从 CES 看美国科技产业的上游制造与零部件需求

作者：SVSAC 硅谷战略顾问委员会

核心判断

观察 CES，应把视线从整机热度延伸到上游零部件；制造企业的机会往往藏在具体规格与交付要求中。对企业而言，值得优先推进的是：从重点产品倒推材料、部件、工艺和服务需求，再验证现有能力能否满足目标客户。本篇结合公开资料与分析，讨论企业可以如何识别机会、组织能力并安排下一步投入。

关键词：CES；上游制造；零部件采购；美国制造业；供应商资格；证据边界

SVSAC - sv-sac.org

SVSAC | sv-sac.org

观察 CES，应把视线从整机热度延伸到上游零部件；制造企业的机会往往藏在具体规格与交付要求中。

我们的建议是：从重点产品倒推材料、部件、工艺和服务需求，再验证现有能力能否满足目标客户。企业可以先据此梳理自己的产品、客户、能力与投入边界，把讨论推进到可以分工、可以验证的具体任务。

对管理层来说，这个议题值得放进经营议程。围绕“先做什么、凭什么做、做到哪一步再扩大投入”形成共识，往往比同时铺开多个方向更有推进价值。下文保留相关资料、比较和推演，供企业判断自身条件与行动顺序。

一、问题界定：展会信号如何转化为美国上游制造需求的可识别证据

CES 把消费电子、计算、出行、能源与工业自动化放进同一交易展览，但其可见性不等于美国采购的可见性。CTA 于 2026 年 1 月 9 日发布的展后规模数字，当时明确为预审计统计。[1] 3 月 31 日，CTA 公布独立审计结果，总参会人数为 148392，另列 4100 多家展商、约 1200 家 Eureka Park 初创企业和 260 万多净平方英尺展区。[190] 这些数字描述展会及其技术议题，不能说明最终客户位于美国、产品由美国工厂生产、参展产品已完成设计导入，或美国供应商获得了多少新增订单。参展商、买方、生产地和销售地是不同观察单位；只有区分它们，才不会把展会热度错误换算成采购额、国内制造机会或本地供应商份额。

因此，本篇所问不是“CES 展出了什么新技术”，而是：从 CES 可核验的展商与产品线索出发，哪些美国科技产业上游部件需求可以被识别、以何种证据识别；哪些因采购地、生产地、物料清单或客户关系未披露而不可识别；不同证据能支持的是需求信号、采购义务、境内产能还是最终销售。研究关注美国科技产业的上游制造与零部件需求，范围包括半导体及封装、存储与互连、功率转换和电池、传感器、电子组件和制造投入。本篇以 CES 2026 作为时间锚点，观察窗口延至 2026 年 10 月 23 日；如官方展商信息、产品页或企业申报更新，需按其发布日期判断，不把后发网页内容倒填成展会当日已知事实。本轮 2026 年 10 月 28 日的原段复核与留存文件重算，不等于重建所有动态网页在 10 月 23 日的历史截面。

SVSAC | sv-sac.org

1.1 三种“美国需求”不可混为一谈

第一种是美国买方采购：美国企业、政府部门、数据中心运营者、整车厂、分销商或消费者向供应链订购产品或投入品。它可跨境发生，不能自动称为美国制造。第二种是美国境内生产：工厂在美国境内加工、封装、组装或制造部件；其产量可以卖给境外客户，也可以依赖进口材料、设备和前道晶圆。第三种是终端美国销售：产品在美国市场交付或使用，其中可能包含大量境外生产的部件，也可能来自在美国制造后出口再进口的跨境链条。三者只有在公司申报或官方统计对地域、产品与交易作出相符定义时才可连接。举例而言，企业在美国设厂的公告表明资本支出与未来产能意向，不等于已经量产；美国终端销售增加可带来需求，却不单独证明上游环节留在美国。

为此，全文把“上游需求”拆成四类相互关联但不可顺序推导的观察对象：一是产品功能或系统架构所需的技术投入，例如先进封装、HBM、光互连、功率半导体、热管理部件、精密连接、传感器和电池管理电子；二是企业公开披露的采购、产能预留、最低采购、设备合同或库存承诺；三是发生在美国境内的实际制造、工具安装、投产和合格产出；四是能够归属到美国买方、产品或工厂的供应关系。产品功能约束可以存在而没有采购；公司承诺可以涉及境外代工；美国工厂也可能生产面向全球市场的产品；即使出货被披露，也未必披露终端客户或原产地。CES 产品页主要帮助构造第一类问题；企业年报与合同披露可能揭示第二类承诺；美国商务部资助协议、公司资本开支披露和工厂里程碑可描述第三类项目状态；具名供应商、交付量、客户验收或产地记录才可能支持第四类关联。四类证据各有观察窗口，不可折叠成单一“需求规模”。

1.2 证据链、观察单位与推断边界

研究采用“产品线索–工程投入–买方义务–产地–交付”的证据链，并逐项记录时间、地域、产品范围和证据状态。企业新闻稿和展会说明被作为公司或主办方自述，而非独立性能测量；监管申报可确认法律实体披露的风险、承诺和财务口径，但不一定揭示匿名客户、具体 SKU 或供应商；政府资助协议能够确定获资助项目的条件和里程碑，却不自动证明项目产生预期产出；贸易数据可量化按 HS 或 NAICS 分类的跨境货物流，无法从商品编码直接识别某款 CES 展品对应的供应商或本地增值。BEA 年度投入产出数据覆盖 71 个产业类别，详细基准表约 402 个行业，适合描述行业间投入关系，却不能单凭行业乘数估算展会导致的新

SVSAC | sv-sac.org

增采购。[2][3] 因此本篇的推论以公开可观察的商品、合同义务、工厂项目和统计分类为基础，并把产品级订单与本地采购份额留作不可识别量。

分析策略是目的性案例比较，而非对所有 CES 展品或全美企业做抽样统计。案例选择优先考虑三类可追踪线索：产品架构公开到足以推导部件功能；相关美国企业或市场主体有可查年报、产能披露或采购义务；相关投入能够与 BEA、Census 贸易分类或美国工厂项目对接。此法可较细致地解释需求如何从系统结构产生，也会低估未上市企业、非参展产品、私营企业和匿名采购。展会本身不是外生冲击，参展与获奖是企业自选和主办方评审结果；不能据此估计 CES 的因果影响。若资料只表明公司计划、政策授奖或产品设计，本篇会将其标为计划或自述，不提升为完成状态。

证据材料	可识别的对象	不能单独识别的对象
CES 展商/产品页	展示主体、申报功能、接口或规格线索[1][8][9][10][11]	真实订单、量产地点、客户验收、美国供应商份额[12]
SEC 申报与公司公告	法人披露的采购义务、产能/库存风险和资本计划[5][6][7]	某款展品的 BOM、每家供方份额、美国采购比例
BEA 投入产出与 Census 贸易表	行业投入关系与按商品/来源地计量的跨境流量[2][3][4]	商品流量对应的终端客户、产品 SKU 和国内增值
政府资助/工厂里程碑	项目义务、建厂进度与已披露的设备安装/产出节点[6]	未达到的里程碑、可售良率、供方订单和客户认可

这一框架刻意容纳相反方向的证据。高可见度产品可能使用美国本土专有技术，却由海外代工及组装；美国境内新厂可能是为补贴、客户韧性或出口服务，而非 CES 展会上看到的终端产品所致；进口增长也可能源于库存补货、价格变化、再出口或非 CES 用途，而非美国终端需求的净增。Apple 2025 年年报在风险披露中指出全球供应链和贸易限制可能重构供应商关系，说明美国品牌不能作为本土制造的代名词。[7] Micron 的项目披露则将美国晶圆厂和 HBM 先进封装列为计划，并把资金支付连接到建设、设备安装和晶圆生产节点；这更适合作为美国制造能力投资的证据链，而非立即可用的产量。[6] 两例不是对全部行业的代表性推断，而是展示为何观察变量必须按“采购–产地–交付”分开。

SVSAC | sv-sac.org

本篇的识别标准是按待支持的命题匹配证据，而非把证据排列在一条强度阶梯上。产品描述可生成候选部件清单，技术文献或专利可定位实现方案；买方合同和采购义务可支持购买行为，工厂记录可支持设备安装、试产或交付状态。它们可以独立被观察，也可能无法互相归属；只有产品、法人、时间和地点能够匹配时，跨类证据才支持较完整的采购–产地–交付叙述。这不是必须依序通过的时间链或必要条件清单。当前可见 CTA 创新奖项目页面已转为 2027 轮次，其“不测试或背书”的声明仅按该页面的适用范围记录，不倒填为 2026 奖项规则。[12] 本篇主动把奖项用作发现产品类别和申报技术的线索，而非性能、合规、订单或产能证明。若产品页面与企业申报不一致，应保留时间差、主体差异和未披露范围，并按待核主张选择具有对应责任和可追溯性的原始材料，不能一概挑选更乐观的叙述。

二、AI 基础设施：从 CES 平台架构反推上游制造约束

CES 2026 上 NVIDIA 发布 Vera Rubin 计算平台，并将其称为由六种新芯片构成的 AI 超级计算系统：Vera CPU、Rubin GPU、NVLink 6 交换芯片、ConnectX-9 网卡、BlueField-4 DPU 和 Spectrum-6 以太网交换芯片。[8] 其后官方技术博客进一步给出 Rubin GPU 的 HBM4 规格、NVLink 和 PCIe 连接、机架级交换拓扑、网卡带宽以及液冷托盘等架构描述。[15] 这些文件是供应商对产品的说明，既非独立测量，也不等于已出货验证；但它们比“AI 算力持续增长”这类宏观话语更有用，因为可把技术平台拆为几类需制造、封装、组装和运维的真实物料接口。本篇不把平台的性能自述作为结论，而把其所披露的配置看作候选制造需求的线索。

第一条上游链是逻辑芯片及多芯片封装。六芯片系统提高的是对不同逻辑功能的并行集成要求，并不意味着每个功能都必须由同一家晶圆厂或一种制程完成。高算力 GPU 依赖先进逻辑工艺；交换芯片、DPU 和 CPU 可有不同面积、功耗、接口及工艺目标。采用 chiplet 或分立芯片的架构能把产品分拆为独立裸片，但其成本不是简单相加：裸片间互连、良率损失、测试覆盖、封装基板布线、供电和热膨胀不匹配都成为系统产出约束。TSMC 对 CoWoS 的技术说明展示一种 2.5D 路径：将多个系统芯片和高带宽存储堆栈置于大型中介层上，借助硅中介层、重布线层或局部硅互连实现高密度连接，并明确列出 RDL 中介层的铜线和聚合物结构、C4 接点及填充层等构件。[13] 这使得需求范围从晶圆延伸到中介层、

SVSAC | sv-sac.org

精细互连、封装基板、凸点/接合、检测和可靠性筛选；公开资料尚未显示哪些特定供应商拿到 Rubin 项目订单。

先进封装呈现两种相互竞争而非线性升级的路线。大型硅中介层可提供高密度信号/电源路由，适合多个逻辑芯片与 HBM 紧邻集成，但大面积硅、光罩尺寸、材料与热机械应力提高成本和制造难度；RDL/局部硅互连与模塑型中介层可扩大尺寸或改变成本结构，但线路密度、损耗、翘曲、键合与散热要另行验证。TSMC 说明其 CoWoS-S 采用硅中介层，CoWoS-R 用聚合物/铜 RDL 中介层，CoWoS-L 结合 RDL 与局部硅互连；其 2026 年 4 月公告称 5.5 倍光罩尺寸 CoWoS 正在生产，14 倍尺寸、可集成约 10 个大型计算裸片和 20 组 HBM 的方案计划于 2028 年生产。[13][14] 这里要区分已生产和计划规格；也不能把 TSMC 的路线直接认定为 Rubin 的实际封装方式。对美国上游供应商而言，相关信号更接近“封装设备、材料和检测能力可能成为约束”，而非可以从产品结构直接计算的采购吨数或美元值。

第二条是内存与芯片间互连。NVIDIA 将 HBM4、NVLink 6、PCIe Gen6 和面向数据中心以太网的 Spectrum-6 列为平台部件，并在产品博客中陈述单 GPU 内存带宽、机架内互连及机架外网络规格。[15] 这些接口不会自动形成同一种采购市场：HBM 堆栈由存储裸片、垂直互连、逻辑控制和封装工艺共同决定，采购者还需处理容量、带宽、功耗、供货批次和长期可靠性；高速交换器和网卡要求交换 ASIC、SerDes/PHY、PCB 或封装载板、供电、散热与高速连接器协调；光互连则引入光源、调制器、探测器、光纤阵列、耦合与对准等工艺。以下是作者提出、仍须结合具体维护和制造数据检验的工程权衡假设，而非所引厂商资料已证明的普遍结果：板插式光模块与共封装光学（CPO）的系统取舍不同，前者可能更便于更换、维修和多源采购，但在高带宽下电信号损耗、DSP 功耗和面板空间可能成为限制；后者把光引擎靠近交换芯片，缩短电互连，却可能提高封装共设计、光学对准、可维修性及整包良率要求。TSMC 称其 COUPE 引擎计划于 2026 年开始用于基板内共封装光学，并报告相对板上可插拔方案的能效与延迟改进；这属于厂商技术声明和计划，不是整个行业部署率或美国本地订单。[14]

第三条是从芯片托盘到机架、再到数据中心设施的供电与热管理。平台资料描述全液冷 NVL72 机架托盘以及多个高带宽芯片和交换器；这意味着系统设计需同时满足冷板/流道、泵与冷却液分配、快接管路、泄漏检测、机架配电、母排/电源转换、备份和现场维修等条件。[15] 其中部分部件由数据中心运营者而非芯片设计公司采购，故“平台单位物料需求”与“芯片厂商采购义务”可能落在不同法人和资本预算。冷却改造还受设施供电容量、用水、空间、热排放和现有机房

SVSAC | sv-sac.org

设计制约。NVIDIA 在年报中把电力、水和可用土地列为客户扩建数据中心能力的潜在约束，并指出基础设施受限会压低其产品需求。[5] 这构成关键反例：某一芯片需求很旺，未必能转成同期机架交付；即便机架交付，也可能受电力接入或散热基础设施延迟所限。反过来，数据中心电气与液冷改造可能带来大额工程采购，但并不等于美国本土制造商取得这些系统的合同。

公司申报提供了需求强度的一个罕见量化观察，但必须按其法律实体、时间和会计定义解释。NVIDIA 截至 2026 年 1 月 25 日披露合并存货 214 亿美元，未结存货采购及长期供应/产能义务 952 亿美元，其中相当部分属于存货采购义务；相关承诺以客户需求预测和第三方制造交期为基础，多数预计在财年 2027 支付。[5] 这说明一家美国总部、全球销售的芯片设计企业在供应链上游承担巨大合同及预付款暴露，却不等于 952 亿美元均为已交付晶圆、已确认收入、美国采购或 CES 产生的新增需求。年报同时披露其晶圆制造、组装、测试与封装由美国境外第三方完成，且截至财年 2026 的制造供应链主要集中于亚洲、并扩展至美国和拉美。[5] 因而可识别的是公司层面的库存与容量承诺以及公开的制造地分布；未识别的是每一美元义务对应的部件、供方、工厂、市场和合同可撤销性。

供需两端都存在反例，足以否定从年度承诺外推无风险的线性扩张。NVIDIA 报告其 2026 财年为 H20 过剩存货及采购义务计提 45 亿美元费用，并说明政府出口许可变化导致相关市场需求下降；企业也指出部分订单可能提前、不可取消/不可退货，而客户订单通常可在较少通知下取消、变更或延迟。[5] 这些事实说明采购义务可先于最终销售，且管制、产品换代、客户资金和数据中心基础设施均能改变履约。它们不证明 AI 需求总体走弱，亦不允许把所有承诺都当作短期不可变订单。与之相对，美国境内供给扩建又有不同的时间风险：Micron 申报其美国资助协议付款取决于建设、设备安装和晶圆生产里程碑，并保留调整各项目产能与产量爬坡的裁量权；公司还把先进 HBM 封装在美国列为计划。[6] 因而市场需求增加、上游采购承诺和美国合格产能爬坡可能不同步。

因此，AI 基础设施案例支持一个有限结论：CES 公开架构能提高候选上游品类识别的分辨率，官方公司申报可识别部分法人层采购和供给风险，美国制造项目能显示可能新增的境内能力；但三类材料尚未连接成“Rubin 展品–美国买方–美国供应商–量产交付”的完整数据链。未来若要检验本土零部件需求，应为每个 SKU 追踪采购实体、设计导入对象、供货地点、合同状态、产能利用和客户验收，并以同一产品的进口/本地供应双源资料交叉核对。缺少这些信息时，比较合理的研究表述是：需求信号和候选技术投入有据可查，地区归属与供应商收入不可识别。

SVSAC | sv-sac.org

1 第三章　从建设公告到可交付产能：美国上游制造的分层证据

将上游需求归到‘美国’至少要拆成三个独立问题：谁承担采购义务，产品在哪个地点制造，以及最终由谁、在哪个市场使用。三者可以重叠，却不能相互推出。美国总部企业能够向海外代工厂采购；在亚利桑那州生产的晶圆可以由非美国品牌购买；美国终端销量也可能由进口整机满足。若把这三种‘美国关联’压成一个本土化比例，投资、贸易和展会数据都会被误读。更可操作的做法是分别报告采购主体所在地、工序所在地和终端市场，并允许其中任一项未知。企业年报的法人合并口径通常只能部分回答第一个问题，厂区公告回答的是地点和进度，海关记录描述跨境货物流，而消费或销售披露描述市场；它们的统计单位不同。[3][4][5][6][17]

半导体扩产可把地点维度具体化为一组不同的上游投入：洁净室与厂务系统、超纯水与化学品供应、特种气体与气体柜、真空和排气处理、晶圆搬运、工艺设备、量测检测、晶圆测试、封装基板和后段组装。这是从制程环节推导出的候选采购清单，不是对某个项目采购的观察。作者提出的投入时序假设是：厂务、结构和电力可能先于设备搬入形成，具体项目仍须以施工和设备安装记录检验；工艺工具与备件随节点、产能和良率爬坡安排；基板和封测则取决于芯片设计、封装路线以及客户交付要求。把厂房投资额直接当成当地零部件收入，会把土建工程、进口设备、融资和本地采购混在一起；把设计产能当成当期采购量，又会忽略设备认证、工艺资格、良率爬坡与需求承诺之间的时间差。对 CES 展示的芯片或 AI 系统而言，只有实际产品配置与项目工艺节点、封装路线、供货资格相吻合，才可能把展品信号连到这些投入类别；仅凭‘先进制程’标签不能推定每个上游品类都受益。[5][6][14][17]

三个公开项目说明，建设进度、工艺能力和面向外部客户的可供产能并非同一指标。TSMC 称亚利桑那第一座厂于 2024 年第四季度开始 N4 量产，同时将第二座厂描述为已完成结构施工、计划在 2027 年下半年导入 N3；第三座厂则处于建设阶段并面向更晚年份。这一披露支持‘首座厂已进入量产、后续节点仍是未来计划’的分阶段判断，但没有给出足以计算晶圆月产、良率、当地采购率或具体客户分配的数据。[17] Micron 的美国项目则展示政府支持与投产之间的条件关系：公司申报的最高 64 亿美元直接资助与建设、设备安装及晶圆生产里程碑相连；其披露还包含爱达荷和纽约新厂、弗吉尼亚升级及先进 HBM 封装规划。奖励上限、建设进度和可交付产品需要分别记录，不能把已宣布资助作为供货能力或设备订

SVSAC | sv-sac.org

单的替代变量。[6] 两家公司公布的项目地点能帮助定位潜在设施需求，却不能单独证明设施内每一供应商的原产地或采购合同。

Intel 提供了重要的反向案例：有境内先进制造并不自动意味着形成了同等规模的外部买方市场。公司 2026 年第二季度 10-Q 称，Intel Foundry 当时几乎全部支持 Intel 自有产品；截至 2026 年 6 月 27 日的半年，分部收入 111.86 亿美元，公司披露内部交易约 107 亿美元、外部收入 4.67 亿美元；全公司合并抵销项目另有精确数值，不能把它当作 Foundry 精确内部收入。公司还表示，扩产规模与节奏取决于来自自身产品路线和外部客户设计赢得的已承诺需求。[16] 这些数值属于公司分部会计口径，不能直接解释成美国境内制造额，也无法把收入拆分成某个厂区或零部件金额；但它们揭示一个关键区别：能力存在、潜在客户接触、设计导入和第三方量产采购是不同阶段。因而，用“美国有多少晶圆厂”估计可供美国科技产业的开放代工能力，会高估可供无关联买方调用的产能；只看代工收入，又会遗漏内部产品所承载的设备、材料与工程需求。企业层分析需要把内部转移和外部交易分列，而不是套用总分部数字。

