

全球半导体制造类EDA 行业发展白皮书



弗若斯特沙利文
2024年10月

摘要：EDA工具成半导体行业关键，虚拟晶圆厂迎来发展机遇

➤ 半导体制造类EDA市场发展现状：

全球半导体行业预计随着下游需求的复苏而实现反弹，中国市场受地缘政治及新兴科技的推动，其增速将高于全球。EDA行业是集成电路和全球数字经济的坚实基础，科技革命正推动半导体产业和EDA工具朝着智能化和高效率的方向发展，其作为半导体产业链的关键上游环节，为芯片设计提供电路设计、功能验证、布局布线等核心步骤的支持，同时在晶圆制造过程中提升芯片的制造良率。

➤ 半导体制造类EDA市场痛点：

中美两国的半导体脱钩使科技领域的合作愈发困难，这种情况对中国的半导体制造厂企业产生了巨大的影响，迫使它们必须迅速发展自主技术。随着半导体工艺节点的愈加缩小，以实现更高的集成度，制造工艺的复杂性显著增加，对设备精度和生产技术提出了更高要求。

➤ 半导体制造类EDA市场发展趋势：

随着晶体管技术节点尺寸越来越小，开发更小尺寸半导体的工艺成本呈指数增长，利用数字孪生技术可以极大的降低设计和流程优化的试错成本，让试错成本几乎为零。未来建立虚拟晶圆厂，晶圆厂全流程推进数字孪生，已成为行业发展共识。通过虚拟晶圆厂，制造商可以进行各种仿真和优化，以改进工艺参数、减少缺陷率、提高产能和降低成本。

Part1. 全球及中国半导体制造现状及主要问题

- 1.1 全球及中国半导体市场规模
- 1.2 全球及中国半导体发展现状
- 1.3 半导体产业链分析
- 1.4 全球及中国半导体制造发展困境
- 1.5 半导体EDA概念及分类
- 1.6 EDA对于半导体产业的价值贡献及重要性分析

Part2. 全球及中国制造类EDA市场发展现状

- 2.1 半导体制造类EDA工具分类
- 2.2 半导体EDA工具产业链分析
- 2.3 全球半导体制造类EDA行业市场规模
- 2.4 中国半导体制造类EDA行业市场规模
- 2.5 全球半导体制造类EDA市场规模，按工具类型分TCAD、OPC及其他
- 2.6 中国半导体制造类EDA市场规模，按工具类型分TCAD、OPC及其他

2.7	半导体制造类EDA行业壁垒
2.8	半导体制造类EDA行业发展驱动因素
2.9	中国半导体制造类EDA竞争格局
2.10	案例分析-新思科技
2.11	案例分析-培风图南
2.12	案例分析-广立微
2.13	案例分析-概伦电子
Part3.	全球及中国虚拟晶圆厂发展现状及趋势
3.1	半导体制造类EDA未来发展趋势
3.2	数字孪生技术及虚拟晶圆厂的定义及发展现状
3.3	虚拟晶圆厂在半导体行业的应用与优势
3.4	虚拟晶圆厂未来市场规模及预测
3.5	虚拟晶圆厂典型应用案例
3.6	虚拟晶圆厂未来发展趋势

研究方法

我们的调研手段多样且科学合理，包括供给端一手资料、需求端一手资料以及行业层面二手资料



- 供给端一手资料
 - ✓ 行业领先玩家动态跟踪
 - ✓ 专家网络实时跟访
 - ✓ 上游厂商一线访谈
- 需求端一手资料
 - ✓ 下游典型玩家实时调研
 - ✓ 下游玩家初步访谈
 - ✓ 下游玩家深度访谈
 - ✓ 下游玩家焦点小组访谈
- 行业层面二手资料
 - ✓ 行业报告、白皮书资源
 - ✓ 企业年报及公开报道数据库
 - ✓ 政府及行业协会发布数据库

- 根据项目需求，采用定量结合定性的方式进行多层次多维度的市场研究
- 定量研究用于形成对客户需求、关键决策因素、使用行为习惯的基本假设，并在大样本的支持下进行量化分析
- 定性研究用于对量化研究得到的初步结论进行测试，并在这个基础上进行深挖，以找出现有客户群体的显性和隐形特征，以及潜在客户群体的痛点和诉求
- 最终在定性和定量工具的帮助，结合沙利文对客户群体所在市场的理解，沙利文团队将会给出对应的市场观点

名词解释

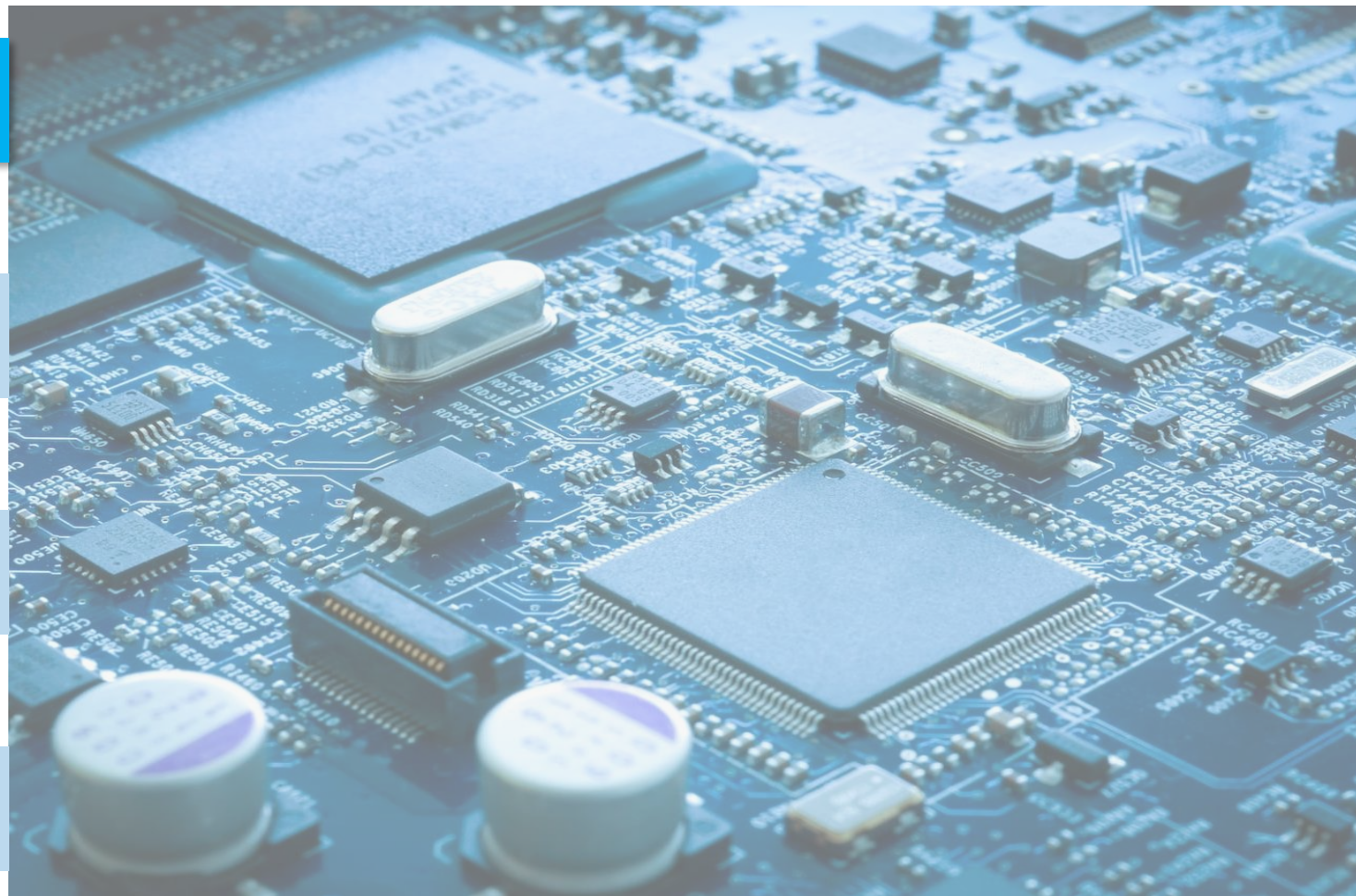
- ◆ **EDA**: 即电子设计自动化 (Electronic Design Automation), 利用计算机辅助, 来完成超大规模集成电路片的设计、制造、封测的大型工业软件。
- ◆ **IRDS**: 国际设备和系统路线图 (International Roadmap for Devices and Systems), 它是半导体行业中用于指导电子设备和系统未来发展的预测性文件。IRDS是ITRS (International Technology Roadmap for Semiconductors, 国际半导体技术路线图) 的继承者, 其目标是识别与设备、系统及其相关技术有关的关键趋势, 生成一个15年的路线图, 确定通用设备和系统的需要、挑战、潜在解决方案和创新机会, 并通过协作活动如IEEE会议和路线图研讨会等, 鼓励全球范围内的相关活动。
- ◆ **IC设计/芯片设计**: 包括电路功能设计、结构设计、电路设计及仿真、版图设计和验证, 以及后续处理过程等流程的集成电路设计过程。
- ◆ **工艺制程**: 指集成电路内电路的线宽; 线宽越小, 工艺制程越先进, 精度越高。
- ◆ **仿真**: 使用数学模型来对电子电路的真实行为进行模拟的工程方法。
- ◆ **TCAD**: 计算机辅助设计工具 (Technology Computer Aided Design), 用于半导体工艺和器件模拟。它广泛应用于集成电路设计和模拟领域, 帮助工程师模拟和分析半导体器件的物理特性和电路性能。TCAD工具可以模拟工艺流程、器件结构以及电学行为, 进而预测器件在不同条件下的性能表现。
- ◆ **OPC**: 光学邻近校正 (Optical Proximity Correction), 是一种在半导体器件生产过程中使用的光刻增强技术。OPC的主要作用是修正由于光学衍射效应导致的图形畸变, 以确保在晶圆上生产的电路图案与原始设计保持一致。
- ◆ **PDK**: 工艺设计套件 (Process Design Kit) 是为集成电路设计而提供的完整工艺文件集合, 包含了版图图层、器件仿真模型、版图验证规则、可变参数单元等信息是沟通设计公司、晶圆制造厂与EDA公司的桥梁。
- ◆ **DFM**: 可制造性设计 (Design for Manufacturability), 是半导体行业中一种重要的设计理念和方法。DFM的核心目标是在芯片设计阶段就考虑和优化生产工艺的可行性, 以提高芯片的制造良率、可靠性和成本效益。
- ◆ **MDP**: 掩膜数据准备 (Mask Data Preparation), 是半导体制造过程中的一个关键步骤, 它涉及到将设计图形转换成可用于掩膜制造的数据格式。MDP流程包括数据格式转换、数据优化、掩膜规则检查 (Mask Rule Checking, MRC)、邻近效应修正 (Proximity Effect Correction, PEC)、工作台处理、层操作和数据尺寸调整等步骤, 以确保数据满足掩膜制造的精度和质量要求。
- ◆ **Fabless**: 无晶圆厂的集成电路企业经营模式, 采用该模式的厂商仅进行芯片的设计、研发、应用和销售, 而将晶圆制造、封装和测试外包给专业的晶圆制造、封装和测试厂商。
- ◆ **Foundry**: 晶圆代工厂专注于晶圆代工领域, 代工厂商承接芯片设计企业委外订单, 并形成规模效应, 此类企业投资规模较大, 维持生产线正常运作的经营成本较高; OSAT (Outsourced Semiconductor Assembly and Testing, 外包半导体封装和测试) 则专注于封装测试环节。
- ◆ **模拟集成电路**: 处理连续性模拟信号的集成电路芯片; 模拟信号是指用电参数 (电流/电压) 来模拟其他自然物理量形成的连续性电信号。
- ◆ **数字集成电路**: 基于数字逻辑设计和运行的, 用于处理数字信号 (0/1) 的集成电路。
- ◆ **数字孪生 (Digital Twins)**: 将物理实体与其数字表示相结合的概念。它是通过创建虚拟模型来模拟、分析和优化物理实体的行为和性能。
- ◆ **虚拟晶圆厂**: 基于计算机模拟和数字孪生技术的概念, 用于模拟和优化半导体晶圆制造过程。它是将实际晶圆制造工厂的物理实体和操作转化为数字模型的虚拟表示。

01.全球及中国半导体制造现状及主要问题

02.全球及中国制造类EDA市场发展现状

03.全球及中国虚拟晶圆厂发展现状及趋势

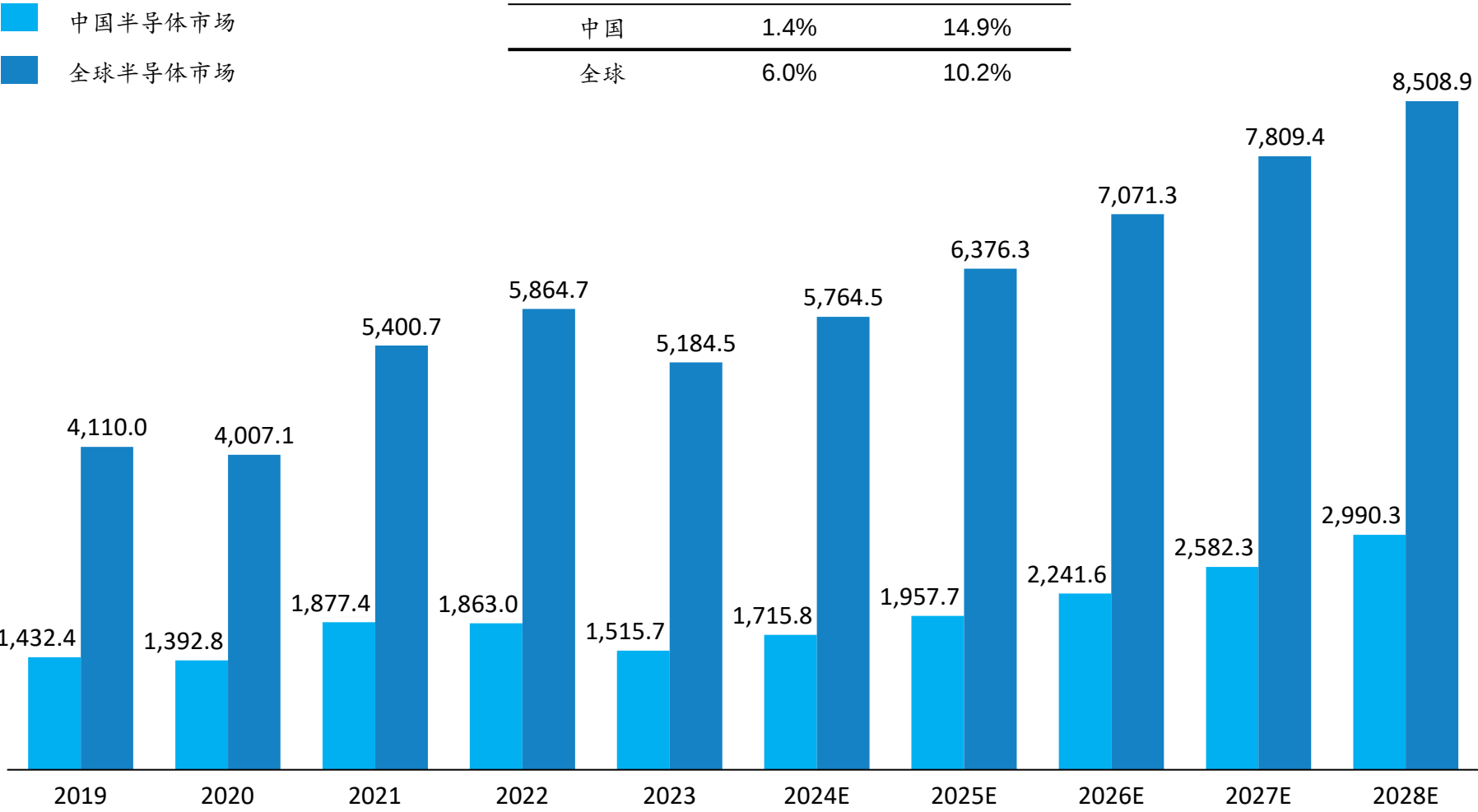
04. 附录



全球半导体行业预计随着下游需求的复苏而实现反弹，中国市场受自主创新及新兴科技的推动，其增速将高于全球

全球及中国半导体市场规模，2019-2028E

单位：亿美元 按销售额统计



	CAGR	2019-2023	2024-2028E
中国		1.4%	14.9%
全球		6.0%	10.2%

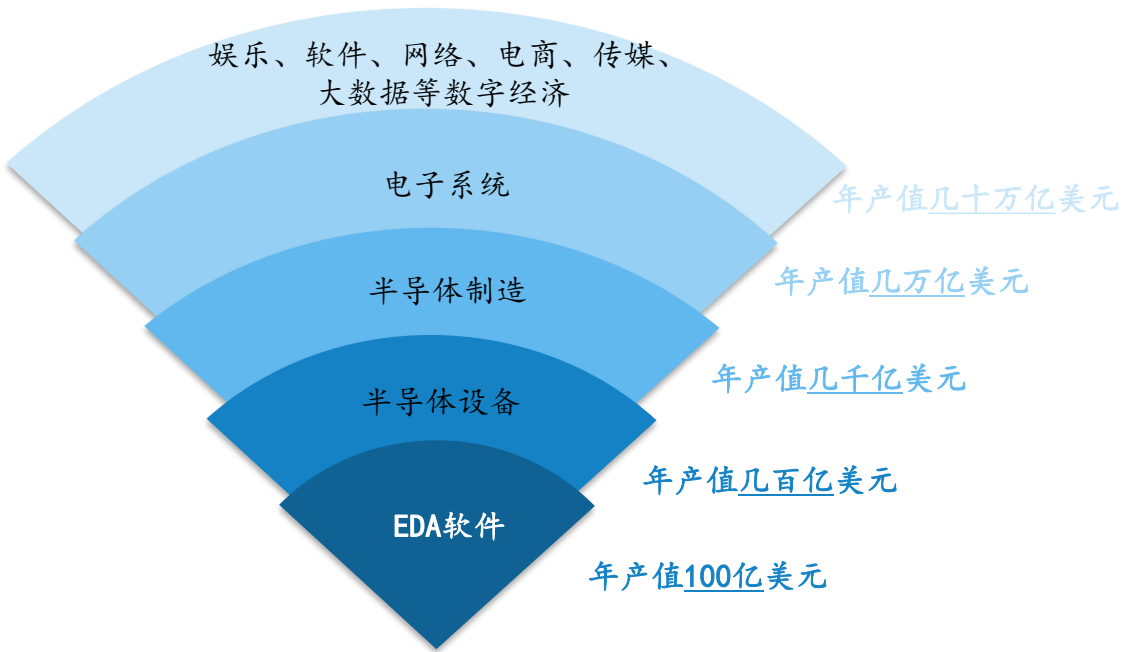


关键洞察

- 全球市场看，2019-2023年，市场规模从4110亿美元增长至5184.5亿美元。2020年因疫情的爆发，影响了消费大国的购买力，进而影响了半导体产业的营收表现。受通货膨胀和终端市场需求疲软，2023年全球半导体市场经历下滑，但年底市场迎来反弹，**2024年市场将强势反弹，预计2024年有望达到5764.5亿美元，2024-2028年年复合增速预估为10.2%。**
- 面对全球市场的波动和地缘政治的紧张局势，中国半导体行业的需求持续增长，**促使中国加快自主创新和国产替代的步伐。**同时，随着物联网、人工智能等新兴技术的发展，进一步推动半导体行业的发展。**预计到2028年，中国半导体市场的规模有望增至2990.3亿美元，预计年均复合增长率将达到14.9%，**显示出强劲的增长势头和市场潜力。

EDA行业是集成电路和全球数字经济的坚实基础，科技革命正推动半导体产业和EDA工具朝着智能化和高效率的方向发展

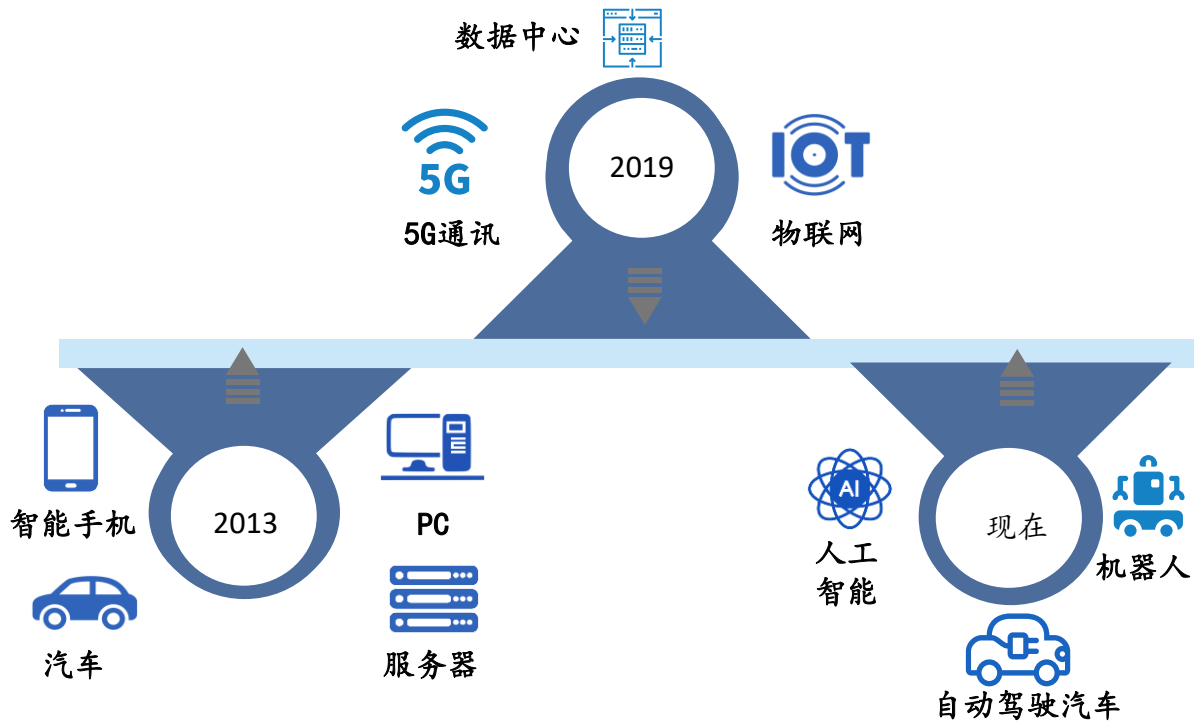
半导体产业链的倒金字塔结构



关键洞察

EDA技术因其强大的杠杆作用，被视为集成电路产业乃至全球数字经济的基石。据SEMI数据统计，2022年全球EDA软件行业市场规模约为**134.47亿美元**，支撑着数千亿美元的半导体产业以及数万亿美元的数字经济。作为芯片设计不可或缺的工具，EDA技术成为半导体产业链中的关键赋能者。

