱德万，泰瑞达，西南证券整理

## 从营收规模角度来看，科利登和柯休属于第二梯队

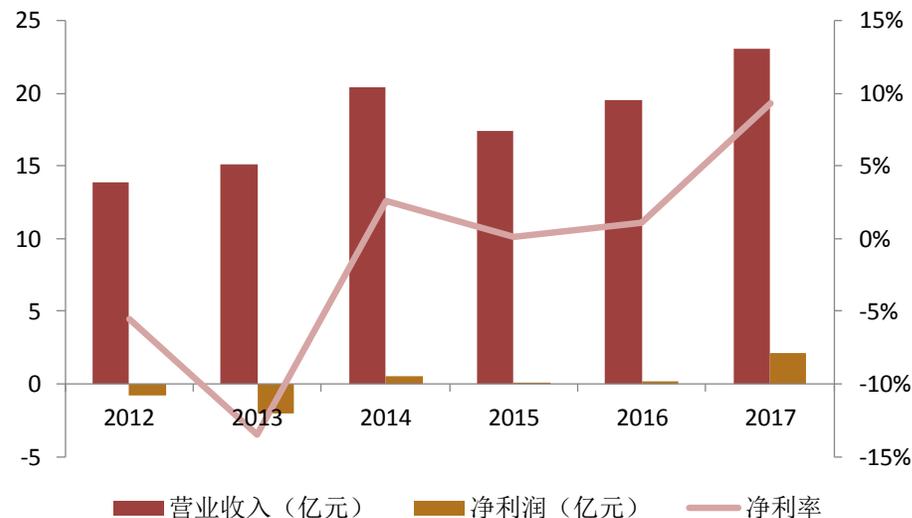
- 2017年科利登营收26.29亿元，净利润1.52亿元；柯休营收23.05亿元，净利润2.15亿元；
- 柯休营收规模要略低于科利登，但是柯休的净利率水平几乎是科利登的两倍，因此柯休的净利水平要远高于科利登；
- 从营收规模角度来看，科利登和柯休属于第二梯队，与泰瑞达、爱德万营收规模和市占率还有很大差距，科利登和柯休的营收和净利加起来都不及泰瑞达和爱德万的一半；
- 科利登和柯休的营收规模大概是长川科技的十多倍，净利润是长川科技的3-4倍，主要是由于长川科技的净利率水平远高于科利登和柯休。但是从市值规模角度来看，长川科技要略高于科利登和柯休，主要是长川科技处于成长期阶段的估值较高，目前PE大概为100，而科利登目前PE为15.5，柯休PE为21.5。

### 科利登2012-2016财年营收和净利润情况



数据来源：科利登，西南证券整理

### 柯休2012-2017年营收和净利润情况



数据来源：COHU，西南证券整理

## 柯休收购科利登完善封测市场

- 2018年5月，科休宣布将以7.96亿美元现金加股票收购科利登；
- 此次收购扩大了柯休在主要高增长领域的现有足迹，特别是在汽车，工业，物联网和移动性等长期增长市场；
- 合并后的公司规模增加，收入约8亿美元，利润率较高。该产品组合在后端半导体和印刷电路板制造领域具有高度互补性和多样性。

### COHU和Xcerra产品互补性



数据来源：COHU，西南证券整理

## 柯休收购科利登完善封测市场

- 柯休和科利登都专注于具有吸引力和不断增长的汽车，工业，物联网和移动终端市场。随着对科利登的收购，柯休加强了在汽车和工业半导体应用领域的地位。预计合并以后汽车和工业的营收占比将达到45%，移动应用营收占比达35%，消费应用营收占比达15%，计算和固态照明营收占比略微下降至3%。

## COHU和Xcerra合并后将对营收明细的影响



数据来源：COHU，西南证券整理

## 长川科技的测试设备所覆盖的下游应用较为单一，主要集成在中低端市场

- 长川科技目前还处于成长期，从市场规模、营收规模角度上看还远不及爱德万、泰瑞达、柯休等测试设备龙头。主要是因为长川科技的测试设备所覆盖的下游应用较为单一，设备品类仅仅只有数模混合测试机和功率测试机。相较之下，爱德万的测试设备覆盖数模混合、存储器、模拟信号、SOC等领域；泰瑞达也在数模混合、存储器、SOC方面有全面的业务覆盖；科利登也在数字信号、模拟信号、数模混合等领域深耕多年。

长川科技测试机和国外测试机供应商在细分市场上的对比

相关企业	数模混合测试机	存储器测试机	数字信号测试机	模拟信号测试机	SOC测试机
长川科技	CTA8280	——	——	——	——
爱德万	EVA100	T5385系列 T5773系列 T5503系列 T5511	——	T7912	T2000 V93000等
泰瑞达	ETS系列、 FLEX系列	Magnum Magnum V UltraFLEX-M	——	——	UltraFLEX/J 750
科利登	X系列	——	Diamond系列	ASL系列	——

数据来源：各公司官网，西南证券整理

## 长川科技测试机产品主要性能指标已达国内领先、接近国外先进技术水平

- 以测试机CTA8280型号为例，该型号产品关键指标电压精度、电流精度和时间精度与同类型的泰瑞达ETS88之间的对比情况如下：

产品型号	电压精度	电流精度	时间精度
Teradyne ETS88	$\pm(1.3\text{mV}+0.025\%\text{Rdg})$	$\pm(1.25\mu\text{A}+0.05\%\text{Rdg}+80\text{nA/V})$	$\pm(2\text{nSec})$
长川科技CTA8280	$\pm 0.05\%\text{Rdg}$	$\pm 0.1\%\text{Rdg}$	$\pm(2\text{nSec})$

- 以分选机C6430型号为例，该型号产品关键指标UPH、Jam Rate、Test Force 与同类型的EPSON NS-8040SH之间的对比情况如下：

产品型号	UPH	JamRate	TestForce
EPSON NS-8040SH	8000	1/5000	120Kgf
长川科技C6430	9500	1/5000	90Kgf

- 长川科技分选机和国外分选机供应商在封装复杂度上的对比：

	TO	DIP	QFP	SOP	LCC	LGA	PGA	BGA	QFN	CSP	WLP	MEMs
长川科技		√	√	√	√	√	√	√	√	√		
爱德万			√	√		√		√	√	√		
科利登	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√

数据来源：长川科技，西南证券整理

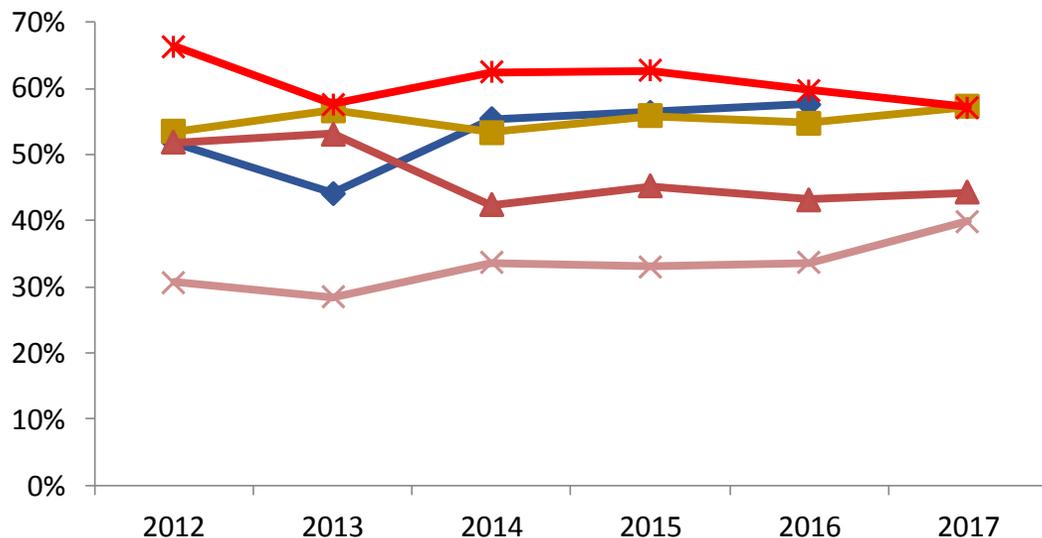
## 长川科技在下游高端应用方面的布局

- 目前长川科技在存储器、数字信号、模拟信号、SOC测试机等尚未有产品量产，但是公司在这些领域的研发已经步入正轨；
- **模拟集成电路测试领域**：在共地源测试技术的基础上，研发性能更优越的浮动源测试系统，满足电源管理电路、功放电路、驱动电路等产品的特殊测试需求。设计更加稳定高效的测试系统总线，开展浮动电源架构、AWG（任意波形发生器）功能、电压和电流叠加功能等技术研究。进一步提升模拟测试系统性能，扩大市场份额；
- **数字集成电路测试领域**：依托公司研发团队的技术积累，开展数字测试机的技术研究，通过国内市场调研和国际技术发展方向调研，研制100 MHz 的中高端数字测试机，适应MCU（微程序控制器）、SOC（系统级芯片）、LCD Driver（液晶驱动器）等数字类产品的测试需求；
- **大功率器件测试领域**：公司在“高压大电流测试系统”技术研究的基础上，进一步加大技术投入，提高大电流和高电压的测试能力，提升高压大电流测试机的可测试范围和测试能力，满足电力电子器件、IGBT 等大功率器件的测试需求，为国内电源行业、高铁行业、电力行业等产业的发展提供关键功率器件测试机。同时在现有的C5 系列分选机的基础上，设计出能测试超高电压、超大电流的、并具有串行并测、能快速更换模块适应于不同封装外形的IGBT 大功率器件的分选机；
- **应用于集成电路的高速多工位分选机领域**：公司将积极研发并测能力更强的系统架构，提升电路流转速度及执行部件响应速率，提升多工位并测能力、系统产能、应用范围及稳定性，不断提高测试效率，降低测试成本。
- **应用于晶圆制造及封装的专用装备**：晶圆制造及封装环节涉及上百种专用装备，市场前景极其广阔。公司将以12 英寸探针台作为重点突破口，切入晶圆制造领域专用设备市场，以倒装机、预封装切割机作为突破口，切入封装领域专用设备，推出符合市场定位的封装环节设备，进一步丰富公司产品线。

# 长川科技毛利率和净利率水平明显高于全球其他设备巨头

- 虽然长川科技目前测试设备覆盖领域较为单一，市场规模也极为有限，但是不可否认的是长川科技有着极强的盈利能力，毛利率水平略高于爱德万和泰瑞达等巨头，远高于科利登和柯休，净利率水平更是远远高于国外测试设备巨头。在性能优异的同时，公司产品性价比优势明显。

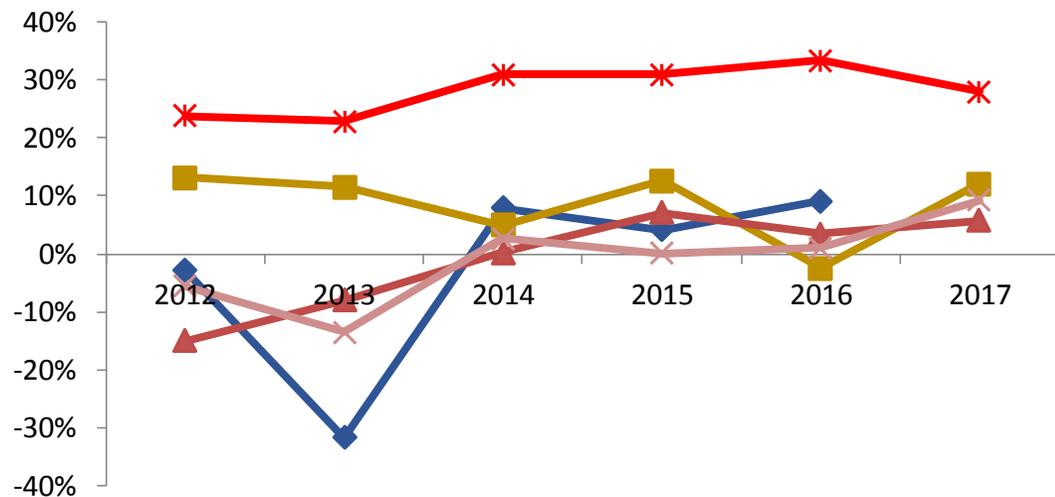
### 全球测试设备供应商毛利率对比情况



爱德万 泰瑞达 科利登 柯休 长川科技

数据来源：wind，西南证券整理

### 全球测试设备供应商净利率对比情况



爱德万 泰瑞达 科利登 柯休 长川科技

数据来源：wind，西南证券整理

目录

一、全球半导体设备市场规模及竞争格局

二、全球半导体设备详细拆分及国产化率分析



光刻机市场及国产化率情况



刻蚀机市场及国产化率情况



镀膜设备市场及国产化率情况



量测设备市场及国产化率情况



清洗设备市场及国产化率情况



离子注入设备市场及国产化率情况



其他设备市场及国产化率情况

三、半导体设备核心标的推荐逻辑

# 清洗设备

# 关键环节

## 清洗工艺在先进制程芯片制造中越来越重要

- 半导体制造国产中不可避免地会引入一些颗粒、有机物、金属和氧化物等污染物，而半导体芯片对杂质极为敏感，因此清洗步骤在半导体加工中必不可少。现在每个晶圆在制造过程中**可能需要多达200个清洁步骤，清洗步骤约占整个晶圆加工环节的33%。**
- 随着集成电路制程工艺节点越来越先进，清洗工艺的重要性日益凸显，在22nm和更小的节点是最关键的步骤。

### 杂质种类

空隙

残渣

划痕

变薄

颗粒

桥连



数据来源：盛美半导体，西南证券整理

### 光刻和清洗工艺在22nm及以下节点中至关重要

#### 晶圆加工关键过程

- 离子注入
- 薄膜沉积
- 光刻
- 刻蚀
- 清洗
- CMP
- 检测

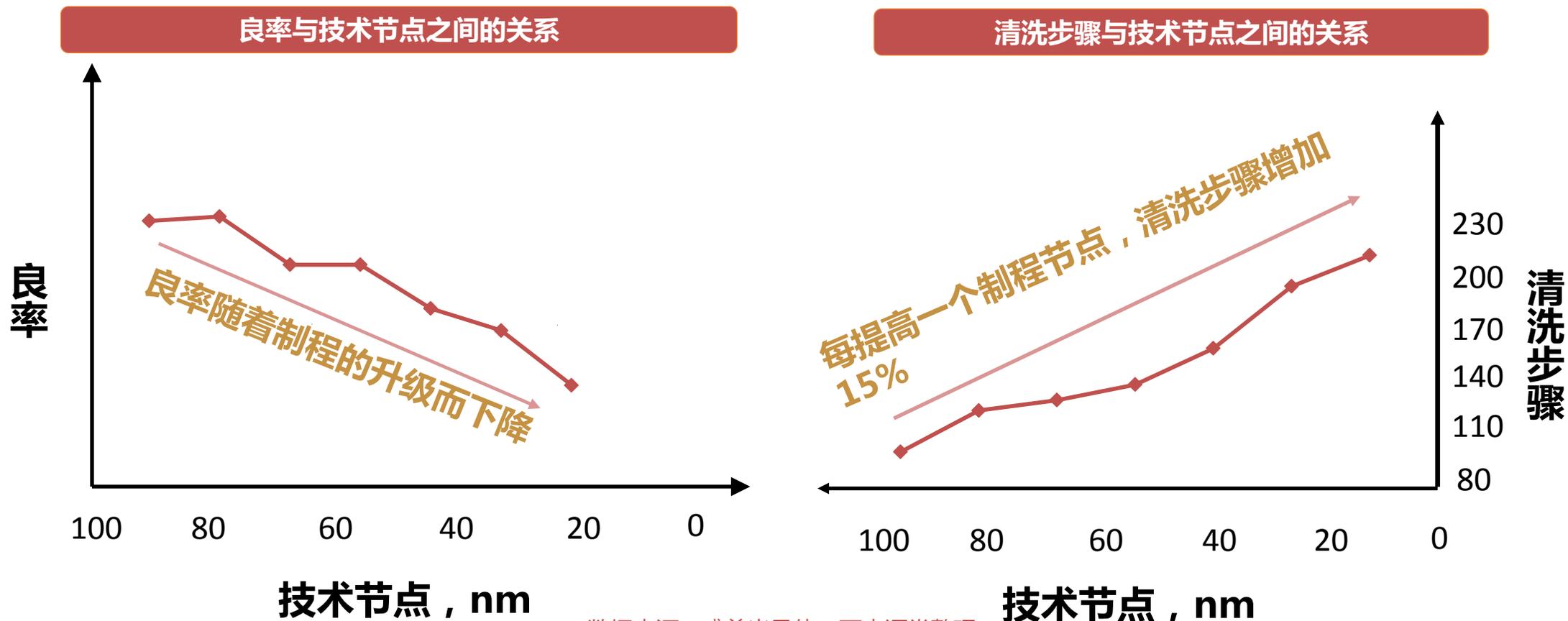
西南电子

在22nm和更小的节点是最关键的步骤

数据来源：盛美半导体，西南证券整理

## 清洗步骤随芯片制程升级而不断增加

- 随着制程升级，芯片良率也会随之下降。造成这种现象的一个原因就是先进制程对杂质的敏感度更高，小尺寸污染物的高效清洗更困难。**主要的解决方法是增加清洗步骤。**
- 基于一个DRAM fab产线月产能10万晶圆的假设，**预计良率每下降1%，每年会产生3000~5000万的损失。每提高一个制程节点，清洗步骤增加15%。**