区域统计可以补充地点证据，但不能替代采购台账。美国人口普查局的贸易产品提供 HS、NAICS、目的用途等分类以及州、口岸或海关区信息；USA Trade Online 的产品说明还区分进口州目的地与出口原产移动地。前者表示进口货物到达或归属的州，未必是实际使用工厂；后者追踪出口离境前最后移动位置，并不等于制造原产州。货物可能跨州运输、经过分销商、进入库存，或者作为中间件嵌入第三地完成的产品。因此，州级进口金额不等于该州供应商采购额，出口口岸也不等于生产集群。HS 编码的粒度能够区分许多商品类别，却未必能从同一编码中识别具体展品 SKU、芯片封装、终端客户或组件的国产价值。[3][4] 相比之下，企业采购合同或供应商披露可能指向具体主体，却常不披露地点、数量与价格。两类资料应交叉核验，而不是以宏观贸易总额填补微观合同缺失。

投入产出表回答的是另一个层次的问题。BEA 年度表覆盖 71 个行业类别，基准表则更细；国内需求表可估算满足特定最终需求篮子所需的直接与间接美国行业产出。Samuels 与 Senel 进一步把国内需求结构与 BEA—BLS 行业生产账户结合，估算最终需求中嵌入的行业要素构成，并讨论间接进口含量。[2][18] 这种方法适于判断某类最终需求在行业网络中可能关联哪些生产活动，却不告诉研究者某台 CES 设备由谁下单、某颗芯片在何地封装或某个展商的美国供应商收入。表中行业投入关系也是历史统计平均，不等同于特定新产品的物料清单；AI 服务器的高带宽内存、光互连与电力系统组合可能改变行业边际需求，但只有对应产品级数据才能验证变化幅度。更重要的是，价值链核算同时承载供给能力和最终需

SVSAC | sv-sac.org

求的结构，单一投入产出变动并不能独立识别是需求拉动、供给瓶颈、相对价格变化还是技术替代所致。研究可将行业表作为边界条件和一致性检查，不应用乘数制造 CES 归因。[2][18]

联邦制造业投资抵免又是第四种性质不同的证据。IRS 对§48D 的说明界定了合资格的半导体及半导体设备制造设施和合格财产，并以建设与投入使用等规则判断投资适用范围。[19] 该政策会改变资本项目的净投资条件，因此可用于分析产能形成的制度激励；但税法资格首先属于设施和资产，不是产品需求、供应商原产地或买方采购凭证。一个获得税收待遇的设备可能是进口的；本土建设也可能依靠境外设计、零部件与服务。反过来，未获得该抵免的美国产品仍可能在美国客户订单中占有重要位置。应把抵免、直接资助、施工里程碑、工具搬入、经认证产出与客户实际采购当作不同变量。它们的时间顺序或许相关，却不构成每个项目都会逐级转化为外部零部件收入的线性阶梯。[6][19]

由此，展会产品与制造统计之间不应建立未经验证的等号，而应建立可逐步核对的映射。首先从产品规格和实际配置识别可能需要的工序与零件；其次确认制造这些产品或关键组件的企业与生产地点；再次从公司文件、公开合同或政府项目进度确认该地点的产能、设备投资及客户资格；最后用交付、验收、采购义务或可定位的供应商披露建立需求联系。每一步都可能因保密而中断。CES 页展示的是产品与展商的公开主张，宏观行业数据则无法补齐具体采购实体。故对上游需求的审慎表达可以是‘某技术路线增加了对某类投入的工程需求，且在某地区出现了相关产能建设’，但不能写成‘展品带来某地区供应商订单’。除非出现可核验的采购和交付证据，后者仍是未识别的因果命题。[1][2][6][17]

2 第四章　合规模组、系统集成与买方可验收性

上游产品是否进入美国市场，除了产能和采购，还取决于监管要求如何落在模块、主机与最终销售单元上。对于无线设备，47 CFR §2.803 把销售要约、进口和为销售而分销纳入‘营销’，一般要求相关射频设备在营销前获得适用设备授权并满足技术与标签规定；§2.907 则把认证界定为 FCC 或在其授权下由 TCB 依据申请者提交的陈述和测试数据批准的设备授权。[20][21] 这两条规定界定市场准入的法律边界，却不说明设备在哪里制造、由哪个买家采购，也不是整机质量或供应商绩效认证。展会中的联网家居产品因此提供的是一条可追踪的设计问题：其中无线连接可能由板载射频芯片、独立认证模组或系统级模块实现，每种集成方式都把一部分射频、天线、供电、屏蔽和测试责任分配到不同企业。具体产品若没

SVSAC | sv-sac.org

有公开 FCC ID、认证档案或完整的硬件配置，就不能从展品页推断其审批状态或供货来源。[9][12][20][21]

单模组与分体模组的规则差异揭示了“模块化”可能降低的成本和留下的集成工作。对单模组，§15.212 要求满足射频屏蔽、缓冲调制/数据输入（若有）、自身电源调节、天线系统和独立状态测试等条件；测试时模组应不在另一台设备内部。模组自身须有 FCC ID 标识，若安装后该标识不可见，宿主设备还须按规则标明包含已认证的发射模组；最终配置仍须满足适用的射频暴露要求。[22] 这为模组供应商形成可以复用的认证资产，但复用并非无条件：宿主厂商必须按获批天线、供电、布线和操作条件集成，并提供外部标记与使用说明；若主机改变无线功率、天线布局、屏蔽或线缆，设计就可能脱离原授权的适用条件，需要工程评估或额外授权程序。规则要求和这些工程后果解释了为什么买方会关心模组接口、授权维护、配置控制和变更通知，而不仅是射频芯片的单价。这里讨论的是合规设计机制；没有某一展品的测试档案时，不推断其发生过重测或不合规。[22]

分体模组则显示另一个边界：当射频前端与控制部分分开时，规则要求在代表性主机中测试其组合，并要求只有获得共同授权的前端与控制单元可以配对工作。[22] 这会使供应关系从“购买一块可独立认证的无线板”转为管理一组联动的射频前端、控制固件、主板接口和具体宿主平台。对移动设备或智能家电的供应商，控制软件改变、外接天线替换或装入金属机壳会影响既有测试配置的代表性；供应商必须向客户提供接口和配置证据，主机开发者要锁定获批组合，并让量产 SKU 可追溯到授权版本。单模组把一些设计封装在模块里，可能便于多客户复用；分体模组可以保留更灵活的系统集成，却增加组合验证和版本治理。它们是两种不同的价值分工，不能仅凭一个被称为‘模块’的展品就推断其国产化或美国供应商占比。对于 CES 显示的 Pila Mesh 等联网储能产品，规则可帮助界定无线子系统的可能采购接口，但现有公开产品介绍没有证明其实际采用上述哪种拓扑。[9][22]

表 D-1　射频模块授权与供应链责任的分配

证据或设计层级	规则显示的技术事实	可能影响的上游交易	仍然不能据此推出
单模组	模组须满足独立测试、屏蔽、供电、天线和标识条件；最终配置须满足适用 RF 暴	可能增加对已授权射频模组、配套天线、屏蔽/电源设计、测试与版本管理服务的	不能证明任何特定展品已认证、模组由美国制造，或客户接受了该供应商。[9][22]

SVSAC | sv-sac.org

	露要求。[22]	需求。[22]	
分体模组	射频前端和控制部分需在代表性主机中测试，并确保共同授权组合才可运行。[22]	可能增加对配套前端/控制器、主机平台适配、固件控制及组合测试的采购与工程工作。[22]	无法从法规判断买方合同、物料来源、生产地点或产品销量。[22]
认证与营销	适用设备营销通常须有相应设备授权；认证基于申请人陈述和测试数据。[20][21]	市场准入要求可将认证记录、标签、说明书与配置维持转化为可验收交付件。[20][21][22]	这不是一般产品质量背书、买方供应商资格证明，也不是贸易或本地制造统计。[20][21]

法规所建立的是最低可销售边界，而非供应商获得订单的完整资格。本篇另提出整机功耗、热表现、环境耐受、无线共存、网络安全更新、返修追溯和生产一致性作为候选验收维度；FCC 射频授权本身不验证这些维度，本篇也未取得证明所有买方均采用该清单的采购规范。是否适用应由目标产品、客户要求和验证计划确定。因此，作者推导的潜在上游工作不止是芯片或模组，也包括测试夹具、天线调谐、屏蔽结构、合规文件、版本控制和量产变更管理。反例是高度集成的主机把射频功能直接做在系统板上：这种路线可以减少独立模组的采购，但把射频调试、认证样机管理及供应变更成本放到整机设计团队，射频器件仍然需要采购。相反，即使采用可复用的认证模组，客户也可能因特定天线或机壳布局要求专属的适配工作。两条路线都会产生上游需求，却将收入分配给不同供应商，不能用无线连接设备销量乘以单一模组价格来估计市场。[20][21][22]

税收规则为上游制造分类提供另一组可观察边界。IRS 对§48D 将合资格半导体制造解释为晶圆生产、制造、封装和测试，也将制造半导体设备的设施纳入，并列举光刻、沉积、蚀刻、检测量测、真空部件、高纯石英等设备及子系统；设施相关定义还涉及洁净室、中央公用工程、物料搬运和超纯水等空间与系统。[19]这说明政策口径把若干设备与厂务能力视为半导体制造基础，而不只关注晶圆厂本体。可是，这一名单是抵免适格性的法律分类，不是需求调查；某个零件是否列为某设备的子系统要看规则与项目事实，不能把相邻供应商自动划入。它也不能证明设施安装的设备由美国企业制造，或该设备产能服务 CES 展出的具体芯

SVSAC | sv-sac.org

片。把税法分类与公司采购、工厂施工、设备入场和生产良率结合，可用于建立供应商地图；单独引用抵免范围，只能说明政策对哪些投资活动设定了边界。[19]

家庭储能展示能进一步说明系统容量、输出功率与并网接口如何重塑上游部件组合。CES 入选页将 Pila Mesh 描述为可扩展的家用电池，厂商现行产品页列出每单元 1.6 千瓦时、连续输出 2.4 千瓦、四个可单独控制的 120 伏插座、蜂窝与 Wi-Fi 连接，以及最多 64 台协同的 Mesh 功能。[9][24] 这一组规格指向以多个小型单元提供负载备援和本地控制的产品路线；可推导的上游需求候选包括电芯与模组、逆变/电源转换和电池管理、插座与保护器件、无线通信、外壳及多机协同控制。但它不能说明电芯化学体系、逆变器是否独立封装、射频模组是否具备 FCC 授权或实际装配地。EcoFlow 的 CES 产品则以整屋备用系统为叙述对象，其当前美国页把产品拆为逆变器与电池，并提供与 Smart Home Panel 3 或 Smart Gateway 组合的方案；页面宣称产品族覆盖 12 至 36 千瓦输出、12 至 180 千瓦时储能及太阳能输入，且不同套装和连接配置决定切换时间与回路控制。[10][25] 这类路线把需求从可插拔电源包扩展到逆变功率级、家用配电面板、网关/电流传感器、安装布线与售后调试。两个产品的额定功率和储能量不是一个维度；更不能将宣传参数视为同一标准测试条件下的性能比较。其工程含义是，上游采购的品类和集成深度随接入方式而变，而不是仅随电池千瓦时同比放大。

这种整屋路线与上游制造的关键联系，是电池不再是孤立的储能商品，而是由电力电子、测量、控制与安全链条共同组成的系统。DOE 的电池储能报告将电池管理系统的电压、电流、温度和荷电状态监控与充放电控制、热管理、故障隔离关联起来；逆变器在电池直流端与交流负载/电网间执行变换和控制，较大型功率转换系统还组合多台逆变器、保护和电能质量控制。[23] 因而，Pila 式小型备援设备和 EcoFlow 式整屋套件都可能消耗功率器件、磁性元件、传感器、嵌入式控制板和通信部件，但后者的配电、安装与回路切换接口更深。DOE 还指出，电池模组、BMS 和逆变器在固定式储能、电动汽车、太阳能和其他逆变型电源之间存在功能或供应链重叠；这说明其上游供应商可能服务多个市场，展会展示的产品并不能独占地解释其设备需求。[23] 报告中具体的供货份额估计依赖旧年份许可清单和外部市场资料，本篇不将这些估值作为 2026 年美国市场份额使用。报告更稳健的用途是用功能分解解释需求交叉：电芯与 BMS 更接近移动和固定储能共用环节，逆变器亦横跨光伏和风电，而系统配电、消防与安装可能更依赖具体使用场景。将这种部件交叉映射到美国境内订单仍需要供应商级、产品级和地点级资料。[23]

SVSAC | sv-sac.org

从器件角度看，两种储能产品的系统接口决定了哪些部件会成为主要性能约束。Pila 公布的是电池能量、连续功率、短时峰值、切换时间与受控插座；这些规格分别约束电芯/模组容量、功率转换级的持续和浪涌能力、负载切换以及端口保护，并非同一个‘电池规格’。[24] EcoFlow 系统公布了最大光伏输入、电池扩容、交流输出接口、切换时间和智能配电面板组合；厂商还明确指出其产品只从电网取电、不向电网反送。[25] 因此，整屋产品的上游需求更贴近家庭配电与备援控制，而不能因为它兼有太阳能输入，就把它记为可以向公用电网提供调峰服务的并网储能。此例也展示证据强弱：具体端口和配置来自厂家规格页，功能用途属于工程解释，用户真实负载、系统利用率及量产批次则没有公开证据。将这几层分开，才能避免用标称容量外推器件金额或电网服务需求。

把这些机制用于展会观察，至少应区分三种可核验输出：一是监管记录能否对应到具体设备授权持有人和射频配置；二是供应文件能否将模块、天线、连接件与系统主机的接口和版本联系起来；三是采购或交付材料能否把授权配置与特定买方、工厂地点和批量产品绑定。当前可见的 CTA 奖项项目页已转为 2027 轮次，其不测试或背书声明只作为该页面现状记录，不能反填 2026 轮次。本篇在方法上将奖项、FCC 认证、买方验收和持续量产区分为不同证据类别。[12] 本次分析目前可核验到法规要求和若干展品产品描述，但并未获取特定产品的认证档案、采购合同、整机 BOM 或客户验收记录。由此可作的结论是：法规为无线模组及其主机集成划定了明确的工程接口，可能形成可复用模块与系统适配服务两种上游价值路径；但它没有揭示某条路径在 CES 产品中的实际采用率，也没有把美国市场准入转换为美国境内制造或美国供应商收入。[9][12][20][21][22]

3 第五章　CES 汽车与机器人展品中的零部件接口和美国部署链

Atlas 与全息挡风玻璃显示器（HWD）都在 CES 2026 进入观众视野，但两者揭示的是不同的上游需求结构。Atlas 是面向工业任务的移动机器人，需求链从执行器、关节和整机制造延伸到工厂信息系统、训练场与现场运维；HWD 则把显示从独立屏幕移入夹层玻璃，令光学母版、薄膜复制、夹层粘合、投影单元和车机接口成为相互约束的供给环节。把这类展品转成美国上游需求线索，关键不是将展台数量折算为销量，而是追踪公开披露中谁负责何种功能、在哪一地点先验证、部件供应是否已经绑定，以及这些信息离美国买方采购还差哪些环节。CES 产品或发布材料本身只能证明产品概念和企业披露存在；以下分别使用制造商发

SVSAC | sv-sac.org

布的技术和商业状态，避免把展示、计划、合作框架混为已经完成的美国采购。[26][27][28][29][30]

Boston Dynamics 在 CES 发布 Atlas 产品版时称，将在波士顿总部立即开始制造，并称 2026 年部署已全部安排，机器人计划在随后数月运往 Hyundai 的佐治亚州机器人应用中心（RMAC）和 Google DeepMind；公告还称，Atlas 可接入 MES、WMS 及其他工业系统，并列出 56 个自由度、2.3 米触及范围和最高 50 千克举升能力。[26] 这些数字是制造商披露的设计规格，不是第三方验收结果；“部署已安排”也不等于全部机器人已交付、投入生产线或由独立买方支付。此处仍有比一般产品页更强的证据：1 月公告连接了首批交付对象、训练地点与制造起点的计划；9 月集团运营更新另报告 RMAC 的训练和验证活动。[28] 两份不同时间的材料共同支持“有美国部署和集成活动”的判断，却不能单独支持“美国本土形成规模化机器人订单”或“美国本土制造的零件占比上升”。[26]

这条链的实际工程接口并非只有机械臂。Boston Dynamics 称 Atlas 可自动更换电池、在充电站自主补能，并通过 Orbit 软件连接工厂 MES/WMS。[26] 因而若采购方把它放入物料配送、零件排序或拣选环节，交付对象至少包括机器人本体、充电基础设施、任务调度和工厂软件接口；产线工位的安全区域、机器人故障恢复后如何释放物料、订单/库存状态如何同步，也会影响能否达到可用状态。这些是基于公开功能描述推导的集成问题，不能当作任何已实现的客户特定配置。企业后续材料称 RMAC 在佐治亚州开放运营，并展示 Atlas 训练与验证物料处理和零件排序；同一集团把计划中的 HMGMA 零件排序部署列在 2028 年，较复杂装配则计划从 2030 年开始。[28] 这形成“设施实际开放、训练活动已发生、工厂部署在未来”的时间层次。对供应商需求识别来说，RMAC 的建立可产生设备、夹具、视觉标定、仿真数据和维护的前期需求，但这些投入不能直接外推为车厂已批量采购相同机器人，更不能将时间表写成当前产线已使用。

执行器供应披露使上游部件链条更具名。Boston Dynamics 与 Hyundai Mobis 在 2026 年 1 月宣布战略协作，Mobis 将为 Atlas 供应执行器，双方称将共同建设可靠的部件供应链并加快执行器开发与生产。[26][27] Hyundai 集团另将 Mobis 置于机器人价值链中的部件开发角色，并把制造企业、物流企业和系统集成能力并列描述。[28] 这意味着执行器不仅是一个目录采购件：关节输出、重复定位、热与负载循环、机械接口、电气供电、控制固件和替换维修共同决定其能否作为机器人关节模块进入系统。规模化的优势可能来自汽车供应商的质量体系、产线自动化和跨项目工程能力；替代解释则是，机器人执行器的尺寸、回驱性、冲击载荷、控制带宽与寿命谱可能显著不同于汽车执行机构，既有汽车设备和供应链并不会

SVSAC | sv-sac.org

自动转化成可用的机器人产能。现有公告没有披露执行器型号、采购量、合同金额、制造厂地址或排他条款。因此可识别的是一项具名供方关系，而不是美国本地执行器产能或某一具体部件在美国交付的数量。[27][28]

HWD 的供给结构提供了一个对照：它不是单家企业围绕整车内饰做垂直整合，而是多个材料与系统环节形成接口链。CES Innovation Awards 产品页将 HWD 列为获奖产品；该页面体现展会与奖项记录，并不证明车辆量产或某美国整车厂采购。[29] Hyundai Mobis 在 2026 年 2 月公布 Quad Alliance：Mobis 负责 HWD 系统设计集成及投影单元；ZEISS 负责光学设计与 HOE（全息光学元件）母版开发；tesa 负责薄膜复制；Saint-Gobain Sekurit 负责将薄膜与汽车挡风玻璃精密粘合；其目标是 2029 年开始量产。[30] 这一分工很具体，也说明“组件需求”未必是现成的标准化 SKU：母版的角度选择性、薄膜复制的均匀性、玻璃夹层界面和投影机位置共同决定眼盒、透过率、图像亮度与温度/振动环境下的光学表现。若其中任一环节变化，车厂验证对象可能从单独的显示模组扩展到玻璃、光机、仪表台几何与驾驶员视点的组合。

Quad Alliance 强调端到端方案，ZEISS 伙伴公告则表示联盟并非意在排他，OEM 仍可选择自身偏好的供应链模型。[191] 这里可识别的是伙伴表达的非排他意图，不能据此断言所有实际合同均无供应限制，更不能当成已签署的美国采购合同。它的潜在价值在于把母版、复制工艺、玻璃夹层和投影集成的责任及接口提前协调，减少整车厂分别寻找多家材料商、再自行承担跨域问题定位的负担；相应风险在于，若关键工艺或材料受单一伙伴控制，供应弹性、地区产能和替代供应商认证仍可能成为约束。该路线也不等于产品已进入美国市场：公布量产时间是 2029 年，未公开美国车型、产线地点、预计台数或北美采购份额。相较之下，Atlas 已有明确的美国训练目的地与计划部署，但其零部件产地和量级仍未公开。二者显示美国需求识别可分解为功能进入美国项目、美国制造活动、美国采购合同和美国本地零部件供给四类问题；它们相关，却不存在由一项事实自动推导另一项的线性阶梯。[26][27][28][30]

4 第六章　美国设备与服务商：订单、装机基础和地域口径的分离

半导体设备上市公司的年报提供了比 CES 参展名单更接近实际交易的证据，但仍须将订单、收入、服务和生产地点分开。Applied Materials（AMAT）2025 财年披露的积压订单为 150.02 亿美元，其中半导体系统 71.05 亿美元、Applied