科技对半导体及EDA的影响

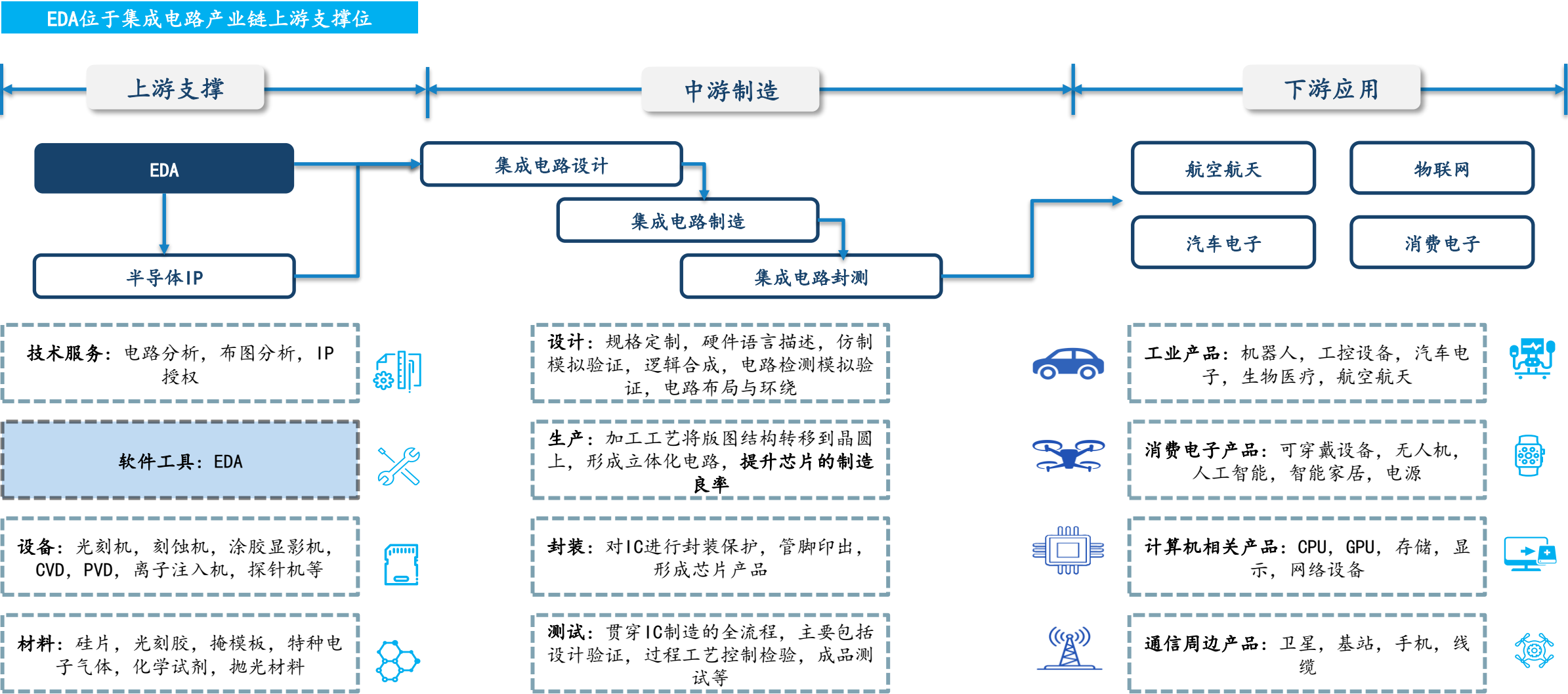


关键洞察

科技革命正驱动半导体产业以及EDA工具向智能化、高效化发展。技术的蓬勃发展，如智能设备、人工智能、数据中心、物联网（IoT）和自动驾驶汽车，正激发对高性能半导体的日益增长的需求。半导体产业的繁荣与EDA工具的进步相互促进，共同推动整个行业向前发展。

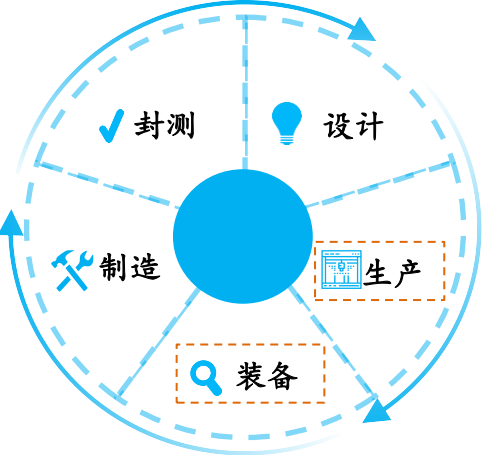
资料来源: IC World, SEMI 数据, 半导体行业观察, 弗若斯特沙利文

EDA作为半导体产业链的关键上游环节，为芯片设计提供电路设计、功能验证、布局布线等核心步骤的支持，为晶圆制造环节良率和效率提供了有效保障，并确保在封测环节完成最终的设计验证



半导体制造业面临挑战，制造类EDA技术是关键突破口，TCAD软件作为核心工具较为重要；未来，虚拟晶圆厂将成为推动行业发展的有效策略

1、半导体制造业在生产与制造的发展困境



- 装备和生产在半导体行业面临最大短板
- ✓ 高端设备和材料依赖进口：高端光刻机（EUV）、高端光刻胶、EDA工具等关键半导体设备和材料国产化率低，高端芯片依赖进口；
- ✓ 研发投入及创新不足：国际厂商研发投入比例大，而我国投入相对较少；此外摩尔定律要求每18个月晶体管数量翻倍，技术水平面临挑战；
- ✓ 核心技术缺乏：半导体产业为高度技术密集型行业，核心技术方面存在缺口；
- ✓ 产业链不完善：我国在半导体产业链在设计和封测方面有所突破，但在材料、设备、软件等上游环节仍存在短板，尤其先进工艺制程方面。



- 制造类EDA是解决半导体制造业困境的关键技术手段
- ✓ 缩短产品上市时间：制造类EDA通过优化流程，减少工艺开发设计迭代次数，加快从设计到生产的转换速度；
- ✓ 减少试错成本：制造类EDA工具在确保逻辑功能准确性的前提下，利用先进的模拟和分析技术，对特定半导体工艺的性能、功耗和成本进行多维度评估和优化；
- ✓ 提高量产良率：通过精确的器件建模和工艺仿真，优化过程中的关键残蚀，减少制造缺陷；
- ✓ 提升产业竞争力：通过提高设计和生产的效率，降低研发和生产成本，增强企业的市场竞争力。

2、中美关系对半导体制造业格局产生影响

- 中美两国的脱钩使科技领域的合作愈发困难，这种情况对中国的半导体制造厂企业产生了巨大的影响，迫使中国企业必须迅速自主发展技术，以应对国内IRDS（International Roadmap for Devices and Systems）技术路线的缺失。
- ✓ 在集成电路EDA核心领域，传统TCAD软件面临挑战，尤其是在3-14纳米技术节点，需要考虑量子效应等因素。同时，传统的半导体工艺技术在稳定性和标准化程度较高，导致不同晶圆代工厂生产的产品在性能和质量上趋于一致，进而导致市场上出现同质化竞争的现象。
- ✓ 目前中国正积极投资建设半导体制造工厂，以满足国内外市场对芯片不断增长的需求。面对禁运等外部制约，中国半导体制造业的发展遭遇了技术获取的瓶颈。然而，TCAD软件在这一背景下尤为重要，先进工艺的开发非常依赖TCAD，为企业提供了一个强大的仿真工具，以预测和优化工艺参数，即便在缺乏完整国际路线图（IRDS）指导的情况下，也能加速工艺的研发进程，并有效降低研发成本。
- ✓ TCAD不仅是中国半导体制造业应对当前挑战的关键，也是推动产业创新和提升竞争力的突破口。

3、晶圆生产过程中存在挑战



- 晶圆生产过程中，工艺开发、良率控制和成本效率问题也是中国半导体制造行业面临的重要挑战。工艺开发需要大量的时间和资源，而良率直接影响了生产效率和成本。
- ✓ 未来，虚拟晶圆厂可能成为解决这些问题的有效手段。虚拟晶圆厂是一种基于计算机仿真的晶圆生产模型，它可以模拟整个晶圆生产过程，预测工艺参数，优化生产流程，从而提高良率，降低成本，加速产品上市。



资料来源：公开资料、专家访谈、弗若斯特沙利文

EDA贯穿于设计、制造、封测等环节，是集成电路行业的基石；受BIS出口管制，中国EDA工具需寻求多元化发展路径

EDA概念

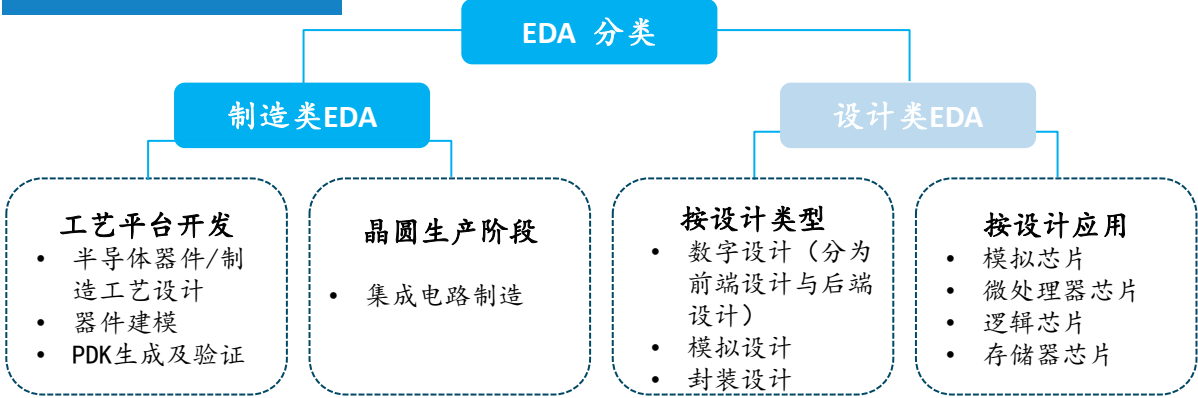
✓ **电子设计自动化 (Electronic Design Automation)** :作为集成电路产业的核心赋能工具，通过计算机软件实现对大规模集成电路设计、仿真和验证流程的全面优化，成为该产业的基石性支撑。EDA工具主要分为制造类EDA及设计类EDA。



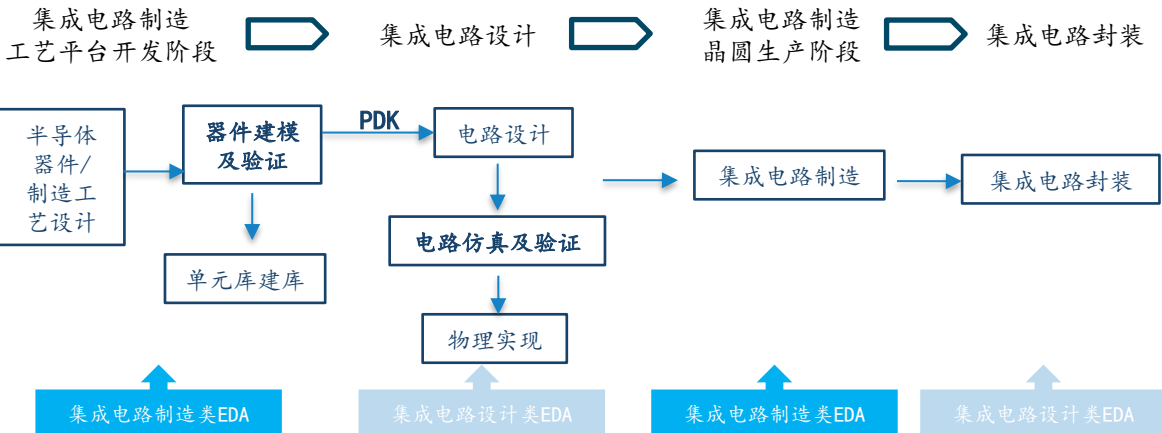
EDA应用于完整的集成电路全流程

工艺平台开发	晶圆厂和集成器件制造商(IDM)为行业的核心驱动力，负责集成电路器件及其制造工艺的设计，设计完成后通过工艺设计套件(PDK)或标准单元库等途径，将这些资源提供给集成电路设计企业，以支持其后续的设计和开发工作。
集成电路设计	设计企业根据晶圆厂提供的模型进行电路设计，并对结果进行电路仿真和验证。多次优化和仿真后进行物理实现，并交付给晶圆厂进行制造。
集成电路制造	晶圆厂根据物理实现后的设计文件来完成制造工作。如果制造结果不符合要求，可能需要对工艺平台进行调整和优化，并重新设计改进。
集成电路封测	面向芯片封装环节的设计、仿真、验证工具，随着芯片先进封装技术发展以及摩尔定律往前推进，封装形式走向高密度、高集成及微小化。

EDA工具分类



EDA在集成电路流程的支撑关系



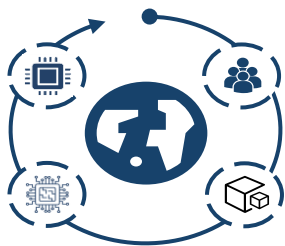
面对美国BIS出口管制，需寻求创新的解决策略和多元化发展路径

国际出口管制

美国商务部工业与安全局(BIS)实施的出口管制新规对EDA工具的出口进行了限制，由此对中国的EDA领域，特别是对先进工艺节点(EDA工具)的支持受到影响。

晶圆厂依赖现有EDA工具

中国的集成电路设计在很大程度上依赖于欧美系工具，尤其大型晶圆厂企业对现有EDA工具及其库存的依赖性极高。若工具一旦供应中断，中国EDA工具的替代不足可能对半导体产业链产生负面影响。



技术自主化

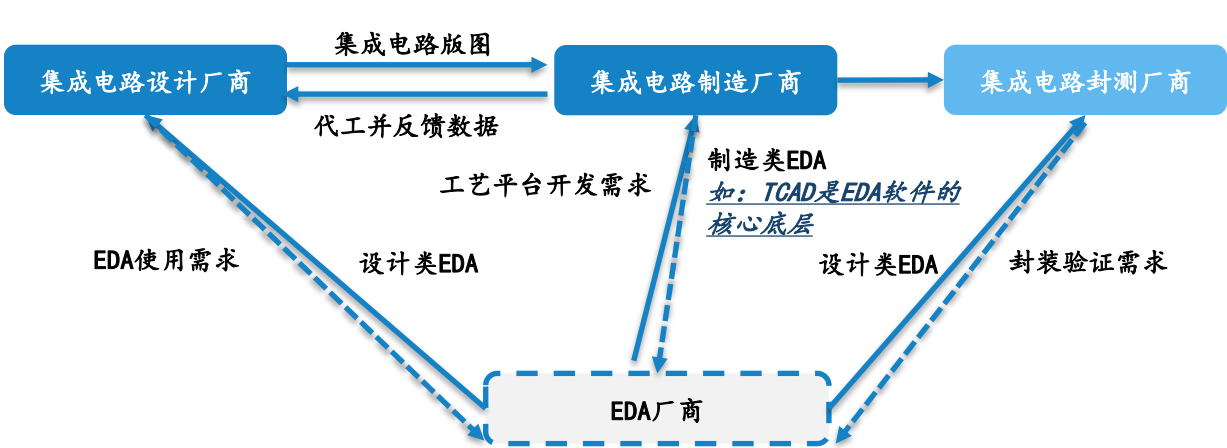
制造类EDA工具作为半导体产业链的起点，需要与半导体工艺节点的持续进步相匹配。EDA工具需要不断更新，加大研发投入，推动国产化进程，减少对外部供应的依赖。

工艺优化

工艺优化是提升生产效率、确保产品质量、控制成本以及加快市场响应速度的关键。因此，制造类工具必须不断优化其工艺流程，以增强竞争力并满足日益增长的市场需求。

EDA在半导体产业中的作用不可或缺，随着半导体制程技术向纳米精度演进，制造类EDA核心价值将更加凸显

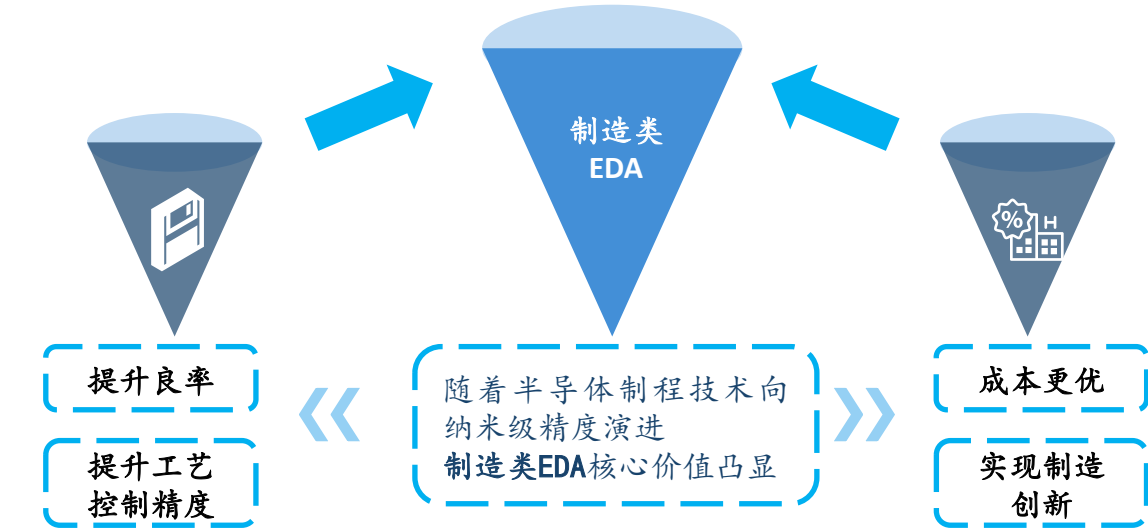
EDA产业链生态



关键洞察

- 设计、制造、封测及EDA技术共同构筑了半导体产业生态。EDA不只是软件，还是集成电路设计、制造、封装流程的基石。在此过程中，EDA 厂商、集成电路设计、制造及封测厂商相互协作，持续的沟通和优化，形成双向反馈循环。
- EDA 技术的进步正推动集成电路制造效率的显著提升，如制造类EDA工具中，TCAD是EDA软件的核心底层，其在先进研发节点上不可或缺。
- EDA 厂商通过与集成电路厂商的紧密合作，及时捕捉行业动态和需求变化，从而开发出更先进的工具，为蓬勃发展的半导体市场提供坚实支撑。

制造类EDA的核心价值



案例说明

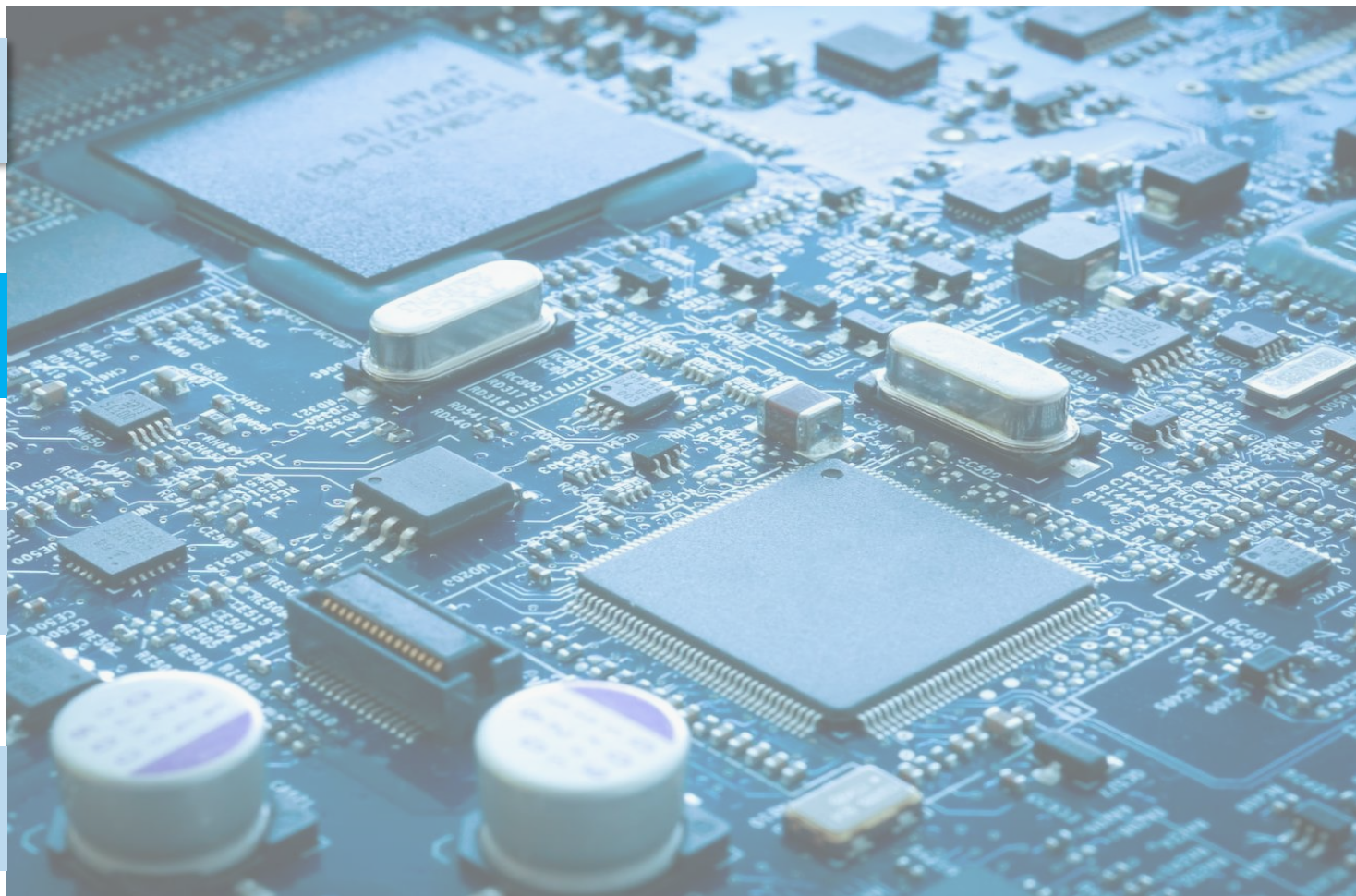
- 在2024年3月，台积电与新思科技成功集成了英伟达的cuLitho技术，实现了与现有软件、制造工艺和系统集成的协同，旨在加速下一代高端半导体芯片的制造进程。新思科技作为EDA厂商，在英伟达cuLitho软件库运行的Proteus光学邻近矫正软件大大加快了工作量。同时，英伟达开发了生成式人工智能算法，通过生成式AI技术，最终将整个光学临近矫正（OPC）过程加快两倍。
- 案例表明，半导体行业在当代技术演进中具备核心地位，凸显了EDA技术在推动半导体产业发展中具备核心价值，并对半导体行业发展有重大贡献。