数据来源：盛美半导体，西南证券整理

## 湿法清洗为主，辅助以干法清洗

- 清洗工艺主要分为湿法清洗和干法清洗两类。湿法清洗主要是依靠物理和化学试剂的作用。干法清洗主要类型是等离子清洗，等离子清洗的机理是依靠处于“等离子态”的物质的“活化作用”达到去除物体表面污渍的目的。
- 目前硅片清洗工艺中，**湿法清洗为主流方案，占整个清洗制程90%以上**。实际的半导体产线上通常是以湿法清洗为主，少量特定步骤采用干法清洗相结合的方式互补所短，构建半导体制造的清洗方案。

### 清洗工艺

#### 湿法清洗

溶液浸泡法

机械擦洗法

超声波清洗

兆声波清洗

旋转喷淋法

#### 干法清洗

等离子清洗

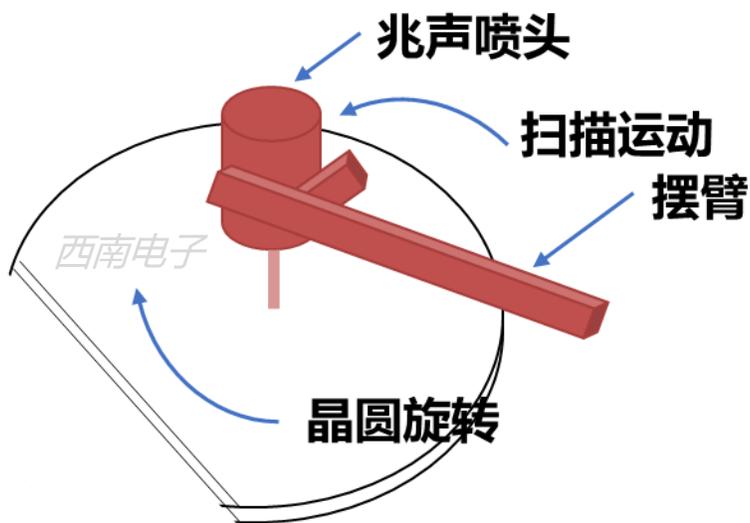
气相清洗

束流清洗

## 单晶圆清洗逐步取代批量清洗

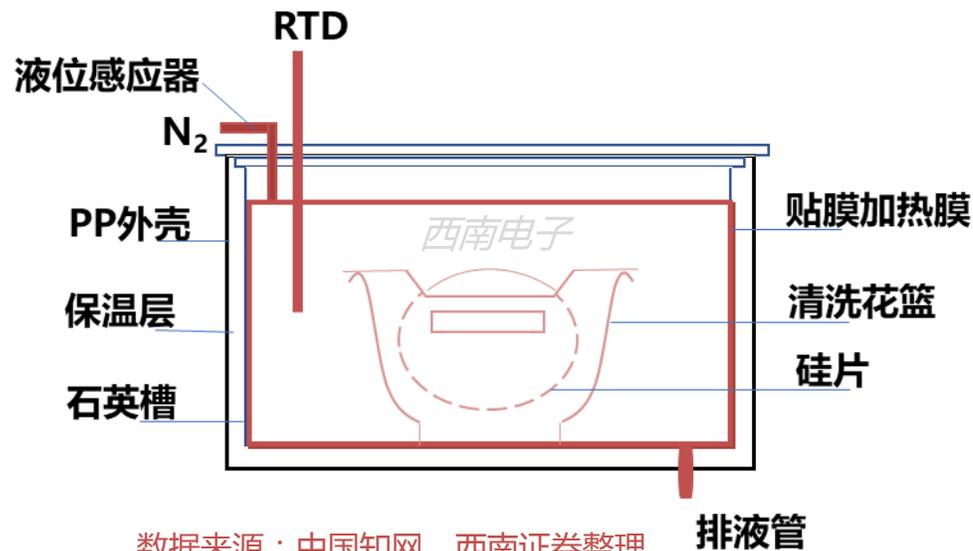
- 湿法清洗按照一次清洗的对象数量分为批量清洗和单晶圆清洗；
- 批量清洗指的是在一个处理仓中，利用浸泡等方法同时清洗多只晶圆的方法。这种方法由于交叉污染、清洗均匀可控性和后续工艺相容性等问题，**在45nm工艺周期到来时已经无法适应新的清洗要求，单晶圆清洗开始逐步取代批量清洗。**
- 单晶圆清洗改善了单个晶圆和不同晶圆间的均匀性，减少了交叉污染的几率，提高了良率；此外，单晶圆清洗的圆片边缘清洗效果更好。

### 单晶圆清洗原理



数据来源：中国知网，西南证券整理

### 槽式批量清洗原理



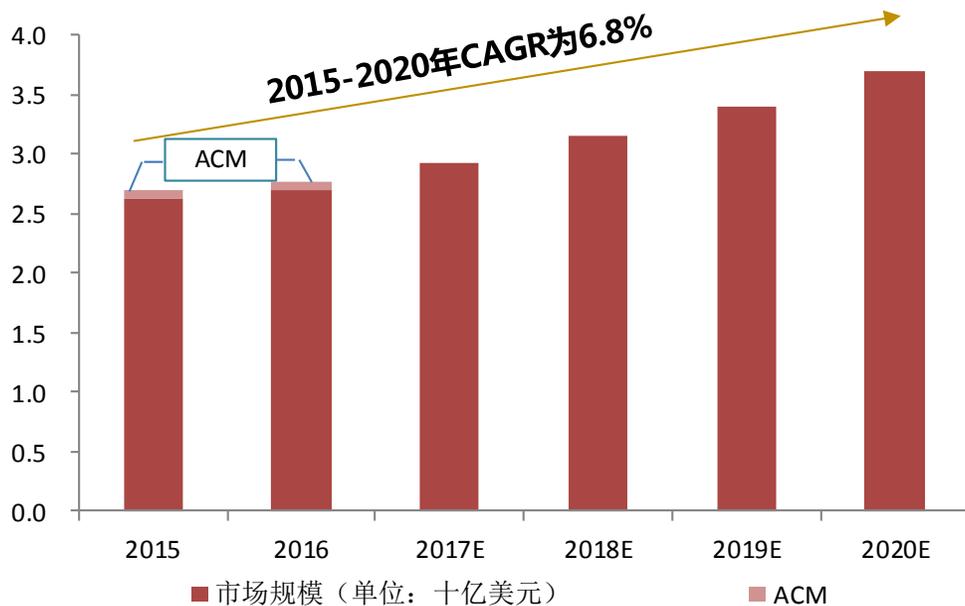
数据来源：中国知网，西南证券整理

排液管

## 全球清洗机市场规模及市场细分

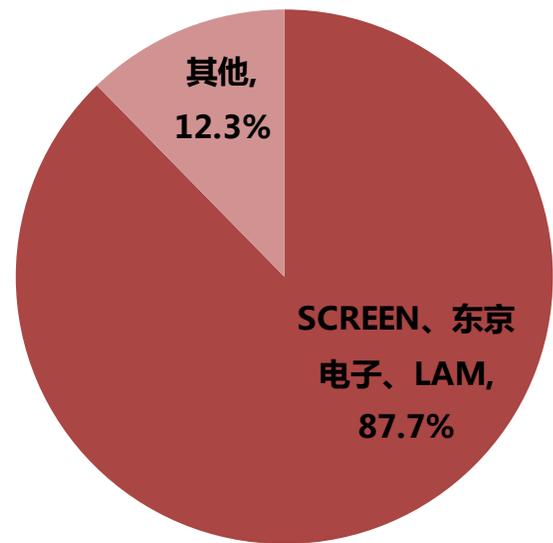
- 2017年全球半导体晶圆清洗设备市场规模接近30亿美元。预计2015-2024年复合年增长率将达到6.8%；
- 2015年全球半导体晶圆清洗设备市场前三名为SCREEN、东京电子和拉姆研究，合计占据市场87.7%的份额。其中SCREEN市占率最高，2016年全球半导体晶圆清洗设备市场，SCREEN市占率为53%。

2015-2020年全球清洗设备市场规模



数据来源：盛美半导体，西南证券整理

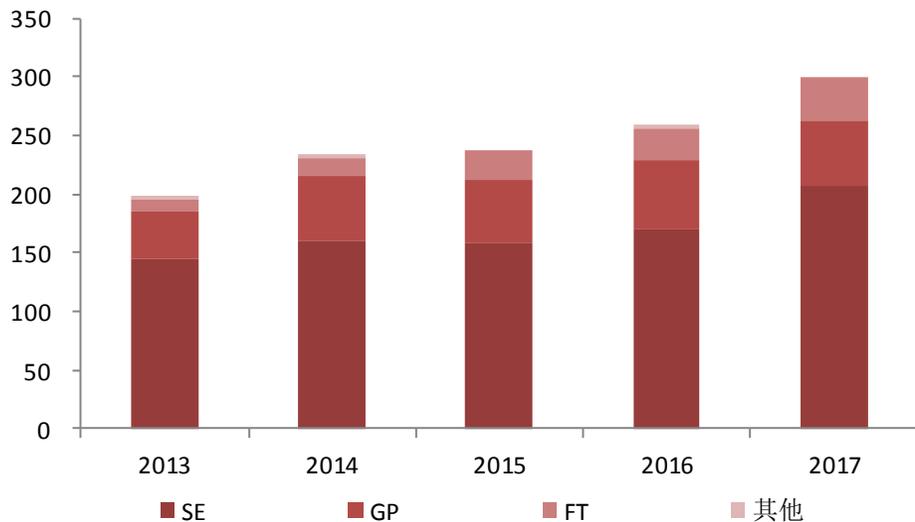
2015年全球半导体清洗设备市场细分



数据来源：迪恩士，西南证券整理

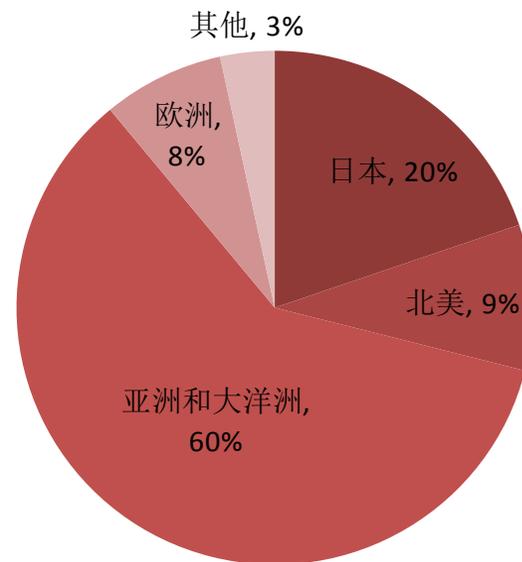
- 2017年迪恩士全年营收3002亿日元，其中SE（semiconductor solution）收入占比接近70%。  
2017年由于3D-NAND flash 存储芯片的销售量翻倍，迪恩士的单晶圆清洗设备市场份额增加了13%；
- 从地区方面来看，亚洲（包括日本）、大洋洲是迪恩士主要的收入来源地区，二者的收入占迪恩士总收入为80%。

2013-2017迪恩士各部门营收情况（单位：十亿日元）



数据来源：迪恩士，西南证券整理

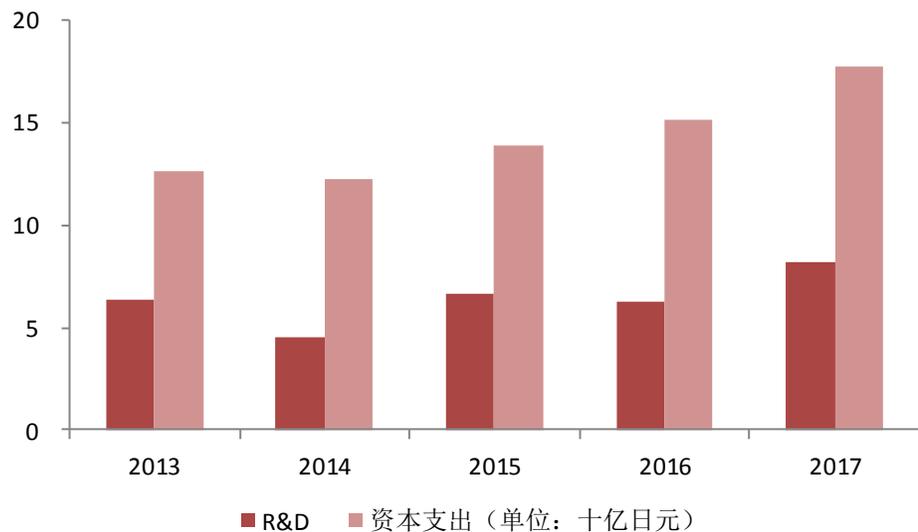
2017年迪恩士收入地区分布



数据来源：迪恩士，西南证券整理

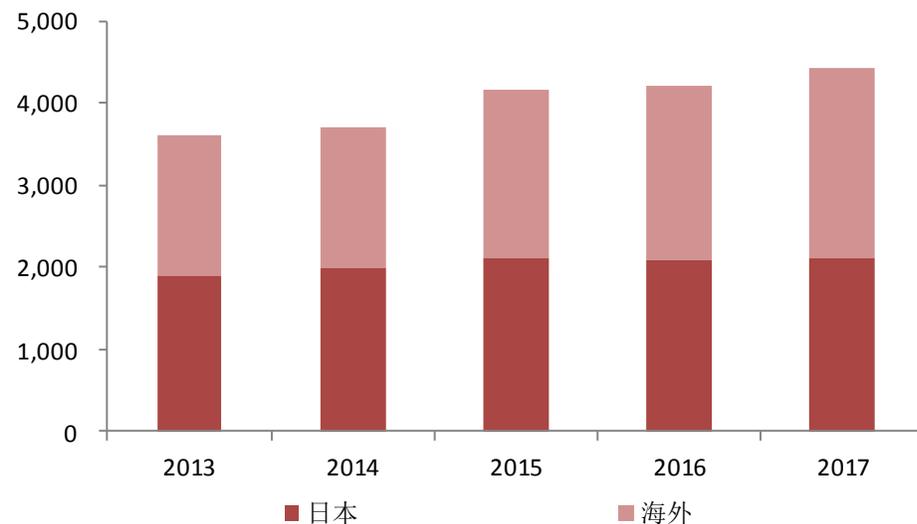
- 迪恩士十分注重研发，2013年以来，企业的研发费用稳中有升。2017年的研发费用为82亿日元，占企业资本支出的46%；
- 迪恩士拥有的专利数量庞大，2017年迪恩士共拥有4418件专利，其中来自日本本土的专利2115件，来自海外的专利2303件。

2013-2017年迪恩士研发费用情况



数据来源：迪恩士，西南证券整理

2013-2017年迪恩士专利拥有项数



数据来源：迪恩士，西南证券整理

## 清洗机国产化情况——盛美半导体：国内外单晶圆清洗一流设备商

- 盛美半导体目前的产品主要是基于SAPS和TEBO技术的单晶圆清洗设备。其中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；TEBO能够实现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，盛美半导体的SAPS产品受到国内外一流半导体制造商的认可，主要客户包括上海华力微电子，SK海力士，中芯国际，长江存储等。

SAPS技术

300-45nm制程的平坦的或者  
图案深宽比较低的晶圆表面Ultra C SAPS II 以及 Ultra  
C SAPS V

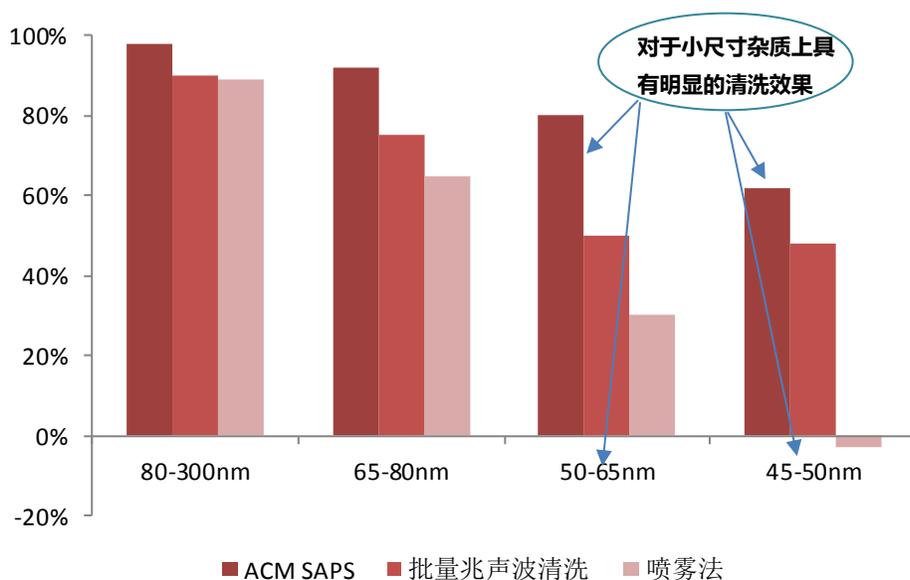
TEBO技术

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Ultra C TEBO II 和Ultra C  
TEBO V