SVSAC | sv-sac.org

Global Services（AGS）71.41 亿美元、其他 7.56 亿美元；约 31%不预期在未来 12 个月内交付或完成。公司将 backlog 定义为已接受书面授权的订单，以及尚未确认收入的发货与服务合同；并明确说明积压可能新增、修改、取消或延迟。[31] 因而这项披露比单纯的设备市场预测更接近真实业务承诺，但不能直接解释为美国客户已订设备：账面覆盖全球客户、多个业务与不同预计履行期。它也不等于全是尚待制造的新设备，因为其定义包含服务和维护合同；约 48%归属 AGS，但 AGS 当年还包含 200 毫米等设备，不能把该分部比例直接当作纯服务合同占比。

AMAT 的分部口径还揭示了设备厂商内部的生命周期经济。公司称 AGS 向全球晶圆厂提供服务、备件与工厂自动化软件；至 2025 年 10 月，AGS 也销售 200 毫米设备，该业务从 2026 财年第一季度转入 Semiconductor Systems。FY2025 AGS 收入 63.85 亿美元，约占总收入 23%，同比增长约 3%；半导体系统收入 207.98 亿美元，占 73%。管理层把 AGS 增长与长期服务协议及备件支出联系起来，并指出服务需求会随着已安装系统与工艺腔室扩大、客户续签长期协议而增长。[31] 因为 AGS 并非纯服务收入，且业务分类在财年间发生调整，不能把 63.85 亿美元简单称为美国装机基础售后收入，也不能把一个年度的服务销售全部归于新增设备。更稳健的读法是：设备装机形成长期服务机会，但该机会受到客户续约、设备利用率、备件更换周期和会计分类边界共同影响；供应商的收入地域仍须单独查看。

AMAT 地域表按产品发往的客户设施或服务发生地归属收入。FY2025 美国为 30.63 亿美元、占 11%，FY2024 为 38.18 亿美元、占 14%；同一年度亚太地区为 243.43 亿美元、占 86%，其中中国 85.29 亿美元、台湾 68.57 亿美元、韩国 56.08 亿美元。[31] 这种归属法让观察者可识别设备或服务最终落在何处，却不会揭示设备由哪国工厂装配、谁制造其子系统、或产品最终用于哪家美国科技公司的销售。它也反映短期地理变化：在总营收同比增长 4%的同时，按设施所在地归入美国的收入减少约 20%，而台湾、韩国客户设施收入上升。这并不自动意味着美国设备需求整体下降，因为供应商可能跨国发货、设备交付时点具有波动，且表内美国客户不等同于美国下游终端需求。它更清楚地提示：从美国销售地推断美国上游制造能力，逻辑链至少缺少供货工厂与零件来源两项识别。

Lam Research（Lam）的披露让“客户所在地收入”和“卖方生产与支持能力”可以并置观察。FY2025 Lam 总收入 184.36 亿美元，其中客户支持相关收入和其他为 69.44 亿美元，系统收入 114.91 亿美元。前者包括客户服务、备件、升级和 Reliant 非领先制程设备，不是单一的售后服务指标；公司称 FY2025 增长来自存储器及非存储器客户的设备需求、以及升级、备件和服务。[32] 同一报告称，按客

SVSAC | sv-sac.org

户设施所在地计算的美国收入为 13.77 亿美元，总收入占比约 7%；中国 62.05 亿美元、韩国 41.28 亿美元、台湾 34.45 亿美元。报告另列截至年末美国长期资产 17.17 亿美元，且称其制造与仓储设施位于加州、俄亥俄州、俄勒冈州及奥地利、韩国、马来西亚、台湾等地。[32] 这个并置是有用的，因为客户服务工程、制造/仓储设施和收入目的地在空间上并非同一指标：FY2025 美国收入为全球收入的 7%左右，但美国长期资产与分布式设施仍显著存在。资产账面值不能转换成产能份额，也不能证明某台售往美国的刻蚀设备由美国工厂生产；相反，它表明“美国客户需求低于某个比例”并不推出“美国没有设备制造、技术支持或工程岗位”。

KLA 进一步显示，精密检测与量测设备的价值获取与装机后服务密切关联。公司 FY2025 服务收入约占总收入 22%，并把增长归因于 KLA 系统装机基础扩大；其服务合同常呈持续性订阅特征，可延长既有设备生命周期。[33] 但地域披露采用 ship-to 口径，北美为 13.62 亿美元、约占 11%，并非“美国”单独统计；公司列举中国、德国、以色列和新加坡的海外制造设施。[33] 因此把 KLA 的 11%标为美国市场份额，会把一个大洲与一国混为一谈。服务收入可说明装机基础有价值、客户关系具有持续性，但在缺少设备所在地、工厂产能和最终使用者数据时，仍不能将收入归因到特定州或制造扩张项目。KLA 在 FY2025 同时呈现中国收入占比约 33%、北美约 11%，显示设备市场地域会随先进制造投资周期和贸易环境快速重排；该公司的财报可以证明全球设备商面对多地区客户及制造布局，不能单凭年报判断哪个美国晶圆厂正在下新订单。

三家公司共同说明，上市设备商年报中的“美国”至少可能指三件不同事：美国客户设施所接收的销售或服务、美国所在地的有形长期资产、以及公司整体制造/服务网络中位于美国的节点。AMAT 的公开积压给出全球履行的订单与服务承诺；Lam 的分区表把系统和支持业务拆开；KLA 服务收入体现随装机基础形成的后市场价值。三者均未公开逐台 BOM、供应商来源、具体美国客户订单或某项目的工具安装清单。[31][32][33] 这并非说披露没有价值，而是其合理用途不同：积压可用于观察经授权的全球商业义务及时间分布，地域收入可定位客户设施，分部服务数据可观察生命周期收入，长期资产和制造地点可界定供给侧的空间存在。CES 线索只有在与这些指标以及具体项目记录相接时，才可能转为美国上游需求证据；任何一个公司整体数值都不能代替项目级的采购与交付证据。

SVSAC | sv-sac.org

5 第七章　从厂房建设到高量产：美国项目进度的阶段差异

美国半导体制造项目往往以多年建设、设备安装与工艺认证为连续过程，但公开资料中的“开工”“洁净室完成”“高量产”不是同义词。以 TSMC 亚利桑那为例，公司项目页把 Fab 1 的 N4 高量产起点列为 2024 年第四季度；Fab 2 在 2025 年完成厂房结构，N3 量产目标为 2027 年下半年；Fab 3 于 2025 年 4 月开工，目标是在本十年末量产；2026 年初 Fab 4 及首个先进封装厂才进入初始建设阶段。[36] 第三章的地点判断在这里须进一步按厂区分期：Fab 1 量产与 Fab 2 结构完成之间仍隔设备、厂务联调、试产、客户验证和爬坡，不能用一条线性日程合并。该页未给月度设备数、良率、客户分配或具体产品，HVM 不能换算美国订单占比，结构完成也非新增晶圆供给。建设/洁净室/安装可能先形成窗口，但具体部件仍需项目合同或现场交付证据。[36]

Intel 公开的工艺节点进展与项目扩张并不同步。公司 2025—2026 责任报告称，到 2025 年底 Intel 18A 已在亚利桑那和俄勒冈两处晶圆厂达到高量产；成品晶圆送往组装与测试设施，2025 年的主要组装测试地点包括新墨西哥、中国、越南与马来西亚，新墨西哥承担其旗舰先进封装活动。[34] 该披露说明美国境内工艺生产与跨国封装测试并行，晶圆在美国完成并不意味着封装、测试、最终芯片交付都发生在美国，也不证明每个被 CES 提及的 AI 产品都采用 18A。Intel 另报告其 Foundry 活动绝大部分服务内部产品、六个月外部 foundry 收入仅 4.67 亿美元，而内部 Foundry 收入 107 亿美元。[16] 因此即使制造已达高量产，市场结构仍须区分内部产品产能、外部客户晶圆代工和最终客户订单；公司级 HVM 状态不是外部采购订单的替代指标。与此同时，企业报告称在 2025 采取更审慎资本部署并放慢俄亥俄新厂建设，说明已成熟节点生产与未完工项目可以同时存在。项目投资宣传的金额与现场工艺准备状态不宜合并为一个“美国已新增产能”的数值。[16][34]

Micron 爱达荷项目可观察到另一种中间阶段：公司称其首座爱达荷厂于 2026 年春完成 cleanroom blowdown，即对洁净室加压、降低粒子数量以准备半导体制造设备进场；DRAM 输出计划于 2027 年开始。[35] 这是一项可核验的设施准备节点，但公司页面没有说该日期前已经安装哪些具体设备、完成何种工艺验证、开始多少晶圆投入，也没有报告已生产合格 DRAM。洁净室颗粒控制是设备安装与运行环境的重要前提，后续仍有工具定位、厂务接入、验收、工艺窗口建立和客户产品资格验证。其供应商机会通常分布于多阶段：洁净室过滤、超纯水、化学品输送和气体处理可能在早期先行；高真空、沉积、刻蚀、量测与厂内自动化设备随着空间就绪进入；备件与现场服务则随设备安装、试运行和产能爬坡逐步增

SVSAC | sv-sac.org

加。这个阶段逻辑是工程层面的推导，不是 Micron 采购清单；页面也未披露供货商、产线工具台数或订单金额。[35] 因而若某 CES 企业展示了用于先进封装、检测或工厂自动化的产品，爱达荷项目可形成需要继续核验的潜在设施关联，却不能在没有采购证据时被当成该企业已获得项目订单。

Intel 俄亥俄项目提供了反例，说明基建开工或媒体可见的大额投资计划不能替代按需推进的资本纪律。Intel 在 2025 年 2 月的正式项目更新中把 Mod 1 施工完成目标调整到 2030 年、运营时间调整到 2030—2031 年；Mod 2 施工完成目标为 2031 年、运营时间为 2032 年，并表示将以较慢速度继续施工，根据客户需求保留加速的灵活性。[37] 2025—2026 责任报告后来也确认放慢新厂建设，以使投资里程碑与市场需求匹配。[34] 两个公开记录共同显示，一个项目即便持续投入土建、保持政府和地方合作、并持续雇员培训，也可能在多年后才运营；投资承诺的名义金额并不等同于同期间的设备安装支出、采购订单或已批准制造产能。这里可观察的供应链机会，可能从土建转向项目维护、劳动力培训和长周期设施工程，而原计划面向快速建厂的工具、材料或洁净室供应合同也可能被延后。公司没有披露逐项被推迟的供方订单，故不能具体声称哪家设备供应商受损。将此案例与 TSMC Fab1、Intel 18A 和 Micron ID1 的不同阶段并看，合理的结论不是“美国制造全面加速或全面停滞”，而是项目执行和需求信号高度异质，且设备商订单必须有项目级交叉验证。[34][36][37]

进度词汇应保持证明对象：结构对应建筑，blowdown 对应环境准备，设备到货/安装对应工具事件，晶圆起跑与工艺资格对应试运行，HVM 对应企业所述特定技术/地点的高量产，客户资格与具名交付还需相应记录。工程可以重叠，不能将这些词编码为同历时漏斗。上游机会按建设期厂务能源/超纯水、安装试产期设备管线/服务、HVM 后备件维护分开；只有供方、项目地点、类别和交易证据相连才记订单。[34][35][36][37]

6 第八章　从公司披露作有限计算：三种地域口径如何改变决策建议

本章用公司年报中的可复算数字说明，美国上游需求虽可从公开财报获得定量线索，但区域定义必须随公司、指标和期间一同记录。以下计算均为本次分析基于披露原值的派生值，不代表公司公布的额外指标。AMAT FY2025 按客户设施接收设备或服务的地点记地域收入：美国为 30.63 亿美元，2024 年为 38.18 亿美元；公司总收入分别为 283.68 亿和 271.76 亿美元。[31] 计算式为

SVSAC | sv-sac.org

（3,063−3,818）÷3,818，约为−19.8%；全公司总收入增速为（28,368−27,176）÷27,176，约为+4.4%。这组同口径对照说明，美国设施归属收入下降而全公司仍增长；设备市场扩张的主题叙事无法替代财报披露的地域销售收入表。它也不说明美国设备订单少了 19.8%，因为报告金额覆盖设备与服务收入、地区按交付/服务设施而非采购法人总部归属，且财年期间可能受设备验收、客户开支和发货时点影响。[31]

Lam 的 FY2025 地域表明确按客户设施所在地归属，且原值以千美元列出。美国收入为 1,376,857 千美元，总收入 18,435,591 千美元；2024 年相应为 1,104,087 千美元和 14,905,386 千美元。[32] 以美国收入除以同年公司总收入，得到 2025 年 7.47%、2024 年 7.41%；美国收入金额增速为（1,376,857−1,104,087）÷1,104,087≈24.7%，高于公司总收入同期约 23.7%的增长。[32] 这项计算比只引用财报四舍五入的“美国 7%”多说明一点：当年美国收入增量略快于公司平均，但美国在全球营收中的份额仅上升约 0.06 个百分点。它仍不是“美国产品供给份额”，也不代表工具制造发生在美国；报告还显示全球地区销售高度集中于中国、韩国、台湾和日本。把 Lam 的这个 7.47%与 KLA“北美 11%”或 AMAT 美国 11%直接排序，会同时混淆区域边界、地区归属法和财年，故本次分析不作跨公司份额排名。[32]

表 H-1　公司披露地域数据的同公司复算（金额单位与期间见表）

公司与口径	原值与期间	派生计算	可支持的解释	主要限制
AMAT：客户设备/服务设施所在地[31]	FY2025 美国 3,063 百万美元、总收入 28,368 百万美元；FY2024 美国 3,818 百万美元、总收入 27,176 百万美元	美国收入增速：(3,063−3,818)/3,818=−19.8%；总收入增速：(28,368−27,176)/27,176=+4.4%	FY2025 美国设施归属收入方向与公司总收入方向不同	不等于采购订单或美国制造份额；含设备与服务，按设施归属
Lam：客户设施所在地[32]	FY2025 美国 1,376,857 千美元、总收入 18,435,591 千美元；	美国收入占比：7.47% vs 7.41%；美国收入增速=+24.7%，总	美国客户设施收入增速略快于公司整体，份额变化很小	不是美国制造占比；地区按客户设施统计，财年期间不同于日历年

SVSAC | sv-sac.org

	FY2024 美国 1,104,087 千美元、总收入 14,905,386 千美元	收入增速 =+23.7%		
NVIDIA：客户总部所在地[5]	FY2026 美国 149,617 百万美元/总收入 215,938 百万美元；FY2025 77,482/130,497；FY2024 31,533/60,922	美国总部客户收入占比分别为 69.3%、59.4%、51.8%	依披露的总部归属法，美国总部客户收入份额上升	FY2026 第三季度才变更并回溯重述；终端客户和发货地可不同，不等于最终美国需求或美国制造

NVIDIA 的地域变更尤其说明，同一组公司数字若采用不同空间单位，所回答的问题就不同。其 FY2026 第三季度将地域收入改按客户总部所在地，并回溯重述此前期间；FY2026 美国总部客户收入为 1,496.17 亿美元，占总收入 2,159.38 亿美元的 69.3%，而按同一重述口径，FY2025 为 774.82 亿/1,304.97 亿美元，约 59.4%，FY2024 为 315.33 亿/609.22 亿美元，约 51.8%。[5] 这些比值可以描述美国总部客户在 NVIDIA 收入组合中的变化，不能解释为设备发往美国工厂的比例。NVIDIA 还估计，FY2026 来自台湾总部客户的数据中心收入中，76%归因于美国及欧洲终端客户合计。[5] 这条注释本身揭示了总部法的盲区：大量客户的总部所在地、发货地点和最终部署地点并不重合。76%是美国与欧洲合计，也仅针对台湾总部客户的数据中心收入，不能拆分成美国单独占比，亦不能推广到所有台湾客户、所有 NVIDIA 收入或制造地。由此，对美国需求有意义的至少是三个不同量：客户法人的总部、产品运抵的设备/数据中心设施、以及最终使用者所在地。若要从财报转向美国上游采购判断，仍需订单、报关/贸易、客户设施、供应商交付和本地制造数据中至少两类互相印证。[5]

这三项复算给出本次分析可承受的定量结论边界。第一，企业地域财报可用于做时间序列比较，但只能按其明示口径在同家公司内比较；第二，同一家公司也可能将客户设施、ship-to 或客户总部作为地域归属单位，不能因报表标题都写“geographic revenue”就拼接；第三，收入的地域归属不识别零部件的原产地、工厂所在地或美国国内增加值。对于 CES 信号，最直接的用途是将展品技术路径

SVSAC | sv-sac.org

与可能需求功能相联，再用公司级资本、订单、服务和项目进度缩小候选供应链；最终的美国上游制造需求仍需落到具体工厂、具体物料与交易或公开设施数据。本篇目前尚未取得展商级 BOM、美国客户采购合同、联邦项目逐设备拨付、海关 SKU 级流向或工厂产量实测，因此没有把以上公司级复算扩写为总量市场规模。这个限定保留了财报本身的比较价值，同时避免把展会曝光、美国总部收入、客户设施销售和国内制造混作同一个结果变量。[2][3][4][5][31][32]

7 第九章　高密度计算平台中的连接、线路板与供电接口

AI 服务器的上游电子需求不能只从加速器芯片数量推算。系统板、加速器托盘、机架电源和网络交换构成一条连续的电气与机械接口链：高速信号必须在板间、机箱内和机架间维持阻抗与损耗预算；供电连接必须承载更大的电流，同时满足温升、接触电阻、插拔和故障隔离条件；线路板则承担芯片扇出、供电平面、连接器焊盘和热机械支撑。CES 展示的 AI 产品如果公布了整机形态，研究者便可提出这些部件类别的工程问题，但产品影像或功能标签本身并不披露 BOM、层数、铜厚、连接器供应商或制造地。因而需要将系统架构线索与供应商原始资料以及公开的制造企业申报相互校验，而不是将某款消费产品直接映射成美国上游订单。[38][40]

Amphenol 面向 Open Compute Project（OCP）的产品页把接口问题具体化：其列出 48 伏输入连接器、机架电源连接方案、母排与盲插形式，并给出不同产品的电流和连接结构范围；页面还展示面向 ORv3 机架及机架电池备份单元（BBU）的组件。[40] 这类资料足以说明模块化机架设计会把供电接口从一根线缆扩展为电源单元–母排–机架托盘–负载的可替换连接层，也揭示连接器必须与机架几何、插拔方向、电流路径和维修方式共同设计。可是网页列举的额定值是供应商公布的设计参数，不是独立测试结果；“适用于 OCP”也不能单独证明特定运营商已采购，或产品已在美国制造。Amphenol 另一组数据中心页面列示板对板连接器的 0.40 毫米间距、±0.20 毫米浮动范围及最高 6 Gb/s 等规格，体现小型化、高速与装配公差间的权衡；这些规格不能与机架电源连接器的电流额定值混作同一类需求。[40][41]

线路板数据提供了与展会终端产品不同层级的交叉证据。TTM Technologies 在 2025 年 10-K 中将高端计算、服务器和网络设备列为其互连产品应用领域，并指出更快数据传输、薄型化和更低功耗推动线路复杂度上升；其产品组合包括高密度互连（HDI）、基板类产品和刚挠结合板。[38] 这段披露建立了明确的工程机

SVSAC | sv-sac.org

制：更高 I/O 密度促使更细线路、更密集的层间连接和更严的信号完整性控制；芯片封装到主板的过渡则增加基板、连接器、材料和制造工艺之间的协同约束。但公司同时在北美与亚洲拥有专门工厂，商业业务也跨多个国家，故“服务服务器市场的美国上市线路板商”不能推导为线路板在美国制造或供给给某一 CES 参展商。该公司 2026 年第一季度申报进一步显示，数据中心与网络业务占当季销售 36%，前一年同期经重述为 28%；同期汽车占比为 8%，而公司将数据中心与网络增长归因于 AI 数据中心建设。[39] 这是企业按其终端市场分类所报告的收入组合变化，说明需求主题已进入一家线路板企业的业务结构，却未揭示美国客户、具体产品订单、每类线路板的利润或当地采购比例。

TTM 的 Syracuse 项目需要按时间和用途双重校准。2026 年第一季度申报称，纽约州厂房完工，设备正在到场、安装与测试，预计下半年开始高量产。[39] 公司 6 月 22 日举行新 Ultra-HDI 设施开幕，并将其定位为服务航空航天、国防及国家安全项目的本土能力；8 月 5 日提交的第二季度 10-Q 仍列设备安装和测试，将下半年量产保持为预期。[192][193] 本次分析所读公司 10 月 22 日第三季度业绩材料尚未提供 Syracuse 产量的进一步确认，[194] 因此不能由开幕推断已达到稳定良率、客户资格或合格供货。这个时间链提供真实的美国制造准备活动，却也构成跨市场归因的反例：即使企业同时报告数据中心网络收入增长，其国防用途设施也不能自动记作 CES 服务器产品的新增供给。公开资料尚未把具体订单、厂址、客户资格与展品关联起来；既有客户迁移、海外服务器增长及亚洲工厂承接订单仍是替代解释。可支持的判断是企业在美国推进特定用途 Ultra-HDI 能力并观察到相关技术市场增长，而不是美国 AI 硬件采购已转化为该厂线路板产量。[38][40]