01.全球及中国半导体制造现状及主要问题

02.全球及中国制造类EDA市场发展现状

03.全球及中国虚拟晶圆厂发展现状及趋势

04. 附录



制造类EDA工具主要用于工艺平台开发阶段及晶圆生产阶段，应用于器件建模及工艺设计等，满足先进工艺节点需求

制造类工具分类		
支撑的主要阶段	对应的关键环节	细分门类
工艺平台开发阶段 半导体器件和制造工艺设计、验证	半导体器件/制造工艺设计	工艺与器件仿真工具（TCAD）
	器件建模	器件建模及验证工具
	PDK生成及验证环节	工艺设计套件工具（PDK）
晶圆生产制造阶段 制造优化、验证	集成电路制造环节	光罩数据准备（MDP）
		光学邻近校正工具（OPC）
		可制造性设计（DFM）
		良率控制工具

制造类EDA关注点 参数提取技术、支持器件模型的丰富度、仿真引擎、良率分析。

- 制造类EDA功能
- 主要用于器件建模、工艺设计，包括各类器件建模工具、电路工艺设计、支持器件模型的丰富度、仿真引擎。
- TCAD是工艺平台开发阶段的核心工具
 - OPC是晶圆生产阶段的核心工具

半导体EDA工具上游主要包括硬件设备、操作系统、开发工具及其他辅助性软件，中游为EDA工具企业；下游主要包括芯片设计、制造及封测企业

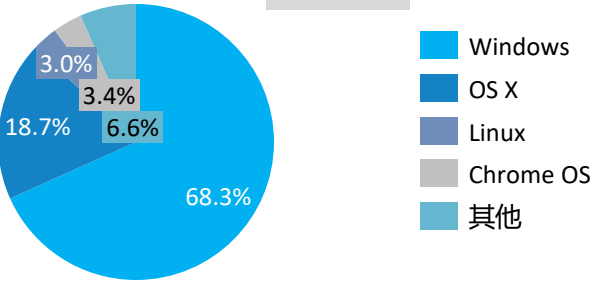


半导体制造类EDA产业链形成了从软硬件到高端工艺解决方案的完整生态系统

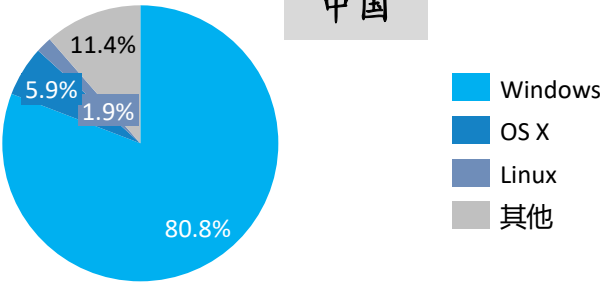
产业链上游-国际巨头垄断，国产系统占比小

- 产业链上游主要包括硬件设备、操作系统、开发工具及其他辅助性软件供应商。中国尚未形成利好基础软件开发商发展的产业链环境，且基础软件开发商核心技术及开发经验缺乏，Windows操作系统与Intel CPU所组成的Wintel联盟长期垄断了桌面级市场。
- 目前国内桌面操作系统市场上Windows、OS X仍处于主导地位，2023年两者合计占据国内86.7%的市场份额，Linux仅占据1.9%的市场份额。

全球



中国



产业链中游

- Synopsys与Cadence产品线高度重合，两家特点都是EDA全工具链。但Synopsys体量大于Cadence，原因是Synopsys是EDA+IP。
- Cadence主要为设计类EDA，制造类EDA较少，其有OPC工具，但没有TACD，Synopsys有TCAD和OPC。
- 西门子及Ansys的设计类EDA偏多。
- 本土厂商中制造类EDA全品类的厂商是培风图南，其他厂商制造类EDA局部点工具技术领先。

国际行业领先



- 国际梯队组成
- 拥有完整的、有总体优势的全流程产品，在部分领域有绝对优势

本土创新先锋



- 主要以本土创新企业为主
- 拥有特定领域全流程，在局部领域技术领先

细分市场专注

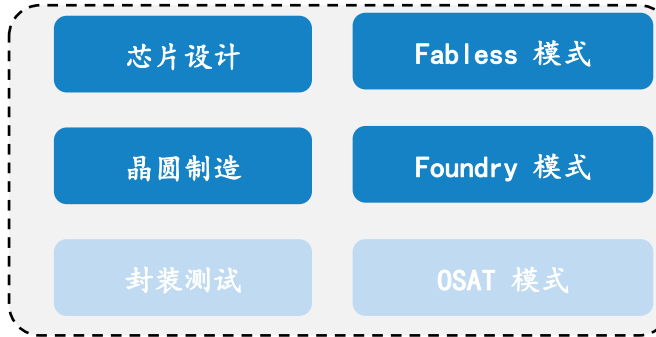


- 点工具为主要产品的企业
- 在EDA工具的广泛范畴内，致力于开发特定的点工具

产业链下游

- 中国在芯片设计领域已经取得一定成就，受先进技术节点等多因素，在晶圆制造技术的差距和挑战更大，而制造类EDA工具在仿真软件及工艺开发上发挥至关重要的作用，助力缩小技术差距。

集成电路产业链垂直分工模式



垂直整合模式

IDM 模式（芯片设计 + 晶圆制造 + 封装测试）

制造类EDA是实现高效生产的关键，其在提升生产效率、确保设计可制造性以及优化良率方面的作用日益突出

全球制造类EDA市场规模，2019-2028E

单位：亿美元

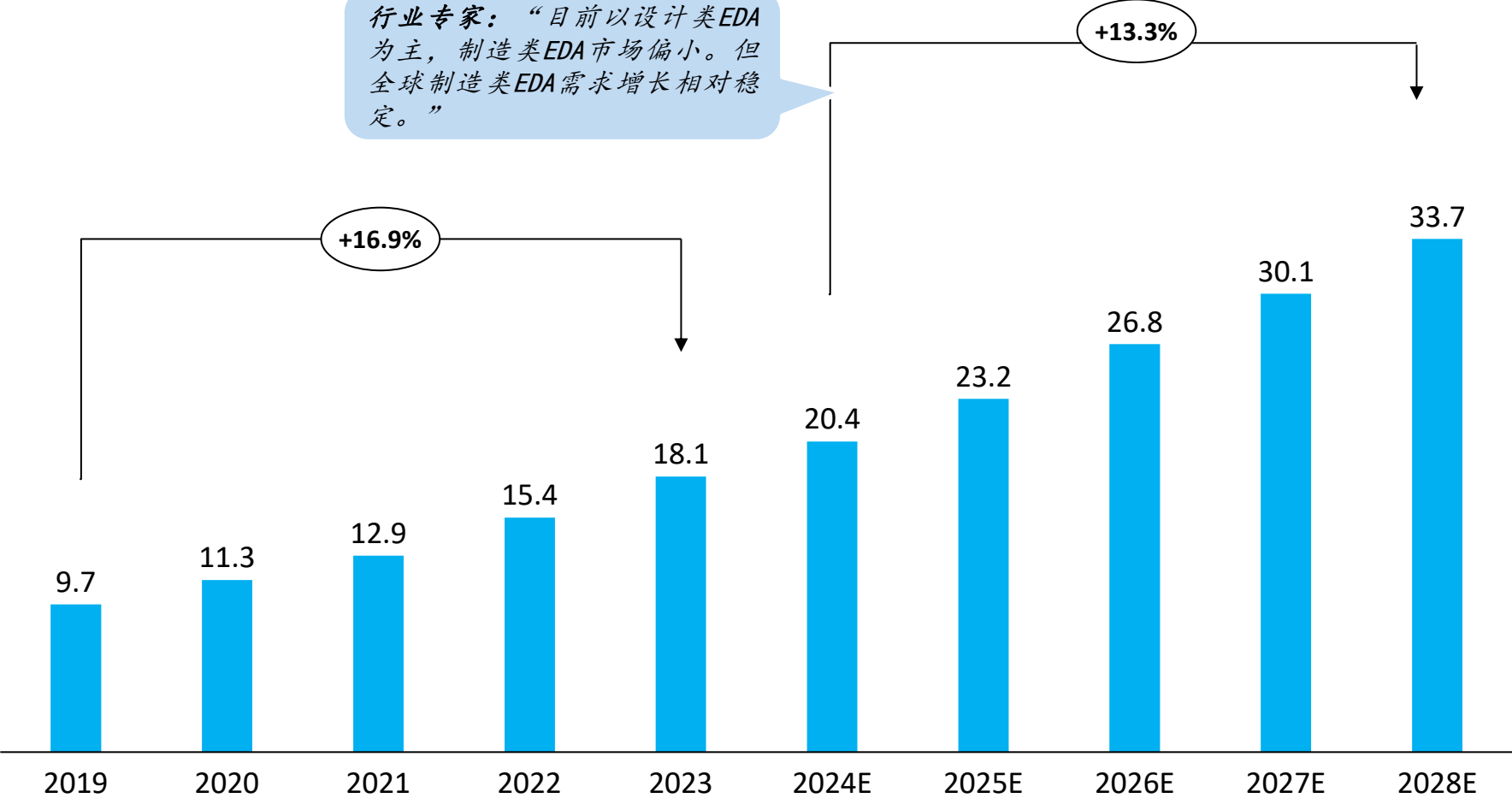
■ 制造类EDA

CAGR



关键洞察

行业专家：“目前以设计类EDA为主，制造类EDA市场偏小。但全球制造类EDA需求增长相对稳定。”



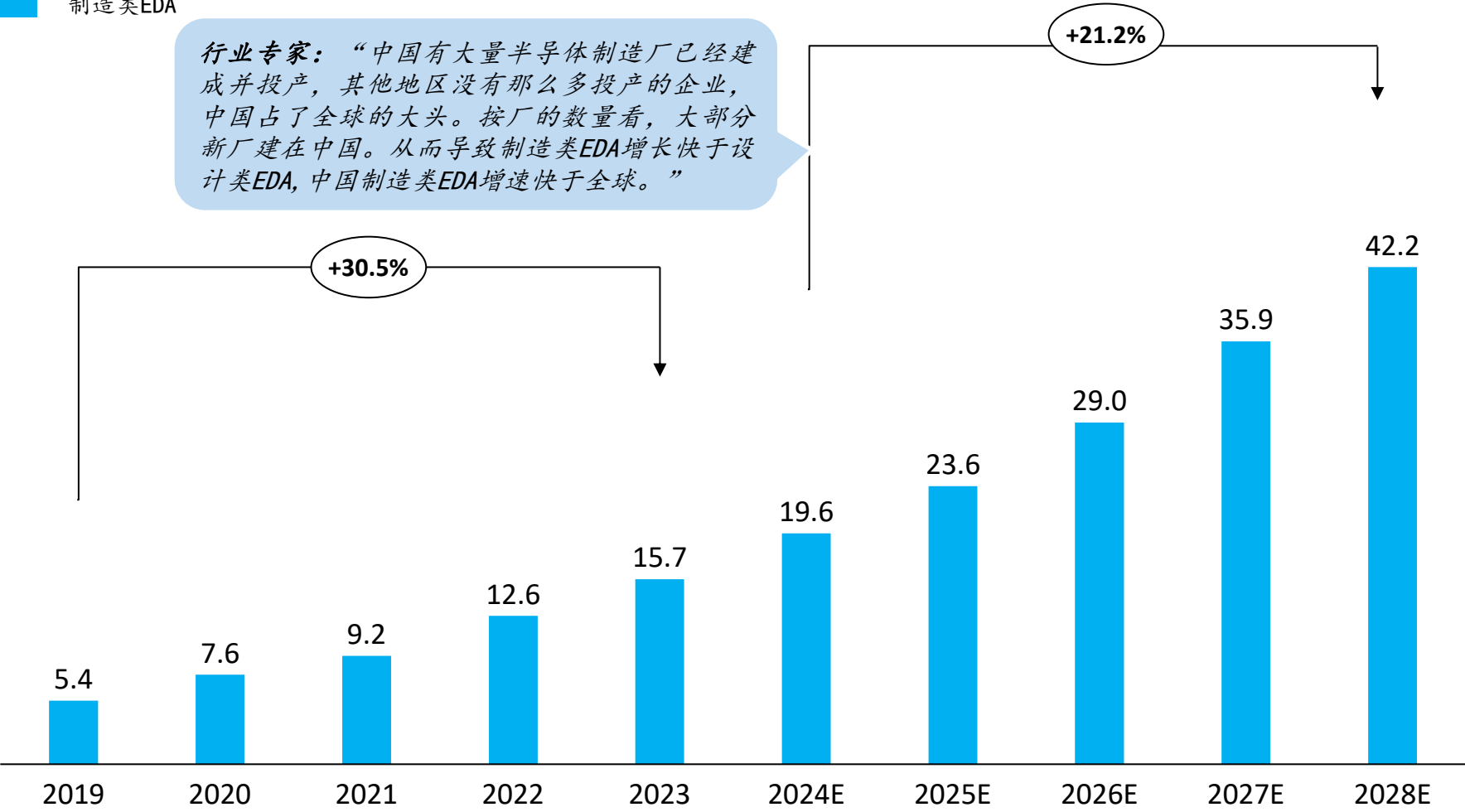
- 在EDA市场中，设计类EDA由于其在产品创新初期的核心作用而占据显著的市场份额。然而，随着半导体技术的演进和制程工艺的复杂化，**制造类EDA正成为市场增长的关键驱动力**。其在提升生产效率、确保设计可制造性以及优化良率方面的作用发挥着至关重要的作用。
- 从全球市场来看，2023年全球制造类EDA市场规模达到18.1亿美元。因近年来制造工艺对半导体行业的影响越来越大，2019-2023年年均复合增长率达到16.9%。未来，随着工艺节点的持续缩小，制造过程中的挑战增加，需要更精确的制造类EDA来应对。预计到2028年，市场规模将增至33.7亿美元，市场将呈现稳步增长的趋势。

在中美贸易紧张局势的背景下，中国政府显著加大对制造类EDA工具的扶持，未来EDA市场将迎来新的增长机遇

中国制造类EDA市场规模，2019-2028E

单位：亿元

■ 制造类EDA

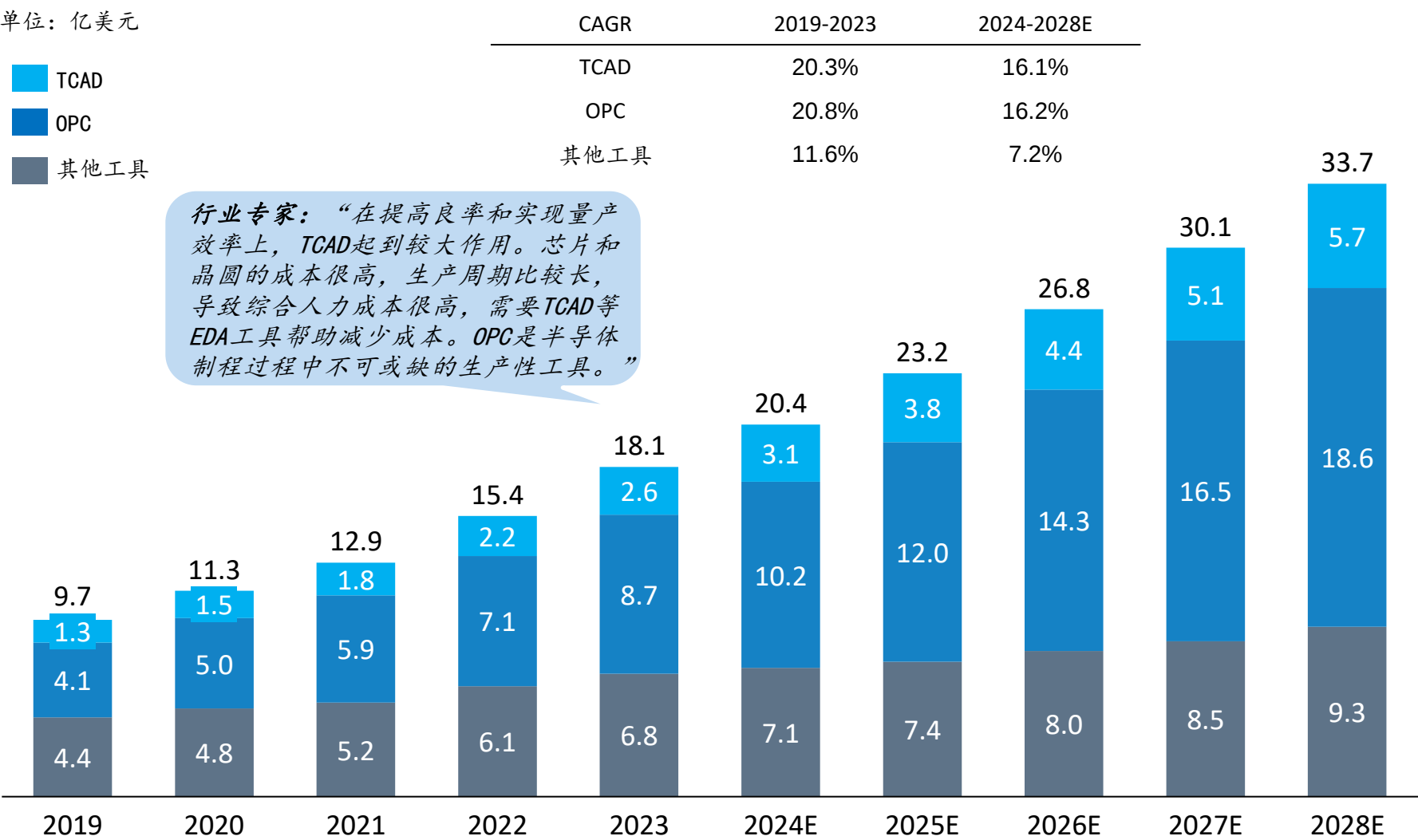


关键洞察

- 制造类EDA是小而美的市场，但以其专业化和精细化的特点赋予了它在半导体产业链中不可或缺的重要性。过去几年包括未来，世界各地晶圆厂的建设步伐显著加快，尤其中国占据主要市场，并且已有大量半导体制造公司相继建成并投入运营。
- 自2018年中美贸易以来，中国企业陆续受到美国制裁。2022年8月，BIS对EDA软件等关键技术实施新的出口管制，因此对中国本土EDA产业形成了刺激，国产EDA工具的自主研发和应用的重要性愈发凸显。同时，随着半导体工艺节点的持续微缩，中国政府对制造类EDA工具的发展给予了高度重视，以支持先进工艺的设计和验证。
- 预计2028年，中国制造类EDA市场将达到42.2亿元，年均复合增长率为21.2%。因中国对半导体产业的需求不断增加，年均复合增长率高于全球水平。

随着半导体工艺节点的缩小，TCAD和OPC工具在集成电路设计和制造领域的关键作用日益凸显

全球制造类EDA市场规模，按工具类型分TCAD、OPC及其他，2019-2028E



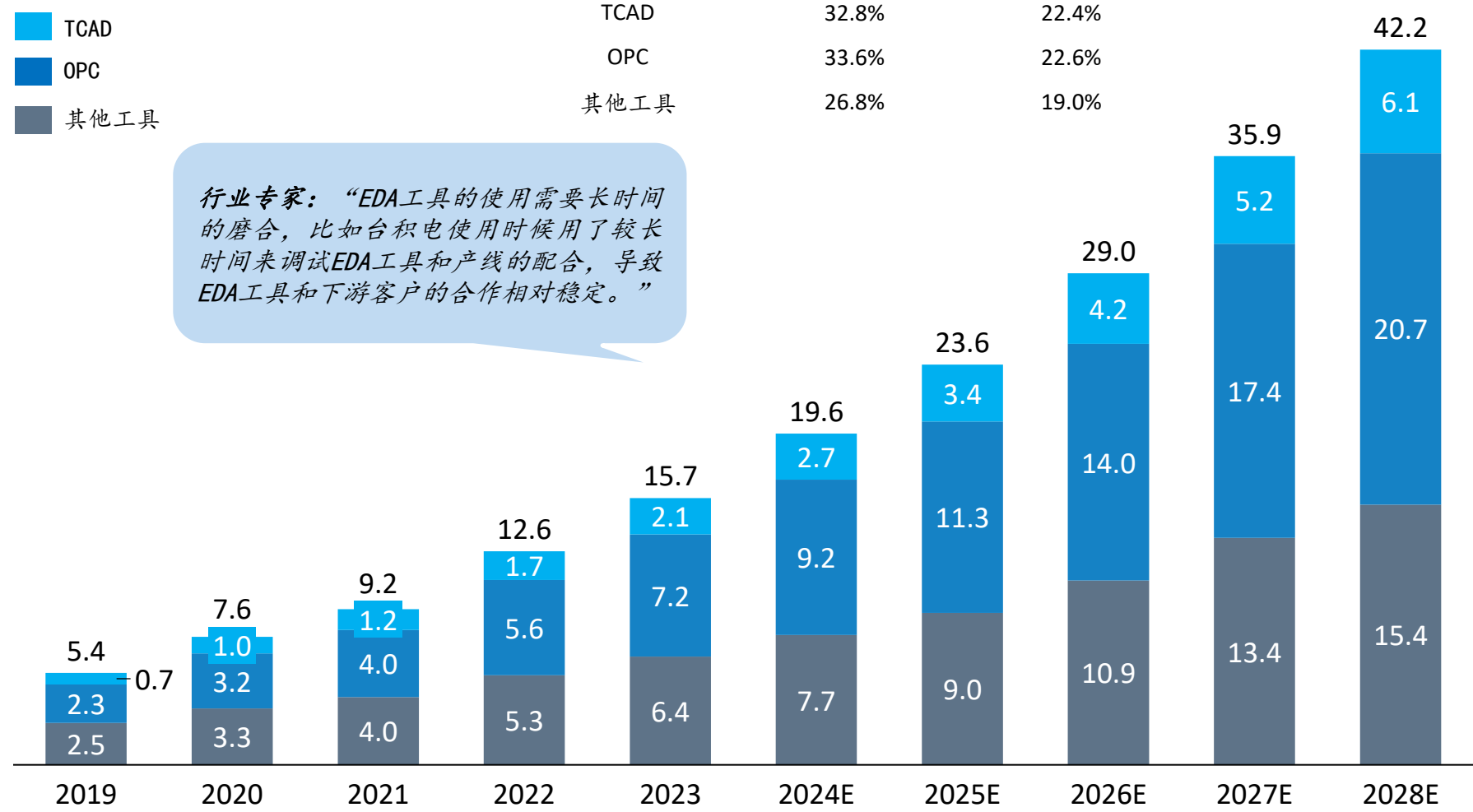
关键洞察

- 自2000年代以来，全球对高性能计算、移动设备和网络技术的需求激增，TCAD和OPC工具在设计和制造过程中的作用变得越来越关键。早在20世纪90年代，美国的EDA公司如Cadence、Synopsys等开始提供先进的TCAD和OPC解决方案，并在全球范围内推广。在亚洲，特别是日本、韩国和中国，TCAD和OPC工具的应用也逐渐普及。
- 随着工艺节点的缩小，集成电路的设计变得更加复杂，TCAD和OPC等制造类EDA的重要性将进一步上升，它们是实现高效生产和设计可制造性的关键。不断迭代的TCAD和OPC工具也会持续推动半导体行业的发展，并随着半导体行业体量的扩大而实现市场规模的持续增长。预计2028年TCAD的全球市场规模将达到5.7亿美元，2024至2028年年均复合增长率预计为16.1%。OPC预计在2028年增长到18.6亿美元，年均复合增长率达到16.2%。