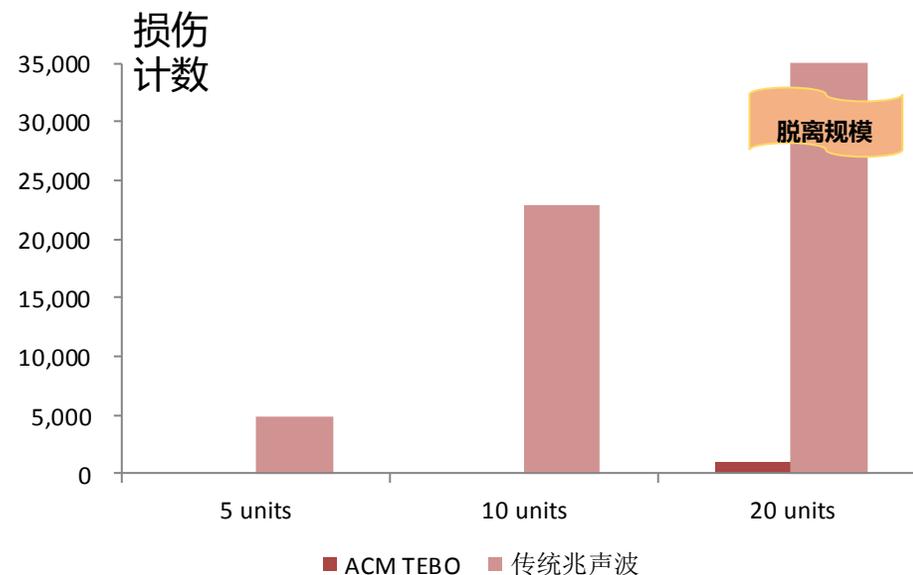
## 清洗机国产化情况——盛美半导体：国内外单晶圆清洗一流设备商

- 目前市场上采用传统的兆声波清洗设备的能量非均匀性在10%-20%，而公司凭借自创的SAPS技术，可以控制兆声波能量在硅片表面和硅片之间的非均匀性小于2%，清洗效率差别明显；这个不均匀性在小尺寸污染物的清洗上效果优势更加显著，这对先进制程的良率提升影响很大；
- 为了确保晶圆片的有效清洗，需要确保足够的功率水平。常规的超声波清洗在这种功率下会导致严重的图案破坏，TEBO可以在这种功率下运行，确保有效清洗，晶圆片很少遭到破坏。

不同尺寸杂质清洗效率对比

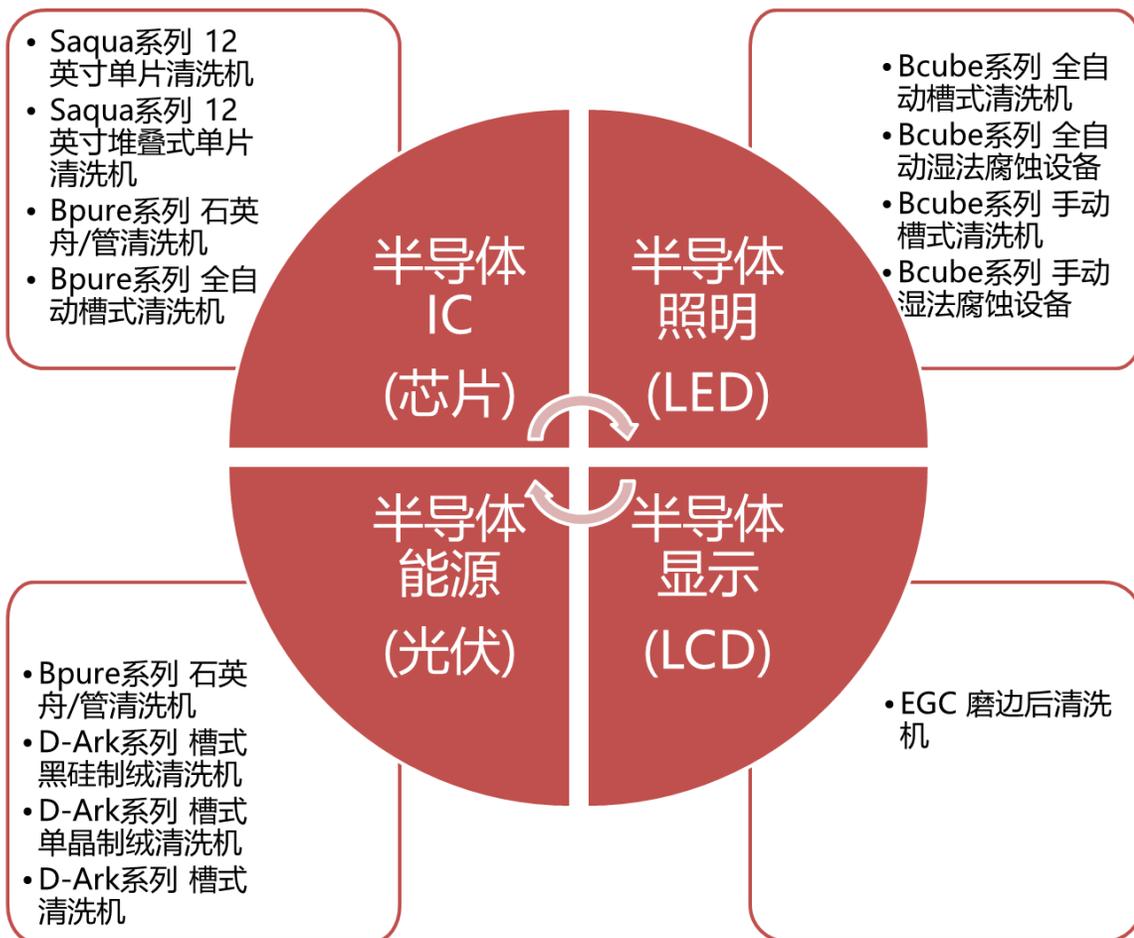


TEBO与传统兆声波清洗损伤数量的对比



## 清洗机国产化情况——北方华创：整合Akrion，占据清洗机大市场

北方华创清洗机设备下游市场涵盖整个泛半导体行业



数据来源：北方华创，西南证券整理

□ 北方华创可提供多种类型的**单片清洗设备**和**槽式清洗设备**。北方华创自主研发的应用于**IC制造中铜互连清洗工艺**的新一代Saqua系列单片清洗机达到国际同类型产品先进水平。Saqua系列12英寸清洗机进入**中芯国际B2芯片生产线**、Saqua单片清洗机进驻**中芯北方28纳米生产线**。2017年8月，北方华创以1500万美元现金拟**收购美国半导体硅片清洗设备公司Akrion**，本次收购将使得北方华创清洗机产品线得以补充，形成种类众多、产品广泛的8-12英寸批式和单片清洗机产品线，极大地拓展了北方华创在清洗机设备领域的产销体系。

## 清洗机国产化情况——至纯科技：立足高纯技术高点，积极布局清洗市场

至纯科技槽式湿法设备



至纯科技单片式湿法设备



数据来源：至纯科技，西南证券整理

- 公司于2015年开始启动湿法工艺装备研发，2016年成立院士工作站，2017年成立独立的半导体湿法事业部（子公司至微半导体，品牌ULTRON），致力打造高端湿法设备制造开发平台，丰富半导体设备领域的产销体系。公司已经于2017年形成了Ultron B200和 Ultron B300的槽式湿法清洗设备和Ultron S200和Ultron S300的单片式湿法清洗设备产品系列，并已经取得6台的批量订单。公司有信心在国家战略导向的国产化策略支持下，为国产化的装备和材料领域发展添砖加瓦。预计在湿法工艺机台领域，未来中国市场就有超过20亿美元的市场机会。
- 至纯科技湿法事业部预计未来五年内有超过200台各类湿法清洗机台的装机量。

## 目录

### 一、全球半导体设备市场规模及竞争格局

### 二、全球半导体设备详细拆分及国产化率分析



光刻机市场及国产化率情况



刻蚀机市场及国产化率情况



镀膜设备市场及国产化率情况



量测设备市场及国产化率情况



清洗设备市场及国产化率情况



离子注入设备市场及国产化率情况



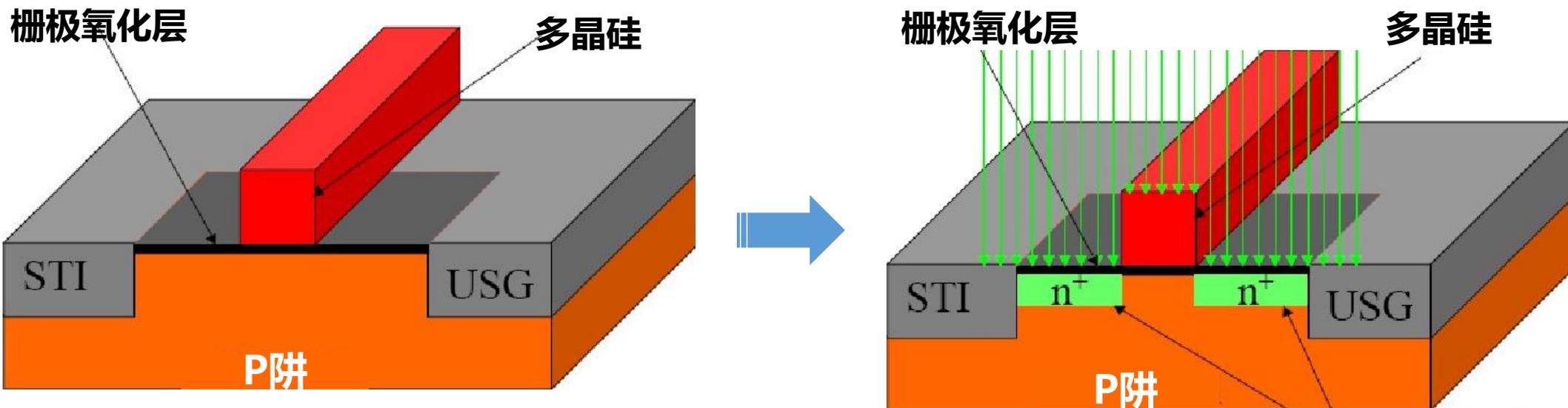
其他设备市场及国产化率情况

### 三、半导体设备核心标的推荐逻辑

## 离子注入工艺：不可或缺的掺杂技术

- 半导体中载流子数目极少，导电能力很低，通过在其中掺入微量的杂质，形成的**杂质半导体的导电性能将大大增强**。目前，掺杂工艺有两种主流技术：**扩散和离子注入**；
- **扩散基本原理**：在高温环境下，杂质原子通过气相源或氧化物扩散或淀积到硅晶片的表面，**按要求的浓度与分布掺入到半导体材料中**，以改变材料电学性能；
- **离子注入基本原理**：加速到一定高能量的离子束注入材料表面层内，以改变表面层物理和化学性质。**在半导体中注入杂质原子（如在硅中注入硼、磷或砷等），可改变其表面电导率或形成PN结。**

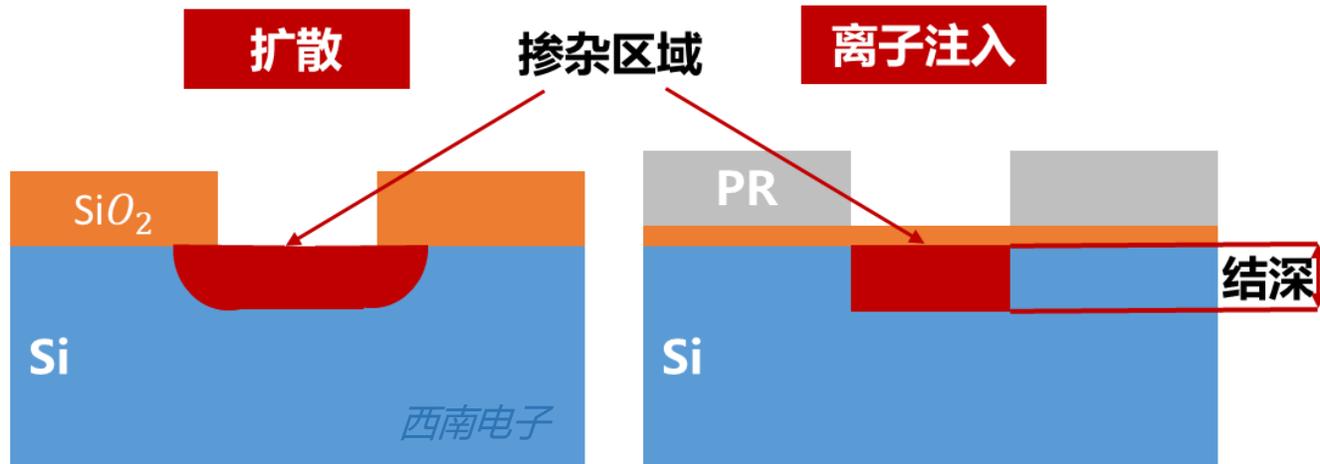
离子注入工艺示意图



## 扩散与离子注入工艺比较

对比内容	热扩散	离子注入
杂质浓度	受表面固溶度限制，掺杂浓度过高、过低都无法实现	浓度不受限
结深	结深控制不精确	结深控制精确
横向扩散	严重，扩散线宽3um以上	较小，退火后线宽小于1um
温度	高温工艺，约1000°C	常温注入，可低温、快速退火
晶格损伤	小	损伤大，退火也无法完全消除

扩散技术和离子注入技术对比图



数据来源：百度文库，西南证券整理

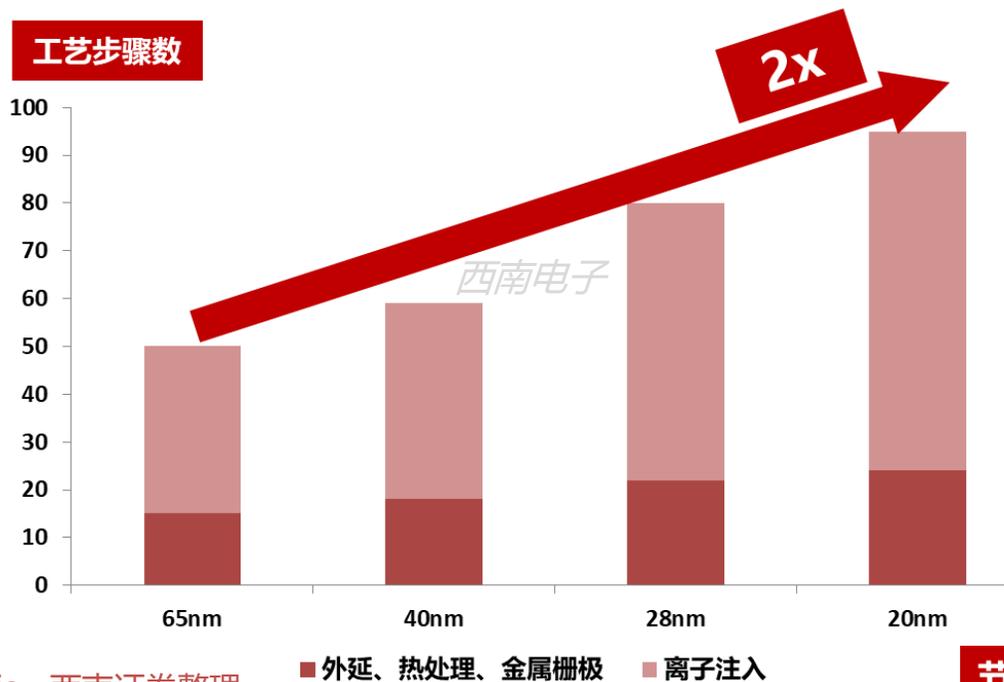
扩散技术和离子注入效果对比示意图



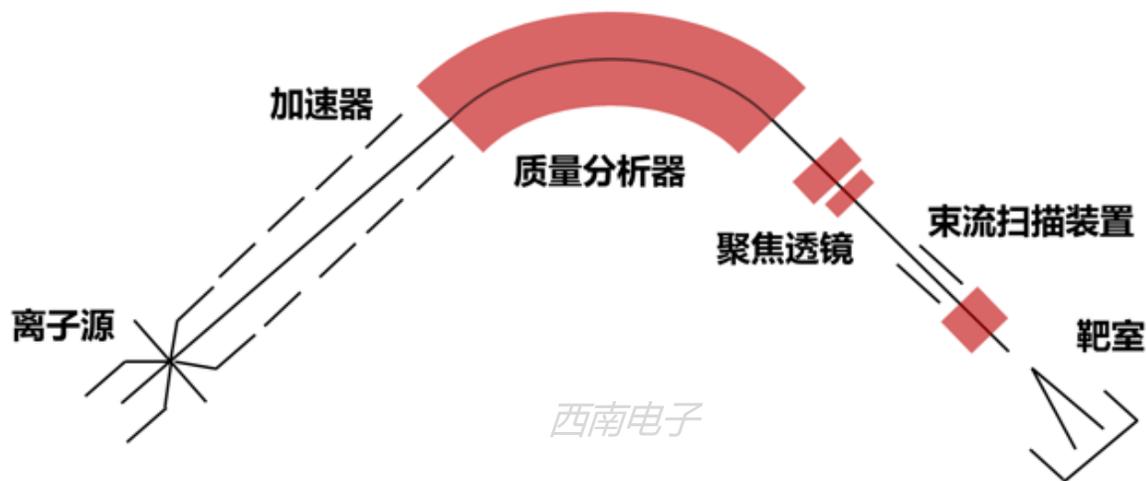
## 离子注入工艺：不可或缺的掺杂技术

- 随着制程工艺日益精细化，离子注入将会有更大的用武之地。离子注入已成为VLSI制程上最主要的掺杂技术。尤其是浅结主要是靠离子注入技术实现掺杂。
- 随着芯片复杂性的增加，离子注入步骤的数量也在增加。目前，采用嵌入式存储器的CMOS集成电路的注入工序可能多达60多道，20nm节点离子注入工艺步骤相比65nm增长两倍。