线路板企业的财报还允许区分需求增长与产地分布。TTM 披露 2025 年销售额 29.06 亿美元，较 2024 年增长 19.0%，并把主要增长归因于航空航天与国防、数据中心计算及网络市场；公司同时报告马来西亚工厂爬坡成本抵消了一部分销售量和产品组合改善带来的利润率提升。[38] 这说明 AI 数据中心带来的板级需求与其他高可靠性市场共享同一制造商的工程、产能和投资资源；产能配置并非对某一新兴终端市场的自动响应。更重要的是，TTM 的申报将 A&D、Commercial 和 RF&S 工厂按地区列出，商业板业务同时覆盖美国、加拿大、中国和马来西亚。[38] 因此“TTM 受益于 AI 数据中心”与“美国工厂供应了该增长”是两个不同命题。第一句有公司归因支持，第二句需要设施级出货或客户分配记录。相同限制也适用于 Amphenol：其公开资料能让我们定位 48V 输入、母排、盲插和高速板

SVSAC | sv-sac.org

间连接等产品能力，但页面没有披露产量按工厂拆分、面向美国客户的销售比例或特定产品的生产原产地。[40][41]

OCP 模块化架构的另一影响是，连接器、电源单元和线路板的替换周期并不相同。机架电源或母排接口可能随功率密度和维修方式调整；高速连接器则需要与背板走线、均衡、线缆长度及信号速率共同验证；HDI 板在制造端还受层压、微孔、阻抗控制和良率约束。Amphenol 产品目录把同一机架内的电源分配、监控接口、服务器高速连接与 BBU 组件分列，恰好提示“电源需求”与“互连需求”是相互耦合但可分别采购和资格认定的模块。[40] 该供应商同时给出 150A 至 1250A 的机架电源互连范围，并介绍 ORv3 电源监控接口以及 33kW BBU Shelf 相关产品；这种规格跨度反映从单个设备入口到机架级分配、备用电池之间的不同工作点，不能将最大额定值视作单台服务器实际负载。[40] 真实设计中，额定电流通常需要结合环境温度、接触配置、母排与导线、冷却、冗余拓扑及测试条件解释。网页没有提供完整降额曲线、特定客户的验证报告或部署数量，故本次分析只将它作为接口功能和潜在技术路径证据。工程机制可以从产品结构推断，但采购规模与美国制造地点仍需要交易或工厂级证据补齐。

8 第十章　功率器件、磁传感与电机控制的交叉需求

AI 机架、储能变流器和电动车并非同一个市场，但它们都把功率半导体、隔离测量、栅极驱动与热路径放进快速闭环控制。因而，CES 上出现的电动化平台或高功率计算产品，可以作为识别器件功能的入口：需要观察的不是“AI 或 EV 需要多少芯片”，而是功率从高压母线经一次或多次 DC/DC 变换抵达负载时，开关器件、测流、保护、驱动、磁性件与冷却如何被组合。Texas Instruments 于 2026 年公布一套支持 NVIDIA 参考设计的 800V 直流数据中心供电架构，描述 800V 转 6V 隔离母线变换器、6V 转低于 1V 的多相降压、热插拔保护，并公布 GaN 集成级 97.6%峰值效率和大于 2000W/立方英寸功率密度等参考设计数据。[43] 这些是供应商宣称的参考设计参数，表明提高母线电压能减小上游大电流传输负担、而末端仍需低压大电流调节；它们不是已部署机架的实测效率或 NVIDIA 实际采购数量。即使系统接口相似，数据中心直流母线和车辆牵引逆变器在安全域、冷却、维修、功能安全及生命周期上仍不同，不能把同一器件目录简单叠加为共通订单。[43][47]

高压器件的材料和封装方案取决于电压、开关频率、输出功率和散热形态。onsemi 在其 2025 年 10-K 中称，公司把硅、碳化硅（SiC）和氮化镓（GaN）器件

SVSAC | sv-sac.org

以裸片、分立封装和完整功率模块等形式提供给客户，并将这些列为其功率产品线的竞争重点。[42] 产品数据表展现了“应用相似但交付形态不同”的差别：其1200V NVHL040N120SC1 SiC MOSFET 是 TO-247-3L 分立器件，典型导通电阻 40 毫欧，数据表标为 AEC-Q101 合格、PPAP 可提供，并列出车载充电器和 EV/HEV DC/DC 为典型应用；该条件可用于汽车部件资格评估，不等于任何整车厂已批准特定平台。[45] 另一款 NVVR26A120M1WSB 将两只 1200V SiC MOSFET 组成半桥牵引逆变器模块，采用烧结芯片贴装、氮化铝绝缘体、单面冷却，数据表标明满足 AQG324 并可提供 PPAP。[46] 相比单管，集成模块减少系统内互连和封装决策，但将母排几何、基板、冷却界面和维修替换方式绑定到特定模块设计。二者均是正式产品资料而非特定 CES 车辆的 BOM，也没有证明晶圆、封装或模块在美国生产。

快速开关也会改变测流链路。Allegro ACS37100 数据表将该器件描述为集成隧道磁阻（TMR）双向电流传感器，带 10MHz 带宽、典型 50 纳秒响应时间、硬件过流故障输出及 5000 伏有效值隔离规格，并标明 Grade 0/AEC-Q100 汽车级资格。[44] 该器件的测量导体集成在封装内，电流范围的产品选项为正负 25A 和正负 50A；这适于被集成在控制板中的中小电流支路，不等同于数百安培牵引电流直接通过此芯片。Allegro 另提供面向高电流母排的外置磁芯和无磁芯方案，说明车辆主逆变器电流测量需在尺寸、磁饱和、涡流带宽、绝缘和热损耗之间作架构选择。[48] 这里存在一个容易忽略的需求反向：更快的 SiC/GaN 边沿需要更高带宽的传感器和更快保护；但大电流会使集成导体的 I^2R 热耗与器件封装成为瓶颈，促使系统改用母排附近的磁场测量。Allegro 公开的对比材料指出，核心式架构可处理千安量级但增加体积、成本并受磁滞与涡流限制；无磁芯方案省去磁芯但对传感器与母排的距离和装配精度更敏感。[48] 这解释了同一辆车或机架可能并用数种测流拓扑，而不是每一电流节点都采用单一传感器 SKU。

资格证据也必须按使用场景而非公司国籍解释。这些产品数据表分别标出 AEC-Q101、AEC-Q100 或 AQG324 等资格/符合性信息；本篇在此记录对应产品的厂商标注，不以产品页代替标准适用范围的原文证明。相关产品页另标 PPAP 能力，表示供应商可按生产件批准程序提供资料，并不等于某车厂已完成样件、过程审核、产线变更或车型批准。[44][45][46] 作者为数据中心参考设计提出的候选评估维度包括绝缘、效率、功率密度、保护配合和现场可维护性；TI 参考设计的 10kW EV 充电双有源桥则设定 700–800V 输入、250–500V 输出、10kW 额定功率，并在更新后的 2026 年设计指南中给出全载效率和保护相关机制。[47] 它连接的是充电设施与电池端的高压电源转换，不是车载牵引逆变器，不能用其性能取

SVSAC | sv-sac.org

代车规资格或车端热循环验证。将 onsemi 汽车级元件、Allegro 磁传感器和 TI 参考架构并置，能定位美国供应商在器件、模块和系统设计资料上的技术位置，但三者间没有披露 BOM、供应关系或美国采购合同。技术供给方面的正面发现是，企业确实开发跨数据中心、汽车、工业与能源转换的宽禁带器件和传感产品；证据缺口则在于终端产品匹配、平台定点、批量采购与实际产地仍不可见。[42][43][44][45][46][47]

9 第十一章　专利与技术研究揭示的实现路径及其证据边界

专利适合回答“系统设计者试图解决什么接口问题”，不适合回答“哪家工厂已经生产了多少”。一个具名实例是 Meta 原 Facebook 于 2015 年提交、2017 年授权的美国专利 US9622373B1《数据中心高压直流供电系统》。该专利公开文本列有 20 项权利要求；此处仅讨论所列结构，不声称全部法律范围已经核验：独立权利要求 1 描述外部高压直流源、跨越多个服务器托盘的电源轨、托盘内 DC/DC 变换器和较低压 IT 负载；权利要求 5 把托盘电源连接器、配电板、降压变换器及 IT 连接器组合；权利要求 14 增加跨托盘冗余母线和机架结构，权利要求 15–19 再纳入 BBU/超级电容和 AC 备用电源。[49] 说明书举例的 HVDC 范围多为 250–400V，也允许更宽的电压实施例，并具体讨论 12V/12.5V 母线、托盘间冗余、盲插和热插拔。[49] 这些权利要求显示，高压直流机架不是单纯替换整流器：需求还包括高压连接器、托盘级隔离转换、跨层冗余配电、备用储能接口、控制和维护结构。专利把这些技术组成写入可保护的法律范围，但权利要求本身并不是采购单、零部件清单或实际实施证明；专利图示的服务器架构不能被视为 Meta 现实机房的已部署配置。

后续的 800V 直流讨论并不是对早期 HVDC 专利的简单照搬。TI 在 2026 年白皮书中对比传统 48V 电源架与 800V sidecar：旧式电源架常见单相 PFC、600/650V 开关器件、48V ORing 电路和风扇；800V sidecar 则把交流输入端转为三相 Vienna PFC，并在 DC/DC、辅助电源、ORing 及通信隔离上要求承受更高母线电压，可能需 1200V SiC 或串联 650V 开关。[50] 高压总线在相同功率下可降低电流与铜损，却把绝缘、隔离监测、开断、检修和元件耐压推至更高要求；架构变化因此会转移部件组合与测试重点，而非简单地按电压比缩小线缆。[50] NVIDIA 的公开架构说明也允许既有设施采用混合过渡，从机架级电源架到园区和数据厅级供电模块逐步演进，并强调设计需适配保护策略、电气规范和设施配电拓扑。[52] 这构成对“所有新 AI 数据中心直接换成 800V”说法的约束：设备设

SVSAC | sv-sac.org

计、现场法规、配电改造和迁移窗口都可能使不同站点保留 AC 或混合接口。对零部件供应链而言，转换期可能同时存在 48V 与高压直流的电源板、连接器、保护和绝缘产品需求，而非一次性同质替换。

一篇 2026 年 1 月公开的电力系统研究为这一架构提供了更可量化的技术路径：Xu 等以三相 H 桥 AC/DC 级联双有源桥（DAB）DC/DC，从 10kV 交流中压形成 800V 直流母线；控制采用整流器电压/电流闭环与 DAB 相移调节，模型再接入数据中心 IT 负载、冷却、光伏和储能。[51] 作者报告基于实时数字仿真器 RTDS 的日尺度与连续 30 天模拟，并使用江苏太仓一座真实数据中心的月负荷序列；其表 III 给出月度输入侧平均损耗率：SST 为 1.924%，UPS 基准为 9.553%，相差 7.629 个百分点。这里是损耗率差，不是输入能耗节省比例；本篇不由这两个损耗率推算能量节省，也不采用论文其他段落/图表中不同口径的能耗百分比。[51] 这组结果能够帮助识别上游需求机制：10kV/800V 绝缘与开关设备、高频隔离变压器、DAB 开关、直流断路和母线、DC 储能接口、快速遥测控制会共同构成设备链。但它不是美国机房实测，也不是将设备清单与供方采购绑定的案例。论文的负荷序列来自中国数据中心，系统与 UPS 的差异取决于研究所选的模型、组件参数、控制与基准；作者在结论中仍将 800V 瞬态保护列为未来工作，并提出应进一步探索传统 2N 冗余之外的供电架构。[51] 因此其能源效率优势应作为经过仿真检验的技术命题，而非普遍现场收益或美国设施采购规模。其本地验证的缺口也很关键：若高压直流断路器、母线绝缘与保护选择未形成成熟量产设备，系统效率优势可能无法转成近期部件销售。

专利、技术论文、产品参考设计和企业财报回答的是不同问题。专利描绘可保护的结构与连接关系；研究论文把一组设计假设放入模型或实验环境；参考设计说明厂商准备怎样实现某段电路并给出有条件的指标；10-K 或订单文件才可能揭示企业实际产能、供应商义务或销售分布。将 US9622373B1 的托盘级高压直流母线、TI 三相 PFC 与 800V sidecar 路线、以及 Amphenol 面向 OCP 机架的高电流连接器并列，可形成可检验的部件问题：新架构是否使高压母排/盲插和保护器件增加？原有 48V 电源架的连接器与电源级是否继续在存量机房扩产？模块级冗余、现场法规和维修要求是否抑制全站迁移？现有资料只支持这些系统设计问题和供应商产品能力，不支持哪家美国企业已取得特定平台的采购份额。专利权人是美国法人、论文面向 AI 数据中心、或产品供应商在美国上市，都不能替代制造地点、客户指定和交付记录。对 CES 技术信号而言，最有用的产出不是从专利数量计算市场规模，而是把抽象趋势拆为高压连接器、功率开关、绝缘测量、储

SVSAC | sv-sac.org

能接口和系统资格等具体部件，再逐一寻找项目、采购或产能证据。[40][43][49][50][51][52]

10 第十二章　地域收入、制造出货与跨境贸易：三套统计的可比边界

把美国上游需求写成一个数字，最容易犯的错误是把不同统计边界加减到一起。企业年报的地区收入通常按客户、账单地址、客户设施或发货地分配；美国制造业调查衡量本土企业或工厂报告的销售、出货或收入；海关贸易统计记录商品跨境及申报出口州。它们回答的是不同问题：卖给哪个地区、美国境内企业活动产生多少出货额、商品从哪里跨境。一个数字既不能替代另一个，也不能因名称中都有“美国”就相加。对 CES 展示出来的上游品类，合理做法是把这些观察量并列，检验方向是否相容，再明确不可识别的环节。[53][54][55][56]

Lam Research 的 2026 财年 10-K 提供了一项较细的设备供应商观察。公司按客户设施所在地披露收入：美国由 2025 财年的 13.76857 亿美元升至 2026 财年的 15.28912 亿美元；同期合并收入由 184.35591 亿美元升至 232.32690 亿美元。按披露金额计算，美国设施收入同比增长约 11.0%，总收入增长约 26.0%；美国占比则从约 7.47%降至约 6.58%。表内两年都四舍五入显示为 7%，若只复述整数占比便会遮蔽相对增速差异。这个结果支持的窄结论是：本财年公司整体扩张快于其归属于美国客户设施的收入扩张。它不表示美国设备需求收缩，也不表示美国制造份额下降，因为“客户设施”不等于设备的制造地，收入还包含系统与客户支持相关业务；公司在美国和海外均有生产、仓储与服务设施。把它用作 CES 上游需求证据时，适合解释为一家美国设备商所披露的客户地点构成及其变化，而不是美国国内产值或美国终端芯片消费量。[53]

KLA 的 2026 财年 10-K 提供了有用的反例，但其地区定义更宽。公司明确按发货目的地（ship-to location）归类收入：2026 财年北美地区为 17.57337 亿美元，2025 财年为 13.62311 亿美元，分别占总收入 135.79476 亿美元和 121.56162 亿美元的约 12.94%与 11.21%。由原值计算，北美收入增长约 29.0%，总收入增长约 11.7%。北美不是美国：该区还可能包含加拿大和墨西哥，表格也没有把美国厂房、客户总部与最终设备部署地分开。因此，Lam 的“美国客户设施”与 KLA 的“北美发货目的地”不能做供应商排名或横向占比对比。两份申报仍揭示一个有意义的共同点：产业设备商披露的地区收入可以很快变化，且变化可能与全球增

SVSAC | sv-sac.org

长不同步；但只有保留各自地理口径，才不会把公司总部、客户设施、发货地或生产地混为一谈。[53][54]

贸易数据又是另一把尺。美国劳工统计局列有依据人口普查局 Foreign Trade Statistics 编制的 2025 年半导体制造业出口州别图表，但本次分析未取得该受限页面的原图及数值，因而不把旧稿摘录的六州金额、合计或排序作为已核结果，也不计算全国份额。[55] 出口活动的地域标识本来就不能单独判定晶圆制造或封装发生地：跨州转运、经销与再出口都可能使贸易申报地点偏离实际生产地点。出口额不是本土制造业总产值，不能与供应商地区收入相加。另一套观察来自人口普查局 2024 年 AIES 制造业统计，NAICS 334413 为半导体及相关器件制造；下文利用留存原始表检验投入费用，不把跨境贸易流与行业调查估计拼成国内供给覆盖率。[56][195]

同一企业内部流转会进一步改变数字含义。人口普查局对制造业出货的说明明确纳入发往外部客户以及关联企业／工厂的货物；2024 AIES 以公司为抽样单位，但抽样单位不等于通用的制表单位。其方法文件区分经营地点与业务活动单位（KAU），制表视项目采用其中一种；按行业分配的申报也可以使用 KAU。因此不能把所有 AIES 行业估计统称为公司合并总计。旧版经济普查定义还说明，转给同一公司的其他经营地点的产品应按估计价值而非单纯生产成本申报。不同调查项目与行业的细则可能不同，但仅此即可说明：工厂层级出货合计不必然等于向外部买方的最终销售，重复的集团内流转可能增加统计额；企业合并报表中的内部交易则按会计合并规则抵销。故若将本土工厂出货额与设备供应商收入并置，应注明前者可能覆盖企业内部产品流动，而后者通常是合并净收入，并按客户地点或目的地分配。它们之间的差异不能被直接解释成贸易缺口或本地零部件短缺。就本篇的资料而言，可以限定解释设备商披露的地区收入变化及制造业统计的边界；受限 BLS 图中的州别金额仍未核验；无法确认的是哪些 CES 展示部件进入了何种美国工厂、在美本土化率、同一设备价值中本土和进口投入的份额，以及某项出货最终服务于美国还是海外客户。将这些缺口保留为待检验事项，比用不相容口径拼出一个市场规模更接近可审计的产业判断。[53][54][55][56][57][58]

原始行业数据把讨论从展会信号推进到已发生的生产活动。本篇从 Census 公开下载目录读取 AIES31BASIC01 压缩包，按全国地域代码 0100000US、地理类型 01、年份 2024、2017 版 NAICS 代码 334413 筛选，仅得到一行。原始文件为竖线分隔的 DAT，字段说明随包发布；货币字段以千美元计，不是美元。销售、出货价值或收入字段为 58,522,249 千美元，即 585.22249 亿美元；材料总成本为

SVSAC | sv-sac.org

26,077,926 千美元，即 260.77926 亿美元；增加值为 32,579,309 千美元，即 325.79309 亿美元；就业人数为 121,012。这里保留原字段的复合名称，而不把销售、出货或收入简写为最终消费。数字对应 2024 年行业活动，也不是 2026 年 CES 带来的新增订单。研究包保留原始档案哈希、完整筛选行及字段定义；本轮已按留存 2023/2024 档案实物重新筛选六行业并复算，不把文件保留状态当作对服务器当前版本的重新下载验证。[195]

“材料总成本”尤其需要拆解。该行其他材料、零件和用品采购（不供转售）为 23,158,506 千美元，未进一步加工即转售商品成本 296,058 千美元，外包加工 285,518 千美元，购入燃料 110,890 千美元，购入电力 2,226,954 千美元；五项相加恰为 26,077,926 千美元。这个可重算的恒等式说明，表中材料总成本包含能源、转售商品和外包活动，不能直接改称为硅片、光刻胶或电子零部件市场规模。其他材料、零件和用品采购这一子项也没有进一步识别产品、供应商所在地或原产国。它证明该行业存在大规模实际投入费用，却无法回答某一地区的哪一种零件可以获得多少订单，更不能把总额乘以主观市场份额作为出口预测。若要估计某一投入品的机会，仍需产品分类、采购合同或买方技术要求，与该表的行业总量形成可解释的连接。[195]

统计精度与商业可进入性也应分别讨论。原始行给销售／出货／收入估计的变异系数为 0.7%，材料总成本为 0.6%，就业人数为 1.4%。这些数值描述抽样估计的相对精度，并不能替代行业定义、申报误差、投入来源和年份不匹配的审查；也不能被解释为某供应商成功概率的误差范围。增加值与材料费用是不同统计指标，不能把增加值当作利润，或用两者相除推导零部件供应商的毛利率。该行没有按 AI 加速器、汽车芯片、传感器和其他器件分配上述金额，所以 CES 展示方向与行业投入总额之间仍存在产品组成缺口。可检验的后续问题应缩小为：某类供应商能否出示与其产品相匹配的采购量、合格料号和交付记录；若不能，行业总额只能支持活动规模背景，不能支持进入收入。[195]

11 第十三章　服务器系统制造：采购主体、制造地点与 CES 架构之间的距离

CES 上展示的 AI 服务器、机架级计算系统和液冷方案，能够提示上游器件的技术方向，却不能直接告诉我们谁下了采购单。拆开这一层，需要区分至少四个交易位置：品牌或系统设计者定义平台并可能向器件商下单；ODM/EMS 按客户配置采购或代工；系统集成商把加速器、主板、电源、网络与机柜装成可部署