在当前国际市场背景下，TCAD和OPC工具对中国集成电路产业至关重要，在提升先进晶圆制造的生产效率和产品良率发挥着决定性作用，是实现半导体行业技术突破和产品升级的重要因素

中国制造类EDA市场规模，按工具类型分TCAD、OPC及其他，2019-2028E

单位：亿元人民币



行业专家：“EDA工具的使用需要长时间的磨合，比如台积电使用时候用了较长时间来调试EDA工具和产线的配合，导致EDA工具和下游客户的合作相对稳定。”



关键洞察

- 点工具TCAD和OPC是制造类EDA行业的细分市场之一，对于提升生产效率和产品良率具有重要作用。TCAD工具通过模拟半导体器件的物理行为，协助工程师优化设计和制造流程，提前识别并解决潜在问题，有效降低试错成本。同样，OPC通过调整光刻掩膜上的图案，以补偿在光刻过程中由于光源的非理想特性导致的图案失真，有效减少制造误差并降低试错成本。
- 在中国市场中，OPC占比高于TCAD，2023年TCAD市场规模为2.1亿元，OPC为7.2亿元。随着半导体工艺节点的不断缩小，OPC作为确保图案精度的关键技术，其需求将继续增长，2019-2023年年均复合增长率达到33.6%，增速稍快于TCAD。
- 面对国际市场的激烈竞争，中国本土EDA厂商需要不断提升自身技术水平，TCAD及OPC的快速发展将有助于缩小与国际先进水平的差距。

半导体制造类EDA不仅面临技术复杂性带来的高门槛，还需克服人才短缺、资金投入巨大以及构建成熟生态系统等多重壁垒

芯片设计极其复杂，晶体管数量越来越大，EDA软件开发难度上升

- 遵循摩尔定律，集成电路设计复杂性不断攀升，晶体管密度每18个月实现倍增。在集成电路制造的高复杂性背景下，制造类EDA工具对于实现自动化设计流程至关重要。晶圆制造领域，基台制备是一个需要经过反复精细调整的阶段，目的是优化工艺参数，确保晶圆的质量和性能一致性。同时，在芯片设计和制造流程中，必须进行严格的缺陷检测和性能验证，以确保设计满足既定标准。TCAD软件及其辅助工具用于分析基台的各项性能指标，确保工艺调控与实际物理特性相匹配，但TCAD技术由于其高度专业化的算法、复杂的物理模型以及高性能计算资源的需求，存在较高的技术壁垒。
- 中美贸易关系紧张导致美国限制对中国芯片设计公司的先进制程技术出口，这影响了国内芯片制造技术的进步。

EDA对专业人员需求大，过长的培养周期导致人才紧缺

- EDA行业属于高度人才密集型领域，对专业人才的能力要求较高，要求从业者精通高深数学、物理、计算机、芯片设计等多行业交叉的知识，是企业持续创新和突破技术障碍的关键。据《中国集成电路产业人才白皮书》统计，培养一名EDA研发人才，从高校课题研究到能够真正实践从业，往往要十年的时间。
- 海外巨头垄断的要素之一是重视人才培养，以Synopsys为例，研发工程师和应用工程师人数占比超过80%（2019年）。此外，Synopsys和Cadence还与高等教育机构建立了深入的合作关系，向相关专业学生提供全面的进阶教育和专业培训计划，并为他们提供实习和就业机会以加入EDA团队。



EDA的持续开发更需要大量资金投入，行业巨头的研发投入高

- EDA软件的持续创新和迭代升级，加之对高端人才的吸纳和培养，构成了企业持续发展的资金密集型需求。行业内，企业在追求规模扩张和技术领先的过程中，往往采取兼并收购的方式加速扩张。
- EDA软件与芯片制程工艺紧密相连，工艺的每一次革新都要求EDA工具进行相应的同步升级。研发费用方面，行业内国际三大巨头的研发费用率基本都保持在30%以上的水平，2023年 Synopsys和Cadence的研发费用率分别高达33.32%和35.3%，19.47亿美元和14.42亿美元。

制造（Foundry）、设计（Fabless）、EDA三方形成生态圈

- EDA的技术开发和销售依托于制造（Foundry）、设计（Fabless）、EDA三方形成的生态，需要产业链上下游的全力支持。
- 国际领先的EDA软件已构建起成熟的用户生态系统，通过早期在高等教育阶段提供免费或低成本的软件使用，培养了IC工程师的使用偏好。这些主流EDA厂商通过与制造和设计企业的长期合作，形成了稳定的协作关系，巩固了其在产业链中的领导地位。
- 相比之下，本土EDA产业起步较晚，与海外领先企业相比存在约30年的发展差距。由于长期依赖国外三大EDA巨头的产品，集成电路设计和制造领域的用户已形成了较强的品牌忠诚度和使用粘性。

资料来源：专家访谈，新思科技，公开资料，弗若斯特沙利文

制造类EDA行业的增长得益于政策的积极支持、技术的创新驱动及行业特殊性因素的共同作用

政府政策大力支持EDA产业发展

- 在中美贸易摩擦及科技封锁的背景下，集成电路产业链的自主可控性日益受到重视。国家和地方政府近年来相继推出一系列支持集成电路产业发展的政策，覆盖研发生产、人才培养、投融资、税收等多个层面。作为集成电路产业链中的关键环节，EDA行业自然成为政策扶持的重点，国产EDA的替代进程正推动着中国制造类EDA行业的快速发展。

时间	颁布机构	文件	相关政策内容
2021	上海市政府	《上海市先进制造业发展“十四五”规划》	推动骨干企业芯片设计能力进入3纳米及以下，打造国家级电子设计自动化（EDA）平台，支持新型指令集、关键核心IP等形成市场竞争力。基础工业软件攻关行动，重点布局EDA工具软件、工业辅助设计、工艺流程控制等领域，逐步构建工业操作系统、工业软件开发平台。
2021	中共中央、国务院	《横琴粤澳深度合作区建设总体方案》	大力发展集成电路、电子元器件、新材料、新能源、大数据、人工智能、物联网、生物医药产业。加快构建特色芯片设计、测试和检测的微电子产业链。
2021	工信部	《“十四五”软件和信息技术服务业发展规划》	建立EDA开发商、芯片设计企业、代工厂商等上下游企业联合技术攻关机制，突破针对数字、模拟及数模混合电路设计、验证、物理实现、制造测试全流程的关键技术，完善先进工艺工具包。
2022	国务院	《“十四五”数字经济发展规划》	瞄准传感器、集成电路、关键软件等战略性前瞻性领域。实施产业链强链补链行动，加强面向多元化应用场景的技术融合和产品创新，提升产业链关键环节竞争力，完善5G、集成电路、新能源汽车、人工智能、工业互联网等重点产业供应链体系。
2023	工信部	《新产业标准化领航工程实施方案（2023-2035）》	研制集成电路、基础器件、能源电子、超高清视频、虚拟显示等电子信息标准。研制基础软件、工业软件、应用软件等软件标准。

本土制造类EDA公司加速突围

- 虽然目前EDA市场仍被海外巨头垄断，但是国产企业已崭露头角。近年，国际三大巨头在中国的市场份额逐渐缩小，在IC设计及制造领域的全品类公司逐渐突围，如在设计领域突出的华大九天，国内首家EDA上市公司概伦电子、制造EDA全品类覆盖的培风图南等公司，为国内EDA厂商提供发展方向。

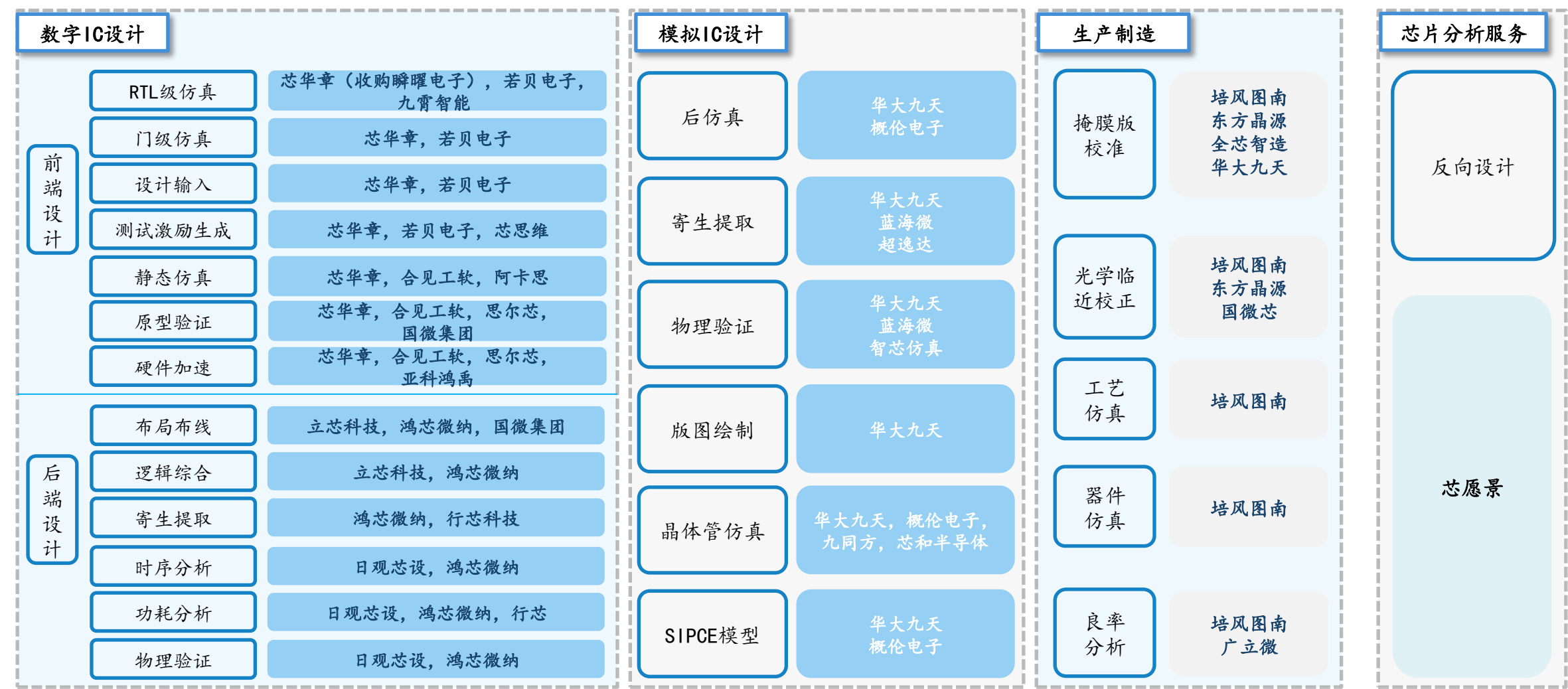
技术演进驱动EDA技术发展

- 芯片设计极其复杂，随着“摩尔定律推动，单个芯片内部的晶体管数量每18个月翻一倍，未来3nm芯片将容纳近160亿个晶体管。如果没有高度自动化的设计工具与设计流程，芯片设计图纸将无法完成。
- 由于芯片复杂的流程，多物理仿真技术是EDA公司着重突破的最核心技术。其次多物理仿真技术需要长时间的积累和打磨才可能推出可商业化应用的产品。

国际软件无法完全满足需求

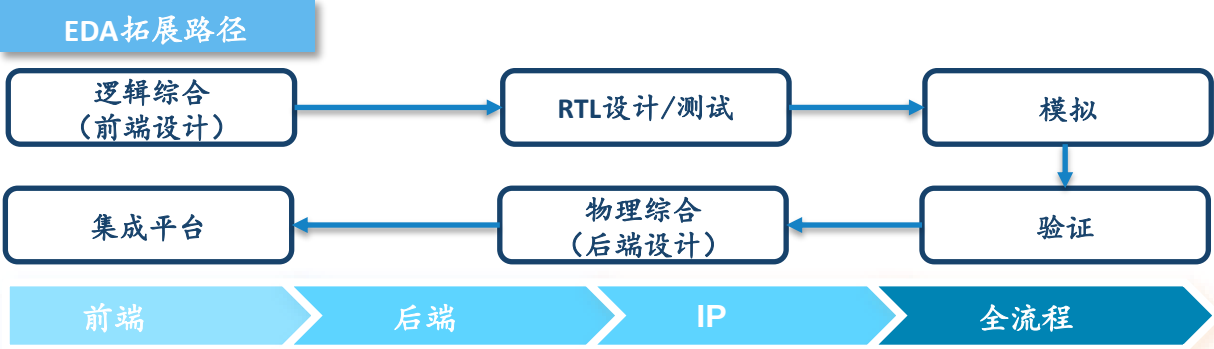
- 国产EDA的发展受益于对专业化、细分功能和高兼容性软件的需求。尽管海外EDA产品能够覆盖设计的全流程，但它们在各个环节的功能和用户友好性上存在差异，这迫使用户依赖第三方工具进行优化。
- 此外，现有EDA工具在不同平台、操作系统和组件间的数据交换面临挑战，限制了设计成果的高效转换和复用。由于中国市场的特殊性，包括技术发展阶段、政策导向、市场需求以及国际贸易环境等因素，新思科技的工具可能无法完全满足中国市场的所有需求。

中国EDA行业聚焦于设计类EDA工具的开发，制造类EDA市场有望产生新的龙头

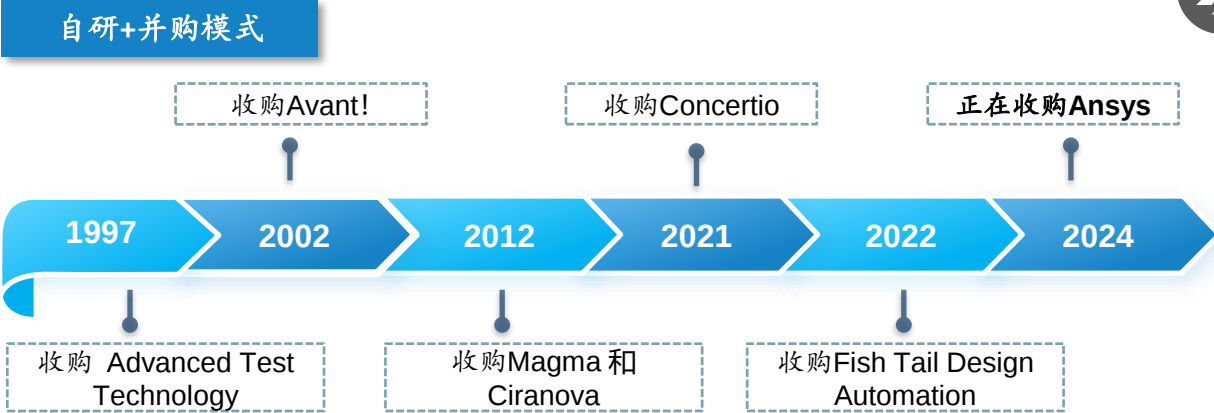


在中国EDA行业生态中，各细分品类全面发展具备优势。在前端设计领域，芯华章进行了全面布局，在后端设计方面，鸿芯微纳表现突出，模拟IC设计领域则由华大九天引领，生产制造环节，培风图南全面实现了TCAD及OPC等工具开发，其他企业正在积极推动技术创新和市场拓展。

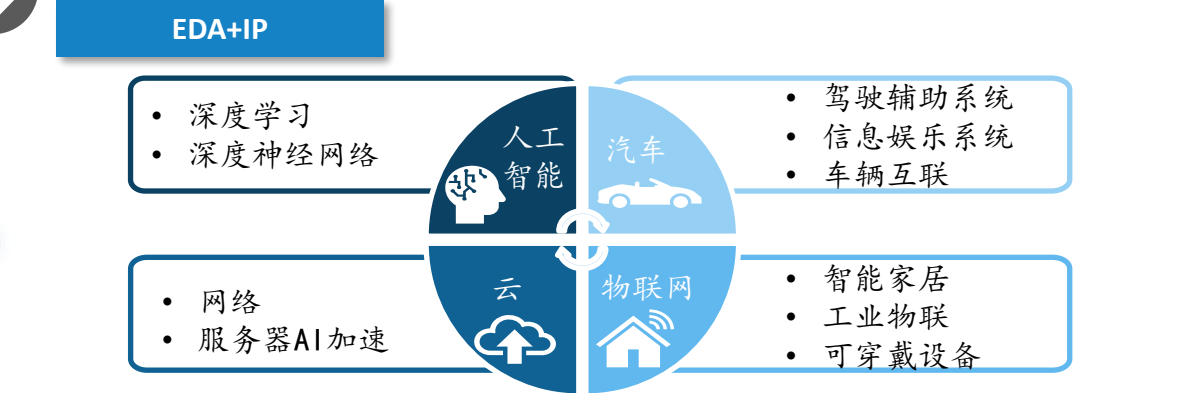
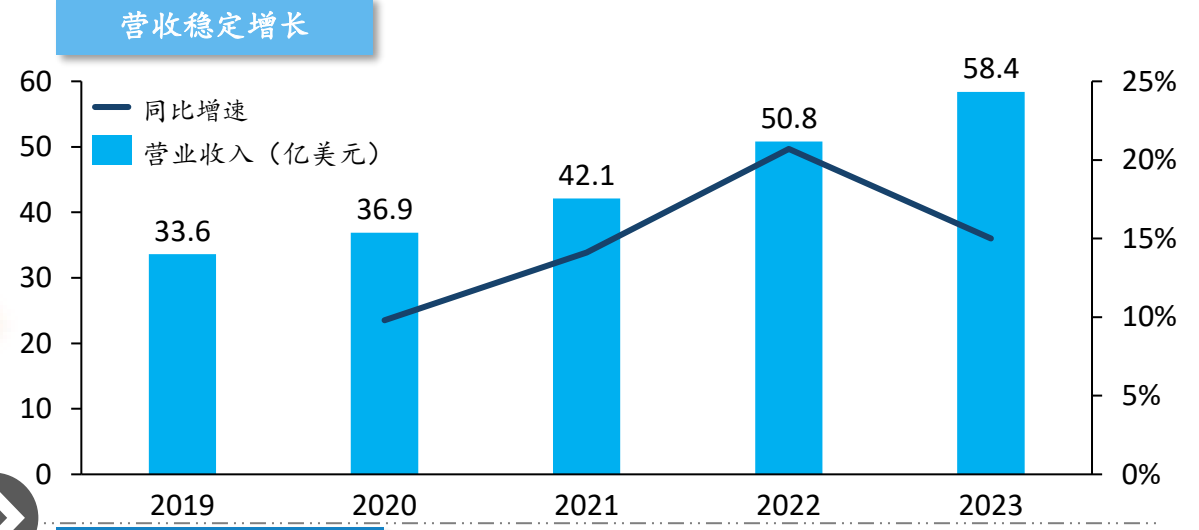
新思科技作为全球EDA+IP行业龙头企业，凭借EDA全流程深度发展和并购的双轮驱动模式，实现点到面工具的全面覆盖



- 新思科技的EDA产品系列全面覆盖集成电路的设计、验证及制造流程，实现了从单一点工具到全面流程的整合覆盖，并由此向平台化和集成化的方向发展。
- 由于中国市场的特殊性，包括技术发展阶段、政策导向、市场需求以及国际贸易环境等因素，新思科技的工具可能无法完全满足中国市场的所有需求。



- 新思科技的全流程EDA布局依托于其前/后端设计产品线的持续扩展与深化。为了完善产品组合，新思科技采取了自主研发与战略并购相结合的发展策略。公司在芯片领域的前后端IC工具链进行了一系列的收购活动。2024年，新思科技宣布对Ansys的收购计划，预计收购完成后将大幅增强公司在软件产品市场的全面性和竞争力。



- 随着集成电路设计的复杂性和精度的显著提高，传统的EDA工具难以满足行业对于设计效率和性能优化的多样化需求，IP核的核心作用愈发突出。新思科技凭借其在EDA领域的深厚技术积累和IP业务的差异化优势，正致力于构建一个更加全面、高效的半导体设计生态系统，提供一站式的解决方案。人工智能、汽车、云计算、物联网等领域，对高性能IP核的需求是推动IP核发展的关键因素之一。

资料来源：公司年报，公开资料，弗若斯特沙利文

广立微提供制造类软件产品，专注于芯片成品率提升和电型测试快速监控技术

公司提供制造类EDA软件、电性测试设备和芯片成品率提升方案

测试结构设计

测试芯片设计

电性测试

数据分析

技术/设计优化

- Smt Cell参数化单元创建工具
- TXMagic测试芯片设计平台

设计效率>10 倍

- AT Compiler可寻址测试芯片设计平台

面积利用率>10 倍

- WAT Tester晶圆允收测试机

测试速度>10 倍

- DATA Exp WAT和测试芯片数据的分析工具

数据分析效率>10 倍

- IC Spider产品芯片诊断工具

标准单元/快速产品成品率诊断

公司与一线半导体厂商紧密合作

- 广立微的产品和服务获得了国内外顶尖制造商的广泛认可，与行业领先的制造企业建立了稳固的合作伙伴关系，这不仅促进了产品的快速迭代，也确保了技术和服务能够与最新的工艺节点同步发展。
- 广立微的客户群体包括三星电子等集成设备制造商 (IDM)，以及华虹集团、粤芯半导体、合肥晶合、长鑫存储等代工厂 (Foundry)，同时还服务于一些无晶圆厂半导体公司 (Fabless)。



以结构与测试工具切入市场，拓展 PCM 工具

- 广立微广泛布局制造类 EDA 软件工具，不断改进测试芯片相关软件并拓展功能，同时提供工艺过程监控解决方案 (PCM)，实现设计、测试和分析工具的整合平台，从而支持高效率和高质量的量产。



针对高效的工艺开发的服务解决方案，提升量产成品率和稳定性

- 广立微核心技术在于挖掘提升数据驱动效率的方法论，通过系统化方法 Methodology、签核Signoff流程和高维度宏观的良率管理，保障良率达到可量产的高质量水平。