工艺步骤数随节点扩张路径图



离子注入系统示意图

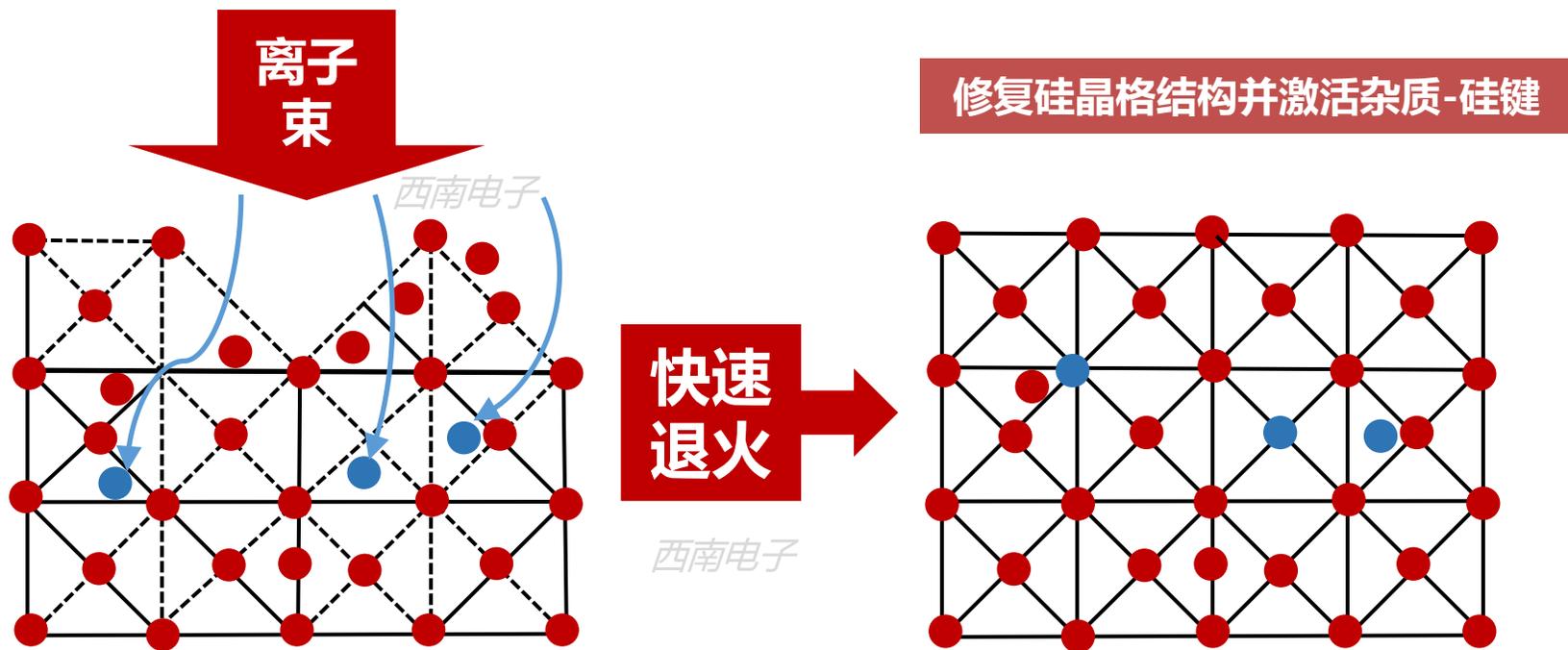


数据来源：百度文库，西南证券整理

# 离子注入

## 快速退火修复晶格损伤

- 由于离子注入所造成的损伤区及畸形团，使迁移率和寿命等半导体参数受到影响。此外，大部分的离子在被注入时并不位于置换位置，必须在适当的时间下将半导体退火；
- 退火处理：主要用于激活间隙原子运动至晶格位置、修复晶格损伤与缺陷、消除离子注入过程产生的残余应力；
- 退火方法：高温炉退火和快速退火（常用）。快速热退火（RTP）由于速度较快（小于1分钟），更好的片间均匀性，最小化杂质扩散等优点被广泛用于注入后退火。

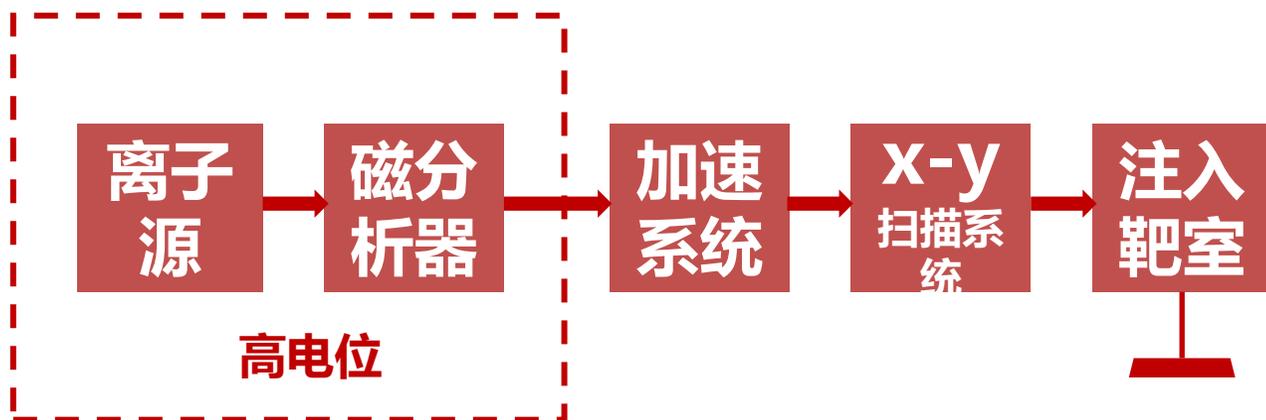


数据来源：百度文库，西南证券整理

## 离子注入机：前道工序中的关键设备

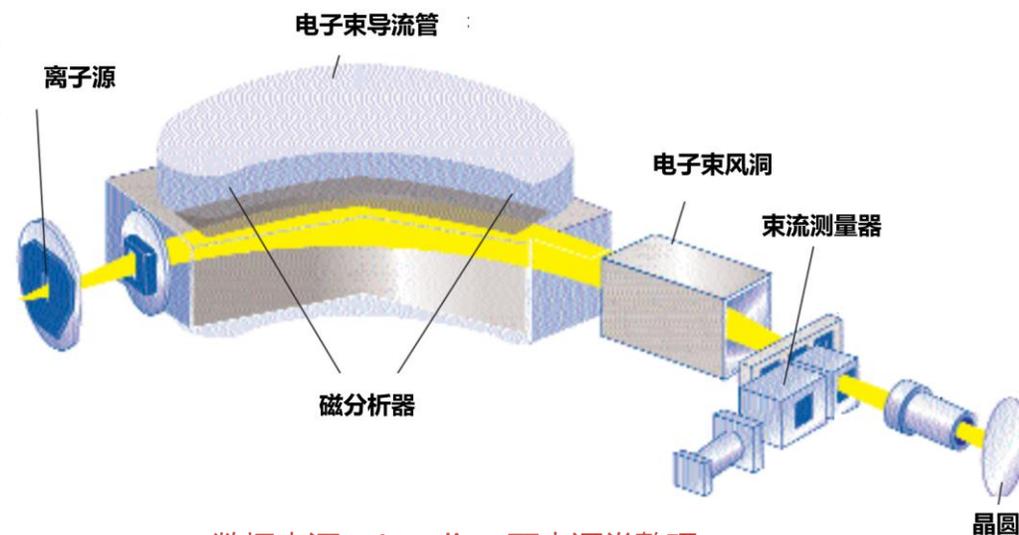
- 离子注入需要有适用的离子注入设备，目前，半导体掺杂用离子注入机的能量范围为20 ~ 400千电子伏，主要有先分析后加速和先加速后分析两种型号；
- 在先分析后加速的结构中，离子源和磁分析器处于高电位，靶室处于低电位。离子源是离子注入机最重要的部件之一，一般情况下，离子源提供的是**单电荷离子**。磁分析器起着提纯的作用,只让所需的离子通过，经加速扫描后达到注入靶上。为了减小束流的传输损失，离子注入机通常采用**单透镜和四极透镜进行离子束聚焦**。此外，离子注入机尚需**清洁的真空条件**（无油污,整机真空度为  $10^{-4}$  帕,靶室真空度为  $10^{-5}$  帕）以及可靠而稳定的电源和控制系统等。

离子注入机框图



数据来源：百度文库，西南证券整理

离子注入机实物图



数据来源：Axcelis，西南证券整理

## 离子注入机：前道工序中的关键设备

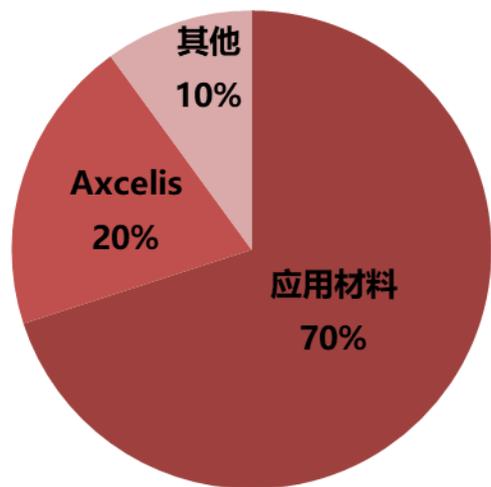
- 通过离子注入机，可对注入剂量、注入角度、注入深度、横向扩散等方面进行**精确的控制**，克服了常规工艺的限制，提高了电路的集成度、开启速度、成品率和寿命，降低了成本和功耗；
- 常用的生产型离子注入机主要有**三种类型**：低能大束流注入机、高能注入机和中束流注入机，低能大束流是**高剂量、浅度掺杂**，中束流是**中低剂量、高精度控制掺杂**，高能是**深度掺杂**。
- 一条NAND Flash产线上，约有**37台离子注入机**，其中**10台高能量**，**20台大束流**，**7台中束流**；一条DRAM产线上，约需要**55台离子注入机**，其中**3台高能量**，**40台大束流**，**12台中束流**；一条Logic产线上，约需要**30-40台离子注入机**，其中约**25-30台大束流**，**5-10台中束流**；

离子注入机类型	能量范围	注入剂量范围	工艺中的主要应用
低能大束流离子注入机	0.2keV~100keV	$10^{13} \sim 10^{16} \text{cm}^{-2}$	超浅结、源漏注入、多晶硅栅极注入等
高能离子注入机	~MEV	$10^{11} \sim 10^{13} \text{cm}^{-2}$	深埋层等
中束流离子注入机	几百keV	$10^{11} \sim 10^{17} \text{cm}^{-2}$	栅阈值调整、轻掺杂漏区、SIMOX、Smart Cut穿透阻挡层等

## 离子注入机市场：应用材料一家独大，亚舍立科技迎头赶上

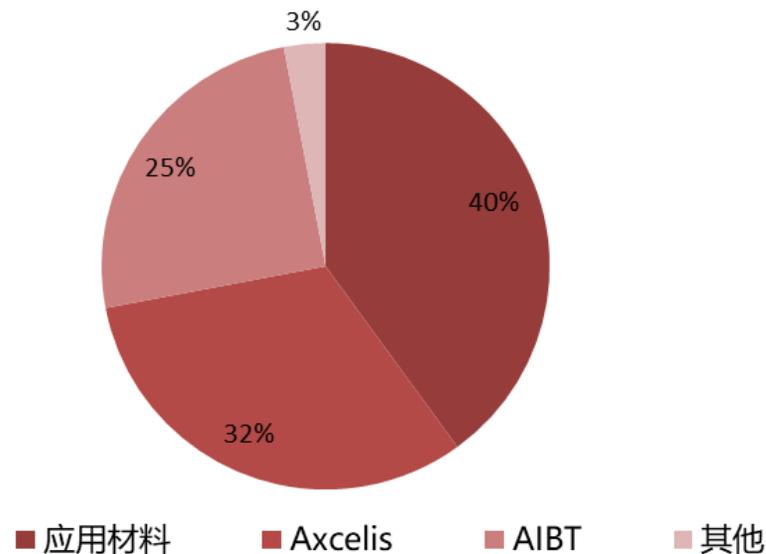
- 目前，全球离子注入机市场规模为**10亿美元左右**，从全球竞争格局上看，应用材料长期以来占据了**70%以上**的市场，除此之外，美国的**亚舍立科技发展迅猛**，市场份额也在不断增加。
- 由于芯片尺寸不断缩小，为了实现浅层掺杂，**低能大束流日渐成为主流**。目前，低能大束流占有**离子注入机市场的55%**。从大束流离子注入机整体格局看，主要由三家龙头企业掌控。应用材料收购Varian公司成为老大，占有**40%**的市场份额；其次是Axcelis，占有**32%**的市场份额；第三家是AIBT，占有**25%**的市场份额，**前三家企业包揽了97%以上的市场份额，行业高度集中**。

### 全球离子注入机市场格局



数据来源：应用材料，西南证券整理

### 低能大束流离子注入机市场分额

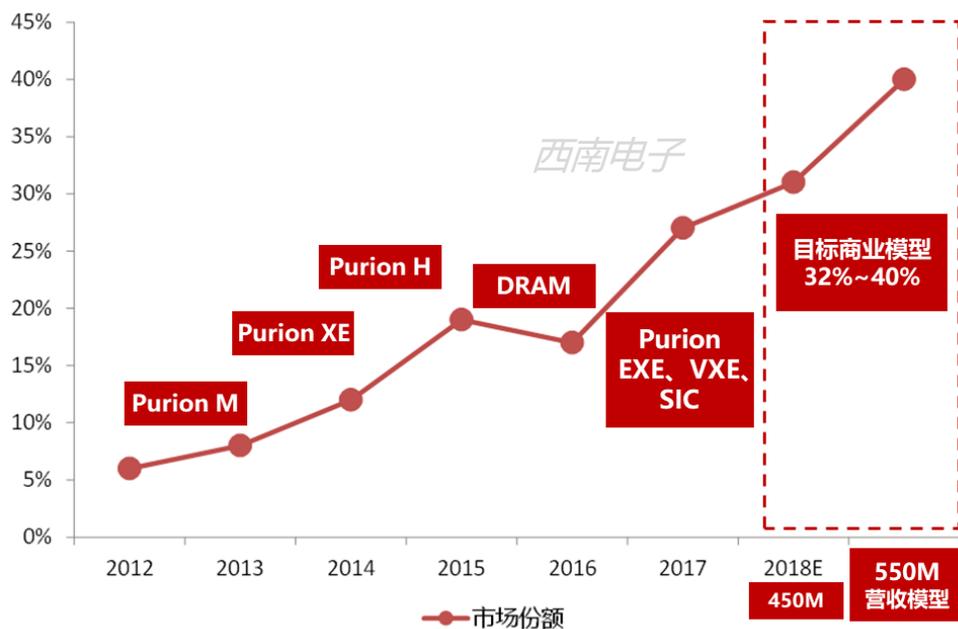


数据来源：浦科投资，西南证券整理

## 亚舍立科技 (Axcelis) : 后起之秀, 高能为主

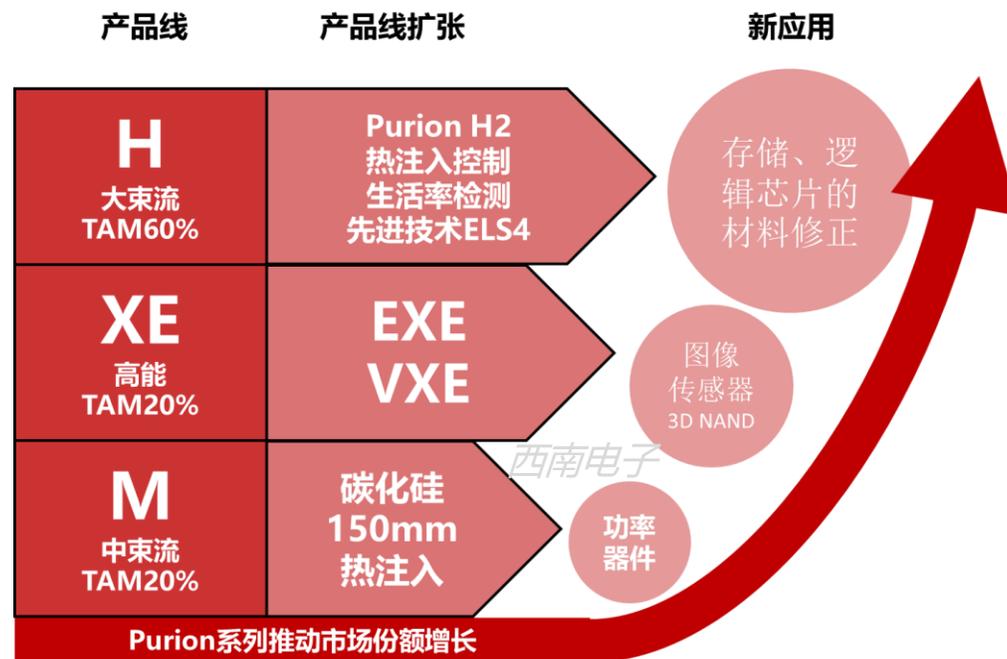
- Axcelis服务于半导体行业40年, 拥有800多项专利, 是离子注入系统发展与制造的全球领导者, Purion系列产品推动了Axcelis市场份额迅速增长, 从5%左右一路攀升至25%, 在其5.5亿美元模型中, 预计市场份额高达40%, 后起之秀, 增长迅猛;
- 随着新技术的不断应用, Axcelis的产品线不断扩张, 推动着亚舍立科技的市场份额也在不断提高。