SVSAC | sv-sac.org

系统；云服务商或企业用户最终接收设备，可能自购，也可能通过托管和租赁获得计算能力。品牌、制造商、器件卖方和设备使用者可以是四个不同主体。美国客户收入、美国工厂制造、美国供应商出货和美国数据中心部署因此不是同一个指标。公开申报能识别其中部分公司活动，但通常不披露逐 SKU 物料清单、订单承诺与最终机房地址。[59][60]

Super Micro Computer 的 FY2026 10-K 给出了一组可观察的系统制造线索。公司报告 2026 财年净销售额 390.631 亿美元，上一财年为 219.720 亿美元；公司将同比增长主要归于 Hyper Servers/GPU & Super Racks 相关开票增加 152.615 亿美元、增幅约 83.4%；152.615 亿美元是增加额，而非该产品组全年销售额。公司把增长与 GB200、GB300 等新平台系统的出货和开票联系起来。此处确有服务器系统业务快速扩张的申报证据，也有与 AI 机架产品相连的具体产品族；但财年销售额是公司确认收入，不是某一 CES 展品、美国客户或零部件供应商的采购额。公司按发货国家披露国际销售，美国销售比例约 70.9%，这反映 ship-to 目的地，不能替代最终使用地或制造地。[59]

制造足迹也比“美国服务器制造”这一标签复杂。Supermicro 称其主要系统制造位于圣何塞，同时在美国、台湾、荷兰和马来西亚进行最终组装、测试与质量控制；其美国固定资产账面额由 2025 财年的 3.137 亿美元增至 2026 财年的 4.232 亿美元，并称新的硅谷综合设施及 DCBBS 园区仍在建设。这个组合同时包含现有制造、跨境生产网络和未来扩产。固定资产增长不等于产能利用率或良率已经达标；在建园区更不能计作已投产出货。公司披露还显示，FY2026 毛利率从 11.1%降至 10.8%，管理层归因为价格竞争、产品组合与制造成本等因素。高需求期内收入增长与利润率承压并存，说明机架复杂度及快速放量可能提升系统销售额，却未必同比例转化为价值捕获。[59]

采购义务显示了系统厂与器件链之间的另一种联系。Supermicro 披露对关联方 Ablecom 和 Compuware 的不可撤销采购订单余额分别为 5,980 万美元和 1.822 亿美元，并表示客户通常通过采购订单下单，而非签署长期购买承诺；公司同时提示客户可能取消或延后订单，部分器件交期可能超过 12 个月。不可撤销的上游义务比展会产品展示更接近真实采购活动，但它仍是对特定供应商的余额，反映一条具有关联方合同制造关系的采购链，不能证明独立买方或非关联供应商市场的广度；它不是整个平台 BOM，也不能按收入地区分配给美国终端需求。若某高价值 GPU 平台扩产而机柜、网络或电源缺件，系统确认收入可能延后；相反，提前备货也会在客户取消时留下库存风险。上述申报将需求、采购承诺和履约风

SVSAC | sv-sac.org

险连到一个企业边界内，却没有公开足以把每种 CES 架构转换成美国部件订单的细节。[59]

Dell 的申报提供了一个反向参照，说明品牌商可以掌握组件采购，却把装配交给全球工厂或合同制造商。Dell 称其在美国、马来西亚、中国、巴西、印度、波兰和爱尔兰拥有制造设施，也使用全球合同制造商；在部分合同制造安排中，Dell 先向供应商购买组件，再将组件转售给合同制造商，由后者完成装配、软件安装、测试和质量检查。由此可见，“谁下单”与“谁生产”可在企业会计和供应链流程中分离。若组件由品牌商采购、ODM 代工、云客户收货，那么三方的公开披露分别描述采购、加工和部署，任何单一地区收入都不能代替完整链条。CES 展出的服务器品牌可以作为需求信号入口；后续应以公司披露的采购义务、代工关系、工厂进度与实际出货逐层核对，尚未公开的供货份额和具体客户仍应留为空白。[60]

CES 2026 上 NVIDIA 公布 Rubin 平台时，给出的系统结构已超出单台服务器：NVL72 将 72 块 Rubin GPU、36 颗 Vera CPU、NVLink 交换、ConnectX SuperNIC 和 BlueField DPU 组合成机架级系统，并把 Quantum-X InfiniBand 与 Spectrum-X 以太网列为扩展互连；CES 同期 DGX SuperPOD 页面称 NVL72/NVL8 系统预计在 2026 年下半年可用。[61][62] 这组架构声明能用于反推上游接口：GPU 与 CPU 计算托盘、机架内高速互连、网络适配、DPU、安全启动与管理、供电和液冷必须共同满足机械、电气、固件及热负荷约束。部件需求因此具有互补性，一项核心芯片不能独立代表整机可交付。不同环节的价值也可能落在不同企业：加速器和互连芯片定义性能，ODM 处理定制集成，电源和液冷供应商提供外围子系统，云平台决定最终采购和部署。CES 展台展示的是目标架构和平台生态，不是订单公告；NVIDIA 页面所示下半年可用时间属于当时的预期，不能据此声称截至本篇证据截止日全部量产交付。更不能从其系统架构反推 SMCI、Dell 或任一美国工厂获得了该平台份额。[61][62]

系统级销售的正面证据与集中风险需要并读。Supermicro 申报显示 2026 财年单一客户占总销售额 28.1%，而前一财年四个客户分别占 20.9%、11.5%、11.3% 和 11.1%。集中客户可能带来大规模机架部署，也会使系统销量更依赖少数客户的资本预算、配置切换和验收节奏；公司未公开该客户身份，因此不能把其销售额归属某个云平台或 CES 架构。结合客户通常以采购订单下单、且可能取消或延迟的披露，需求信号呈现双重特性：当系统厂收入与上游不可撤销采购同步时，供应链活动更具体；但客户订单并非长期承诺，单个客户比重越高，跨季度波动越可能被放大。该关系是可检验的解释，而非对未来销售的预测。若后续季报显

SVSAC | sv-sac.org

示机架出货增长而应收、库存或取消义务加速，也应重新评估增长的现金兑现和供货广度。[59]

12 第十四章　家用能源电子：本土制造、政策驱动出货与电芯来源

CES 把家庭储能、微型逆变器、能量管理软件与电动汽车充电展示为一个互联产品场景，但其上游需求不是一个单一“家用电池”数量。典型系统把光伏组件的直流输出经微型逆变器转换为交流电，依靠网关和计量设备监测支路，再由电池逆变器进行双向充放电；控制软件依赖电价、负载、备电状态和电网连接条件设定策略。组件、逆变器、储能电芯、功率变换器与软件网关可能来自不同供应商，住宅安装商则承担现场配置、验收与并网流程。因此，某一供应商在美国制造微型逆变器、向美国客户发货或报告美国收入，都不表示整套家庭能源系统的全部器件在美国制造，或客户已完成安装并持续使用。[63][64]

Enphase Energy 在 2026 年第二季度公告中报告出货约 159 万台微型逆变器，对应直流侧容量 725.2MW，并出货 113.8MWh 电池；其中约 158 万台微型逆变器和电池逆变器从德州与南卡罗来纳州设施发出。这是供应商实际出货与两个美国发货设施相结合的正面证据，优于 CES 产品概念或研发路线图。但发货地点仍不能证明每颗芯片、功率器件或电池材料的原产地；DC 额定容量也不能与交流额定功率或安装后的可用容量混用。公告没有逐 SKU 披露美国州内生产比例、最终客户地址、渠道库存变化或现场验收数量。[63]

出货、收入和终端政策窗口出现背离，是识别上游需求周期的重要反例。Enphase 第二季度收入为 2.919 亿美元，低于 2025 年同期的 3.632 亿美元，降幅约 19.6%；美国收入为 2.269 亿美元，去年同期为 2.713 亿美元。公司把美国市场同比下降主要归因于住宅清洁能源税收抵免 25D 到期前的提前采购和随后需求回落，同时指出安全港（safe-harbor）微型逆变器发货相关收入由 4,040 万美元增至 8,430 万美元。换言之，季度出货量不必与同期终端安装或收入同向：渠道可能在政策截止日前备货，收入可能在发货时确认，而之后的安装放缓会导致经销商先消化库存。该解释来自公司对业务的归因，并非独立识别出的政策因果效应；公司也未披露每台产品的安全港数量与其后安装转化。[63][64]

供应链国产化也应按零件而非品牌来判断。Enphase 称其已把相当一部分制造转移到美国，但仍在中国和印度使用合同制造；其磷酸铁锂电芯仅由中国的两家供应商供应，并表示正在寻找中国以外的供应来源。这构成一种混合架构：美

SVSAC | sv-sac.org

国本土微型逆变器和电池系统装配可以缩短部分物流、形成美国制造环节，但关键电芯仍集中于少数境外来源。若政策要求或客户偏好提高美国本土价值含量，约束可能从成品装配转移到电芯、功率半导体、磁性元件和电池管理器件；供应商披露没有给出各部件成本占比，因此不能计算整机的国产含量或供应中断影响。[64]

库存与地域收入有助于分辨备货和终端吸收，但仍不能代替安装数据。2026 年 6 月 30 日，Enphase 披露库存总额 2.850 亿美元，其中成品 1.910 亿美元、原材料 9,302 万美元、在制品约 100 万美元；2025 年末总库存为 2.880 亿美元。公司库存总量较年末略降，但出货变化必须分产品比较：第二季度微型逆变器单位数同比增长约 4%，同期电池出货由 190.9MWh 降至 113.8MWh，下降约 40%。不同产品的相反变化不能合称为系统总出货上升，也不足以确认整体渠道去库存；该库存表覆盖公司自身存货，并非经销渠道或零售安装库存。公司第二季度国际收入 6,500 万美元，同比下降约 29%，归因为欧洲市场疲软及采购延迟；美国收入也下降。一个可检验的机制是：美国本土生产支持政策推动供应能力，但居民购买仍受税收抵免时点、利率、安装商融资、并网周期与渠道库存影响。若此后安全港发货回落而美国收入和安装量恢复，在排除价格、产品组合、渠道补库存及其他政策变化等替代解释后，才可能更支持政策前置需求的解释；这一后续组合本身不是其唯一识别条件；若收入持续降而库存升，则可能出现供给超过吸收。现有材料只支持截至申报期的有限判断，不支持全年安装预测。[64]

产品规格进一步说明 CES 展台上“家庭能源系统”不是一个可简单替代的标准盒子。Enphase 披露的新型商用 IQ9S 三相微型逆变器面向 480Y/277V 系统，IQ9N 采用氮化镓功率器件，额定连续直流电流为 16A、交流输出约 427VA；其 IQ10C 电池系统按 10kWh 模块扩展，最多可组成 80kWh，连续功率约 7.1kVA，并标示 90A 启动能力。[64] 微型逆变器逐块跟踪组件，可降低串列失配并在组件级提供监控；集中式或串式逆变器则以较少的功率转换设备服务多个组件，可能降低单瓦设备数，但更依赖串列设计和遮挡条件。住宅存储还必须与逆变器功率、备用负载和并网许可匹配。产品发布与参数有助识别电源模块、功率开关、滤波磁性器件和电池管理的上游需求方向，但未公开的年度出货、客户采购或美国制造投入，不可由规格推算。对于 CES 的横向比较，关键不是把一个品牌功能列表当作市场份额，而是看供货与安装能否穿过渠道、政策和电网接入约束。[63][64]

SVSAC | sv-sac.org

13 第十五章　边缘物联网芯片：终端增长与晶圆制造地点的分离

CES 展出的工业视觉、机器人、智能家居网关和联网零售设备，常把传感器、无线连接、应用处理器、AI 加速和软件栈收进一个“边缘智能”叙事。上游芯片需求仍要分为不同器件功能：射频前端负责在具体频段收发并匹配天线；基带或连接芯片处理协议与调制；应用处理器执行操作系统和业务逻辑；NPU 承担本地推理；PMIC、存储和安全元件则支撑供电、缓存与可信启动。集成 SoC 可减少板级器件、功耗和连接复杂度；分立模块便于更换射频频段、传感接口和长期认证，适配工业设备寿命。产品平台的“可配置”并不自动意味着所有选件都在单一芯片上，也不等于终端厂已下达美国采购订单。[65][66]

Qualcomm 的 FY2026 第三季度 10-Q 展示了终端市场分类可以如何变化。其 QCT 部门第三季度收入为 85.04 亿美元，低于去年同期的 89.93 亿美元；IoT 分类收入 18.30 亿美元，高于 16.81 亿美元，约增长 8.9%。前三季度 IoT 收入累计 52.44 亿美元，对比去年同期 48.11 亿美元。汽车业务增加和 IoT 增长与手机业务下降并存，说明芯片供应商收入不能被简化为单一“AI 芯片热潮”。但 IoT 收入按终端行业归类，并未披露美国客户、美国最终部署、晶圆厂原产地或 CES 产品型号；将其当作全行业或美国边缘设备采购增速都超出申报能支持的范围。[65]

Dragonwing IQ-X 系列为工业边缘端提供了一个具名技术例子。Qualcomm 在 2025 年 11 月宣布，该系列是面向 PLC、HMI、边缘控制器、Panel PC 和 Box PC 的工业级处理器，基于 4 纳米工艺，采用 8 至 12 核 Oryon CPU，最高 45 TOPS 的 AI 能力，标示工作温度范围为−40°C 至 105°C；芯片适配标准 COM 模块形态，配套 Windows 11 IoT Enterprise LTSC、CODESYS、EtherCAT、Qt 以及 ONNX/PyTorch 运行时。[66] 这些条件指向具体的设备工程约束：工业处理器必须处理长生命周期供货、宽温运行、现场总线互操作、实时控制和模型部署；模块化 COM 可把处理器与主板 I/O 分离，有利于升级计算模块而保留已有载板。相比消费级手机 SoC，这种产品的单位量可能较小，但客户资格周期、软件兼容和温度认证更长，单个设计导入也不等于大规模出货。Qualcomm 称 Advantech、congatec、NEXCOM、Portwell、SECO 和 Tria 是首批采用者，并表示商业设备将在随后公布；该公告支持生态采用意向，不提供这些厂商已交付的产品数或订单金额。[66]

另一条产品线 Dragonwing Q-2390/IQ-2390 于 2026 年 9 月发布，Qualcomm 将 Q-2390 描述为面向商用、企业和消费类联网设备的边缘智能处理器。[67] 该产品说明“边缘 AI”不是单一工业控制市场：同一芯片供应商可能面向网关、视觉终端

SVSAC | sv-sac.org

和消费设备，不同类别的外壳、摄像头通道、无线制式、功耗和软件维护要求都不同。芯片厂公布可运行的终端类型，是技术供给证据；若没有已宣布设计赢单、量产设备或可核订单，它还不足以证明特定上游器件的现实需求。甚至设计采用也不必然对应独立器件采购：集成式处理器会替代外置协处理器或无线模块，给一个部件供应商带来增长，同时压低板上其他器件的需求。因而 CES 分析应按系统配置识别互补品与替代品，而不能把每个新 AI 功能都转成新增器件数量。[67]

最明显的地域错配发生在无晶圆厂芯片设计与实际制造之间。Qualcomm 披露其采用无晶圆厂商业模式，没有自有晶圆厂（部分 RF 前端产品有例外），依赖第三方进行晶圆制造、封装和部分测试，主要代工厂及仓储设施集中在亚洲；公司亦承担多年度产能采购承诺，并披露预付给晶圆代工厂的款项会随预付款、晶圆交付及投资安排波动。[65] 这说明美国总部的芯片公司可以拥有技术设计、软件栈和客户关系，却依赖亚洲晶圆、封装和测试能力。其美国研发与客户支持活动是真实价值链组成，但不应误读为美国境内晶圆制造。供应风险还可能由先进节点集中、少数供应商产能配置及库存节奏放大；而客户设备的最终组装地又可能不同于晶圆制造地。公开财报未把上述芯片的晶圆采购对应到具体美国终端产品，因此不能从 QCT 收入增幅推出美国本土晶圆代工需求。[65]

14 第十六章　半导体工艺上游：洁净材料与设备子系统的不同需求机制

CES 展示的 AI 加速器、汽车计算、先进边缘 SoC 和高速网络器件，背后依赖晶圆制造与封装工艺；这条上游链中至少有两类供应商，其收入机制不同。Entegris 出售高纯化学品、过滤与流体控制产品、CMP 耗材及晶圆载具，产品被嵌入清洗、沉积、刻蚀、抛光和晶圆搬运流程；MKS 则提供射频电源与匹配网络、真空压力和流量控制、激光和光子设备部件等，作为工艺设备的功能子系统。前者更接近持续消耗或替换的材料和污染控制产品，后者更接近随设备采购、升级和产能建设变化的资本设备部件。二者都可能是芯片制造的瓶颈投入，却不能用同一出货指标衡量，也不能把一家公司收入增长直接映射成 CES 所示某种芯片的美国采购额。[68][69][70]

Entegris 在 2026 年第二季度报告收入 8.832 亿美元，高于去年同期 7.924 亿美元；前六个月合计 16.951 亿美元，同比增长约 8.3%。其 Advanced Purity Solutions 分部第二季度收入 5.146 亿美元，同比增长约 17%，公司称增长来自液体和气体

SVSAC | sv-sac.org

过滤净化、FOUP 晶圆载具及流体管理产品；Material Solutions 收入 3.713 亿美元，同比增长约 5%，并归因于先进沉积材料、特种材料、选择性刻蚀化学品和 CMP 耗材需求。[68] 这些产品与先进逻辑和存储制造的工序相关，但从供应商收入不能反推出某个终端芯片订单：过滤芯寿命、化学品补充、载具周转、客户库存和晶圆开工率共同决定采购节奏，且供应商未公开按 CES 产品或晶圆厂拆分的出货。更有信息量的研究单位是工艺步骤与耗材周转，而不是“AI 芯片数量×材料系数”这种没有 BOM 和良率依据的推算。

地域拆分为“行业增长即美国增长”的推断提供了反证。Entegris 前六个月按客户所在地区披露：北美收入 2.861 亿美元，低于上年同期 2.929 亿美元；台湾收入 4.333 亿美元，高于 3.509 亿美元，增幅约 23%；中国收入 3.161 亿美元，基本持平；韩国、日本与东南亚则各有不同增速。[68] 北美地区不是美国，且客户所在地不是生产地或最终芯片销往地，但此表至少显示其全球材料与过滤收入扩张并未在北美同步发生。它不能证明美国半导体产能需求收缩：北美订单可能由全球采购中心、分销商或跨国客户记录，晶圆厂资本项目也可能在建厂初期先采购设备而后才形成稳定耗材收入。正确的结论范围是地区客户收入结构分化；若要估计美国工厂材料采购，需要美国厂址、产品组合、采购主体和交付年度等数据，而公司没有给出这些对应关系。[68]

MKS 的 FY2026 第二季度业绩显示了设备子系统与先进封装相关收入的另一种弹性。公司报告季度总收入 12.48 亿美元；半导体部门收入 5.54 亿美元，去年同期 4.32 亿美元，增长约 28%；电子与封装部门收入 3.81 亿美元，去年同期 2.66 亿美元，增长约 43%。公司将增长与 AI 驱动的半导体和先进封装投资、订单改善相联系。[69] 这些是公司管理层的市场归因和分部收入，不是经 CES 买家确认的美国订单。部门分类还覆盖多类客户设备与工艺，不等同于纯粹的封装设备或美国收入。以光刻、刻蚀、薄膜沉积和先进封装为例，设备商可能分别需要射频功率、压力控制、气体流量控制、激光钻孔等子系统；子系统厂收入可能先于晶圆厂量产体现设备交付，也可能因设备商库存、备件需求和售后服务而延后。季度收入比单一展品更接近商业活动，但仍无法指出具体设备的美国厂址、整机采购人或最终节点产能。[69][70]

子系统的技术机制解释了为什么“设备部件”不是普通电子配件。MKS 的射频电源和匹配网络用于等离子体刻蚀过程的射频供能，压力控制器与质量流量控制器则服务于腔体压力和气体输运；公司称刻蚀中的选择性关系到芯片质量与良率。[70] MKS 还将动态频率调谐作为部分射频发生器的可选能力，官方产品信息称其调谐时间低于 50 微秒，并给出适用功率和频率范围；这说明供应商在尝试缩

SVSAC | sv-sac.org

短等离子体负载变化后的阻抗调谐时间，但属于供应商产品性能陈述，不是独立基准测试。[72] 同时，Entegris 的高纯过滤与流体输送控制的是污染颗粒和痕量杂质，CMP 研磨液与后清洗则影响平坦化后的残留和表面质量。[68] 两类供应品在同一工艺链上互补：设备控制能建立合适反应环境，纯度管理和清洗耗材保证过程可重复。以下供应商切换机制是本篇基于工艺功能提出的分析推断，并非已测得的资格周期：射频/真空子系统往往要与设备平台和工艺配方共同验证；过滤和化学品则需满足材料兼容、污染控制和批次一致性。换供应商可能分别触发设备再认证或材料重新 qualification，潜在迁移成本不应被误认为永远不可替代。