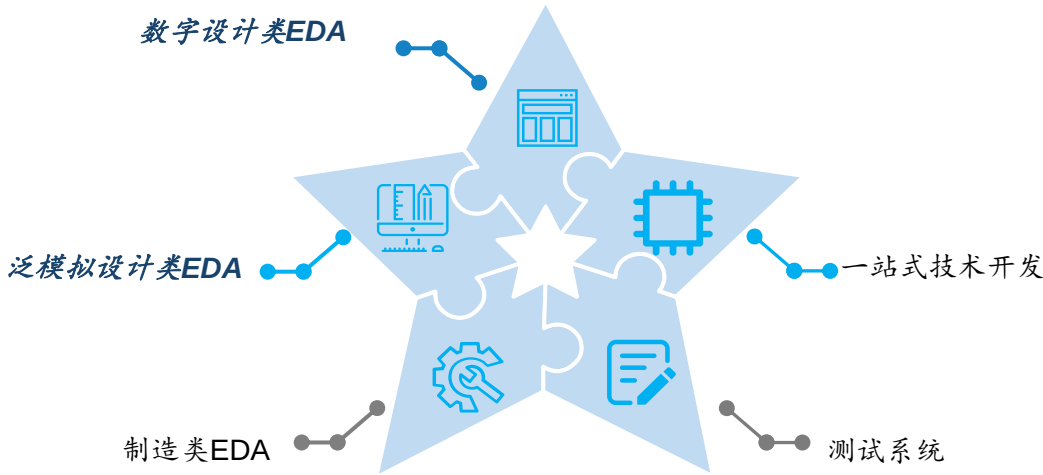
资料来源: 广立微半年报, 公司官网, 弗若斯特沙利文

概伦电子为国内首家EDA上市公司，通过实施全球化战略和持续的研发投入，成功塑造为具有国际竞争力的EDA行业领军企业

概伦电子

✓ 公司是具备国际竞争力的EDA点工具企业，已形成 “软件 + 硬件 + 服务” 三位一体的产品矩阵。公司致力于打造应用驱动的、覆盖集成电路设计与制造的EDA全流程解决方案，目前公司主要聚焦于设计类EDA。

✓ 2023年，公司以DTCO方法学为核心，聚焦于器件建模、电路仿真验证、标准单元库等关键EDA技术，持续推进集成电路设计领域的综合解决方案，巩固其在业界的领先地位。



公司优势

- ✓ 全球化战略定位：公司正积极推进全球化战略，致力于实现市场、资本和人才的全球一体化。凭借多年的研发积累，公司已成功将技术成果转化为产品，并以其卓越的性能和品质获得了全球顶尖半导体制造商的广泛认可和采用。
- ✓ 高研发投入保障技术壁垒：2023年，公司研发投入合计2.4亿元，占营业收入比例的72.1%了。同时公司的研发投入推动了人才队伍建设，研发人员数量占到总人数的70.1%。

公司设计类EDA产品关键指标对比			
	概伦电子 NanoSpice	Synopsys HSPICE	Cadence SpectreAPS
功能	具有DC、AC、Transient等常用电路分析功能	支持Transient等电路分析功能	支持DC、AC、Transient等电路分析功能
速度	支持多核加速,实现在16核并行运算情况下的电路仿真速度相对于单核平均提升8倍	支持多核加速,16核相对于单核平均加速8倍	与Spectre仿真器相比,仿真时间减少5倍
精度	可满足SPICE精度	可满足SPICE精度	可满足SPICE精度
容量	支持百万级晶体管数量的仿真	未披露	未披露
	NanoSpicePro	FineSimPro	SpectreXPS
功能	具有DC、Transient电路仿真功能	具有DC、Transient电路仿真功能	具有DC、Transient电路仿真功能
速度	相比NanoSpice加速10倍以上	速度是同类产品的3到10倍	与传统FastSPICE仿真器相比,将内存仿真时间从几周减少到几天
容量	支持超过千万级晶体管数量的仿真,支持十亿个元器件数量的仿真	支持数百万晶体管数量的仿真	与传统FastSPICE仿真器相比,支持更高的容量和高达10倍的仿真吞吐量

培风图南是国内唯一提供制造EDA全品类工具厂商，TCAD凭借其原创性、技术先进性等优势可以实现对国际巨头的全面替代；公司积极推进软件在虚拟晶圆厂的应用，为半导体行业开启创新之路

产品亮点

1

TCAD软件

- 100%自主知识产权
- 国内唯一面向晶圆制造的TCAD软件

原创性 OPC软件

- 100%自主知识产权OPC产品

2

TCAD软件

- 2012年完成前期的技术储备
- 已迈进7nm以下的工艺节点

先进性 OPC软件

- 支持到28nm

3

TCAD软件

- 与新思的Sentaurus仿真工具全面对标
- 部分应用场景下较国外同类产品获得10倍的性能加速和内存降低

突破性 OPC软件

- 3D Mask算法保障最高精度
- 通过自主研发，对标 MG 技术路线，MG全球市占率90%以上的路线

部分产品对比

	软件/服务	培风图南	Synopsys	Mentor Graphic
TCAD	集成应用环境 光刻仿真软件 工艺仿真软件 器件仿真软件	Mozz Workbench Mozz Litho Mozz Process Mozz Device	Sentaurus Workbench Sentus Litho Sentaurus Litho Sentaurus Device	
OPC	光刻建模软件 掩膜修正软件 掩膜验证软件	Moyee Mozen Mozen-PV	Progen Proteus Proteus LRC	calibre WORKbench calibre nmOPC calibre opcv

虚拟晶圆厂在半导体行业的应用



质量控制



新产品开发



设备选型与升级



生产调度的优化

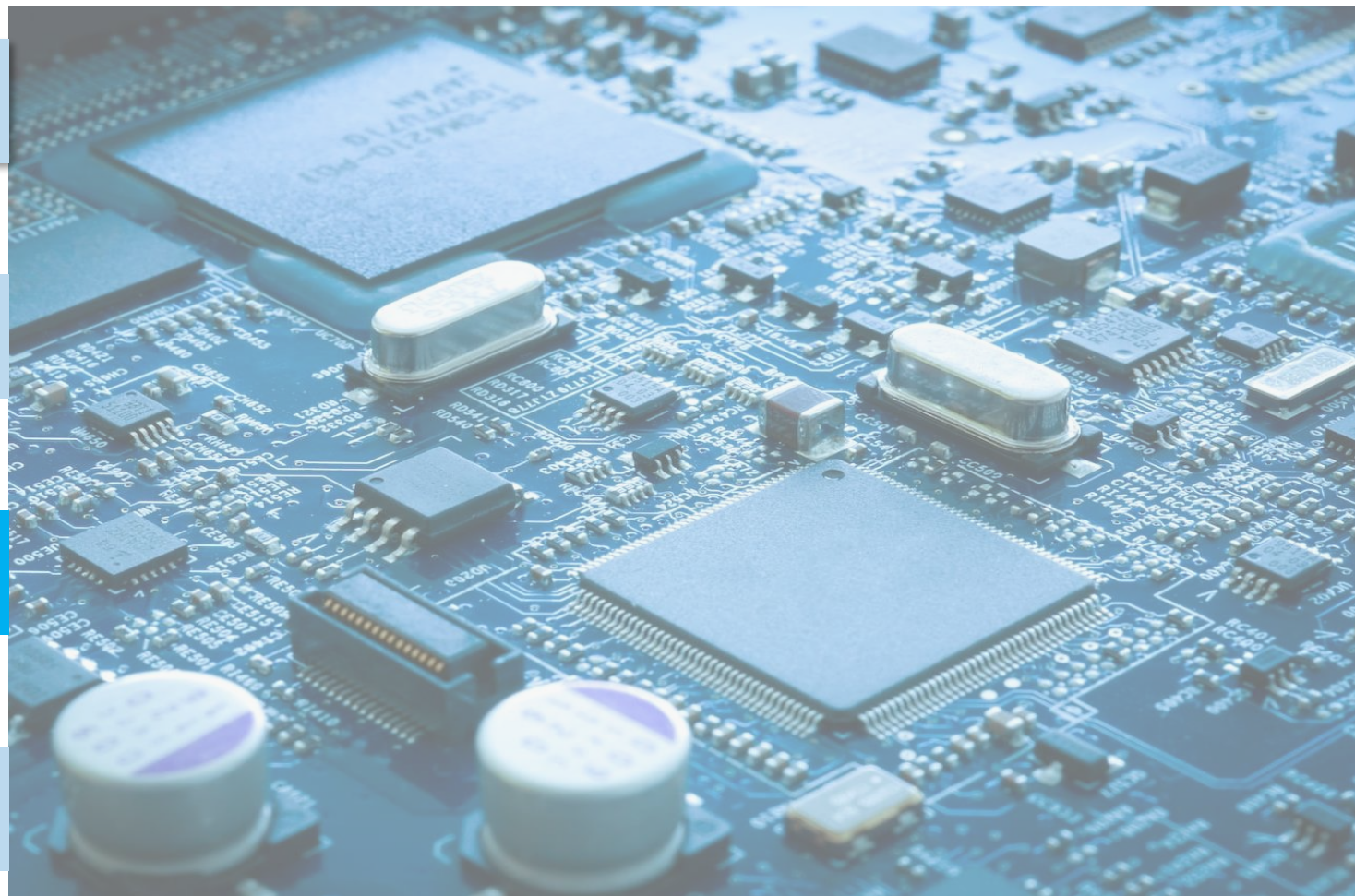
资料来源：培风图南，弗若斯特沙利文
公众号：算力核芯

01.全球及中国半导体制造现状及主要问题

02.全球及中国制造类EDA市场发展现状

03.全球及中国虚拟晶圆厂发展现状及趋势

04. 附录



半导体制造技术进步推动制造类EDA需求日益增长，多物理场仿真技术已成为制造类EDA发展的重点突破环节，未来利用数字孪生打造仿真预测的虚拟晶圆厂已成为行业共识，虚拟晶圆厂市场发展空间巨大

半导体制造工艺进步推动EDA发展

随着半导体制造工艺的进步，制造类EDA工具在新工艺开发、器件尺寸缩小和新材料应用方面的作用愈发凸显。

半导体制造工艺与EDA工具紧密绑定，工艺设计工具包PDK需要在EDA工具的协助下开发。例如，未来3nm及以下的器件采用GAA结构的堆叠纳米片/纳米线，需要制造类EDA工具帮助验证结构性能，并优化工艺步骤。

随着技术进步，半导体制造工艺进入纳米级别节点，半导体制造器件尺寸随之缩小，制造类EDA工具可以进行物理验证，检查关键参数，如间距、连线宽度、电气规范等，以确保设计在纳米级别的尺寸下能够成功制造。

在半导体制造新材料性能验证、性能优化过程中，EDA工具可以模拟电路中的材料行为，优化工艺参数。

发展虚拟晶圆厂已成为行业共识

随着晶体管技术节点尺寸越来越小，开发更小节点的工艺成本呈指数级增长，利用数字孪生技术可以极大的降低设计和流程优化的试错成本，让试错成本几乎为零。未来建立虚拟晶圆厂，对晶圆厂全流程进行数字孪生，已成为行业发展共识。

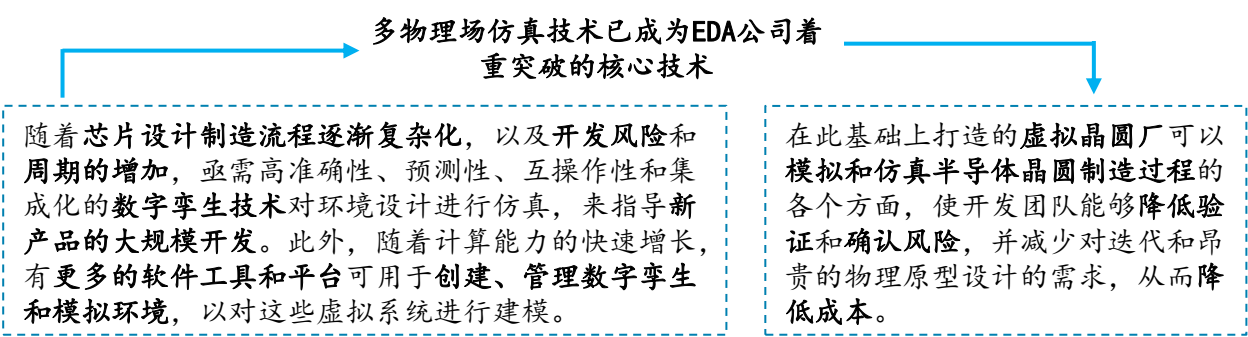
- 国际器件与系统技术路线图（IRDS）在2023年提出半导体制造应该向智能制造转变，其中包括利用数字孪生技术，将设备和数字孪生网络完全集成，以预测所有性能指标。
- 英伟达创始人黄仁勋在NVIDIA GTC 2024大会上提到：

“我们正在加速世界上的CAE、EDA和SDA，以便我们能够在数字孪生中创造我们的未来”

“我们的领先制造合作伙伴之一正在使用由Omniverse SDKs和API开发的定制软件构建Nvidia DGX和HGX工厂的数字孪生”

“使用数字孪生的结果令人印象深刻，它帮助Wishtron工厂的上线时间缩短了一半，只需两个半月而不是五个月”

多物理场仿真技术已成为重点突破环节



各国政策加强推动半导体制造类EDA发展

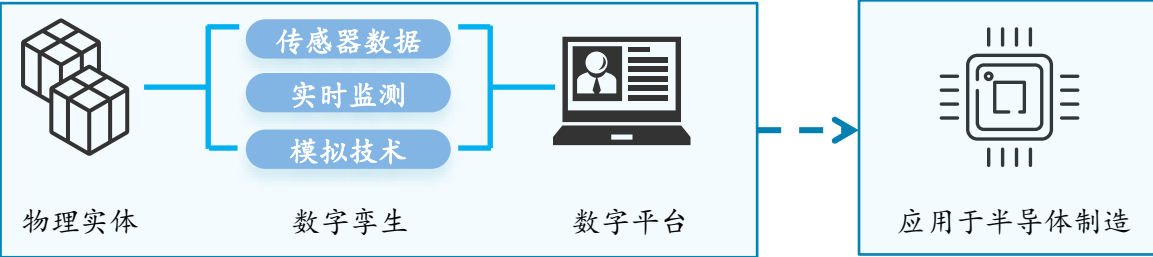
时间	国家	文件	相关政策内容
2021	中国	《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和二〇三五年远景目标纲要》	《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和二〇三五年远景目标纲要》中，集成电路位列7大科技前沿领域攻关的第3位，并明确指出，重点攻关集成电路设计工具（EDA）。
2022	美国	CHIPS与科学法案	CHIPS与科学法案，重点包含390亿美元用于半导体制造激励项目，支持建设、扩建或现代化半导体制造设施；110亿美元用于先进半导体研发，包括建立国家半导体技术中心（NSTC），以促进半导体技术的研发和创新；25%的投资税收抵免，用于支持半导体制造设备和材料的生产。
2021	韩国	国家战略技术项目	韩国政府启动了“国家战略技术项目”，以推动12项国家战略技术的发展，包括半导体和显示技术。该项目旨在通过政府和私营部门的合作设定明确的目标和联合投资，确保关键技术的领先地位。例如，通过增加R&D投资和跨境合作，促进半导体技术的进步和人才培养。

资料来源: IRDS-FI（2023 Update）各政府部委官网，公开资料，专家访谈，弗若斯特沙利文

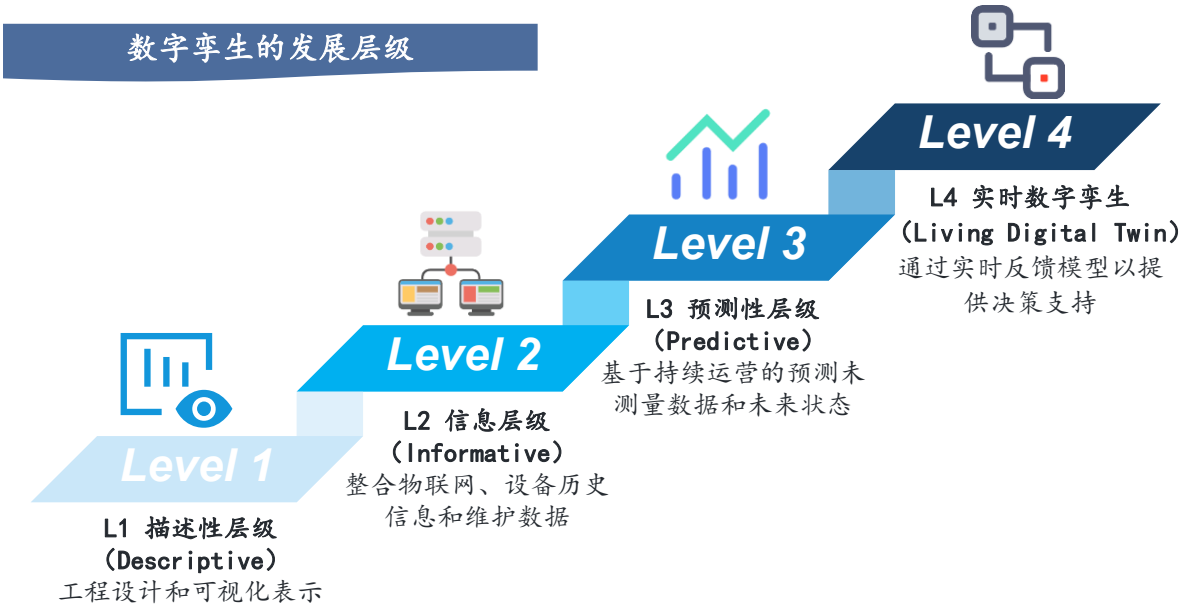
作为虚拟晶圆厂的核心技术，数字孪生的应用可以让半导体制造缩短生产时间，减少试错成本，并降低过程开发成本

数字孪生的概念

- 数字孪生 (Digital Twins) 是一种将物理实体与其数字表示相结合的概念。它是通过创建**虚拟模型**来**模拟、分析和优化**物理实体的**行为和性能**。
- 数字孪生通过使用**传感器数据、实时监测和模拟技术**，使物理实体与其数字表示保持同步，并提供**实时的反馈和决策支持**。



数字孪生的发展层级



数字孪生在半导体制造中的应用

- 半导体制造操作的数字孪生是一个**动态的、预测性的、数据驱动的**虚拟模型，它通过**实时数据流和分析**与其真实世界的对应物（资产、过程或整个工厂）进行**持续同步**。例如，在工艺开发过程中，使用数字孪生可以缩短生产时间，减少试错成本，并降低过程开发成本。
- 数字孪生技术在半导体制造业已经发展了十多年，例如运行到运行控制（R2R）、预测性维护（PdM）、虚拟计量等，都利用了某种形式的预测/优化，符合数字孪生定义。

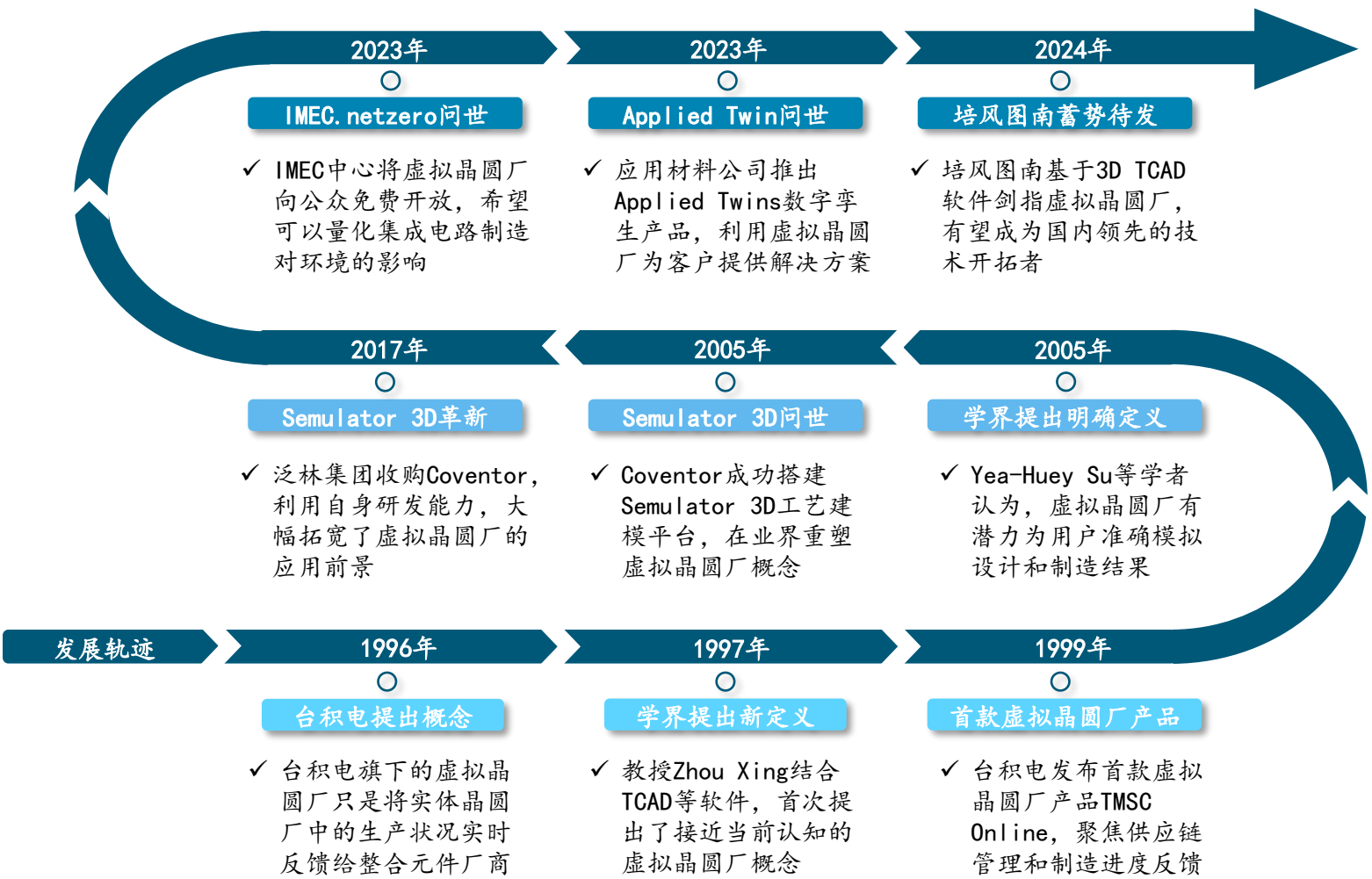
数字孪生在半导体制造中的基本要素

虚拟表达	数字孪生对半导体制造实体的虚拟表示，可以整合和展示对资产、设备、过程、材料或整个工作流的 持续监视视图 ，以实现预期的结果。
数字化线程	数字孪生利用“ 数字线程 ”框架进行 数据流、数据存储和保障数据安全 ，从而轻松与其他数字孪生进行通信和集成。 “数字线程”是指对制造过程中涉及的所有实体（产品、设备、晶圆等）的 全生命周期进行数字化 。
实时监测和同步	通过 集成的传感器和数据流 实现对设备、材料和生产阶段的 实时监视和数据连接 。这些数据将用于 不断更新数字孪生 ，调整模型参数，并提高对系统展现的准确性。
模拟和预测建模	数字孪生利用 模拟和建模技术 （基于实体和/或数据）来 模拟预测和复制 半导体制造系统的行为。与传统的模拟和建模方法相比，数字孪生可以根据与物理对象相关的 不断演化的数据集来更新模型 ，以更准确地反映实际情况。
可靠性	数字孪生系统的预测能力和实际预测的质量对于其可信度至关重要，因此需要 可靠且安全的数据来源和数据管理 ，以及 可靠的模型、数据同步、模型预测和模型维护 。