### Axcelis 离子注入机市场份额



数据来源: Axcelis, 西南证券整理

### Axcelis 2018 Q1 新产品扩张营收占比

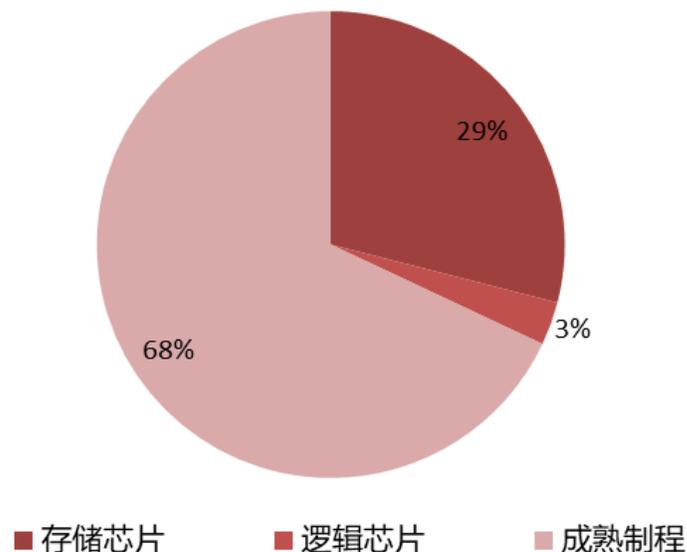


数据来源: Axcelis, 西南证券整理

## 亚舍立科技 (Axcelis) : 后起之秀, 高能为主

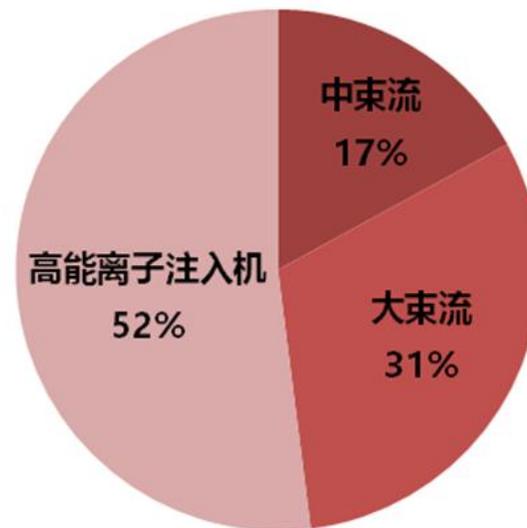
- 按照下游市场拆分, 在Axcelis的营收结构中, 存储、逻辑芯片分别占比29%, 3%, **成熟制程占比高达68%**, 是Axcelis营收和利润的主要来源;
- 按照离子注入机产品类型划分, 在Axcelis的产品结构中, **高能离子注入机占比高达52%**, 远超中束流17%以及大束流31%, 考虑到Axcelis的大束流全球市场份额为32%, 意味着Axcelis在高能离子注入机市场拥有强大的竞争力, 占据绝对优势。

Axcelis 2018Q1按下游市场营收拆分



数据来源: Axcelis, 西南证券整理

Axcelis 2018Q1按离子注入机产品类型划分

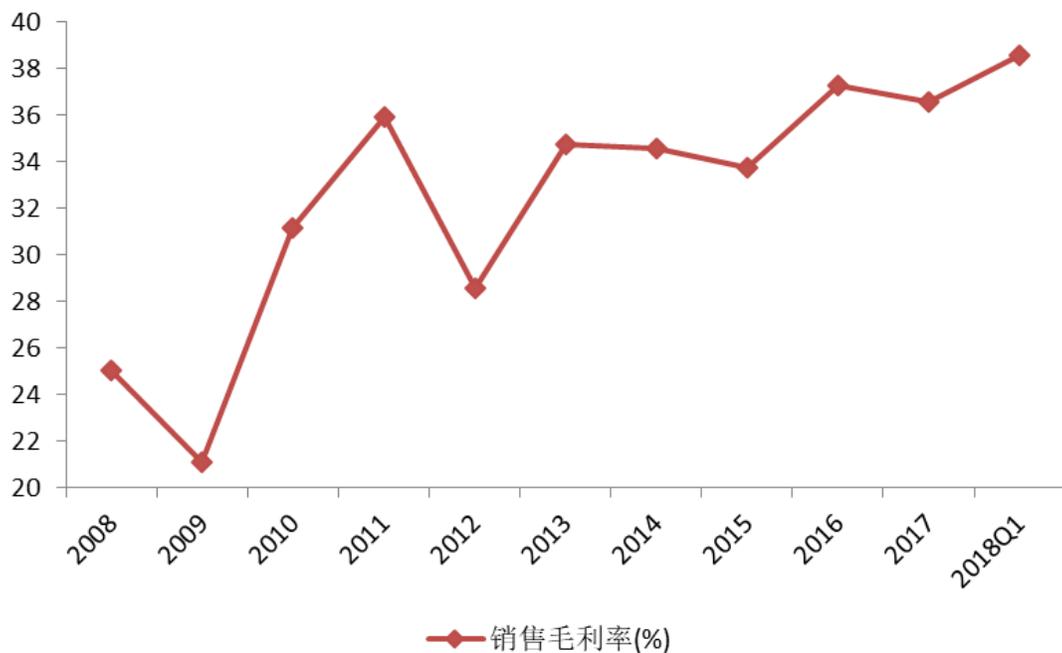


数据来源: Axcelis, 西南证券整理

## 亚舍立科技 (Axcelis) : 后起之秀, 高能为主

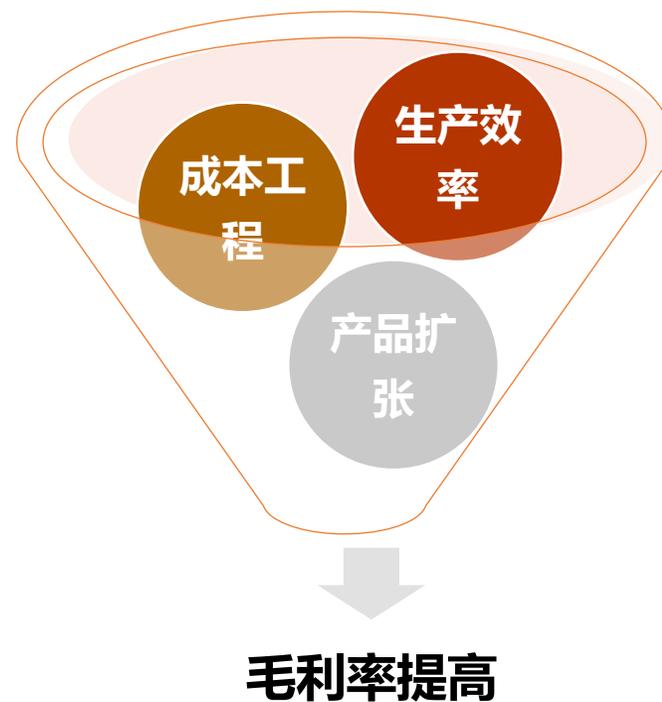
- 收益于产品扩张红利, Axcelis 2008年以来毛利率显著上升, 从2008年25%左右一路上涨至2018Q1的38% ;
- 毛利率上升的主要驱动力来源于Purion系列产品系统利润的提高。除产品的扩张外, 还包括: 成本工程、生产效率。

Axcelis 2008年毛利率及其变化



数据来源: Axcelis, 西南证券整理

Axcelis毛利率增长驱动力

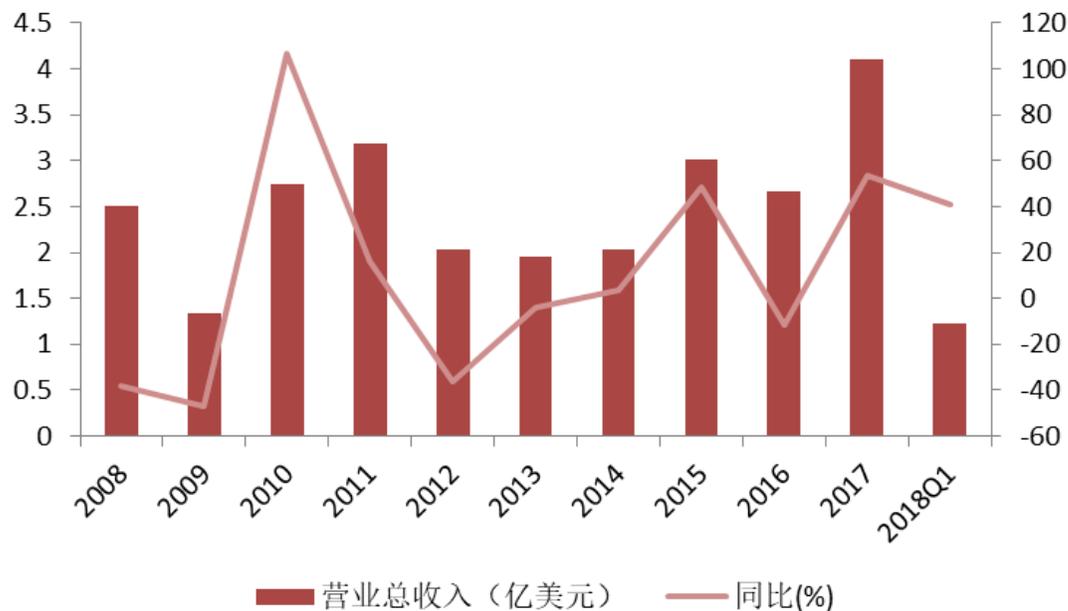


数据来源: Axcelis, 西南证券整理

## 亚舍立科技 (Axcelis) : 后起之秀, 高能为主

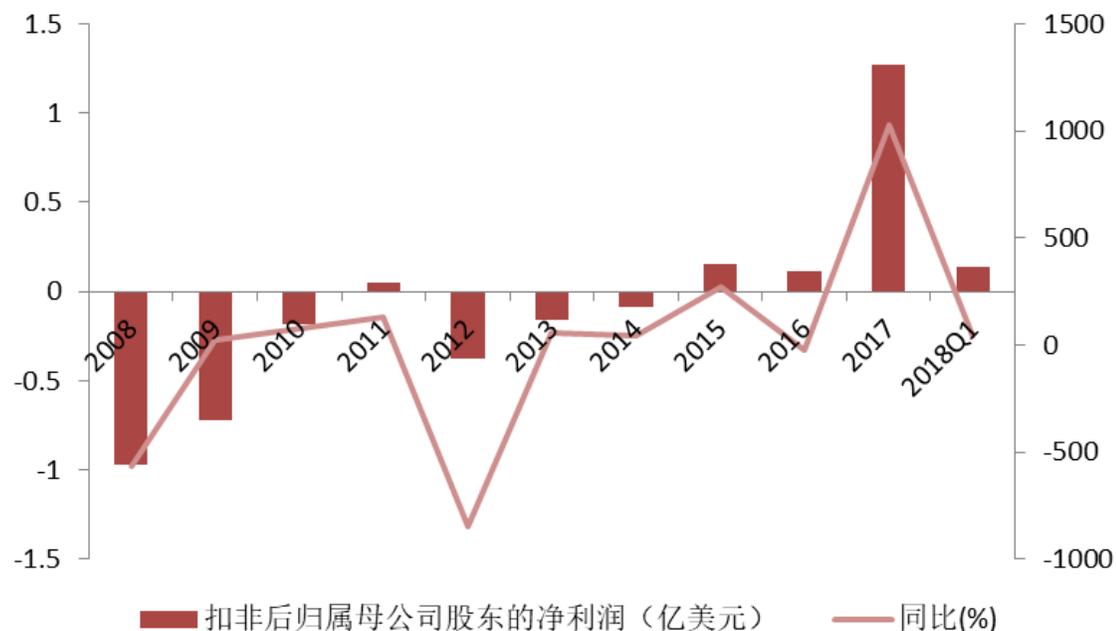
- Axcelis营业收入早期由于产品不足陷入低谷, 在Purion产品不断开发之后, 业绩持续增长, 2017年实现营业收入**4.11亿美元, 同比增长53.87%**;
- 随着Axcelis经营业绩的不断改善, 归母净利润持续向好, 从2018年-0.97亿美元, 到2015年第一次实现扭亏为盈, 2017则实现归母净利润**1.27亿美元, 同比增长高达1025%**。

### Axcelis 2008年以来营业收入及其增长



数据来源: Axcelis, 西南证券整理

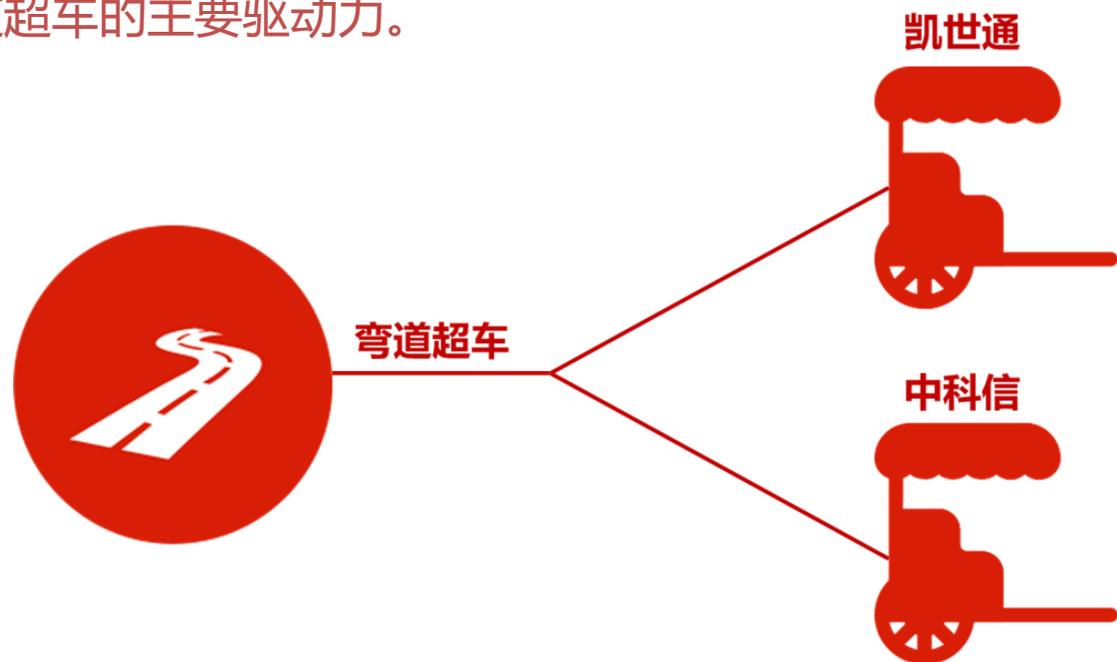
### Axcelis 2008年以来归母净利润及其增长



数据来源: Axcelis, 西南证券整理

## 离子注入设备国产化进程：有望弯道超车

- 随着国内晶圆厂建设步入高峰期，离子注入机也将迎来庞大的市场空间。一般而言，3万片/月的产能需要10台离子注入机。根据中国电子报统计，2020年中国将新增超过100万片/月的12英寸产能。假设每台离子注入机价格为300万美元计算，2017-2020年，12英寸晶圆厂建设将为我国离子注入机市场带来超过10亿美元的增量空间；
- 目前，我国离子注入机基本依靠进口，进口额占集成电路设备进口总额的5%。离子注入是集成电路制造不可缺少的一环，目前国内只有**凯世通和中科信2家公司**具备集成电路离子注入机的研发和生产能力，是国产设备实现弯道超车的主要驱动力。



数据来源：西南证券

## 离子注入设备国产化进程：有望弯道超车

- 北京中科信高能量、大束流和中束流离子注入机中均**布局较为完整**，其“45-22nm低能大束流离子注入机研发与产业化”项目高分通过验收，标志着完全由我国自主整体设计、关键技术创新的低能大束流离子注入装备**实现了从消化吸收到自主创新与产业化阶段的跨越式发展**；
- 凯世通研发出我国第一台商用光伏离子注入机，并不断开拓国际巨头垄断的**IC离子注入机领域**；
- 2018年8月，**万业企业收购凯世通**，国内产业集中度显著提高，公司把集成电路装备作为重点发展产业，预计未来集成电路设备业务所占的公司收入比重将逐步增加，充分**拓展集成电路产业领域**。