两家公司过往业绩也表明，AI 需求并不会消除周期和业务组合效应。Entegris 2025 年全年销售额 31.966 亿美元，较 2024 年的 32.412 亿美元下降；公司解释其中包含剥离产品组合带来的收入减少，以及半导体需求偏弱导致的销量影响。[71] 因此，2026 年某分部增长需要与此前基数、收购/剥离和客户库存变化一起观察。对 MKS 而言，AI 引发的设备订单增长可能同时推高半导体、先进封装和电子设备部门，但分部收入不能拆分为 AI 加速器封装、手机 RF 或美国工厂份额。若未来订单增长而收入滞后，可能是设备交付周期、供应商积压订单或客户验收时间在起作用；若收入增长而材料耗材不增，则可能反映设备安装、库存去化或工艺开工率之间的时滞。要把 CES 技术信号转为可审计的美国上游判断，至少需继续追踪公司申报中的客户地域、设备订单、库存、工厂投资、供应商资格和具体产品出货，并保持每个指标的原始统计边界。[68][69][71]

15 第十七章　先进封装的工艺窗口：热机械界面、可测量性与有效良率

先进封装研究需要把技术问题落到实际样品，而不只罗列路线名称。本章考察两个不同对象：用于混合键合准备结构的 SiO_2/Cu 纳米力学计量，以及用于背面供电的微米尺度 TSV 测试结构热机械行为。前者研究铜材料在特定表征条件下的弹塑性，后者测量测试结构中的应力；二者不构成微凸点、扇出和硅中介层工艺的横向性能比较，也没有给出统一的量产良率。本篇由此提出的机制推断是：若某种封装架构使相关材料行为或应力进入关键设计约束，采购方可能需要相应计量与过程验证能力。这个条件推断仍需批次良率、失效归因和客户验收数据检验，不能从样品研究直接推出封装设备订单，更不能声称 CES 展品已经采用这些具体路线。[73][74]

SVSAC | sv-sac.org

2025 年发表、由 NIST 在 2026 年新闻介绍的混合键合计量研究，把一个容易被产能叙述遮蔽的工程问题具体化：铜焊盘尺寸已经进入数微米量级时，材料在制造过程中的塑性和弹性变化要能被量化，才能决定键合前后如何控制形貌与压力。[73] NIST 团队与 Colorado School of Mines、George Washington University 及 Intel 合作，在 SiO_2/Cu 混合键合准备样品上组合接触共振 AFM、单步和多步压痕，测量室温下的弹性模量、纳米屈服应力统计分布和应力–应变曲线，用以分析多晶铜早期塑性行为。关键贡献不是宣称做出了高量产键合工艺，而是说明必要的过程计量本身也需要发展：若材料参数依靠宏观块材或未经验证的模型外推，设计者可能误判键合窗口、界面损伤及工艺间差异。样品接近生产线的制造流程，但研究报告的是样品与计量方法，未报告晶圆批次良率、量产节拍或客户认证结果。[73]

一项面向背面供电互连的 TSV 研究则提供了不同尺度的实体实验。Lyu、Beechem 与 Wei 报告制造直径 1–4 微米的铜填充硅通孔，使用优化的 Bosch 刻蚀消除侧壁 scallop，并以化学镀种子层加电镀填充；随后用拉曼光谱观察 400°C 退火后热应力。作者发现不同直径样品的等效应力均低于 100MPa，并将其归因于拉应力与切向压应力的抵消；固定间距时，较小 TSV 相互作用更弱，应力分布由单峰转为双峰。[74] 这一结果适用于工艺样片和测试结构，显示几何参数、填充质量与热循环会改变局部力学响应；不能直接推成成品封装的疲劳寿命或产线良率。对采购端而言，它提示“TSV 加工能力”必须连同孔径/间距控制、无空洞电镀、退火后的应力表征和后续可靠性验证一起评估。相关材料与镀液、刻蚀设备、量测仪器和先进封装代工存在互补，但研究没有指明供应商、商业产品或 CES 系统采用情况。[74]

热机械翘曲不只在 3D 堆叠或混合键合中发生。Apple 名下美国专利 US11749631B2 描述了一种组合式热界面与加强结构：在芯片热点上方布置高导热、低模量 TIM，在低热流区域使用另一种 TIM；基板加强结构部分采用高温回流时可软化的低温焊料，部分采用 250°C 不可回流胶层。专利权利要求还将封装底面的高温焊球与低温焊料的温度依赖模量联系起来，并提出降低板级回流时翘曲、焊球桥接或润湿失效的方案。[75] 这项专利能具体展示热路径与机械支撑之间如何以材料分区调和：高功率区域要尽量导热，非热点区域和边缘则承担更多支撑；同一封装在室温测试、回流组装和运行温度下的材料状态不同。专利文本是发明方案与权利范围证据，不是实际采用、生产良率或供应商订单证据。它也显示一个替代解释：并非所有高热负载都必须通过液冷或更高导热材料解决，封装层内的材料布局和刚度管理也可改变散热/翘曲权衡。[75]

SVSAC | sv-sac.org

测试与资格是把样片研究转成制造能力的另一道门槛。Apple 专利提到，减小翘曲可帮助室温 pogo-pin 测试，并在高温板级回流时降低小间距焊球的短接或润湿风险；NIST 的聚合物计量项目则指出，行业常缺少足以预测材料在温度、湿度变化环境下表现的数据，现有方法有时依赖过度简化假设，并以建立统一测试方法、开源材料数据和预测模型为目标。[75][76] 这些具体事实说明，先进封装的验证不是单一的“通断测试”：包括裸片/封装电性筛选、接口互连检查、焊球共面性、翘曲测量、温度循环、湿热老化、材料固化动力学和失效分析，且测试夹具、样品尺寸与环境条件决定可比性。若只看到键合设备或材料供应商扩产公告，却没有计量方法、良率窗口和客户认证的可追踪数据，实际有效产能仍未知。反过来，NIST 的研究级样品与标准方法可以降低后续跨供应商比较成本，但其项目本身仍属进行中的研发，不能当作已被量产厂普遍采纳的行业标准。[73][76]

把上述研究与 CES 平台连接时，可得到一个较窄但可操作的上游判断。若机架的 GPU 与 HBM 从并排中介层走向更细间距堆叠，供应商需求可能向低翘曲有机基板、混合键合计量、铜填充与表面处理、热界面材料、封装测试载具和高精度失效分析倾斜；若设计选择保持成熟微凸点或横向 2.5D，则设备与基板要求不同，热管理可能更多依赖封装顶盖、液冷冷板和系统气液流路。两者不是线性的新旧替代：先进键合可提升带宽密度，但也增加表面准备和良率敏感性；成熟互连可能以封装面积和功耗换来较宽工艺窗口。当前公开论文、NIST 工作与专利揭示的是可行机制、计量障碍和设计替代，不足以判断具体 CES 展台采用哪种工艺、更不能量化美国供应商订单。市场跟踪应把材料和设备公告与晶圆厂认证、封装厂实际出货及采购披露并列，等待验证证据而非将技术可能性当作制造能力。[73][74][75][76]

16 第十八章　公共制造投资：从承诺额到拨款节点与实际工厂活动

CES 展台通常展示产品和市场计划，政府项目公告则展示另一种需求信号：公共资金正在为特定工艺、工厂和供应链环节提供资本支持。两者都不能直接换算成上游供应商的已实现销售。对美国芯片与电子制造，至少要分开读取五种金额：法定拨款额度、企业获批的直接资助、最终协议约定上限、政府实际拨付、企业自身已投入资本开支。税收抵免、贷款和州级奖励又各有不同现金流和偿还安排。只有实际设备采购、工地交付、招聘、试产和客户认证，才逐步连接到制造活动；而这些阶段也不一定能在公共公告中统一观察。若把奖项上限当成已花

SVSAC | sv-sac.org

费投资，便会夸大近期设备和材料需求；若只看现金拨付，又可能漏掉公司已先行垫付的建设支出。[77][78]

GAO 在 2026 年 8 月发布的审计报告，为资助承诺与资金流出之间提供了统一截面。截至 2026 年 4 月，商务部对半导体制造激励项目直接资助已拨付 131 亿美元，约为 312 亿美元直接资助授予额的 42%；这是报告“Commerce Disbursed $13 Billion as of April 2026”细节分节使用的分母。同报告 Highlights 对同一 2026 年 4 月截面却写 315 亿美元，两处存在内部不一致，本篇保留并说明所用细节数字，不将差异解释成月份变化。这 131 亿美元包括完成项目里程碑后的拨款，也包括劳动力活动、设计活动和 Intel 按修订协议发生合格成本后的拨付。[77] 因此，这个比值不能解释为“企业只花了 42%”，也不能解释为项目已完成 42%：它是政府拨付与直接资助授予之间的比值。审计明确说明，资金拨付与里程碑、合格成本和特定协议条款相联系，Intel 协议在 2025 年 8 月修改后尤其不同。该数据支持的结论是公共资金已显著流动，但并非总额已一次性注入所有工厂；要估算设备市场的新增采购，还须把拨款日期与企业实际资本开支及供应合同连接起来。[77]

里程碑数据能进一步分辨付款进度和计划时间差。截至该审计截点，11 家获奖企业因完成 24 个项目里程碑取得拨款，其余 125 个里程碑仍在进行；其中 9 个已晚于预期完成日期，但均未超过合同规定的到期日。约一半已完成里程碑按时或提前完成。[77] “预期日期”延误与合同违约并不是一回事：审批过程中材料、设备或施工实际节奏可以偏离最初预测，而正式付款条件仍保留可调整余地。GAO 也记录到部分里程碑实际资本支出与预估不同，因而有的付款比协议列示数额高、有的低。对上游供应商判断而言，这些项目级节点比政策总额更可操作，却仍不是设备发货量；企业可能先订购设备、后达到报销节点，也可能在付款前自筹资本。当前公开的审计信息有助于建立“资助–里程碑–拨付”的时间序列，但不具备每个项目逐月采购清单。[77]

受助对象的工艺分布同样改变上游机会结构。GAO 汇总截至 2026 年 7 月 15 日的 49 个项目：33 项涉及芯片制造，11 项涉及材料生产，9 项涉及组装、测试和封装；这些类别并不互斥，所以项目数合计超过 49。截至同一时点，商务部授予约 317 亿美元直接资金，约占该激励项目可用于直接资助资金的 89%。新增九个项目中，七项属第二轮、均支持半导体供应链材料生产；另外两项属第一轮的芯片制造与封装。项目数不同于受助公司数；官方页面列明 Bosch 加州 SiC、Powerex 宾州功率半导体封装、Corning 高纯熔融石英、Edwards 半导体真空泵以及 Infinera 磷化铟光子器件封装等对象。[77][78] 这为“公共资金不只投晶圆厂，也投

SVSAC | sv-sac.org

耗材、设备和后段工序”提供直接的项目类别证据。它仍无法说明哪家供应商会中标或具体金额如何流向设备订单，因为公开的奖项描述是项目任务，不是供应商采购合同；部分页面措辞为“将支持”或“最高可达”，亦需保留其未来性质。[78]

一个具名工厂说明“资助额–现存员工–新产品试产”需要分别记录。Bosch 于 2026 年 7 月公布 Roseville 的 CHIPS 最终资助协议，最高 2.25 亿美元联邦直接资助，支持其最高 20 亿美元厂区转型投资；公司同时报告新洁净室和制造线、碳化硅样品生产已启动，首批商业化 200 毫米 SiC 芯片计划在 2026 年生产。[79] Bosch 称该址当前有 300 多名员工，并表示会在市场发展基础上评估进一步增长；同一公告还称改造期间保留现有员工并开展培训。现存员工数说明地方制造能力与技能基础已经存在，却不是新项目净增就业数；样品开始生产也不同于汽车厂认可的量产器件、已成交订单或稳定良率。此例的价值在于三个可核实层面并存：联邦最终协议、企业投资承诺和样品产出；同时没有公开客户车型、SiC 器件出货量、每片晶圆良率或联邦拨款累计数。由此可以确认项目已越过纯概念阶段，却不能从公告估算美国汽车或数据中心将购买多少 Roseville 产品。[79]

因此，公共投资最适合作为供给侧能力形成的先行指标，而非 CES 产品的终端订单替代值。分析人员可以把政府奖项的工艺类别、协议金额、里程碑拨款、项目状态与企业申报的资本开支、工厂雇员、设备入场和实际试产并列，观察这些序列是否在同一时段汇合。若拨付额快速增加而特定项目的生产活动或招聘没有相应变化，资金可能用于设计、劳动力准备、既有设备改造或其他合格活动；这不自动意味着政策失败，却意味着近期可售产能仍未形成。若项目已试产、供应商资格完成且客户采购披露相符，才有更强证据支持现实部件需求。GAO 汇总值与公司案例的时间边界不同，不能相加成项目进度；本章只作追踪框架，不对拨款政策的因果效果、制造业增加值或岗位净创造量作未识别的估计。[77][79]

17 第十九章　车载计算与人形机器人：供应商资格、部署边界和替代解释

CES 上的汽车计算平台和机器人演示经常被解读为新一轮零部件需求，但真正可观察的产业信号在于产品进入哪一道验证门、在哪个生产地点完成集成，以及既有供应商关系是否扩大。汽车安全相关计算尤为如此：芯片规格只是约束条件之一，还要经过功能安全流程、软件集成、车辆级验证和各市场法规测试。Qualcomm 与 BMW 于 2025 年 9 月披露，Snapdragon Ride Pilot 已被指定用于 BMW iX3 量产车型；两家公司称联合开发历时三年，系统在 60 个国家验证，涉

SVSAC | sv-sac.org

及摄像头和雷达配置、BMW 驾驶策略协同，以及功能安全、NCAP、FMVSS 127、SOTIF 和网络安全测试。[80] 这比展台样机或未来合作公告更接近可交付的供应商资格证据，因为官方公告明确指向量产车型而非概念车。可是公告并未披露每辆车装载的芯片数、单车价值、采购合同价格或美国客户比例，也没有独立公开的各国验证结果。因而可以确认的是 BMW 平台已把该计算合作带入生产部署，不是美国市场对该芯片的具体采购额。

生产地点构成对“美国需求”推断的重要反例。BMW 原计划 iX3 于 2025 年 10 月底在匈牙利德布勒森工厂开始系列生产；2026 年 7 月，公司又报告该厂已生产第 50,000 辆 iX3 并启用第二班次。[81][82] 这些披露证实计算平台合作落入实际车辆产线，也显示车型爬坡有相当规模；然而首发车辆的装配地在欧洲，不能由 Qualcomm 为美国公司或在美上市推导出芯片在美国制造、美国工厂采购或终端车在美国销售。BMW 所称订单积压反映其全球车型需求，未按国家披露实际交付、芯片来源或美国工厂部件采购。更精确的供应链问题是：设计控制、硅片制造、封装测试、Tier-1 模块集成和整车装配分别发生在哪里，且同一供应商是否服务多个地区版本。公开材料确认了合作和整车产地，却未公开拆分这条链的采购地理信息。将公司总部、产品品牌、装配地点和零件原产地混为一个“美国需求”指标，会把不同经济活动误合并。

人形机器人案例显示，资格不是一次性通过的标签，而是围绕具体任务和产线接口逐步积累。BMW 在 2024 年先于南卡罗来纳州斯帕坦堡工厂开展 Figure 02 数周测试，将金属板件放入焊接夹具；当时公司明确说测试后没有机器人留在厂内，也没有确定未来部署时间表。[83] 这是一项设备安全与任务可行性试验，并不等于订单。随后 BMW 披露，Figure 02 于 2025 年在其美国南卡罗来纳州斯帕坦堡工厂进入十个月试点，协助生产超过 30,000 辆 BMW X3，在每周五天、每日十小时的班次中执行钣金件入夹任务；机器人搬运超过 90,000 个部件，累计行走约 1.2 百万步，运行约 1,250 小时。[84] 公司还称，试点从早期即把生产 IT、职业安全、工艺管理与车间物流纳入规划。[84] 从“短期安全测试”到持续跨班次的生产试点，证据强度确有提升：不仅机器人可重复运动，而且任务嵌入了既有焊装节拍和物流程序。可是数据仍来自企业自己的项目总结，没有披露停机率、人工干预、每小时有效循环、传统机器人对照、维护成本或试点成本，超过 30,000 辆是公司所称机器人协助生产的车型数量，不是机器人独立制造的整车产出量。 同一公告的德国莱比锡项目使用 Hexagon AEON，属于另一项分阶段测试计划；不能把其地点或未来时间表移植给 Figure 02。

SVSAC | sv-sac.org

后续 Figure 03 项目又改变了机器人型号与任务边界。BMW 于 2026 年宣布在斯帕坦堡推进 Figure 03 项目，目标任务是把散装部件从无序容器中拣出并按顺序放到生产用小车，再由自动牵引车和 Smart Transport Robot 送往装配点。[85] BMW 把人形机器人定位为对现有自动化的补充，优先面向单调、符合人体工学负担较重或安全风险较高的工作。[85] 这说明项目的核心问题并非“机器人是否会走路”，而是非结构化料箱、零件朝向变化、容器补给、工位节拍和异常恢复能否共同满足生产需求。与固定式工业机器人相比，人形形态可能在原有厂房中利用人类设计的通道、料架和工具，减少专用围栏或重新布线；但其移动、抓取和安全感知也增加了需要验证的状态空间。BMW 在另一座德布勒森工厂的资料中披露近千台固定机器人，体现其网络内传统自动化的规模，但不能将这一数量移作斯帕坦堡的设备清单；Figure 试点的搬运流程仍把部件送入自动牵引和机器人物流系统，因此“新增人形机器人”也可能只是替换人工的一个小任务单元，或与传统自动化并行，而非替代整套固定自动化资本开支。[81][85]

这两类案例共同揭示买方资格的实际含义：合格对象通常是“供应商–部件–软件版本–车型/工厂–任务”的组合，而不是某家公司抽象地获得一张通用入场券。车载计算系统通过法规与整车测试后，仍可能因区域法规、传感器配置、软件版本或车型平台变化重新验证；机器人在一个工厂执行焊接夹具上料，不自动证明它能在另一座工厂处理不同零件和节拍。Qualcomm-BMW 的量产部署与 Figure 02 在斯帕坦堡的多月试点分别提供了进入量产车型的交付 / 设计导入证据和特定工序实际运行证据；此处的资格框架是分析性描述，并非对未公开正式资格文件的独立认证；Figure 03 仍属于另一个任务项目，且公开数据没有显示商业采购数量。[80][84][85] 对 CES 供需研究而言，这些证据能够帮助判断技术是否已经越过概念展示、台架试验和单次演示，但不能直接转成美国可获得订单。后续观察应优先寻找车型 BOM 或正式采购披露、供应商生产所在地、量产零件出货、产线节拍和替代设备对照；没有这些信息时，结论应限定为特定合作或生产试点已经发生。

Figure 02 在斯帕坦堡的运行数字还允许作一个有限的量纲核查。以 90,000 个部件和 1,250 小时作近似计算，约为每运行小时 72 个部件；1.2 百万步除以 1,250 小时，约为每小时 960 步。[84] 但公司原文是超过 90,000 个部件、约 1,250 小时及约 1.2 百万步，所以这些只是以公布约数计算的参考值，不是精确测得的循环速率或严格上下界。一个部件的搬运也不必然等于一个合格工序循环。公司称试点协助生产超过 30,000 辆 X3；由于部件数和车型数均是带有下限的表述，不能把两个下限相除便声称每辆车少于三次搬运，更不能据此估算单车工时节约。真正

SVSAC | sv-sac.org

可比较的分母应是目标工位的合格件数、人工干预次数及基线人工／传统机器人周期。BMW 没有在该公告披露这些字段，因此试点证明发生了真实生产活动，却不足以建立可复制的生产率或经济性优势。[84]

18 第二十章　综合判断：把 CES 线索转成可检验的上游制造命题

截至 2026 年 10 月 23 日，案例呈现的不是一条由展品直接通向美国订单的单线流程，而是几种可以并存的证据对象。AI 平台公开的部件与互连接口能定位潜在上游制造投入；公司申报的采购承诺揭示特定法人所承担的供应风险；美国工厂公告和资助记录刻画境内能力建设；产品量产和机器人试点则说明某些系统已进入买方验证或生产环节。它们分别回答工程需要、商业义务、地点和交付状态，无法互相替代。以下矩阵归纳本篇主要案例各自已经跨过的观察门槛，并将未能观测的环节留在同一行中，而非把它们拼成貌似完整的链条。[5][15][17][77][80][84]

案例与观察对象	已有公开证据	仍未连上的上游需求关系
Vera Rubin 系统	NVIDIA 公布六芯片架构、HBM4、互连和机架方案；10-K 报告采购及产能义务[8][15][5]	申报义务未按 Rubin SKU、供应商或美国采购地拆分；平台规格不等于各部件已交付[5][15]
美国制造投资	CHIPS 项目记录资助、拨款里程碑；Bosch 报告 Roseville 样品生产和计划商业线[77][78][79]	资金与项目不是供方订单；样品不说明稳定产量、客户资格、良率或客户所在地[77][79]
汽车计算	Snapdragon Ride Pilot 进入 BMW iX3 量产车型；车辆在匈牙利生产并报告产量爬坡[80][81][82]	缺少芯片 BOM、单车价值、供货产地和美国客户份额[80][82]
人形机器人	Figure 02 经历短测后在美国斯帕坦堡开展十个月生产试点；Figure 03 在斯帕坦堡规划不同物	企业试点未公开对照产能、停机/人工干预、采购量或跨任务资格；第二任务不等于规模部署