资料来源: Digital Twins in Semiconductor Manufacturing, DigitalTwinCortum (DTC), 弗若斯特沙利文

虚拟晶圆厂概念最早由台积电提出，后续IMEC、应用材料等企业也相继推出，国内企业培风图南在实践其最新应用，虚拟晶圆厂将最终成为融合数字孪生等新技术的软件平台

“虚拟晶圆厂”概念演进与关键进展

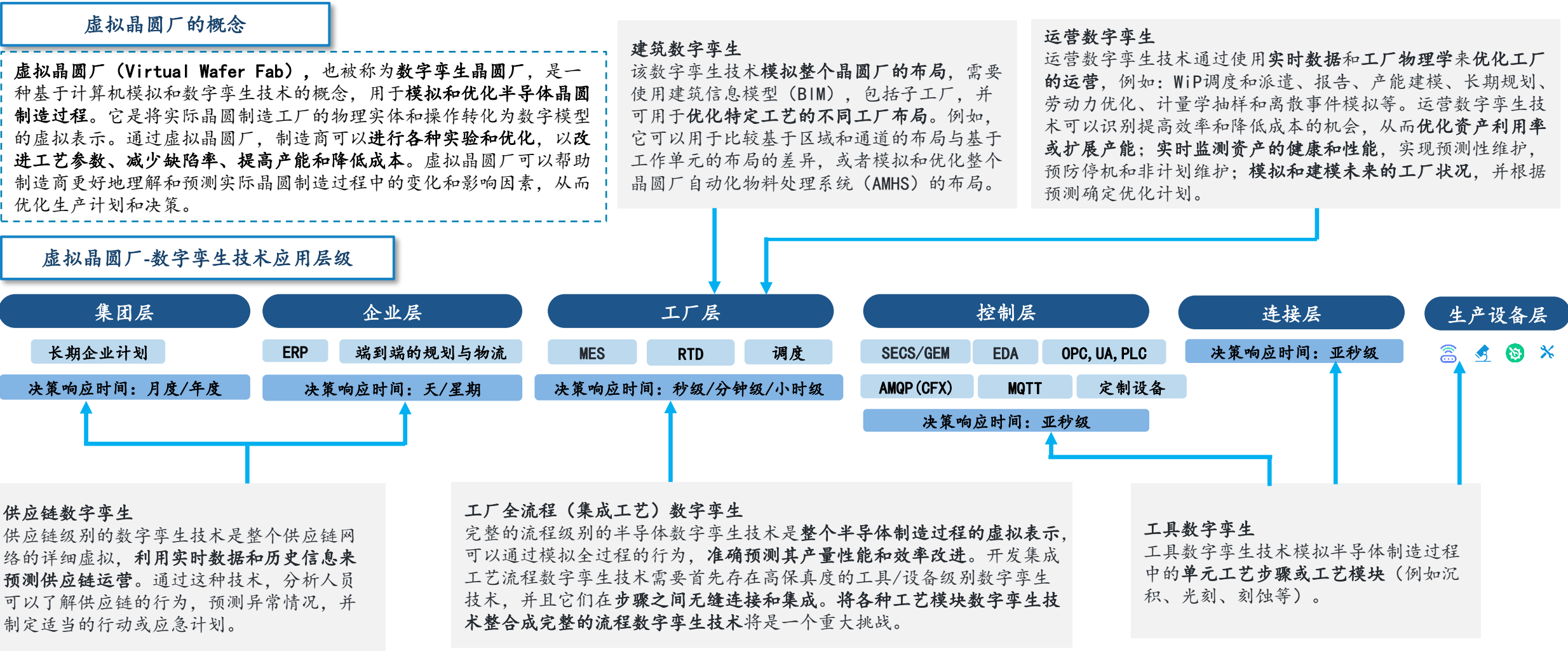


培风图南“虚拟晶圆厂”研发时间线



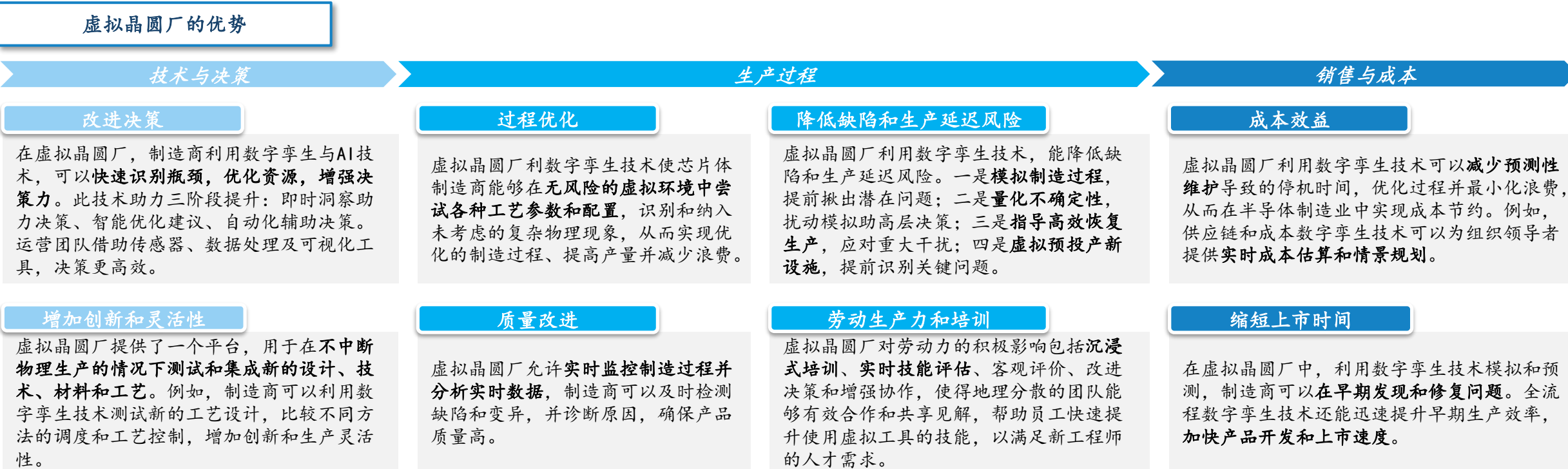
资料来源：公开资料，培风图南官网，弗若斯特沙利文

在端到端的半导体制造过程中，各层面的数字孪生技术开发已取得了快速进展；未来，虚拟晶圆厂将实时感知、预测和控制生产中的每个环节，确保每一片晶圆都被控制在最适合的环境中生产出来



*ERP：企业资源计划；MES：制造执行系统；RTD：实时数据；SECS/GEM：半导体设备通信标准/通用设备模型；EDA：电子设计自动化；OPC：开放式过程控制；UA：统一架构；PLC：可编程逻辑控制器；AMQP：高级消息队列协议；CFX：连续流程改进；MQTT：消息队列遥测传输；Custom equipment：定制设备。

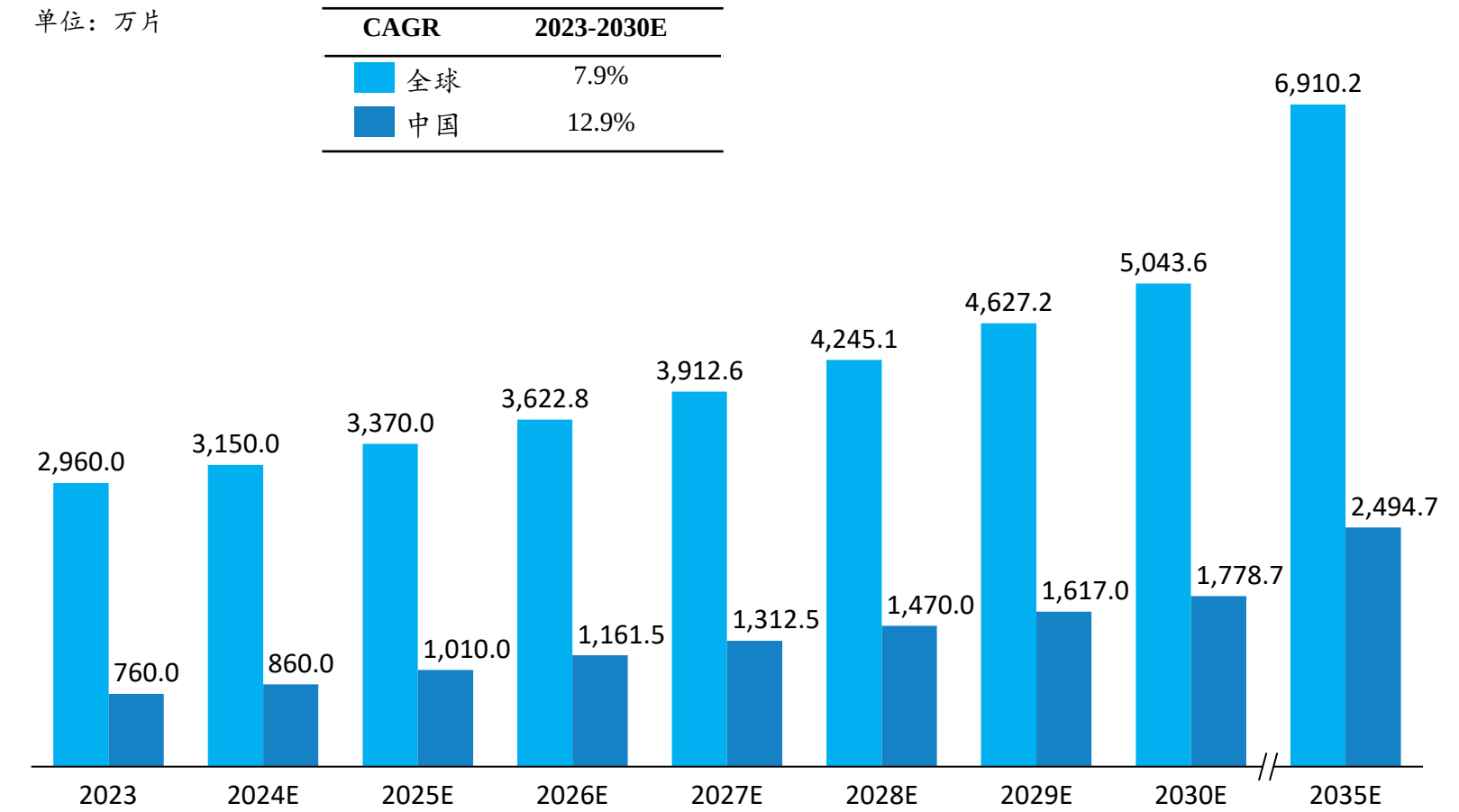
虚拟晶圆厂为芯片制造商提供了自建晶圆厂和选择晶圆代工厂的第三种低投资成本生产模式，虚拟晶圆厂改进决策、降低成本和风险、缩短上市时间等优势将使其成为越来越多芯片制造商的选择



虚拟晶圆厂的竞争优势对比	高	较高	中等	较低	无		
	初始固定资产投资 (人民币)	经济上可行的 最小产能/订单承诺	修改工艺、开发特色/高性能 器件，取得竞争优势	量产圆片成本	工艺、器件技术 秘密保护能力	行业低谷期调节 产能能力	行业高峰期 盈利能力
自建IDM晶圆厂模式	百亿级别	万片级/月	具备优势				
虚拟IDM模式	千万级别	一万片/月	具备优势				
Fabless/Foundry模式	N/A	百万片级/月	不具备优势				

随着全球范围内晶圆厂快速扩建，先进工艺晶圆产能加速提升，亟需发展虚拟晶圆厂技术以降低设计和生产成本

全球及中国晶圆月产能（wpm），2023-2035



关键洞察

- 全球半导体晶圆产能正在经历快速扩张，国际半导体产业协会SEMI在其2024年6月发布的《世界晶圆厂预测报告》World Fab Forecast中宣布，为了跟上芯片需求持续增长的步伐，全球半导体制造产能预计将在2024年增长6%，并在2025年实现7%的增长，达到每月晶圆产能3370万片的历史新高；中国半导体制造产能预计将保持两位数的增长，在2024年增长15%至每月产能885万片后，在2025年将增长14%至每月产能1010万片。
- 其中，先进产能扩张速度高于总体产能，5nm及以下节点的产能预计在2024年将增长13%，扩建更小节点产能的投资成本呈指数级增长。例如，建一座月产能5000片的90nm晶圆厂费用在24亿美元左右，但到了更先进的5nm制程，一座晶圆厂的价格直接就飙升至160亿美元。
- 随着先进产能的扩张，为降低投资成本，发展虚拟晶圆厂的紧迫性显著提高。

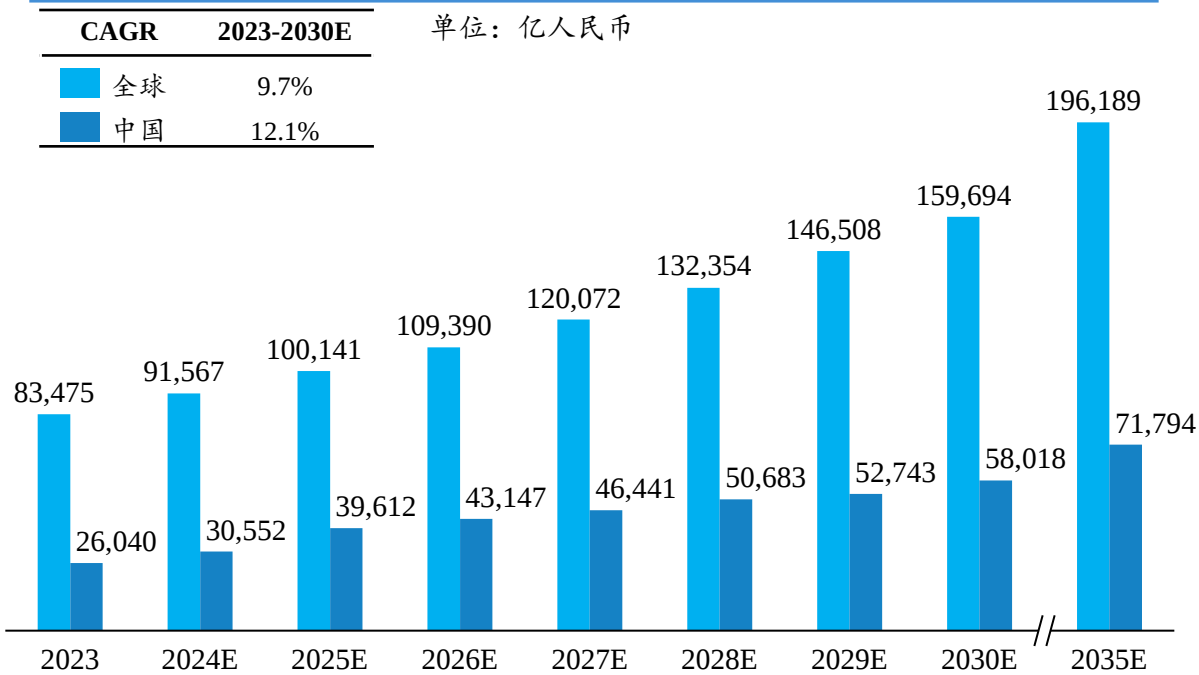
资料来源: 国际半导体产业协会 (SEMI)，专家访谈，弗若斯特沙利文

前国外设备厂商正在积极推动虚拟晶圆厂发展，全球虚拟晶圆厂软件市场规模将快速增长

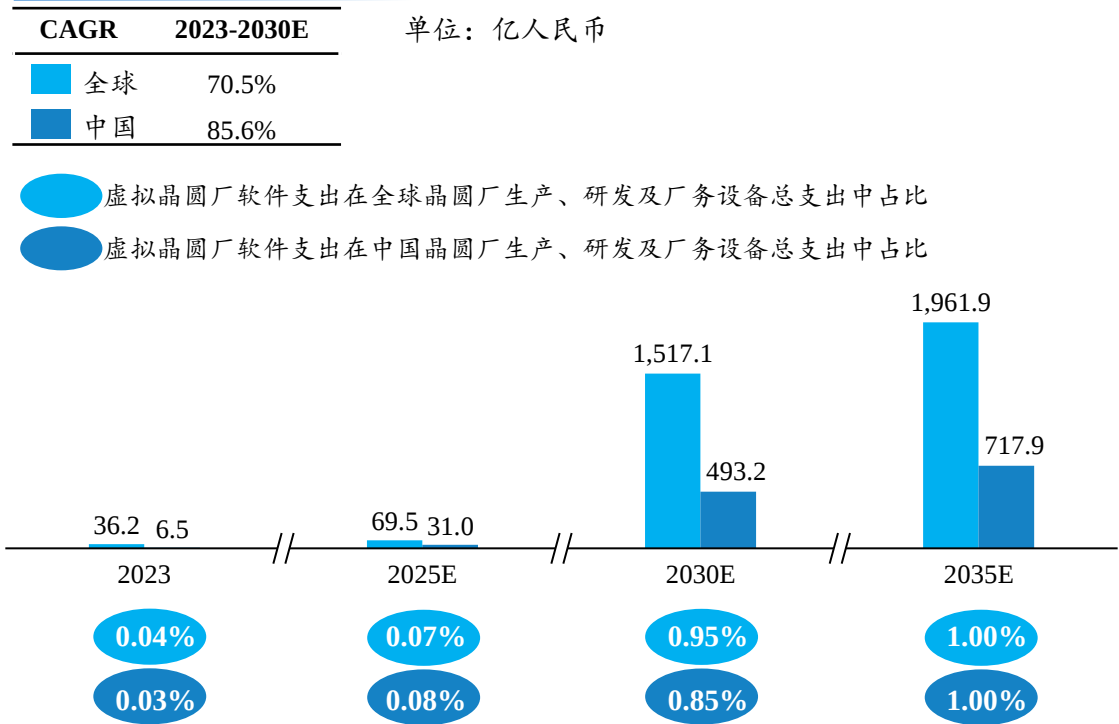
虚拟晶圆厂软件市场规模将迎来爆发式增长

- 随着晶圆厂的快速扩建，全球及中国的晶圆厂半导体设备支出不断提高。根据SEMI预测，全球用于前端设施的300mm晶圆厂设备支出到2027年将达到1370亿美元的历史新高；中国未来四年的晶圆厂半导体设备支出将保持在每年300亿美元以上。
- 同时，随着工艺节点的提升，制造更小尺寸的芯片需要更高精度和更复杂的设备，晶圆厂在生产、研发和厂务设备的总支出会快速增加，亟需利用数字孪生技术发展虚拟晶圆厂以降低设计和流程优化的试错成本。预计未来在成熟的虚拟晶圆厂中，虚拟晶圆厂相关的软件支出会达到晶圆厂生产、研发及厂务设备总支出的1%左右。
- 预计到2030年，全球虚拟晶圆厂相关软件市场规模将达到1517.1亿人民币，中国虚拟晶圆厂市场规模将达到493.2亿人民币；预计到2035年，全球虚拟晶圆厂市场规模将达到1961.9亿人民币；中国虚拟晶圆厂市场规模将达到717.9亿人民币。

全球及中国晶圆厂生产、研发及厂务设备总支出市场规模，2023-2035



全球及中国虚拟晶圆厂软件市场规模，2023-2035



资料来源: 国际半导体产业协会 (SEMI), 台积电年报, 专家访谈, 弗若斯特沙利文

虚拟晶圆厂案例分析： IMEC推出的虚拟晶圆厂IMEC.NETZERO模拟平台，能够模拟整个集成电路制造过程，并提供各种环境指标的可视化工具，是一款用于评估和减少集成电路制造环境影响的强大工具

IMEC简介

- 比利时微电子研究中心IMEC（Interuniversity Microelectronics Centre），是由政府投资建立的非营利性组织，位于比利时鲁汶市，是欧洲乃至全球微电子和纳米技术领域的领先研究与创新中心，成立于1984年。
- IMEC一直致力于推动微电子技术的突破和发展。作为一个非营利组织，IMEC能够专注于前沿技术的研发，而不受商业利益的干扰。它的研究成果在半导体工艺、集成电路设计、无线通信、纳米技术、生物电子等多个领域产生了深远影响。

imec.netzero模拟平台

- 2023年11月14日，IMEC宣布推出虚拟晶圆厂imec.netzero 模拟平台，该平台向公众开放。平台提供了集成电路制造全流程环境影响的可视化工具，以量化集成电路制造的环境影响。

imec.netzero研发过程

- imec.netzero模拟平台的研发过程涉及到与多个合作伙伴的紧密合作。IMEC在从自家晶圆厂取得的资料的基础上，从设备、材料及晶圆厂合作伙伴取得资料，以不断地进行基准测试，合作伙伴包括亚东工业气体（Air Liquide）、应用材料（Applied Materials）、艾司摩尔（ASML）、爱德华（Edwards）、日本 KURITA、科林研发（Lam Research）、日本 SCREEN、东京威力科创（Tokyo Electron）、格罗方德（GlobalFoundries）、三星电子（Samsung Electronics）和台积电（TSMC）。

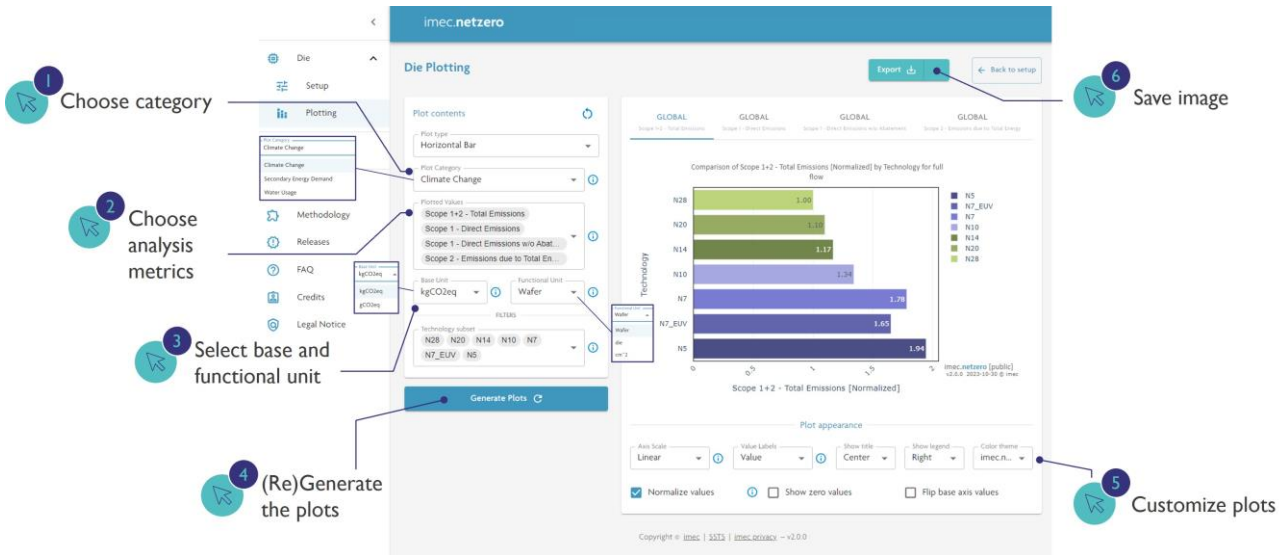
imec.netzero的功能与作用

功能

虚拟晶圆厂 imec.netzero 遵循生命周期评估（Life-Cycle Assessment）的研究方法，收集和分析半导体制程的每个工艺步骤中使用的能源、材料、化学品、气体和其他资源的数据。合作伙伴可以访问私有的imec.netzero软件应用程序，提供关于当前和未来半导体制造技术的具体行动的详细分析，量化内含排放和其他环境影响。