中科信大束流离子注入机



数据来源：中科信，西南证券整理

凯世通太阳能离子注入机

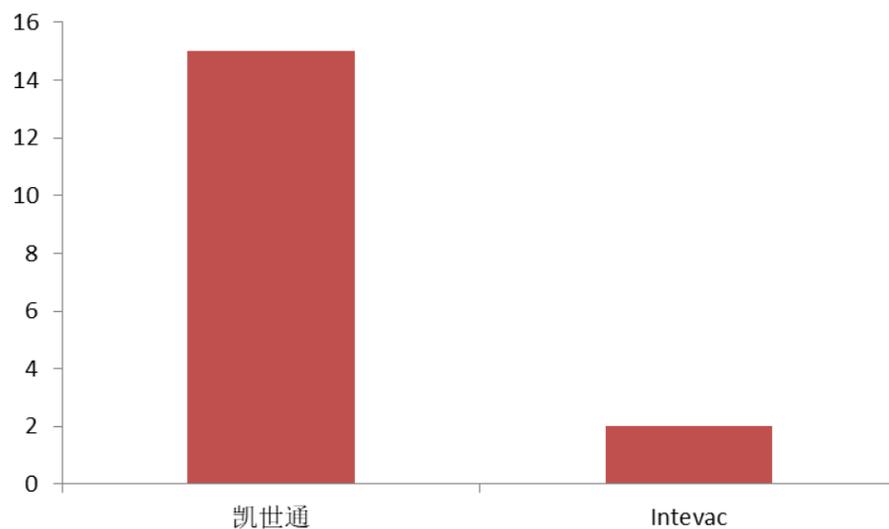


数据来源：凯世通，西南证券整理

## 凯世通：国产离子注入设备标杆

- 目前全球只有凯世通、美国Intevac公司、日本真空3家公司从事太阳能离子注入机的生产制造。根据Intevac公司2017年年报，2017年Intevac公司当年销售的太阳能离子注入机有**2台**。而2017年凯世通销售的太阳能离子注入机为**15台**。相较于竞争对手，凯世通的太阳能离子注入机更被广泛应用，市场占有率全球最高。
- 集成电路离子注入机领域，凯世通目前在研发及市场推广方面主攻两个产品：**低能大束流离子注入机和IGBT氢离子注入机**。大束流离子注入机方面，凯世通研发目标为引出束流超出竞争对手的主力机型**两倍以上**的机型。达到单位产能是**竞争对手的两倍以上的性能**，预计到2018年底完成研发。

凯世通太阳能离子注入机2017年产量对比（台）

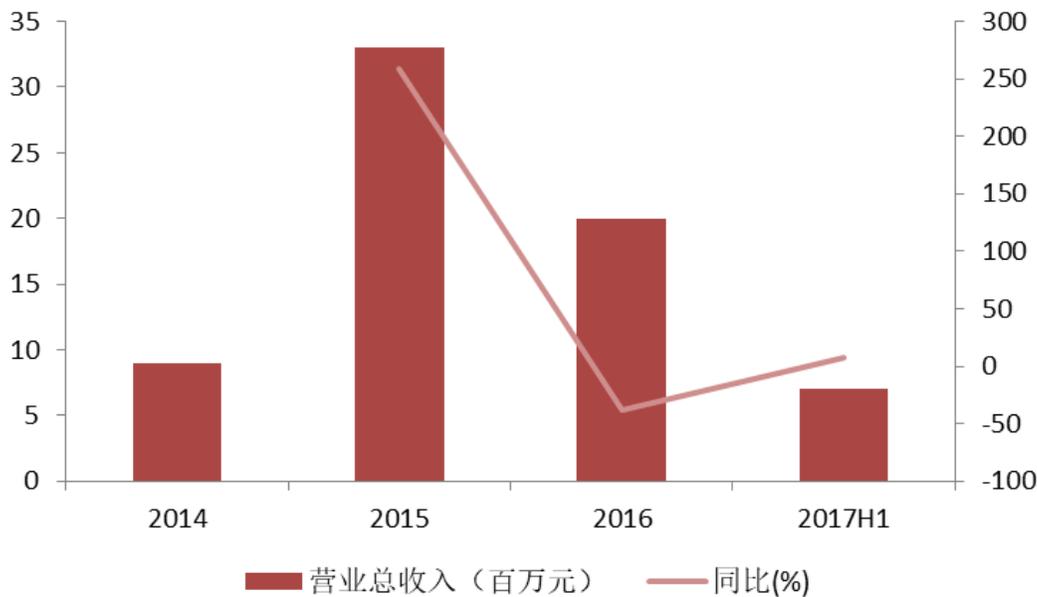


数据来源：凯世通，西南证券整理

## 凯世通：国产离子注入设备标杆

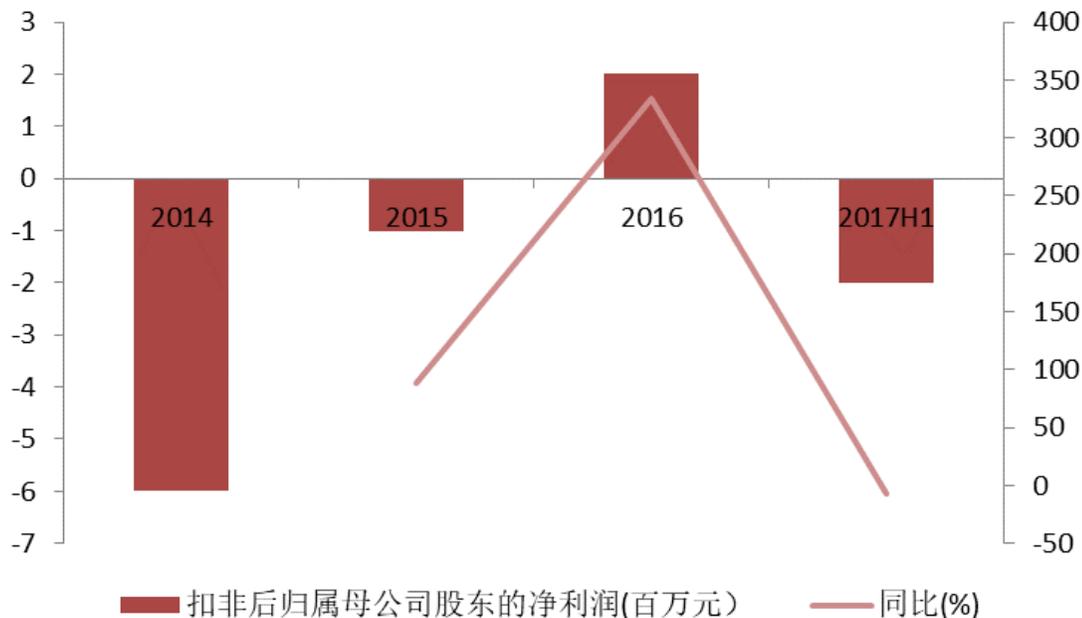
- 由于根据客户需求向国外关联方采购的扩散炉及配件等离子注入机配套设备数量减少，凯世通2015年以来营业收入大幅下降，2016年实现营收0.2亿元，同比下降38.56%。但同期净利润却是扭亏为盈，实现归母净利润0.02亿元，同比增长334.14%，系转入当期损益的政府补助增加，带动净利润较去年大幅增长。除2016外，凯世通经营业绩一直为亏损状态。

凯世通2014年以来营业收入及增长情况



数据来源：凯世通，西南证券整理

凯世通2014年以来归母净利润及增长情况

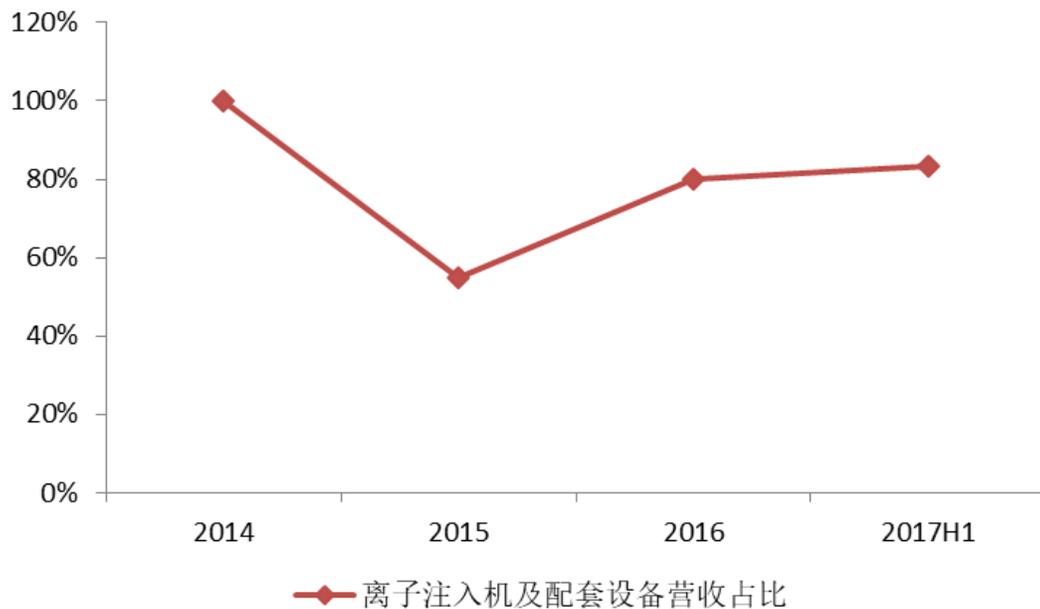


数据来源：凯世通，西南证券整理

## 凯世通：国产离子注入设备标杆

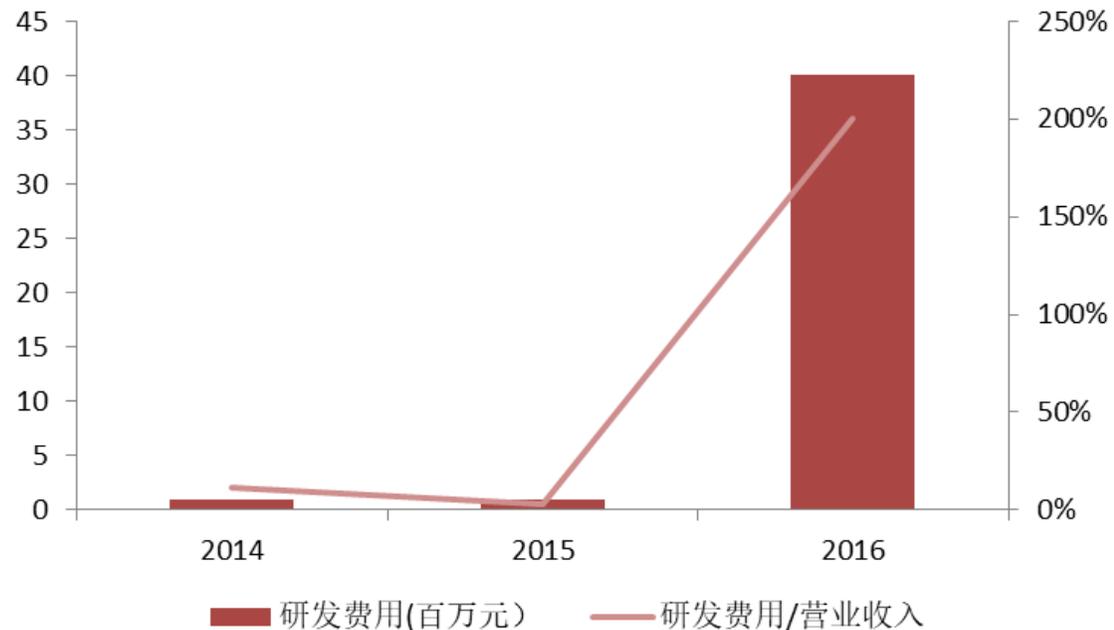
- 在凯世通营收结构中，离子注入机作为凯世通核心产品，是其营业收入和利润的主要来源，2016-2017年H1，离子注入设备营收占比均在80%以上；
- 凯世通极其重视研发。2014-2015年，企业经营严重亏损，仍坚持每年1百万元的研发投入，2016年，研发支出更是高达**0.4亿元**，**同比增长200%**，作为国产离子注入设备标杆，凯世通加大研发，加快离子注入设备国产化进程，有望是实现弯道超车。

凯世通2014年以来离子注入机营收占比



数据来源：凯世通，西南证券整理

凯世通2014-2016年研发费用及其营收占比



数据来源：凯世通，西南证券整理

目录

一、全球半导体设备市场规模及竞争格局

二、全球半导体设备详细拆分及国产化率分析



光刻机市场及国产化率情况



刻蚀机市场及国产化率情况



镀膜设备市场及国产化率情况



量测设备市场及国产化率情况



清洗设备市场及国产化率情况



离子注入设备市场及国产化率情况



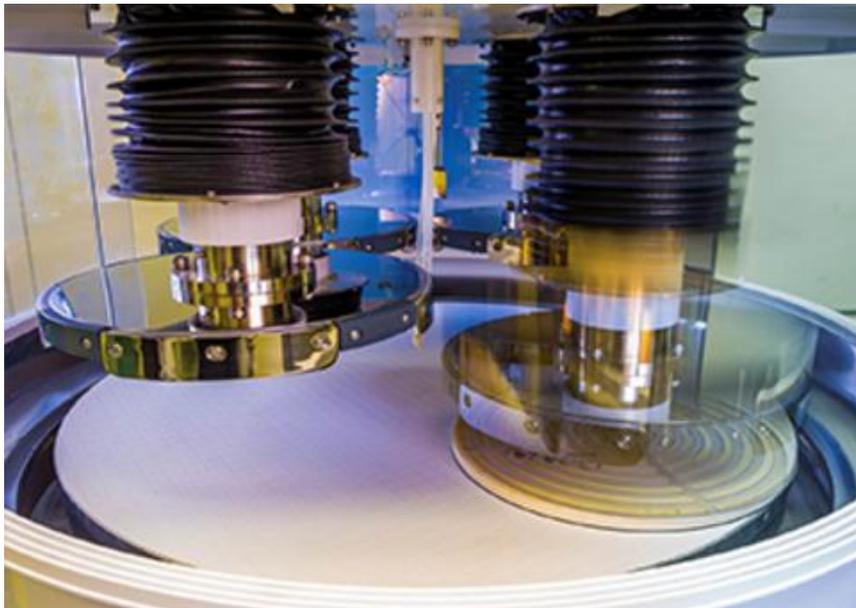
其他设备市场及国产化率情况

三、半导体设备核心标的推荐逻辑

## 化学机械研磨 ( CMP )

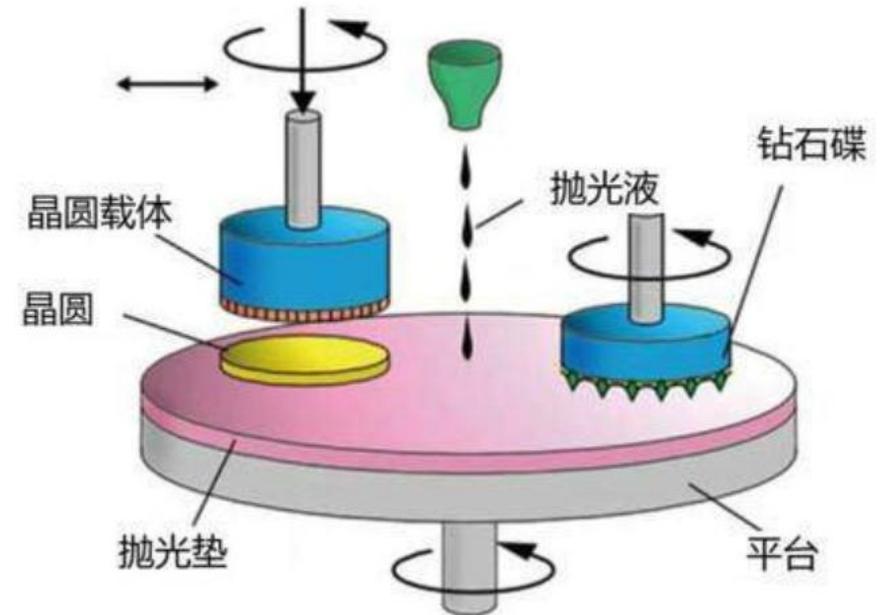
- 随着半导体工业沿着摩尔定律的曲线极速发展，集成电路特征尺寸不断减小，布线层数不断增加，对平坦化的要求也相应愈加变高，因此对CMP工艺的需求不断增加。例如，深亚微米DRAM所需的硅片需进行3-6次CMP，深亚微米MPU需进行9-13次CMP。如果平坦化处理未到位，晶片的起伏随着层数增多变得更为明显，同层金属薄膜由于厚度不均导致电阻值不同，引起电致迁移造成电路短路。
- CMP通过化学的和机械的综合作用，从而避免了由单纯机械抛光造成的表面损伤和由单纯化学抛光易造成的抛光速度慢、表面平整度和抛光一致性差等缺点。