SVSAC | sv-sac.org

	流任务[83][84][85]	[84][85]
先进封装	研究测量混合键合铜与微型 TSV 的材料和应力行为；专利披露热界面及翘曲控制结构[73][74][75]	研究样片与专利不报告客户量产良率、设备订单或美国生产归属[73][74][75]

矩阵中的缺口不是同一种“资料不足”。在 AI 案例里，产品架构与采购义务都已经披露，关键缺口是两者之间缺少可按 SKU 和供方对齐的物料、订单与生产地信息；先进封装案例的主要缺口则在从可复现的材料研究、设计披露走到稳定客户量产之间；CHIPS 案例观察到公共资助与工厂活动，却没有公开其对私营供方订单的逐笔传导；汽车案例已观察到车型量产，但整车厂装配地点和芯片供应链地理仍不同；机器人案例则连替代效果的基线都未公开。这些差异决定了后续应搜寻不同的证据：采购附注或供应商合同、设备安装和客户资格记录、产线产出与质量披露、车型部件目录，或试点前后的工时和节拍数据。简单增加展商数量、投资总额或新闻公告数量，不能填补对应缺口。[5][73][77][80][84]

基于这些案例，我们提出四个待检验命题，而不把它们当作已被案例证明的规律。第一，若某平台的技术变化提高美国上游采购，应能在足够覆盖相关买卖方、产品周期和地点的数据中找到相应采购义务、订单或交付变化；只有芯片设计商全球收入增长并不足以验证。若覆盖充分的交易记录显示相关采购没有增加或下降，可构成相反证据；若供应商匿名或披露不全，只能判为未获支持或不可识别。即使观察到采购上升，也还须排除其他冲击，才可能归因于 CES。第二，公共资助转化为境内可售能力，应出现工具安装、试产、客户资格、稳定交付等可区分节点；对已充分追踪的项目，若公开确认设备延期或资格失败，应下调近期供给判断，单纯没有新闻不能等同于这些失败。第三，量产技术路线应与相应材料和工艺能力相容；如果完整产品与工艺资料确认仍沿用成熟互连、且未增加所声称的新步骤，可反驳该平台必然新增这些工艺投入的具体命题，不能因未见披露就推定步骤不存在。第四，机器人规模替代应在相同任务下比较合格产出、人工干预、停机和总成本；若可靠对照显示持续依赖高强度纠错，或传统设备以更低系统成本完成同等任务，便削弱其广泛经济替代假设。跨任务推广仍需另行验证。[5][73][74][77][79][84][85]

共同资料边界是 CES 相关目的性公开案例，非参展随机样本或美国制造业调查；上市大公司较可见，私营、匿名合同与客户较少可见。状态按 10 月 23 日前公开文件所述记录，不推其后履约。第 3 章三种美国关联与本章矩阵只有在 SKU、采购主体和实际生产地联结时，才可支持对应需求；行业收入、贸易和资

SVSAC | sv-sac.org

本支出不补这些字段。本篇提供可更新的识别地图，不估美国供方市场或 CES 因果增量。

跨案例最重要的综合发现是“美国关联”与“需求发生地”呈现明显错位，而这种错位各有不同机制。NVIDIA 的采购义务由美国总部法人承担，但芯片供应依赖跨国制造网络，公开披露未将 Rubin 的采购地和终端部署地分开；CHIPS 奖项把资金约束到美国项目，却仍须经过里程碑、工具安装和产品资格才能形成可售产量；BMW 车型采用 Qualcomm 计算合作并已在欧洲工厂爬坡，表明美国企业供方可以服务境外生产平台；Spartanburg Figure 项目则是美国场址中的特定工序研发/部署，但新机器人任务与既有固定自动化并存。[5][15][77][79][80][82][85] 因此，同一组数据对三种判断可能给出不同答案：它可以是美国企业需求，却非美国境内制造；可以是美国境内项目，却尚无已确认买方订单；也可以是境外量产产品使用美国供方，但无法由此推断美国零部件产能。后续验证若发现 Rubin 相关承诺有大比例对应境外采购，需修正“美国本地上游受益”而不否定该平台需求；若 Bosch 的商业产线完成客户认证但以出口为主，应上调美国制造、而非美国终端需求判断；若 BMW 公开北美版供货和生产地点，则能把目前的欧洲部署证据拆成地区版本而不再以全球车型推断美国采购。[5][79][80]

19 第二十一章　六类制造活动的费用结构：从产业总量到可识别的采购问题

展会观察中的“零部件机会”常把半导体、设备、裸板、电子装联和连接器并列，随后默认它们有相似的采购与价值形成方式。这个假定可以用同年、同表、同地域口径的数据检验，而不先指定赢家。本篇从 2024 年 AIES31BASIC01 全国行选择六个 2017 版 NAICS 六位代码：333242 半导体设备制造、334412 裸印制电路板制造、334413 半导体及相关器件制造、334416 电容器、电阻器、线圈、变压器及其他电感器制造、334417 电子连接器制造、334418 印制电路装联制造。选择依据是它们对应前述 CES 案例中的不同供给层次，不是按增长率事后筛选。它们不覆盖全部 CES 上游活动，也没有单独识别 AI、汽车或消费电子。所有行均采用全国代码 0100000US、2024 年和地理类型 01；原始行、标记字段与计算值另存研究包。[195]

比较结果首先呈现出不同量级。半导体设备制造的销售／出货／收入为 140.60016 亿美元，材料总成本 70.48044 亿美元，就业 27,597 人；裸板制造分别为 50.89749 亿美元、21.41410 亿美元、21,627 人；电容电阻及线圈等制造为

SVSAC | sv-sac.org

36.04161 亿美元、14.59881 亿美元、14,312 人；连接器制造为 83.20299 亿美元、38.38278 亿美元、20,573 人；印制电路装联制造为 267.84364 亿美元、187.55001 亿美元、51,850 人。半导体及相关器件制造的相应数字已在第十二章列出。上述金额是行业活动估计，既不等于某家美国上市公司的全球业务，也不等于美国客户购买量。特别是半导体设备的美国境内制造活动，与美国设备商向全球晶圆厂销售、向美国客户设施交付和在海外生产的设备，分别属于不同观察对象。数值接近或偏离企业年报，并不能单凭差额判断进口替代空间。[195]

为了观察结构，本篇计算材料总成本与销售／出货／收入的比值。六类行业依上述代码顺序约为 50.13%、42.07%、44.56%、40.51%、46.13%和 70.02%。印制电路装联这一比值明显较高，但解释不能越过字段边界：它只说明按此调查定义汇总的材料费用，相对于同一行业所报收入的量级较大，并不直接说明装联企业技术含量低、议价能力弱或利润低。产品组合、外购部件价值、外包程度、库存变化和申报活动结构都可能影响该比值，现有表不能分离这些解释。相反，对进入者的可操作含义是提出更具体的问题：报价合同是否包含买方指定料，关键元件由谁采购，价格波动风险由谁承担，库存所有权何时转移。这些是本篇从费用结构提出的待调查问题，不是调查表已观察到的合同事实。若买方供料与供应商自购料混在一起，单看销售额便可能高估加工环节自身能保留的价值。[195]

电力费用提供另一种结构观察。半导体及相关器件制造购电费用 22.26954 亿美元，占该行业材料总成本约 8.54%；设备制造的对应比例约 1.01%，裸板 3.80%，电容电阻及线圈等 2.54%，连接器 0.84%，装联 0.43%。这不是单位产品能耗比较，也不是地区电价排名：表中没有共同物理产量，产品和工艺不同，购电支出还同时受电价、用量和自发电等安排影响。可成立的结论仅是，行业层面的购电费用在这套材料成本分解中具有不同权重。因此，把所有上游企业的成本改善概括为同一种节能技术，会忽略需求机制差别。若供应商声称其产品降低晶圆厂能耗，应把验收指标落到具体设备、工艺步骤、测量基线和合格产出，并检验节省是否被产能利用率或产品切换改变；如果卖的是连接器，则还须解释该器件的损耗变化如何通过系统工况转成可测收益。这里提出的是验证链条，尚未估计任何产品的节能效果。[195]

比较还必须报告不确定性。六个行业收入字段的变异系数分别为 0.8%、5.7%、0.7%、5.8%、1.7%和 2.8%，材料总成本字段分别为 0.8%、6.2%、0.6%、6.0%、1.9%和 2.4%。本篇保留点估计并把结构比值四舍五入至两位小数，是为了可复算，不表示每一位小数都具有经济精度。材料费用和收入来自同一调查，二者存在怎样的抽样协方差在本提取中并不可得，因此不能把两个变异系数直接

SVSAC | sv-sac.org

相加，或假设独立后宣称比值差异统计显著。尤其是相邻的 40%至 50%几个比值，本篇不据此给行业竞争力排位。即使两个点估计相差较大，也仍需先排除定义和产品结构差别，才可能讨论经济机制。将估计误差与定义差异分开，可以防止把“官方数字”误写成没有条件的精确事实。[195]

这组比较对 CES 研究的贡献，是把需要验证的“上游”拆成不同经济对象。设备制造商可能采购自己的零部件、也可能向另一类制造活动出售资本品；装联企业的费用可能包含高价值外购元件；裸板与连接器又是独立的行业活动。它们在产业链上相互交易，所以把六行收入相加，不能得到无重复计算的最终市场规模；将五位父行业 33441 再加上六位子行业，会另添分类层级上的重复。本篇没有作这两种加总，也没有按就业人数反推可进入订单。后续产业调查可据此建立两张相互对应的表：一张记录供给者实际制造什么、发生在哪个经营地点；另一张记录买方采购什么、交付与认证发生在哪个环节。只有出现可核对的产品、交易和地点连接，CES 展品的技术方向才可能转化为针对某类供应商的需求判断。这一研究顺序不预设美国本土制造扩张必然提高某一外国地区的份额，亦允许扩张伴随买方自制、进口来源调整或既有供应商加单等不同结果。[195]

20 第二十二章　当行业点估计与技术热度不一致：跨期比较的反证作用

单年结构还不能回答“需求是否扩张”。为增加一个可反驳的比较，本篇使用研究包留存、原取自 Census 公开目录的 2023 年 AIES31BASIC01 文件，与 2024 年同表按全国、同一六位代码及相同字段对齐。两年均以 2017 版 NAICS 为基础；2023 文件取自当前目录，不取旧发布档案，所以这里讨论的是截至资料截止日可下载的两个年度估计，而非两个时点新闻稿的原始数字。研究包分别保存文件哈希与完整行，避免把下载日期误作统计年度。由于尚未逐项证明所有问项和估计处理完全不变，本篇把计算称为公布点估计之间的名义差异，不将其当作无条件可比的实体数量增减。它的用途是检验一个较弱命题：是否连现有公开统计都显示这些上游行业同向扩张。[195][196]

答案并非如此。按 100×（2024 估计 / 2023 估计- 1）计算，半导体设备制造收入复合字段点估计下降约 3.78%，半导体及相关器件下降约 3.99%，印制电路装联下降约 1.52%；裸板上升约 2.29%，电容电阻及线圈等上升约 3.56%，连接器上升约 11.04%。例如，半导体设备的原值由 14,611,850 千美元变为 14,060,016 千美元，半导体及相关器件由 60,955,236 千美元变为 58,522,249 千美元。这里的收

SVSAC | sv-sac.org

入仍包括原表所称销售／出货／收入，尚未进行价格调整；不同产品的涨跌价与组合变化可以改变金额而不等比例改变物理需求。本篇也没有取得跨期估计协方差，因而不宣称这些点估计差异均显著。即便保留这些限制，“CES 所见科技方向意味着所有美国上游制造收入同步增长”的说法也缺乏这组数据支持。[195][196]

就业点估计进一步显示指标不能互相代替。半导体及相关器件制造就业由 115,955 变为 121,012，约增加 4.36%，同期收入点估计却下降；电容电阻及线圈等制造收入上升而就业由 14,905 变为 14,312，约下降 3.98%。设备制造就业由 28,147 变为 27,597，约下降 1.95%。这些组合可以与投资投产滞后、不同工种配置、产品价格变化或企业活动重分类等多种解释相容，不能单凭一组总量选择其中一种。因此，“招工增加证明订单增长”与“收入下降证明产业撤离”都超出了可识别范围。若要检验某一新工厂机制，应追踪具体经营地点的招聘、设备调试、产品资格、客户验收与可销售出货，并明确这些观察在时间上的先后；行业就业行不能替代这种项目级轨迹。[195][196]

材料总成本点估计的变化也不等同于零部件采购量变化。设备制造约下降 6.34%，裸板下降 7.37%，半导体及相关器件下降 4.29%，电容电阻及线圈等上升 1.96%，连接器上升 4.84%，装联下降 3.57%。根据上一章的成本分解，能源、转售商品和外包加工都可能进入这一字段；金额变化还可能受到投入价格和制造活动组合影响。对候选供应商而言，只有把行业变化与其具体产品、采购方和数量单位连接，才能判断这组反证是否真的适用于自身。有些新平台可以在总行业金额下降时增加对某类新部件的需求，有些旧部件也可能在行业增长时因架构替换而减少。现有行业数据既不证明这两种产品级机制，也不排除它们；它们要求研究者停止用总行业方向直接替代产品采购方向。[195][196]

最后，观察年份决定了该比较能否用于因果论证。2023 至 2024 年的行业差异早于 CES 2026，不能作为展会引发采购的效果估计；本篇仅把它们当作进入 2026 年技术讨论之前的历史背景与同向增长假设的检验材料。展会影响若存在，还可能通过已有研发、此前采购计划或新品发布时点体现，难与长期产业趋势分开。未来研究至少需要可识别的受影响企业、发生在参展前后的产品级订单，以及没有受到同类冲击的比较对象；目前案例集不具备这些条件。把名义年度差异写成背景，而把 CES 的技术信号与订单形成另行验证，可以保留展会观察的价值，同时避免将时间先后和产业关联误写成因果作用。[195][196]

SVSAC | sv-sac.org

21 第二十三章　数据中心液冷：从热负载到可交付的冷板与液路

AI 服务器的高热流密度让液冷进入设备设计讨论，但系统采购对象不是“芯片瓦数”的简单映射。OCP 的冷板系统文件把技术冷却系统（TCS）定义为 CDU、机架歧管、管路、快接头和服务器冷板构成的闭环；CDU 通过换热器把 IT 侧液路与设施水系统（FWS）隔开，后者才与冷却塔、冷水机或园区热回收设施相连。[86][87] 该划分产生至少两层不同的部件市场：服务器侧的铜或铝冷板、微通道、软管、快接、流量/温度传感、漏液绳；设施侧的 CDU 泵、板式换热器、过滤器、控制阀、备用泵与管道。设备厂能销售冷板总成，CDU 厂能销售液液换热单元，设施工程承包商则可能采购水处理和管线改造；同一座机房中这些支出分属服务器 OEM、系统集成商、机房运营者和业主工程预算。因而将 GPU 标称热设计功耗乘以服务器台数，最多得到一个暂定的热负载近似，并不能直接算出 CDU 数量、冷板订单或美国供应商收入。

冷板制造路线本身决定可靠性和成本的取舍。OCP 多成员编制的开发与资格文件列出钎焊、搅拌摩擦焊、软钎焊和 O 形圈密封四种盖板–基座接合方法。[86] 钎焊可承受较高运行压力，并能连接刨削翅片，但钎料化学相容性必须验证，铜基材还会在钎焊中退火而降低刚度；搅拌摩擦焊不使铜整体退火，支持一件式或两件式结构，代价是工时较长、成本较高且需为焊缝/法兰增加材料。软钎焊通常较低成本，但文件指出接头可能脆、存在空洞，且不能把刨削翅片焊接到盖板；O 形圈密封适配复杂流道及非金属材料，但运行压力能力、寿命和抗泄漏水平较低。[86] 这不是单一“先进/落后”排序：小批高压高负载冷板可能接受昂贵接合，成本敏感的复杂水道可能选择另一种密封方式，最终边界取决于泵压、接液材料和维修策略。文件要求资格样品代表真实制造线并覆盖过程控制边界，意味着仅凭展示样件的换热效率不足以推断可售产量；需要看接合空洞、耐压/循环、热阻和批内泄漏失效率是否由量产工艺验证。

水质和材料兼容性把液冷从零件问题扩展为持续运维服务。OCP 的单相冷板水基传热流体指南要求项目方在服务器、施工承包商和流体供应商之间共同确认冷却液配方、接液材料及冲洗、填充和运行监测，并指出测试频率应随系统规模和关键程度调整。[88] 该指南举例给出处理后总溶解固体低于 1000ppm、电导率低于 1500μS/cm（25°C），并建议跟踪变化；铜离子低于 0.2ppm、铁离子低于 0.1ppm 作为监测参照，浓度上升可能提示腐蚀产物，需要实验室检测及处置。[88] ASHRAE 还说明，材料与循环水化学不相容会加剧腐蚀和结垢，非 CDU 系统的机房设计方须与服务器设备团队协调接液材料和水质。[90] 这些数值是针对特定指

SVSAC | sv-sac.org

南工况的运行建议，不是对所有冷却液、所有冷板的全球统一合格线；乙二醇配方、不同金属组合和不同过滤器会改变边界。相应商机不只在首批冷板，还可能包括过滤器、离子/颗粒监测、流体取样、腐蚀分析和维护服务。反过来，现有机房水路材料、设施水温、泵压或维护能力不兼容，也可能使客户继续采购风冷机柜、后门换热器或仅给局部热点液冷，构成对“AI 服务器增加便意味着全液冷”的实际替代解释。[88][90]

从制造样件到客户接收，中间还有能明确观测的系统验证门。OCP 液冷集成与物流文件建议冷板模块供应商提供出厂质量记录；服务器装配时按规定扭矩固定冷板，完成气体检漏，再以最终使用配方灌注液体，在测试机架上运行客户定义的系统测试，至少包含与液体泄漏相关的项目和能够真实负载 CPU/GPU 的压力测试。[89] 文件还区分服务器制造层级：冷板可能随裸机、带快接和漏液检测的服务器交付，也可能先将液冷歧管、机架和机内 CDU 在系统集成商或客户现场部分组装；完整机架的运输重量、流体是否排空、现场接管与调试都会影响交付方案。[89] 2024 年的 CDU 方法又要求将冷却性能以约定格式报告，覆盖温度、过滤、湿度、环境与维护基线，并强调设施水路和 IT 液路的实际条件要一起验证。[87] 因此，工程上有需求不等于当年形成同量采购：CDU 额定散热能力与服务器芯片 TDP 不能一对一相除，因为泵/换热器冗余、入口温度、可用压差、液冷捕获比例、现场改造和负载工况都会改变所需容量；大部分服务器采用混合风液冷时，其余热量仍由风扇和机房空调承担。[87][89] 对美国制造机会的实证，应在公开资料中继续追踪具名客户的冷板 BOM 或供方出货、CDU 验收和机架投运位置，再与供方本土工厂产量对齐。若公开证据只到热设计和样机，结论就应停留在潜在部件需求，而不推导美国采购额或设施数量。

CDU 的名义额定功率也不足以证明现场可承受对应 IT 负载。OCP 方法把机内 CDU 和行级 CDU 区分：前者连接单机架歧管，后者通常覆盖多机架；泵需考虑 N+1 或更多冗余，以便单泵维修/失效时继续供液。[87] 同一方法列举的运行范围为 17–65°C，并将凝露风险、泵寿命、一次与二次回路过滤器分别列入资格条件；这些是供方与买方开展验证的参考基线，最终适用取决于具体部署和制造商保固。[87] 冷板也要以冷却液温度、流量和处理器温限共同定义热性能，OCP 文件建议在不同压力、震动、盐雾和温度循环后重新做耐压检漏与热性能比对；异种金属之间的电位差还会影响电偶腐蚀。[86] 因此采购单位可能是“规定工况下有冗余的可运维机架回路”，而非冷板个数或名义千瓦。即便热负载相同，若两座设施的冗余要求、回水温度、机架布局和冷却负荷曲线不同，其 CDU 配置和可用供应商也会不同。这些条件使得液冷上游机会更可能先表现为系统集成、精密接

SVSAC | sv-sac.org

合、流体兼容和现场调试能力，而不是可从芯片 TDP 直接外推的统一部件市场。[86][87]