作用

支持半导体行业以及整个半导体供应链减少对环境的影响。因为半导体制造是一个复杂的过程，具有多种环境影响；从高能源消耗到稀缺材料的使用和温室气体排放。考虑到市场的增长和巴黎协议针对气候变化的目标，半导体行业正致力于优化工艺流程，虚拟晶圆厂通过量化环境影响，推动确定和减轻对环境影响较大的工艺或技术。



(imec.netzero软件应用程序界面)

虚拟晶圆厂案例分析：培风图南是国内唯一制造EDA全品类工具的厂商，推出的半导体工艺与器件仿真产品MOZZ TCAD和3D表面结构仿真产品EMULATOR，可以实现在使用更少硅周期和晶圆的情况下开发和优化半导体工艺和器件；培风图南是目前国内唯一有能力构建虚拟晶圆厂的制造类EDA供应商

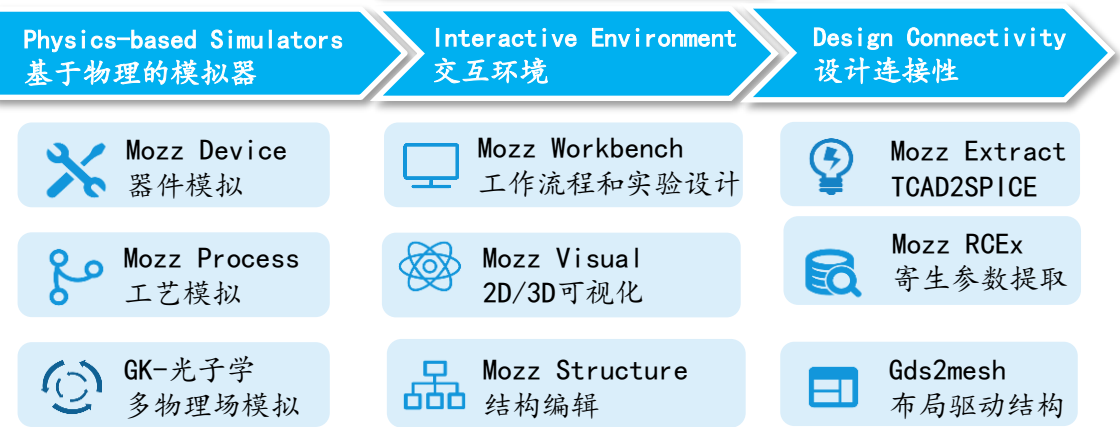
企业概况

- 苏州培风图南半导体有限公司是国内唯一制造EDA全品类工具的厂商，在集成电路生产制造及特种行业定制服务领域有着很深厚的积累。
- 培风图南的主要产品线涵盖了光学邻近效应修正（OPC）、工艺器件仿真（TCAD）、3D表面结构仿真（Emulator）、TCAD-SPIICE 快速建模、电路仿真与寄生参数抽取在内的全系列制造类EDA软件产品，是国内唯一面向晶圆制造的TCAD软件供应商。

Mozz TCAD：工艺与器件仿真

- 培风图南打造的半导体工艺与器件仿真产品Mozz TCAD，通过TCAD提供的预测性计算机模拟，器件工程师和工艺集成工程师可以在使用更少硅周期和晶圆的情况下开发和优化半导体工艺和器件。
- 培风图南的TCAD仿真软件正逐渐演化为“虚拟晶圆厂”，TCAD仿真技术的最新进展可用于构建虚拟晶圆厂，以提高研发效率和生产良率，以期成为芯片制造商的先进工艺研发提供全面的预测性仿真。

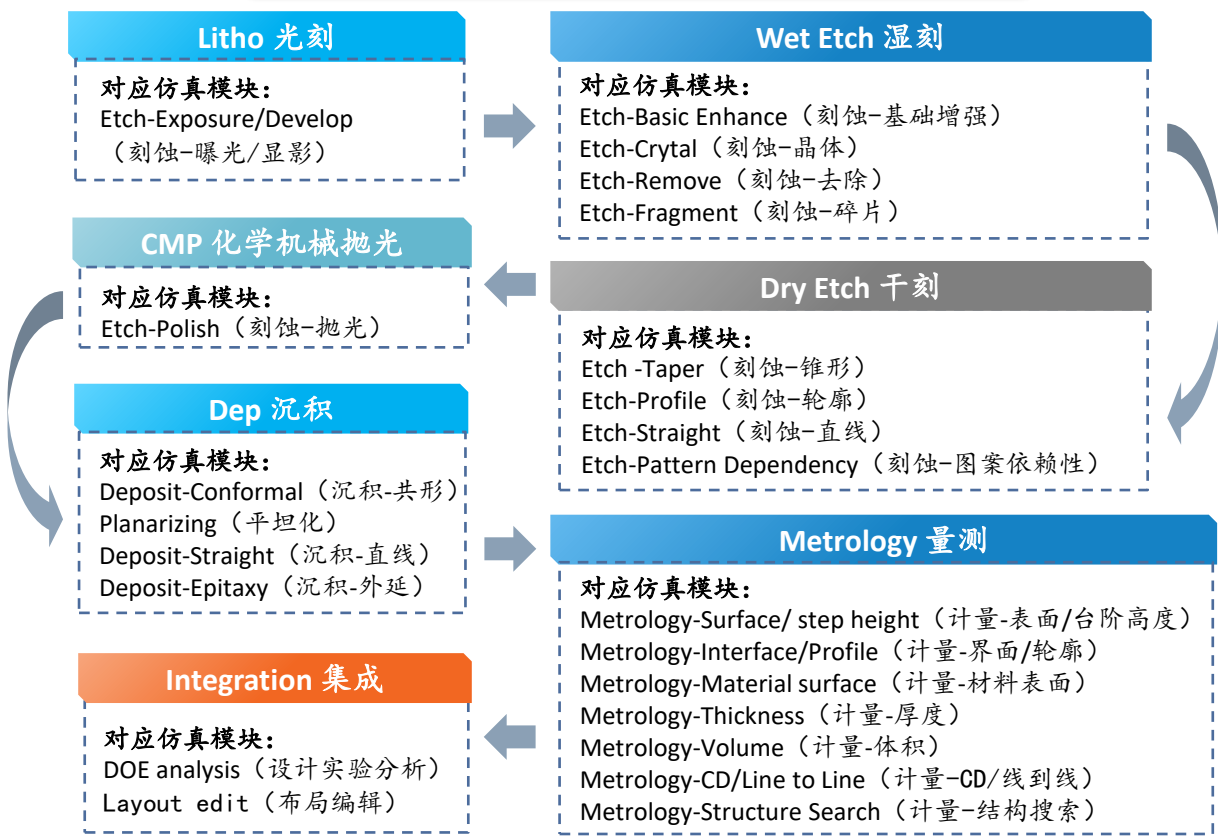
Mozz TCAD 产品矩阵



Emulator: 3D表面结构仿真

- 培风图南打造的3D表面结构仿真产品Emulator，对标业界领先的工具SEMulator 3D平台，且与SEMulator相比，额外支持全功能的离子注入、扩散和应力。

虚拟晶圆厂各工艺模块对应Emulator仿真模块



虚拟晶圆厂案例分析：APPLIED MATERIAL公司基于计算机模型和传感器数据，推出了APPLIED TWIN数字孪生解决方案，可应用于工艺、腔室、设备等多个场景，并有助于企业实现可持续发展目标

企业概况

- Applied Material是一家半导体和显示设备制造商，成立于1967年，拥有广泛的产品组合，使工程师能够以全新的创新方式将技术结合起来，从而释放人工智能和其他技术变革的潜力。在半导体创新需求空前高涨的今天，Applied Material正在推动半导体器件在功耗、性能、面积、成本和上市时间方面的改进。
- 2020年，Applied Material收购了医药领域软件公司Perceptive Engineering和半导体领域公司Think Silicon。前者拥有成熟的流程控制和模型预测技术，后者的主营业务包括向客户提供SDK和API等软件服务。对软件公司的并购为Applied Material开发虚拟晶圆厂平台产品Applied Twin奠定了技术基础。

Applied Twin™框架

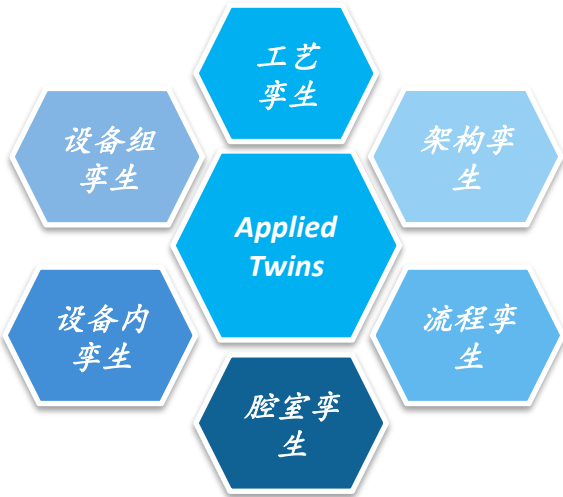
- AppliedTwin™ 是Applied Material公司针对半导体制造设备和流程打造的数字孪生解决方案。其开发团队设计了一个灵活的平台，从微观到宏观模拟复杂的制造过程。
- AppliedTwin 框架利用模型对工艺和设备进行虚拟化。这些模型由传感器和计量数据提供信息，以专业知识为指导，与物理操作持续同步。该框架旨在准确预测设备性能和流程结果，为用户提供解决方案。



科研合作

- 数字孪生技术的前景决定了半导体路线图的研发效率。因此，Applied Materials最近宣布开设EPIC中心，希望与客户、大学和行业伙伴相互合作，推动技术进步，落实公司战略。
- 在EPIC 中心内，研究人员将测试数字孪生技术在半导体制造生态系统中的可操作性和有效性。

Applied Twin™分类与特点



- 涉及领域：物理、数据、混合模型、降阶模型
- 高精度
- 线上线下高度同步
- 价值主张：注重研发、后期收益率高，节约资本支出和运用费用
- 服务半导体产业内外客户
- 操作界面：图形用户界面、融合虚拟或增强现实技术

EduTwins
SemiGuru] 数字孪生与员工培训结合

Applied Twin与可持续发展目标

- 在AppliedTwin框架内，“EcoTwin™”等软件工具利用实时传感器数据来监控腔室、系统和子模块组件的能源和化学品消耗，从而实现可持续发展和技术创新。
- EcoTwin 让工程师详细了解资源利用情况，使他们能够做出明智的决策，优化能源效率并减少对环境的影响。



比较能源消耗

监控环境影响

改善环保绩效

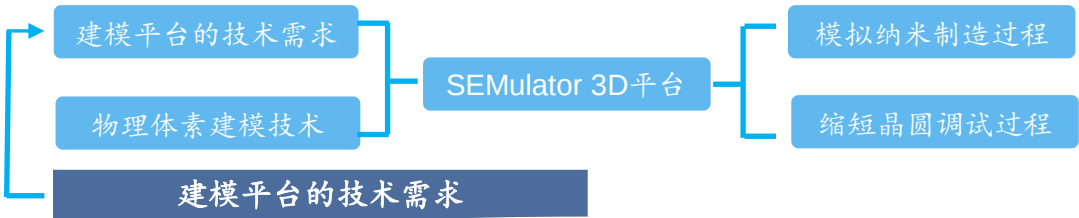
虚拟晶圆厂案例分析： LAM RESEARCH公司旗下的SEMULATOR 3D平台可以进行虚拟三维工艺建模，帮助企业完成路线设计、故障分析、生产优化、人才培养等工作，最终减少晶圆调试的时间与成本

企业概况

- Lam Research公司作为全球领先的半导体设备制造商，是向世界半导体产业提供晶圆制造设备和服务的主要供应商之一。
- 2017年，Lam Research收购EDA行业领军企业Coventor，由此获取了半导体领域前沿的模拟与仿真技术，为后续开发出虚拟晶圆厂平台产品SEMulator3D奠定了技术基础。
- Coventor创立于1996年，Semulator 3D曾是该司旗下的工艺建模平台，也是虚拟晶圆厂的雏形。

SEMulator3D®平台

- SEMulator3D 是Lam Research公司旗下的半导体工艺建模平台。该平台基于物理驱动的体素建模技术，具备强大的的技术开发能力。
- SEMulator3D 工艺建模用于快速、准确地模拟先进的纳米制造过程，让工程师能够在开发过程的早期了解制造效果，缩短耗时且昂贵的调试过程。



- 近年来，半导体技术在三维工艺方面不断进步。这大大增加了工艺开发的复杂性。
- 考虑到最先进的晶圆厂需要数十亿美元的投资，而且工艺日渐复杂，晶圆制造过程中的试错成本很高。SEMulator3D软件则可以进行虚拟三维工艺建模，将显著缩短调试周期，降低开发成本。相较而言，实际晶圆运行需要数周至数月的时间，而虚拟制造只需几分钟至几小时即可产生结果。因此，SEMulator3D使制造商能够利用虚拟制造的晶圆进行开发，从而更快地将新技术投入批量生产。

SEMulator 3D®平台的应用场景与产品优势

应用场景

② 路线设计

SEMulator 3D 将帮助晶圆厂完成流程整合验证、分支决策、流程假设等工作。

⚙️ 生产优化

SEMulator 3D 将辅助制造商优化设计流程和工艺窗口，同时提高片间均匀性。

❓ 缺陷分析

SEMulator 3D 能够进行3D故障排查，准确定位电阻-电容、设备、泄漏等问题，显著提高缺陷消除率。

👤 劳动力培训

Lam Research公司通过SEMulator3D为半导体工程师和学生提供前沿培训，促进行业发展和人才培养。

产品优势



时间优势

通过仿真建模技术，企业可在数小时或数天内得出解决方案，而使用真实硅片则需要数周或数月的时间。



成本优势

制造商有望通过SEMulator 3D减少对设备、员工、晶片、掩膜、化学品和消耗品的需求。

虚拟晶圆厂案例分析：SILVACO公司开发的AI驱动的FTCO虚拟晶圆厂解决方案平台，能够在模拟制造过程中了解制造过程参数变化对晶圆产量的影响，减少上市时间和晶圆运行次数，节省时间和成本

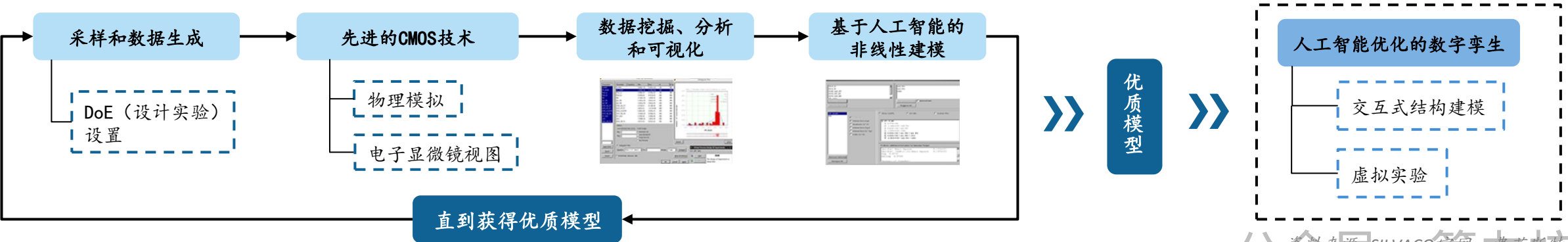
企业概况

- Silvaco International 公司是全球领先的电子设计自动化软件供应商，提供用于模拟/混合信号集成电路设计的工具，创建于1984年。
- 2024年，半导体制造公司Micron向Silvaco投资，合作开发了基于人工智能的晶圆技术协同优化解决方案平台FTCO™（Fab Technology Co-Optimization）。

FTCO™平台

- FTCO™平台的开发结合了半导体技术、机器学习和数据分析，是专门应用于晶圆制造设备的协同优化解决方案平台。FTCO™利用晶圆制造数据进行统计和基于物理的机器学习软件模拟，创建了晶圆的“数字孪生”计算机模型，用于模拟制造过程。
- 这个“数字孪生”作为制造过程和晶圆的虚拟表示，为晶圆厂和工程师提供了一个进行实验和测试的平台，工程师能够向数字孪生提出“what-if”场景的问题，以了解制造过程中工艺参数变化对晶圆产量的影响，并预测产量以进行新产品的进一步研究。通过减少产品的上市时间和晶圆运行次数，可以极大地节省时间和成本。

AI驱动的FTCO™解决方案平台流程图



FTCO™平台解决方案核心工具

- ✓ 数字孪生的DoE核心模拟器：
 - Victory Process 工艺模拟器和压力模拟器；
 - Victory Device 设备模拟器，模拟工艺流程后的电特性；
 - Victory RCx 寄生场求解器，探索BEOL（后端工艺）过程的细节

- ✓ ML/AI分析工具：
 - Victory Analytics 专为半导体行业设计的机器学习分析解决方案，包括数据可视化、输入特征选择和数据训练、建模、优化和DoE等功能