CMP设备实物图



数据来源：应用材料，西南证券整理

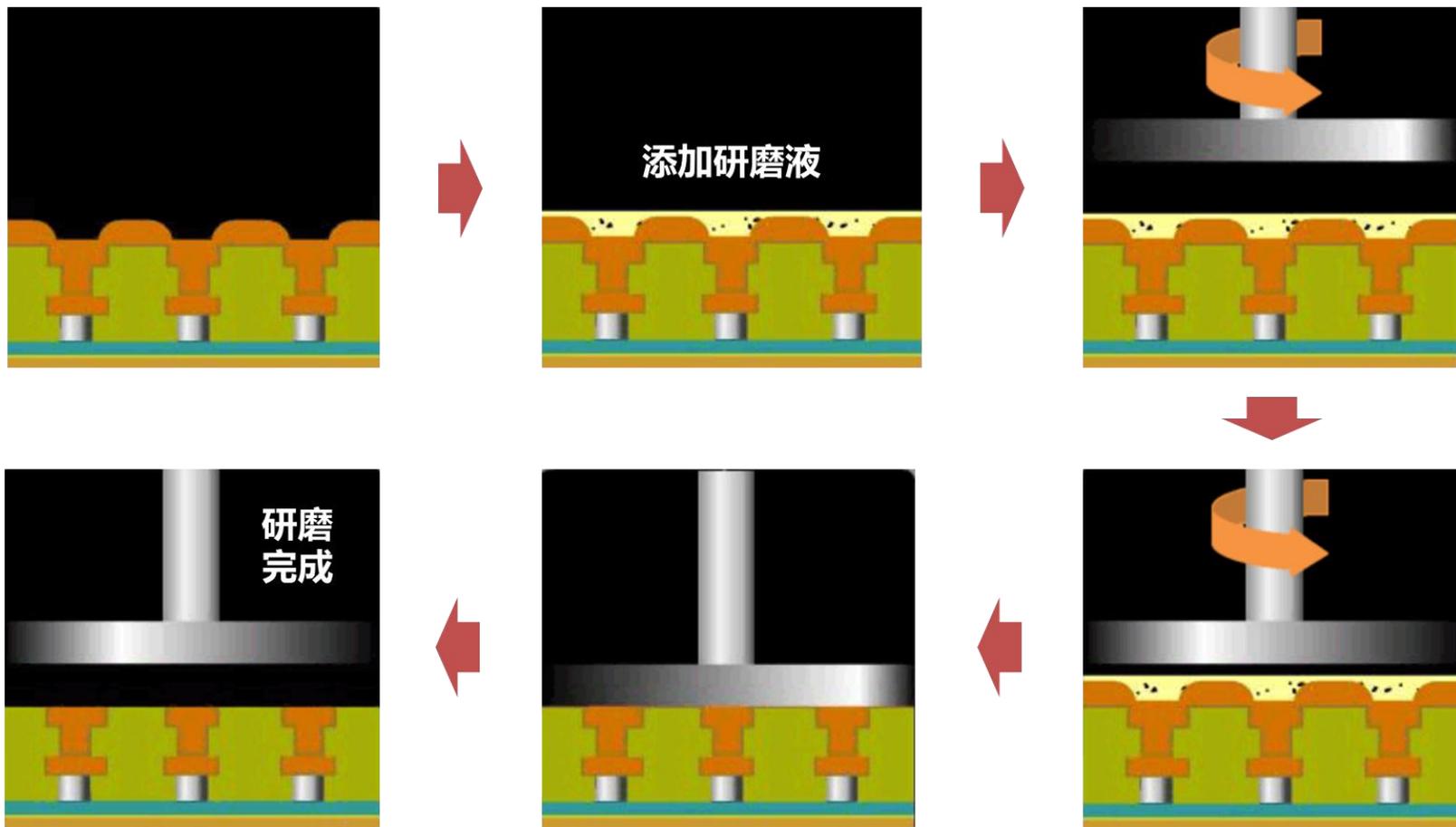
CMP设备结构示意图



数据来源：百度文库，西南证券整理

## CMP工艺流程

- CMP是一个平坦化处理的过程，旋转的工件以一定的压力压在随工作台一起旋转的抛光垫上，由磨粒和化学氧化剂等配成的抛光液在晶片与抛光垫间流动，在工件表面产生化学反应，生成易于去除的氧化表面，再通过机械作用将氧化表面去除。最后，去除的产物被流动的抛光液带走，露出新的表面，若干次循环去除后最终获得均匀平坦化晶圆表面。



## CMP应用范围广泛

- CMP应用范围越来越广，在1995年时，CMP仅用来抛光CMOS中的氧化层和钨膜层；到了2001年，铜、窄沟道、多晶硅等也都可以用CMP进行抛光；到了2011年后，除了CMOS领域，在MEMS、3D封装、化合物半导体等领域均得到广泛应用。

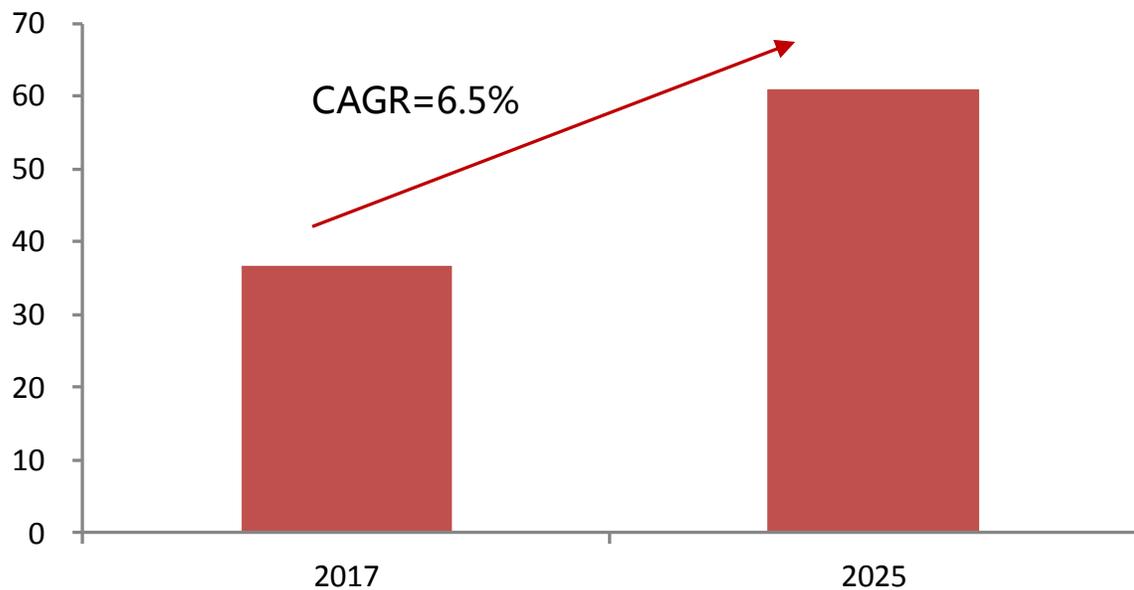
1995 - Qty ≤ 2 CMOS	2001 - Qty ≤ 5 CMOS	2011 - Qty ≥ 40		
		CMOS	New Apps	Substrate/Epi
Oxide	Oxide	Oxide	MEMS	GaAs & AlGaAs
Tungsten	Tungsten	Tungsten	Nanodevices	poly-AlN & GaN
	Cu (Ta barrier)	Cu (Ta barrier)	Direct Wafer Bond	InP & InGaP
	Shallow Trench	Shallow Trench	Noble Metals	CdTe & HgCdTe
	Polysilicon	Polysilicon	Through Si Vias	Ge & SiGe
		Low k	3D Packaging	SiC
		Capped Ultra Low k	Ultra Thin Wafers	Diamond & DLC
		Metal Gates	NiFe & NiFeCo	Si and SOI
		Gate Insulators	Al & Stainless	Lithium Niobate
		High k Dielectrics	Detector Arrays	Quartz & Glass
		Ir & Pt Electrodes	Polymers	Titanium
		Novel barrier metals	Magnetics	Sapphire
			Integrated Optics	

数据来源：应用材料，西南证券整理

## CMP市场规模

- 2017年全球化学机械平面化市场价值为36.7亿美元，到2025年底将达到60.9亿美元，2018 - 2025年间复合年增长率为6.5%。
- CMP市场主要分为设备和耗材，其中CMP耗材占比接近68%，CMP设备仅仅为32%。

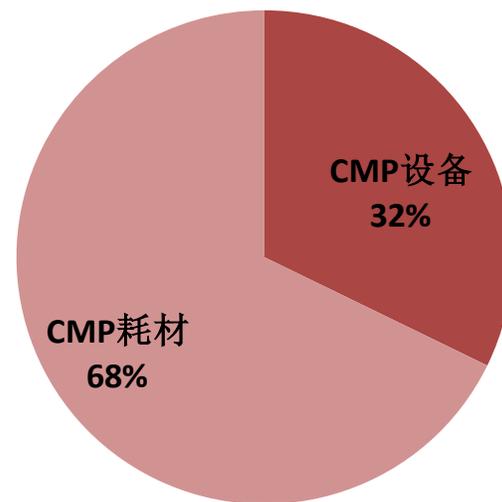
### 2017年全球CMP市场规模



■ 全球CMP市场规模 (亿美元)

数据来源：中国产业信息网，西南证券整理

### CMP市场主要由设备和耗材组成

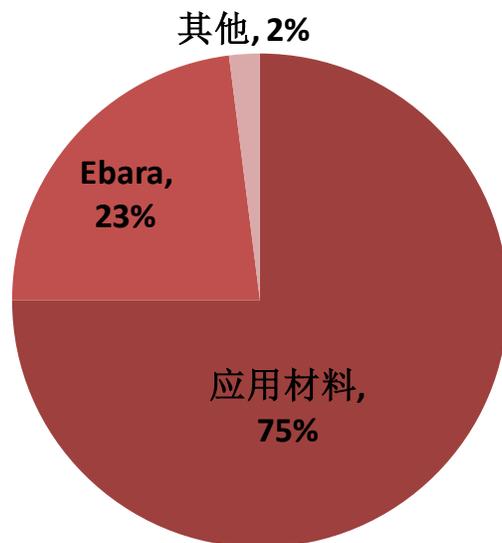


数据来源：中国产业信息网，西南证券整理

## CMP细分市场及竞争格局情况

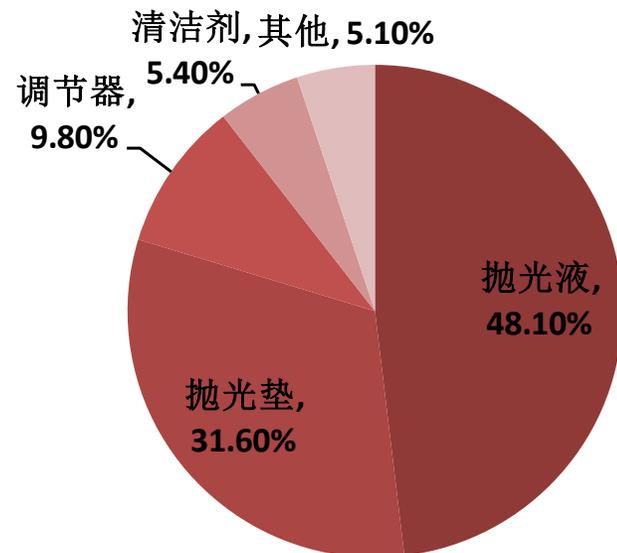
- CMP设备主要被应用材料和日本的Ebara垄断，两者市占率之和超过90%；
- 抛光材料是CMP工艺过程中必不可少的耗材，根据功能的不同，可以划分为抛光垫、抛光液、调节器、清洁剂等。目前，CMP抛光材料主要以抛光液（48%）和抛光垫（31%）为主。全球芯片抛光液生产企业主要被日本 Fujimi、Hinomoto Kenmazai 公司，美国卡博特、杜邦、Rodel、Eka，韩国的 ACE 等所垄断，占据全球 90%以上的高端市场份额；抛光垫市场主要被陶氏化学公司所垄断，市场份额超过80%，其他供应商还包括日本东丽、3M、台湾三方化学、卡博特等。

### 全球CMP设备供应商市占率



数据来源：应用材料，西南证券整理

### 2017年全球CMP抛光材料细分市场分析



数据来源：中国产业信息网，西南证券整理

## CMP设备国产化情况



- 2015年8月，华海清科首台12英寸CMP设备Universal-300进入客户生产线；
- 2015年12月，Universal-300升级机型Universal-300 Plus研发成功；
- 2016年3月，华海清科首台12英寸CMP设备顺利通过客户验收采购；
- 2016年7月，Universal-300机型通过客户大生产线验证，实现销售；
- 2017年12月，华海清科CMP设备在客户端大生产线生产晶圆突破10万片；
- 2018年1月，华海清科Cu&Si CMP设备进入客户端。



- 2017年11月21日上午，由电科装备45所研发的国产首台200mmCMP商用机通过了严格的万片马拉松式测试，启程发往中芯国际（天津）公司进行上线验证。
- 2017年3月，中电科45所承研的“300mm硅片单面抛光机（CMP）的开发”项目荣获2016年度北京市科学技术三等奖。

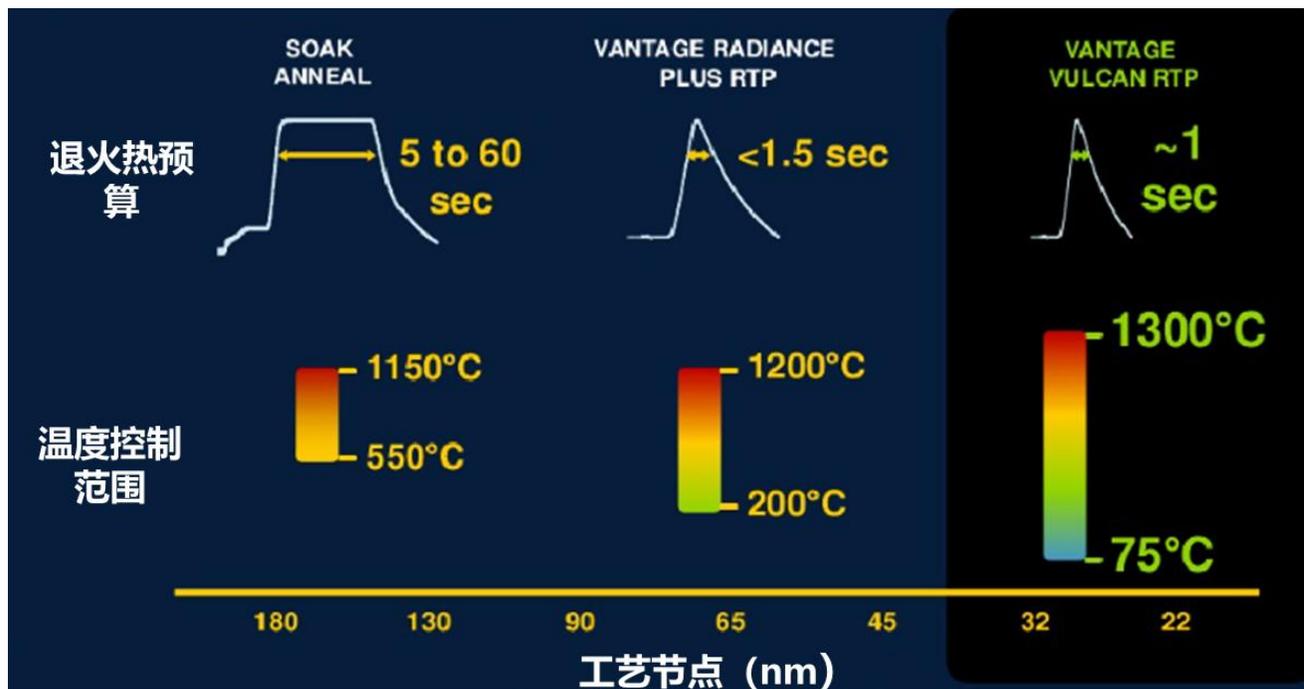
# 快速退火

# 主要作用

## 快速退火工艺成为主流选择

- 随着集成电路的发展，对损伤区、电学参数恢复程度，以及注入离子电激活率的要求也越来越高，常规的热退火方法已经不能满足要求。快速退火，RTP工艺，是一类单片热处理工艺，其目的是通过缩短热处理时间和温度或缩短热处理时间来获得最小的工艺热预算；
- 快速退火应用：**最早用于离子注入后热退火**，其后扩展到氧化金属硅化物的形成和快速热化学气相沉积和外延生长等更宽泛的领域。目前，**RTP已逐渐成为先进半导体制造必不可少的一项工艺。**

热处理技术节点路线图



数据来源：百度文库，西南证券整理

# 快速退火

# 主要作用

## 快速退火设备

- 目前，国际上常见的RTP设备基本上都是采用**灯光辐射性热源**。采用特定波长（0.3-0.4um）辐射热源对晶片进行单片加热；
- 采用RTP技术升温速度快（20~250°C/秒），并能快速冷却。不同于高温炉管首先对晶片边缘进行加热，RTP系统中，**热源直接面对晶片表面**，在处理大直径晶片时不会影响工艺的均匀性和升、降温速度；系统还有晶片旋转功能，使得热处理具有更好的均匀性。

灯光辐射型热源



灯光辐射型热源



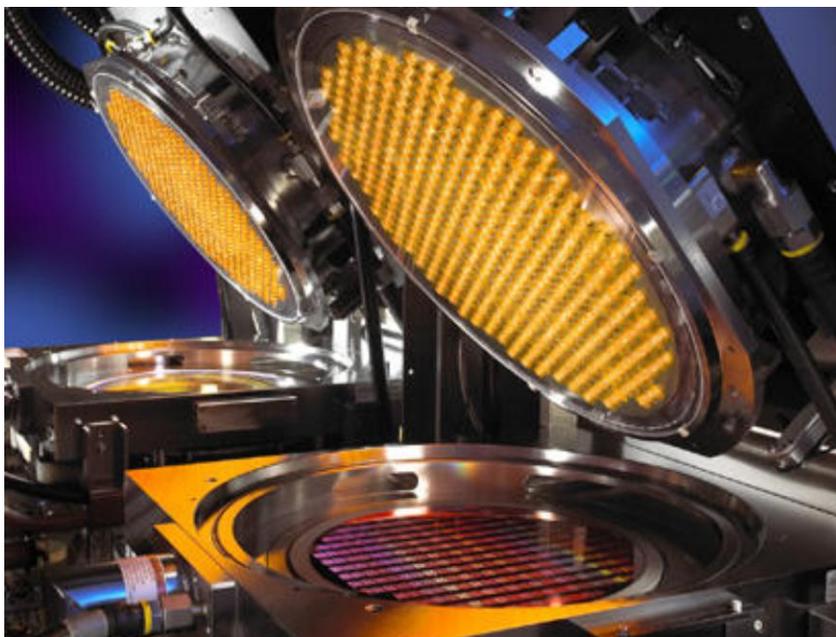
快速  
退火

竞争  
格局

## 快速退火设备市场格局：应用材料独占鳌头

- 在快速退火设备的市场格局中，美国应用材料**独占鳌头**，占比接近50%，日本东京电子紧随其后，市场份额位居**全球第二**。
- 应用材料通过**Vulcan系统实现了32/28nm 及以下节点退火工艺**，Vulcan 系统是**首个采用加热灯**的 RTP 平台，可通过传输和多点温度测量进行低温加工，在近乎室温下提供闭环控制能力，实现出色的晶圆工艺可重复性。界面工程在先进节点制造中变得至关重要。将镍或更先进材料扩散到硅中，有利于缩放形成更薄、更好的硅化物层，提高成品率。

应用材料RadiancePlus RTP 系统



数据来源：应用材料，西南证券整理

应用材料Vulcan退火系统



数据来源：应用材料，西南证券整理

## 快速退火设备国产化进程：北方华创引领未来

- 在国产快速退火设备中，北方华创站在了科技的最前沿，引领着未来。北方华创主要产品为**立式退火炉（300mm/200mm）**，是在中低温条件下，通入惰性气体（N<sub>2</sub>），消除硅片界面处晶格缺陷和晶格损伤，优化硅片界面质量的一种设备。THEORIS设备提供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解决方案，**兼顾了工艺目标的实现与生产可靠性的保障，应用领域为28nm及以上的集成电路、先进封装、IGBT等**；
- 目前，北方华创在单片退火设备中，已有**Anneal工艺应用于14nm装备**，并开始进入生产线步入验证。

北方华创THEORIS 302 立式退火炉



数据来源：北方华创，西南证券整理

北方华创THEORIS 302 立式退火炉



数据来源：北方华创，西南证券整理

## 目录

一、全球半导体设备市场规模及竞争格局

二、全球半导体设备详细拆分及国产化率分析



光刻机市场及国产化率情况



刻蚀机市场及国产化率情况



镀膜设备市场及国产化率情况



量测设备市场及国产化率情况



清洗设备市场及国产化率情况



离子注入设备市场及国产化率情况



其他设备市场及国产化率情况

三、半导体设备核心标的推荐逻辑

## 北方华创：正在崛起的中国应用材料

### □ 投资逻辑：

1) 研发投入持续强劲，设备技术突破顺利。公司近三年的研发强度高达30%，未来还未维持在这个数附近。公司目前12英寸90-28纳米IC设备已经实现了产业化，12英寸14纳米IC设备进入了工艺验证阶段；2) 存货和预收款创纪录增长，在手订单饱满。预收款项作为设备类企业最核心的先行指标之一，行业惯例是30%~50%的预付。公司2018年H1预收款项15.5亿，相较于期初11.3亿大幅增加37%，并且连续多个季度大幅增长，说明公司订单持续爆满。2018年H1公司存货23.8个亿，期初20亿，持续多个季度创新高。3) 管理费用率下滑，盈利能力改善。公司2018年H1管理费用3.1亿，同比下降33%，主要系费用化的研发费用减少；净利率水平为9.7%，同比增长2.9pp，未来净利率有望进一步提升，达到设备行业平均水平。

### □ 盈利预测及建议：

预计2018-2019年归母净利润分别为2.9亿元、5.1亿元，对应PE分别为88倍、50倍，维持“买入”评级。

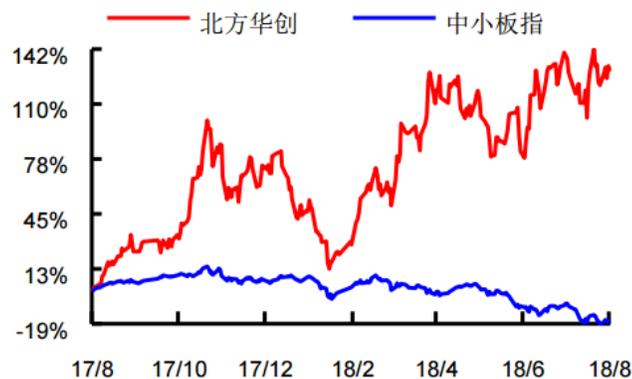
### □ 风险提示：

集成电路装备行业产生周期性波动或业务增速不及预期的风险。

业绩预测和估值指标			
指标	2017A	2018E	2019E
营业收入（百万元）	2222.82	3505.84	5011.34
营业收入增长率	37.01%	57.72%	42.94%
净利润（百万元）	125.61	287.50	506.63
净利润增长率	35.21%	128.88%	76.22%
P/E	205	88	50

数据来源：Wind，西南证券

### 股价表现



## 长川科技：半导体后道测试龙头，国产化替代受益标的

## □ 投资逻辑：

1) 测试机收入快速增长，新客户拓展顺利。公司上半年测试机收入0.64亿元，同增167.6%，毛利率仍然维持在75.5%的高位。同时，公司在台湾与优质客户建立联系，有序推进了新客户的导入工作。公司后续将在日本、香港设立子公司，在台湾成立分公司，将后道设备打入国际市场。2) 研发与创新力度不断加强，核心竞争力持续提升。公司研发人员占比近50%，2018H1公司研发费用支出2918.44万元，占营业收入25.26%。目前长川科技大功率和模拟/数模混合测试机主要性能指标已达国外先进技术水平，未来三年有望突破数字测试机、MEMS及晶圆制造等中高端领域设备。3) 公司正抓紧时间建设募集资金投资项目，预计2018年四季度逐步投入使用，一旦产能扩充完毕，公司将形成年产1100台测试机及分选机的生产能力，打开2倍的营收空间。

## □ 盈利预测及建议：

预计2018-2019年归母净利润分别为0.9亿元、1.5亿元，对应PE分别为76倍、46倍，维持“买入”评级。

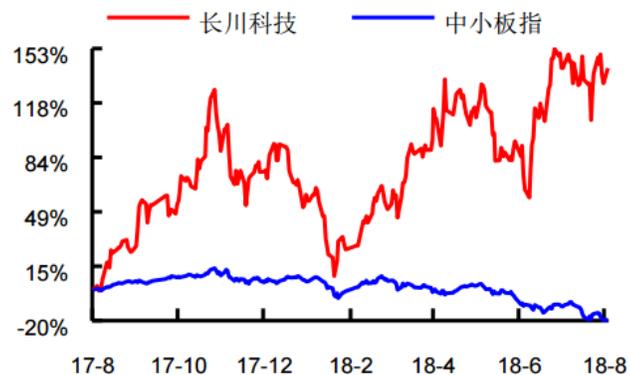
## □ 风险提示：

后续研发投入及创新能力不足导致市场竞争力降低的风险；下游市场需求量降低的风险；募投项目及达产进度或不及预期的风险。

业绩预测和估值指标			
指标	2017A	2018E	2019E
营业收入（百万元）	179.79	300.45	447.02
营业收入增长率	44.84%	67.11%	48.78%
净利润（百万元）	50.25	89.99	147.72
净利润增长率	21.34%	79.07%	64.16%
P/E	137	76	46

数据来源：Wind，西南证券

## 股价表现



## 精测电子：立足面板检测技术，外延布局半导体领域

### □ 投资逻辑：

1) 积极布局半导体和新能源测试领域，对外投资不断深入。公司先后设立武汉精鸿电子、上海精测半导体两家公司，旨在通过自主构建及海外并购等手段进军半导体测试领域。同时，公司设立武汉精能电子，布局新能源测试领域，加快推进功率电源和大功率电池的检测技术研发和市场开拓。此外，公司通过收购安徽荣创芯科公司股权、设立武汉精毅通，完善公司面板检测系统产品链。2) 毛利率保持稳健，研发投入持续增加。公司2018年H1公司毛利率为49.61%，同比提升2.59pp，相较2017年全年下滑5.56pp，主要是由于公司继续保持研发投入强度，不断技术引进，新增Cover Glass与BL产品的光学测试能力，导致成本过高。2018年H1三费率27.12%，同比下降5.45个百分点。公司2018H1研发投入5776.8万元，同比增加27.1%，营业收入占比10.7%，保持较快增长。

### 盈利预测及建议：

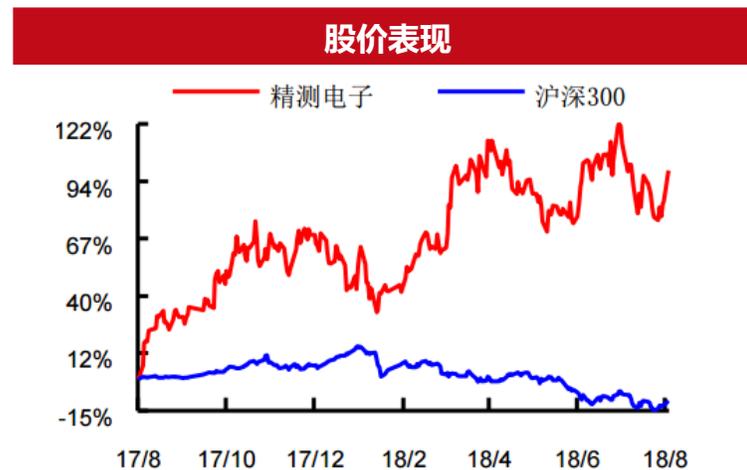
预计2018-2019年归母净利润分别为2.7亿元、3.9亿元，对应PE分别为45倍、32倍，维持“买入”评级。

### □ 风险提示：

设备订单不及预期的风险。

业绩预测和估值指标			
指标	2017A	2018E	2019E
营业收入（百万元）	8.95	1483.54	2263.10
营业收入增长率	70.81%	65.74%	52.55%
净利润（百万元）	166.85	269.66	385.17
净利润增长率	69.07%	61.62%	42.84%
P/E	73	45	32

数据来源：Wind，西南证券



## 中芯国际：正在崛起的中国芯制造

## □ 投资逻辑：

1) 28 纳米全平台如期完成，营收占比重回高位。公司第二季度28纳米营收占比高达8.6%，环比增加5.4pp，同比增加2.0pp，预计全年28纳米营收占比维持在中个位数水平。28纳米HKC持续上量，良率达到业界水平。除了28纳米PolySiON和HKC，28纳米HKC+技术也已开发完成，目标是在今年年底前试产。2) 研发投入大幅提升，14 纳米FinFET开始客户导入。公司第二季度研发投入1.47亿美元，环比增加19.7%，同比增加32.4%，资本开支为5.59 亿元，环比第一季度资本开支3.22亿元上涨73.6%。2018 下半年资本开支进一步提速，总额将达14.19亿元。14 纳米 FinFET 技术开发获得重大进展，第一代 FinFET 技术研发已进入客户导入阶段，公司目前正在客户评估、IP 比对、可靠性验证以及全速扩大 FinFET 技术组合，预计明年上半年开始试产 14 纳米并于下半年开始获得收入。

## □ 盈利预测及建议：

预计2018-2019年归母净利润分别为1.9亿美元、2.8亿美元，对应PB分别为1.06、1.02，维持“买入”评级。

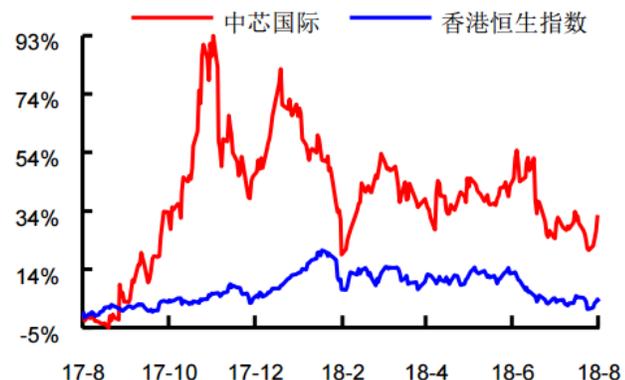
## □ 风险提示：

产能利用率或受终端产品需求减弱而下降的风险；28nm HKC+及14nm 量产不达预期的风险；晶圆平均价格或有波动的风险。

业绩预测和估值指标			
指标	2017A	2018E	2019E
营业收入（百万美元）	3101	3406	4410
营业收入增长率	6.4%	9.8%	29.5%
净利润（百万美元）	179	192	280
净利润增长率	-52.4%	7.4%	45.6%
P/B	1.09	1.06	1.02

数据来源：Wind，西南证券

## 股价表现





半导体  
设备

国产化  
情况

灯·芯·屏·器

泛半导体研究

西南电子 刘言 陈杭

## 西南证券投资评级说明

公司评级	买入：未来6个月内，个股相对沪深300指数涨幅在20%以上
	增持：未来6个月内，个股相对沪深300指数涨幅介于10%与20%之间
	中性：未来6个月内，个股相对沪深300指数涨幅介于-10%与10%之间
	回避：未来6个月内，个股相对沪深300指数涨幅在-10%以下
行业评级	强于大市：未来6个月内，行业整体回报高于沪深300指数5%以上
	跟随大市：未来6个月内，行业整体回报介于沪深300指数-5%与5%之间
	弱于大市：未来6个月内，行业整体回报低于沪深300指数-5%以下

## 分析师承诺

报告署名分析师具有中国证券业协会授予的证券投资咨询执业资格并注册为证券分析师，报告所采用的数据均来自合法合规渠道，分析逻辑基于分析师的职业理解，通过合理判断得出结论，独立、客观地出具本报告。分析师承诺不曾因，不因，也将不会因本报告中的具体推荐意见或观点而直接或间接获取任何形式的补偿。

## 重要声明

西南证券股份有限公司（以下简称“本公司”）具有中国证券监督管理委员会核准的证券投资咨询业务资格。

本公司与作者在自身所知情范围内，与本报告中所评价或推荐的证券不存在法律法规要求披露或采取限制、静默措施的利益冲突。

《证券期货投资者适当性管理办法》于2017年7月1日起正式实施，本报告仅供本公司客户中的专业投资者使用，若您并非本公司客户中的专业投资者，为控制投资风险，请取消接收、订阅或使用本报告中的任何信息。本公司也不会因接收人收到、阅读或关注自媒体推送本报告中的内容而视其为客户。本公司或关联机构可能会持有报告中提到的公司所发行的证券并进行交易，还可能为这些公司提供或争取提供投资银行或财务顾问服务。

本报告中的信息均来源于公开资料，本公司对这些信息的准确性、完整性或可靠性不作任何保证。本报告所载的资料、意见及推测仅反映本公司于发布本报告当日的判断，本报告所指的证券或投资标的的价格、价值及投资收入可升可跌，过往表现不应作为日后的表现依据。在不同时期，本公司可发出与本报告所载资料、意见及推测不一致的报告，本公司不保证本报告所含信息保持在最新状态。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，投资者应当自行关注相应的更新或修改。

本报告仅供参考之用，不构成出售或购买证券或其他投资标的的要约或邀请。在任何情况下，本报告中的信息和意见均不构成对任何个人的投资建议。投资者应结合自己的投资目标和财务状况自行判断是否采用本报告所载内容和信息并自行承担风险，本公司及雇员对投资者使用本报告及其内容而造成的一切后果不承担任何法律责任。

本报告版权为西南证券所有，未经书面许可，任何机构和个人不得以任何形式翻版、复制和发布。如引用须注明出处为“西南证券”，且不得对本报告进行有悖原意的引用、删节和修改。未经授权刊载或者转发本报告的，本公司将保留向其追究法律责任的权利。



**西南证券**  
SOUTHWEST SECURITIES

## 西南证券研究发展中心

### 西南证券研究发展中心

#### 上海

地址：上海市浦东新区陆家嘴东路166号中国保险大厦20楼

邮编：200120

#### 北京

地址：北京市西城区金融大街35号国际企业大厦B座16楼

邮编：100033

#### 重庆

地址：重庆市江北区桥北苑8号西南证券大厦3楼

邮编：400023

#### 深圳

地址：深圳市福田区深南大道6023号创建大厦4楼

邮编：518040

### 西南证券机构销售团队

区域	姓名	职务	座机	手机	邮箱
上海	蒋诗烽	地区销售总监	021-68415309	18621310081	jsf@swsc.com.cn
	张方毅	机构销售	021-68413959	15821376156	zfyi@swsc.com.cn
	邵亚杰	机构销售	021-68416206	15067116612	syj@swsc.com.cn
	黄丽娟	机构销售	021-68411030	15900516330	hlj@swsc.com.cn
	汪文沁	机构销售	021-68415380	15201796002	wwq@swsc.com.cn
	王慧芳	机构销售	021-68415861	17321300873	whf@swsc.com.cn
北京	蒋诗烽	地区销售总监	021-68415309	18621310081	jsf@swsc.com.cn
	陈乔楚	机构销售	18610030717	18610030717	cqc@swsc.com.cn
	路剑	机构销售	010-57758566	18500869149	lujian@swsc.com.cn
	刘致莹	机构销售	010-57758619	17710335169	liuzy@swsc.com.cn
	贾乔真	机构销售	18911542702	18911542702	jqz@swsc.com.cn
广深	张婷	地区销售总监	0755-26673231	13530267171	zhangt@swsc.com.cn
	王湘杰	机构销售	0755-26671517	13480920685	wxj@swsc.com.cn
	余燕伶	机构销售	0755-26820395	13510223581	yyi@swsc.com.cn
	陈霄（广州）	机构销售	15521010968	15521010968	chenxiao@swsc.com.cn