- ✓ DoE环境：
 - Victory DoE 项目管理和设计实验工具，允许用户同时运行多个模拟并收集数据

交互式
数字孪生模型：
虚拟实验/
交互式结构建模

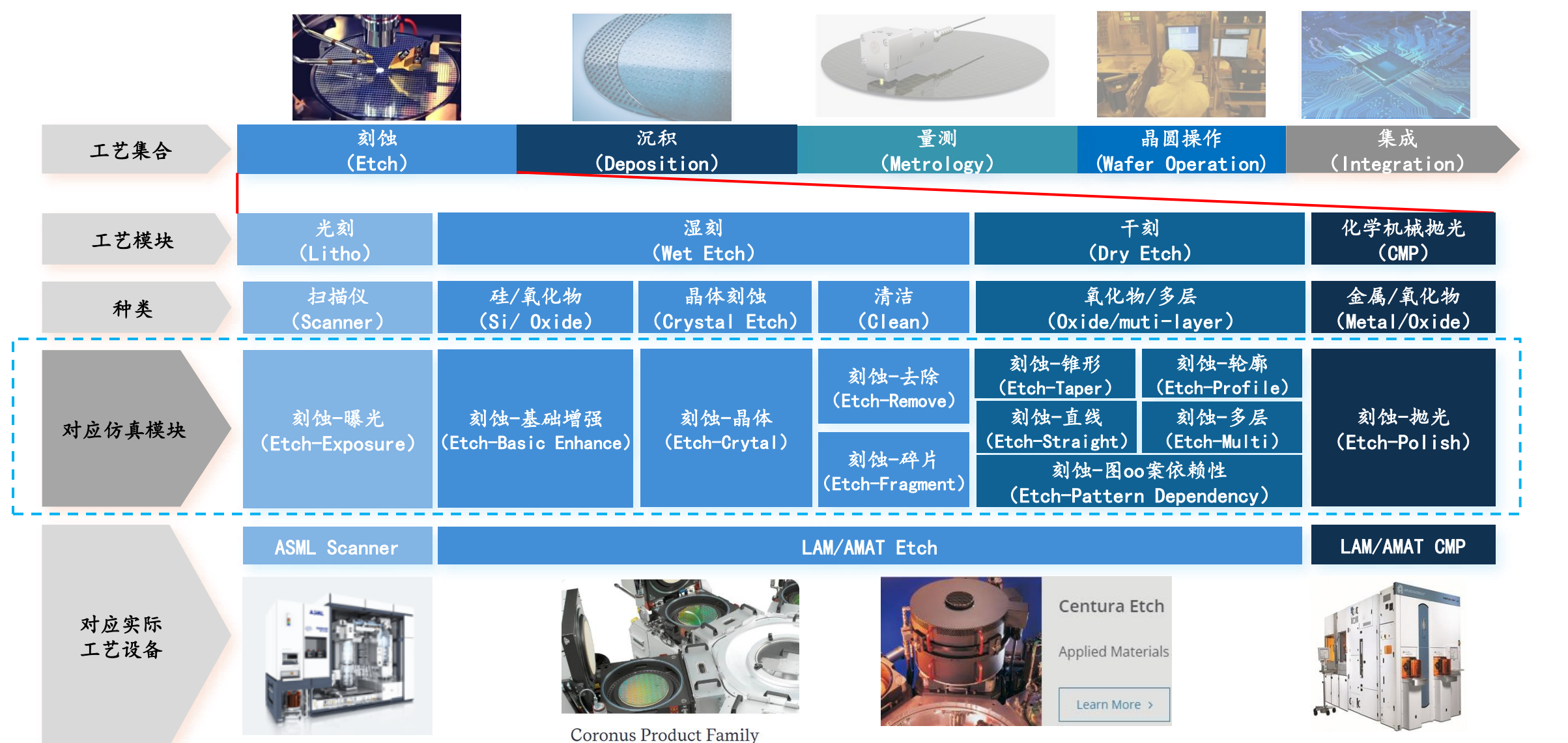
先进的DoE（设计实验）
和机器学习：分析建模

实验工厂/器件数据：
DoE（设计实验）

基于物理的模拟：
物理模拟

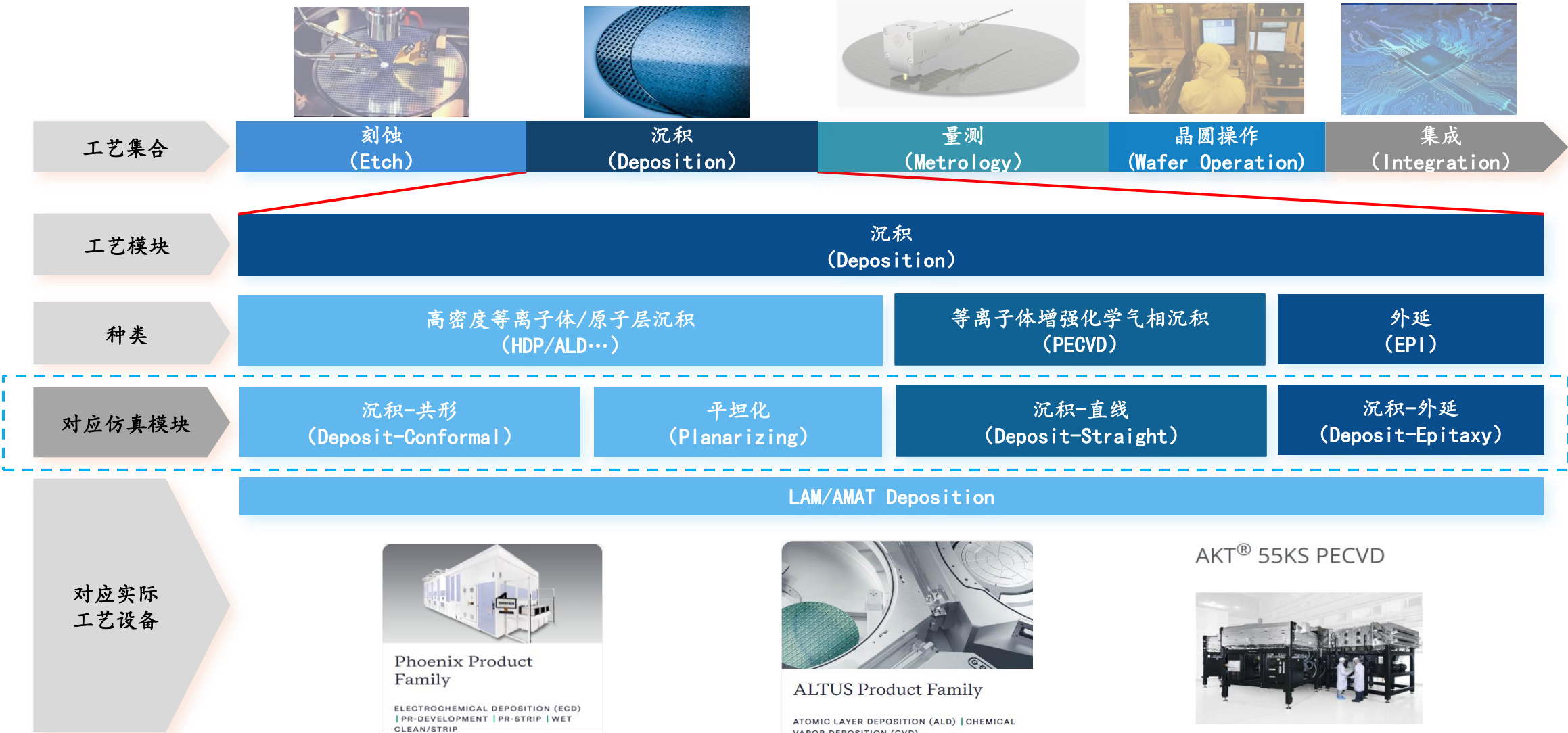
工作流程

在虚拟晶圆厂中，每个刻蚀环节的工艺模块和工艺设备均有与其对应的仿真模块软件，以确保整个生产环节都被实时感知、预测和控制，从而实现晶圆生产环境的最优化

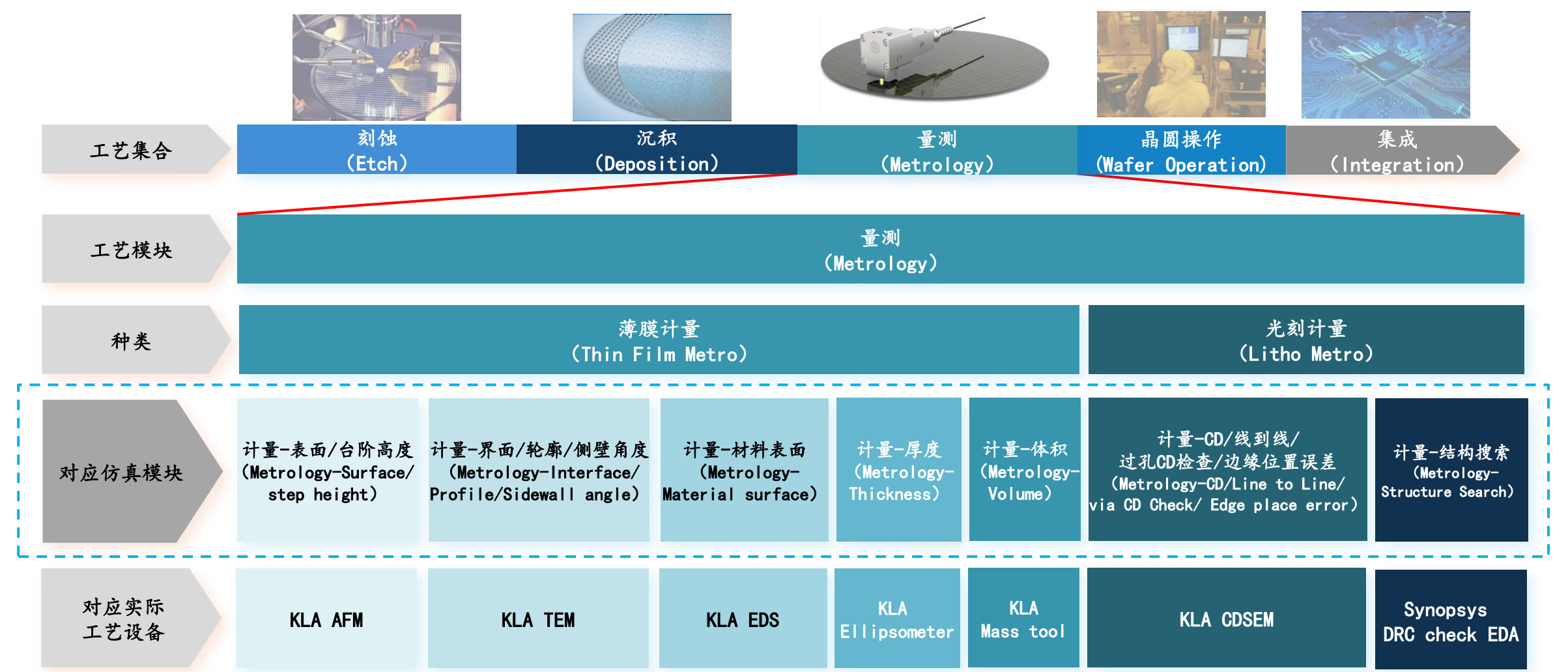


资料来源: 公开资料, 专家访谈, 企业官网, 弗若斯特沙利文

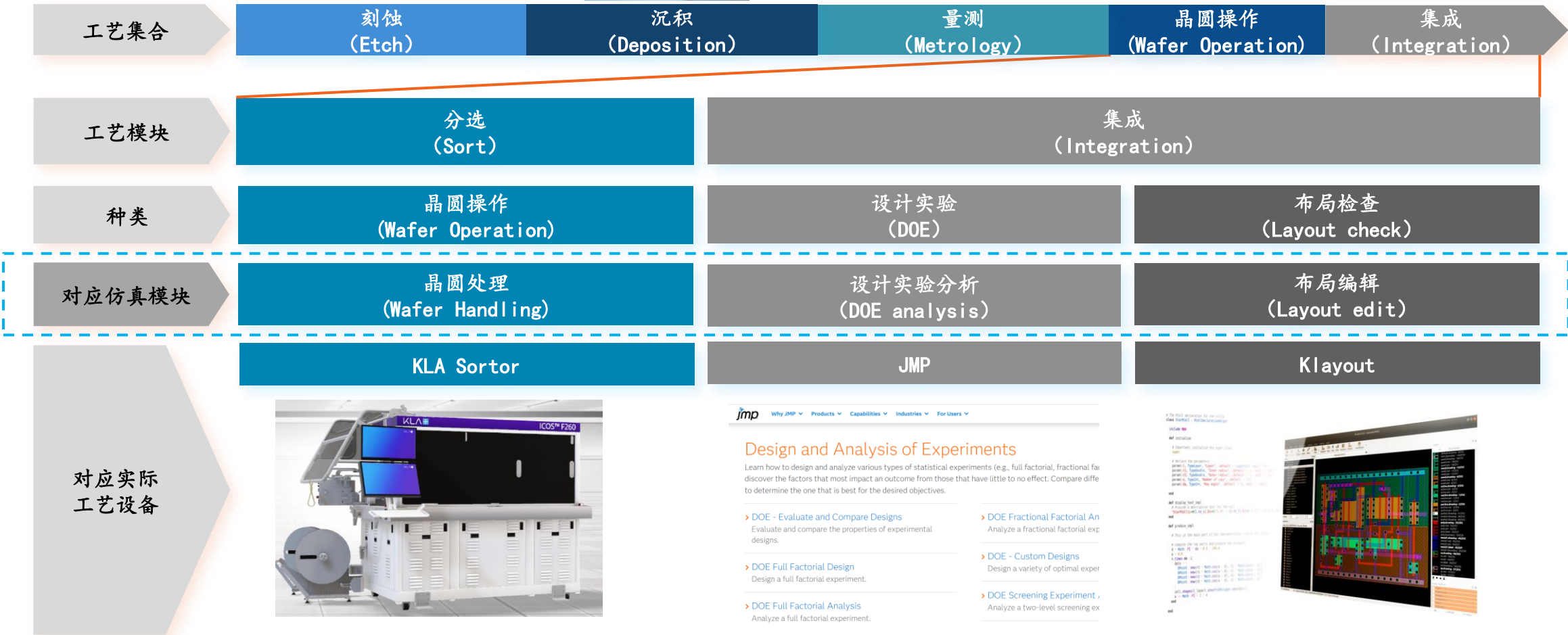
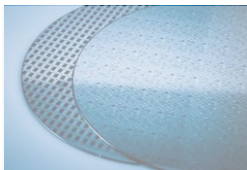
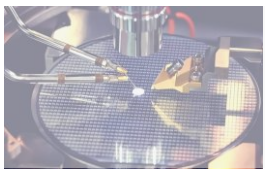
在虚拟晶圆厂中，每个沉积环节的工艺模块和工艺设备均有与其对应的仿真模块软件，以确保整个生产环节都被实时感知、预测和控制，从而实现晶圆生产环境的最优化



在虚拟晶圆厂中，每个量测环节的工艺模块和工艺设备均有与其对应的仿真模块软件，以确保整个生产环节都被实时感知、预测和控制，从而实现晶圆生产环境的最优化



在虚拟晶圆厂中，每个晶圆操作和集成环节的工艺模块和工艺设备均有与其对应的仿真模块软件，以确保整个生产环节都被实时感知、预测和控制，从而实现晶圆生产环境的最优化



资料来源: 公开资料, 专家访谈, 企业官网, 弗若斯特沙利文

未来，虚拟晶圆厂将进一步模拟优化设计、制造、封装测试等全流程，提高集成化水平；同时利用大数据和人工智能等先进技术，实现质量控制、资源优化，提高虚拟晶圆厂智能化程度

趋势一：虚拟晶圆厂将更加集成化，覆盖整个生产流程

随着技术的进步，虚拟晶圆厂将更加集成化，能够模拟和优化从设计到制造封装，以及供应链管理整个生产流程。

- 完整的器件级数字孪生

完整的器件级半导体数字孪生可以用于模拟整个工艺流程，对于降低新工艺技术的研发成本以及改善半导体和先进封装线的良率和效率改进非常有价值。
- 新器件设计

当前，开发新器件仍然需要采用设计-构建迭代方法，耗时较长。虚拟晶圆厂可以通过开发全新器件设计的数字孪生，将新器件的重复物理制造和测试最小化，加快产品开发速度。
- 新材料测试

企业或学术实验室的材料科学研究人员可以利用数字孪生来测试新材料，从已有材料演变而来，以数字方式测试、评估和优化性能参数。这既可以用于初步评估，也可以用于中间评估。
- 新设备开发

数字孪生可以在新设备设计或软件开发中提供巨大的帮助，因为可以基于现有设计和所需的性能参数对这些新概念进行模拟，并在实际构建之前作为虚拟原型进行验证。

趋势二：虚拟晶圆厂将融合其他人工智能技术，打造智能虚拟晶圆厂

大数据分析和人工智能将在虚拟晶圆厂中扮演更加重要的角色，帮助进行预测性维护、质量控制和资源优化。届时，虚拟晶圆厂会成为真正的智能工厂，人工智能将通过模拟自动化主规划（产能晶圆启动）和晶圆厂调度来改变半导体制造，从而实现风险意识决策和动态生产控制。

- 改进调试方法

目前，晶圆厂通常从物理晶片收集数据，利用迭代工艺修正和改进生产过程。迭代工艺调整可能需要数周或数月的时间，成本高昂。人工智能和机器学习技术则可以帮助缩短晶圆厂的调试周期，速度远快于目前的调试方法。
- 定制工艺参数

在半导体行业中，每条生产线情况都有所差别。人工智能可以根据每家工厂的具体情况进行工艺优化，为每条生产线定制独特的工艺参数。
- 参与设备检修

人工智能可以帮助检测和预测可能出现的设备故障，并向制造商适时提出维护建议和修理措施。



半导体制造流程图



智能制造的分类与前提



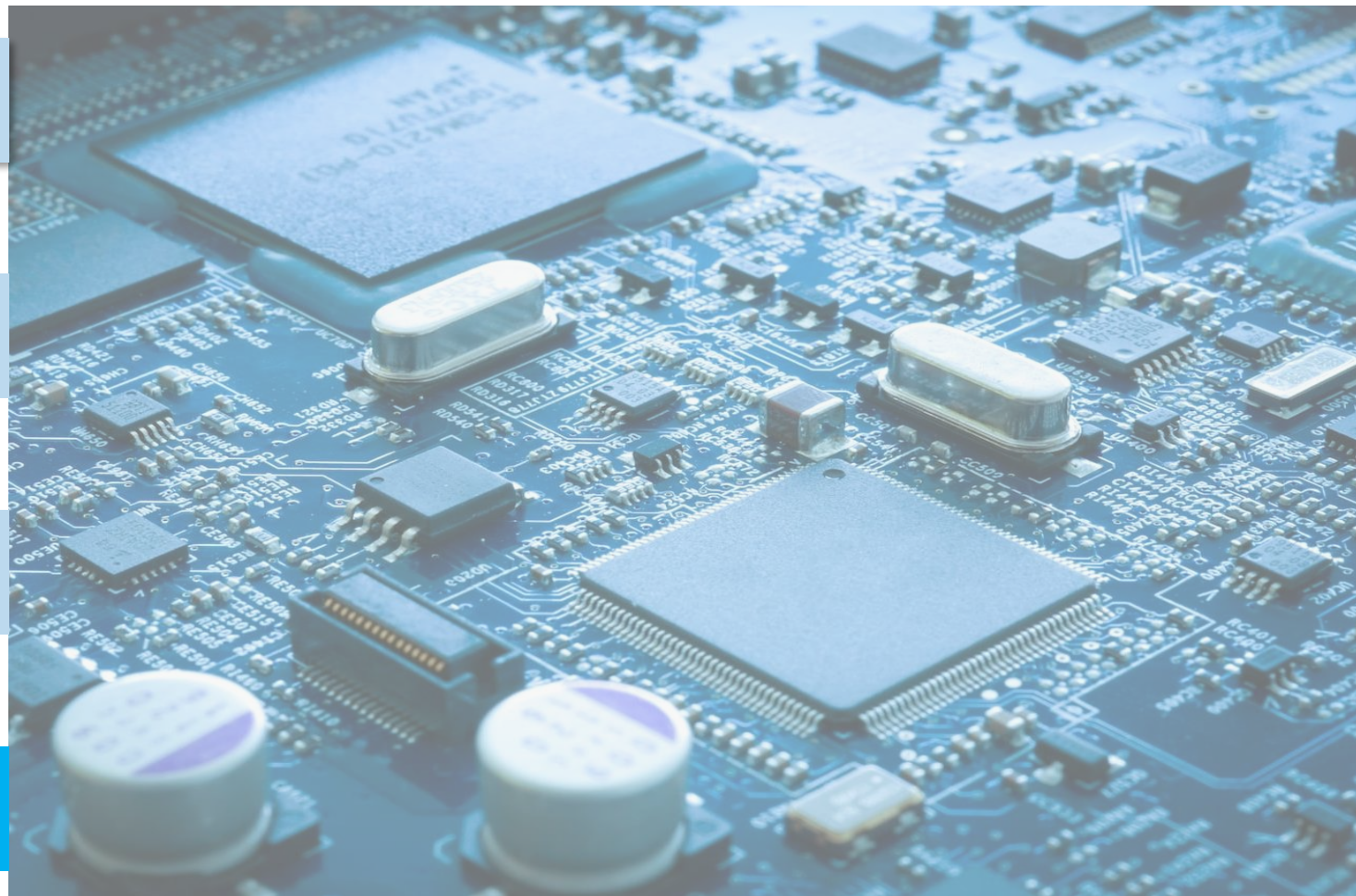
资料来源: Digital Twins in Semiconductor Manufacturing, 弗若斯特沙利文

01.全球及中国半导体制造现状及主要问题

02.全球及中国制造类EDA市场发展现状

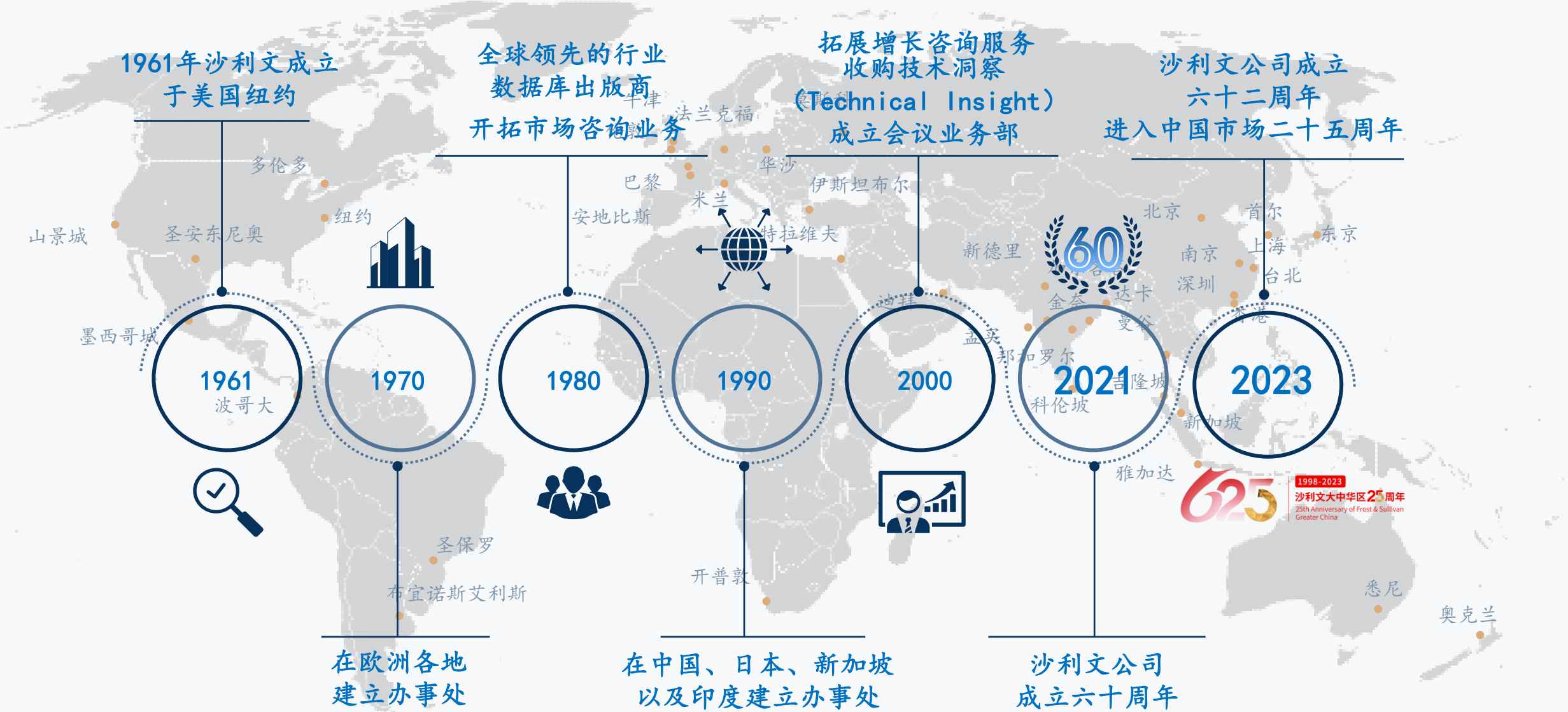
03.全球及中国虚拟晶圆厂发展现状及趋势

04. 附录



图表信息	
• 全球及中国半导体市场规模	• P09
• 半导体产业链	• P10
• 半导体制造类EDA产业链	• P16
• 全球制造类EDA市场规模	• P18
• 中国制造类EDA市场规模	• P19
• 全球制造类EDA市场规模，按工具类型分 TCAD、OPC及其他	• P20
• 中国制造类EDA市场规模，按工具类型分 TCAD、OPC及其他	• P21
• 全球及中国晶圆月产能	• P35
• 全球及中国虚拟晶圆厂软件市场规模	• P36

沙利文是全球最大的行业研究及咨询机构之一，在全球45个国家和地区拥有分支机构，拥有超过3,000名分析师及咨询顾问，在国际资本市场拥有很高的知名度和认可度



沙利文大中华地区办公室



上海办公室及 中国研究院：

上海市静安区
南京西路1717号
会德丰国际广场25楼及
27楼

电话：86 21 5407 5781
传真：86 21 3209 8500
www.frostchina.com

香港办公室：

香港中环
康乐广场8号
交易广场2期3006室

电话：852 2191 5788
传真：852 2191 7995
www.frostchina.com

北京办公室：

北京市朝阳区
建国门外大街1号
国贸写字楼2座2401室

电话：86 10 5929 8678
传真：86 10 5929 8680
www.frostchina.com

深圳办公室及 深圳研究院：

广东省深圳市南山区
科发路91号
华润置地大厦D座11楼
华润置地广场E座41楼

电话：86 755 3651 8721
传真：86 755 3686 8806
www.frostchina.com

南京办公室及 南京研究院：

江苏省南京市经开区
兴智路6号
兴智科技园B栋401室

电话：86 25 8509 1226
传真：86 25 8509 1226
www.frostchina.com

成都办公室：

四川省成都市青羊区
西御街3号
领地中心东塔14楼

电话：86 28 81703296
传真：86 28 81703296
www.frostchina.com

台北办公室：

台北市信义区
松高路9号
统一国际大楼25楼

电话：886 2 7743 0566
传真：856 2 7743 7100
www.frostchina.com

F R O S T & S U L L I V A N

THANKS !



The Growth Pipeline™ Company
Preparing clients to a future shaped by growth

公众号：算力核芯