22 第二十四章　光互连架构：可插拔收发器与共封装光学的制造和维修边界

这里关注的不是再列一遍 AI 交换芯片带宽，而是光电接口从面板收发模块移到交换 ASIC 旁边后，哪些制造环节和维护责任重新分配。可插拔光模块把光源、光电转换、DSP 和外壳做成可插入面板的独立单元，便于替换、分批升级和多供应商验证；CPO 则把硅光引擎与交换芯片装在同一封装或紧邻基板上，缩短高损耗的高速电通道，改变的是“交换芯片–板级电走线–模块”的边界。[91][92] Cisco 的系统论文把 CPO 系统拆成光引擎、ASIC 封装、光纤阵列、大尺寸基板、电源管理与热组件、光纤线束和外部激光源，并指出可靠量产还须解决光耦合、机械/热设计、服务性和互操作问题。[91] Broadcom 2024 年 Hot Chips 技术报告展示了第二代 51.2Tb/s 开关：8 个 6.4Tb/s 光引擎包含光子集成电路（PIC）、含驱动器和跨阻放大器的电子集成电路（EIC），并以扇出晶圆级封装连接；该设计仍保留 16 个可现场更换的插拔式激光源。[92] 因而，CPO 并非把全部光学都“焊死”在芯片中，而是把需要密集短距电接口的光引擎靠近 ASIC，同时把激光可服务性留在面板。

两条路线的差异会传导至可售制造能力，而不是简单由能耗优劣决定替代。CPO 减少长距离板级 SerDes、连接器和部分重定时器压力，可提高面板带宽密度；相应地，供应链的价值向硅光 PIC/EIC 协同设计、精密键合与扇出 RDL、光纤阵列定位/耦合、外部激光器、清洁与热设计转移。[91][92] 可插拔模块则让运营商能单独更换故障模块、利用成熟端口形式分期部署，且无需为整个交换封装改变服务流程；不过达到更高 SerDes 速率时，模块前的电通道、DSP 和面板功耗会占用系统功率预算。对 CPO 的资格验证也更接近“组件–封装–开关板–光纤连接–机架网络”系统级验证，单测 PIC 并不覆盖热应力、纤芯对准、应变、污染、可现场更换激光器和板级互操作。IBM 研究团队 2024 年预印本报告制造了 50 微米节距聚合物波导接口原型，并称样品通过 JEDEC 可靠性标准；它说明光纤密度工程已有实验样件，却没有报告批量良率、实际数据中心运行时长、维修率或被哪家交换机采用。[94] 因此，专用封装需求可能增加，而传统面板模块数量可能下降；整套光器件价值和美国采购额的净变化不能从单一每比特功耗推导。

SVSAC | sv-sac.org

研究结果也需区分“物理实现”“网络收益模拟”和买方部署。Maniotis 与 Kuchta 在《Journal of Optical Communications and Networking》2024 年文章中，用离散事件模拟比较 all-to-all 和 all-reduce 通信模式，发现特定网络配置下 CPO 可减少交换机数量并提高局部性；作者报告在 1.25 微秒网络栈延迟下，多交换机放置的完成时间最高可比单交换机场景高 68%，256 节点且消息不低于 128KiB 的仿真配置下平均服务器吞吐提升超过 90%。[93] 这不是交换机实测功耗、客户性能或生产验证，而是依赖特定拓扑、流量和延迟假设的离散事件结果。与之相对，Broadcom 在 2024 年的报告将 25.6T 一代标注为已出货的概念验证产品，51.2T 一代仍在资格认证和爬坡；到 2026 年 6 月，NVIDIA 称 Spectrum-X Ethernet Photonics 已进入全面生产，并称 TSMC 负责硅光制造、SPIL 负责封装组装测试、TFC 封装激光器、Foxconn 集成为可交付网络设备，另列多个首批采用者。[92][96] 这表明 CPO 已从实验和认证向系统生产迈进，但后一状态仍是厂商自述，没有公开订单数量、各伙伴供应份额、美国制造比例或客户现场故障统计。NVIDIA 在 2025 年还明确说其 CPO 方案将与可插拔收发器技术并行存在，[95] 提醒研究者应按交换机代际、网络层级和运营维护需求拆分，而非预设单一路线淘汰另一条。

CPO 已形成明确的工程供应链，但公开证据仍难将其映射为美国上游制造订单。NVIDIA 公布的系统生态横跨交换 ASIC、硅光工艺、封装与测试、InP/外部激光、光纤连接器和机架系统集成；制造环节可以分散在多个国家，品牌或设计控制权所在地并不说明芯片/光引擎在哪里做。[95][96] 适合验证需求的比较单位是同一端口速率、链路距离和网络任务下的一台交换系统：记录交换芯片加光引擎封装的生产地点、每个光引擎与外部激光数量、前面板收发器数量、整机配电、故障定位与更换时间、达到同一吞吐和流量模式时的实际能耗。如果 CPO 的链路功耗优势被更复杂的封装返工、较长的停机更换或低制造良率抵消，技术可行并不必然带来更低总成本；若运营商继续购买可插拔方案，可能反映其现有交换机基数、维修备件和多厂牌互操作价值，而非不需要更高带宽。本篇未取得采购合同、产能利用率或真实机房的可比能耗日志，故将 CPO 视为已进入系统生产的潜在上游制造方向，不估算其在美国的采购份额或对可插拔市场的替代比例。[91][93][96]

Broadcom 的技术报告还披露了少见的系统级制造验证细节：TH5 示范机在 4RU 机箱内完成整合，ODM 在制造环境装配；公司对完整 51.2T 交换机的 128 个光口采集前向纠错（FEC）尾部分布，并报告系统无误码运行，同时单独继续优化光引擎和 CPO 测试。[92] 报告所示扇出流程包括重构模塑与研磨、RDL 形成、PIC 贴装和底填、切割、光引擎探针/分选、镜片与散热器组装，以及最终 CPO 系

SVSAC | sv-sac.org

统测试。[92] 这比单个光子芯片的实验更接近制造能力证据，因为测试对象覆盖引擎与交换 ASIC/机箱的接口；但发言材料仍自称正在认证和爬坡第二代，且 FEC 尾部测试是特定演示机数据，不等于长期现场寿命、量产批次良率或已进入客户生产网络。验证“CPO 需求”时，至少应分开记录工艺验证样机、ODM 制造环境完整系统测试、客户网络部署与规模采购，而不能只把“demo 能够运行”记为量产。[92]

23 第二十五章　扩产时间表的反证：英特尔俄亥俄与美光爱达荷项目

上游制造需求的机会论证常把扩产公告中的投资金额、预期产能和供应商落地计划当作同一时间发生的事。两家美国半导体厂商的官方时间表演变说明，项目规模与近期可实现的设备/材料需求必须分开：施工启动、厂房结构完成、设备进场、试产和客户资格分属不同时间点；当运营日程后移时，供应商可能继续从事土建和厂务工作，却尚未进入原定的工艺设备供货窗口。以下只记录企业公开过的原始目标、后续修订和截至 2026 年证据所示状态，不以单次延期推断项目取消或未来需求消失。[97][98][99][100][101][102]

项目	较早公开目标	后续时间表与最新公开状态	对近期上游需求的含义
Intel Ohio One	2022 年宣布两座厂，预期 2025 年投产；当时还称将吸引设备、材料及服务伙伴[97]	2025 年修订为 Mod 1 于 2030 年完成并在 2030–2031 年运营，Mod 2 于 2031 年完成并在 2032 年运营；2026 年公司报告仍称施工放缓、以市场需求和资本效率为导向[98][99]	原有短期工具/耗材需求预期需大幅后移；施工和培训并不证明前道设备已安装或产能已交付
Micron Boise ID1	2022 年宣布 2025 年开始新 DRAM 产出[100]	2025 年公司将首厂 DRAM 产出更新为 2027 年；	2 年级别的时间差可改变供应商排产与收入确认窗

SVSAC | sv-sac.org

		2026 年 9 月称 ID1 计划在 2027 年年中开始晶圆产出，ID2 晚 2028 年[101][102]	口；尚是未来产出指引，不是已开始出片
Micron New York 对照	2022 年宣布超过 20 年投资计划，首阶段 200 亿美元预计在本十年末前实施[103]	2026 年 7 月公司称首个混凝土浇筑节点较原计划提前逾一季度；2026 年 9 月仍预计首批晶圆 2030 年产出[102][104]	土建里程碑提前与生产开始日期不矛盾；工程采购先行并不表示市场供货已提前

Intel 俄亥俄项目最清晰地呈现了“公告规模并非近期订单”。2022 年 1 月，公司宣布至少 200 亿美元投资、两座新厂，原计划 2022 年底开工并于 2025 年投产；同一公告说项目将吸引本地设备、材料和服务供应商。[97] 到 2025 年 2 月，公司将 Mod 1 竣工时间改为 2030 年、运营改为 2030 至 2031 年，Mod 2 改为 2031 年竣工、2032 年运营，并明确称施工将放缓，若客户需求支持仍保留加速空间。[98] 公司 2025–26 年责任报告继续写明新俄亥俄厂建设放缓，并将计划投资同市场需求匹配；还报告其 2025 年主要量产晶圆厂位于亚利桑那、俄勒冈、爱尔兰和以色列，并未把俄亥俄列为量产地点。[99] 这使原始承诺所暗示的近期设备装机与当前已披露产出出现时间错配。但该证据不等于项目取消：混凝土、主体结构、厂务设计、施工设备及本地培训仍可能形成订单；只是这些订单的品类、规模、交付期和本地供方份额未在同一公告中披露。企业称“可随需求加速”也不能作为加速已经发生的证据。

Micron 爱达荷 ID1 形成了另一条、幅度较小但节点清楚的时间修订。2022 年 9 月破土公告把新 DRAM 产出目标放在 2025 年；2025 年 6 月公司公告说首厂已达到若干建设里程碑，但产出排在 2027 年；2026 年 9 月的业绩准备稿进一步给出“2027 年年中”晶圆产出预期，ID2 预计在 2028 年末。[100][101][102] 这里重要的区别是晶圆产出预测而非可销售 DRAM 出货：初始晶圆产出仍须经工艺爬坡、良率稳定、器件测试、后段封装及客户资格，公开公告未给出各阶段产量和客户分配。与 Intel 相比，Micron 最新官方时点更具体，且公司将 ID1 描述为“按计划”；这并未消除相较 2022 年旧目标约两年的延迟，只是表示 2026 年时已按修订后计划前进。对于设备/材料供方，延后可造成建设订单与耗材需求错开年度，但企业可能

SVSAC | sv-sac.org

提前采购、建设库存或将订单转往其他工厂，不能从出片年份直接推算其订单取消额。

Micron 纽约项目提供了必要的反向变化，说明同一家公司不同地点的节奏并不一致。2022 年公司预计在 2020 年代末前完成第一阶段约 200 亿美元投资；2026 年 7 月，公司报告纽约首个混凝土浇筑节点较原计划提前逾一季度，并称由场地准备转入主体结构施工；9 月业绩稿仍把首批晶圆产出放在 2030 年。[102][103][104] 这并非“延期反转为提前量产”，而是施工里程碑和晶圆产出目标属于不同工序的日历：前者超前不表示洁净室、工艺设备、调试或客户产品资格同步提前。它同时说明，延迟案例也不能机械套用为所有美国项目的悲观基线；不同州的环境审查、供应商集群、项目安排及资金节奏都可能让同一企业呈现不同进度。公司公告能核验的是投资计划和里程碑，不公开供方订单/设备入场合同，所以任何“当地设备市场增加多少”的估算都仍无依据。

这些项目只检验“投资公告立即转成供方收入”的一般推理，未与具体 CES 产品合同相连，不能当展会效果的专门反证。对已另行确认关联的项目，工具合同、到货、移交、试产和客户资格分别追踪；明确延期才据其范围更新，缺新闻不等未发生。延期时供方仍增长，须核是否来自既有美国厂、境外厂或存量改造，当前时间表未确认哪一种。订单/收入地点、安装验收、取消延期条款和转用权尚缺，故维持定性判断，不从名义投资推出实现销售。[97][98][100][101]

24 第二十六章　买方验证：从可观察的验收单位到可推翻的需求判断

把技术路线转为可核的上游需求，最有效的研究单位不是新闻稿中的投资额，而是买方按何种对象验收、计量和付款。数据中心运营商买的是可以按时供电、达到冷却工况并接入生产网络的机架系统；服务器 OEM/ODM 买的是按 BOM 配置、通过测试并能在工厂装配的冷板、CDU 和光互连子系统；晶圆厂买的是特定工艺节点的设备、材料与厂务能力；整车厂及制造厂则以特定车型、工厂和任务接受车载计算或机器人。下面把每类买方应寻找的证据、有效分母和可推翻结论的结果对应起来。它是对前文公开案例的验证设计，不代表已获得未公开合同或客户验收记录。[86][87][89][92][97][100][80][84]

买方/验收单位	主要可观察指标与分母	有力的反证或替代解释
云服务商/数据中心业主：已投运机架、网络	按同一 IT 负载和部署条件测 CDU 有效散热能	只公布芯片 TDP 或计划机架数；机架未并网/液

SVSAC | sv-sac.org

端口或已验收 CDU	力、TCS/FWS 流量温差、泵耗与冗余运行；液路记录漏液报警、化学取样、调试和故障；CPO 按端口速率/链路小时记录误码、停链、可服务激光器更换、实际功率及工作负载完成时间[87][88][89][92][93]	路未调试；同吞吐下整机能耗未降；可插拔模块仍因维护和现网兼容继续大量采购
服务器 OEM/ODM/ 系统集成商：逐台通过出厂测试并交付的序列号	每批冷板/管路的耐压、漏检与返工率；冷却液灌注、最终系统测试、运输损伤及交付验收；记录哪些序列号实际装入液冷/CPO 配置、装配地、客户地点和返修结果[86][89][91][92]	样品测试通过但批量良率、客户 BOM 或出货数未披露；冷板在板卡选件中但客户最终选风冷；CPO 演示机运行成功却仍在资格认证
晶圆厂/工艺业主：具名项目的已合格工具、晶圆投入与客户产品资格	将修订后的里程碑、工具到厂/安装、设施水电气交付、试产晶圆、良率爬坡和外部客户资格按厂址逐项定时；供应商收入按项目或产品线匹配[98][99][100][101][102][103]	仅有资助、土建或混凝土节点；设备采购递延或转址；晶圆产出日期为未来计划；ID1/Ohio 一处延期而公司其他厂区采购或升级抵消
汽车买方/制造工厂：特定车型配置或单一生产工序	统计通过该版本/地点资格的部件数、实际安装车辆数、所在装配工厂、供应商出货和售后故障；机器人按任务记录有效合格循环、工人介入、停机、班次可用率并与人工/固定机器人基线比较[80][81][82][83][84][85]	全球车型产量没有部件归因；合作系统只装于欧洲工厂；短期试点的同期总产量被误作机器人贡献；换任务/换工厂后资格不能迁移

SVSAC | sv-sac.org

表中的单位刻意不相同，因为买方验收对象不相同；把所有指标折算成“AI基础设施容量”会隐藏正在被谁购买的零件。以液冷为例，机架功率是热源输入，不等同于 CDU 的可用热交换额定值，更不等同于已验收 CDU 数。后者必须在指定冷却液、供回水温度、流量、压降、冗余和水质条件下测量；OCP 的工程文件分别把冷板耐压检漏、制造过程代表样本、CDU 热性能评级、冗余泵、滤芯和液体监测纳入验证步骤。[86][87][88] 这可以检验“液冷是系统级采购而非单一芯片配件”的判断：若运营商公布大量已供电机架但液路仍未调试，冷板/CDU 制造商不应按 IT 功率同比估算交付；若在相同负载下出现流量不稳、金属离子爬升或漏液返修，则系统风险可能压低重复采购。反过来，已接受的 CDU 数、实际安装的冷板配置和流体服务合约增长，才会支持维持性需求的正面结论。

网络设备买方的检验亦不能只比较供应商所称的每比特功耗。CPO 要与可插拔方案在同一交换芯片世代、端口速率、光纤距离、通信流量、机柜温度及满载时段下比较；计入外部激光器、冷却、控制和整机功耗，分别记录每有效传输比特能耗、误码/停链率和平均更换时间。CPO 的优势若只在模拟网络拓扑或裸光引擎样件上成立，买方还未采购整机；Broadcom 报告里的 ODM 装配演示和 FEC 端口数据、NVIDIA 公司所述全面生产与伙伴分工是更接近系统交付的证据，但仍需客户现场运行时间及订单数量佐证。[92][93][96] 若运营商发现故障后必须更换整个交换机，而插拔式模块可迅速恢复链路，较低光学功耗可能被服务停机和备件库存成本抵消；若外置激光器可单独更换且完整系统在多供应商互操作测试中保持稳定，CPO 采用的正面判断则增强。能同时说明功率、可靠性、维护和供应地点的数据尚未公开，技术节能宣传不能替代买方验证。

对于晶圆厂和整车厂，时间点和地点应与最终产品的实际可售数量关联。Intel Ohio 从 2025 目标移至 2030 年代，而 Micron Idaho 把晶圆产出修订至 2027 年；若相关供应商收入在这些日期之前上升，首先要查它是否来自施工/厂务、提前采购、其他工厂，或此前项目，不可把收入时间序列直接归因给新厂产品。[97][98][100][101][102] 同理，BMW iX3 在匈牙利工厂量产且报出该厂产量，并不能说明美国供应商在美国工厂售出了多少计算模块；Figure 02 约 1,250 小时和超过 9 万个部件搬运只够核查特定试点，不构成整个制造部门的机器人单位需求。[80][81][82][84] 应按供方、SKU、资格版本、客户工厂和实际交付拆分，记下车辆/晶圆/机器人服务小时等分母；可将同工厂、同配置、同期已安装合格部件数除以车辆数作为每车部件强度，并按物料清单解释；不能不加单位就称其为采用率。售后故障数/设备运行小时可另作注明工况、故障定义和暴露口径的故障率指标，不能与部件强度或采用率混用，也不能不加模型假设就称为固定时长的可靠度概率。若只有企

SVSAC | sv-sac.org

业层合并收入而无产品和地理拆分，不能推断美国买方份额；若地点相同但客户资格、物料型号或产品版本不同，也不宜合并成一个订单轨迹。

到本次分析证据截止日，最强的结论是分类型而非总量式的：技术资料足以识别冷板/CDU、CPO、封装和工艺设备的候选制造接口；厂商文件能证明部分产品已从样机或资格阶段进入系统生产、特定车型量产或具名项目施工；历史项目公告及行业数据则表明时间表、就业和成本金额可能与当期销售/可售产能方向不一致。[86][87][92][96][98][102][195][196] 但是公开资料尚未把大多数 CES 产品、美国采购法律实体、供方生产地点与已验收件数连成一条链，故本篇不能负责任地给出单一的“美国上游市场规模”或将设备制造、部件采购、终端销售相加。后续资料若显示真实订单、地区生产和客户验收量，应逐项更新矩阵；若关键证据长期不披露，也应保留可识别、未识别和反证共存的结果，而不是把不可观测部件填为零或按展品规格外推为美国需求。[1][5][86][96]

真正可比较的比率应先定义“通过资格且可归因的部件”，而非将供方营业额视为分子。例如，汽车每车部件强度可写为：在同一工厂、同一车型版本和同一期间，已安装且买方验收的目标部件数÷该配置实际生产车辆数；供应商发货量只能作为交叉核验，因为发货可能进入渠道库存、售后备件或其他国家工厂。该指标的单位是件／辆，若每车物料清单需要多个目标件，比值超过一完全可能；应先核对设计用量，再检查期间、库存、备件和重复计数。若要计算取值 0 至 1 的车辆采用比例，分子须改为装有至少一个目标件且通过验收的车辆数，分母为同配置车辆总数；若仅有全球出货量、没有客户工厂或配置映射，分子不可计算，结论应为不可识别。[80][84] 数据中心可用已接电、液路调试并验收的机架中目标配置机架占比，并将该分子与已验收 CDU 及序列号关联；“宣布容量”或芯片额定热设计功率不能充当已部署机架分母。[86][87] 对晶圆厂设备，则可并列记录到厂、安装、工艺资格、晶圆投入和可销售产出，不能把工具计数单独当成良率或产能。Intel 与 Micron 的延后实例显示，厂房施工、设备时点和产出日程会错位；只有同一厂址、同一节点及相同统计期间的链条才能支持供方收入归因。[97][98][100][102]

三个地理字段与四个交易状态须交叉而非排序：买方法人所在地、实际生产厂址、最终安装使用地；承诺、出货、买方验收、运行资产。美国买方境外采购不证本土制造，美国厂可供海外，终端美国使用也可由进口满足。NVIDIA 客户总部与终端用途、BMW 匈牙利生产和美国晶圆厂日程分别说明不同字段，不能相互填补。[5][80][97][98][100][102][104] 每字段分别保留已证/未证；具名工厂混凝土节点仅证施工，不能由数据库自动变成采购或合格产出。

SVSAC | sv-sac.org

25 第二十七章　从架构用量到采购数量：可审计的物料与库存桥接

前述案例仍留下一个共同的数量问题：如果技术资料能够确认某部件是系统所需，为什么还不能从系统数量直接得到部件订单？关键在于技术用量与企业物料收发属于不同层次。某产品每台需要若干部件，是对设计版本和合格物料清单的陈述；采购订单则涉及下单时点、到货安排、库存、损耗、退货和关联地点流转。Supermicro 的不可撤销采购义务与 Enphase 的分产品出货及公司库存，恰好显示这些变量可以不同向变化。以下提出一套供后续实证使用的数量核算框架，不把公开申报中缺失的字段赋予假定数值，也不称其为已经验证的企业采购模型。核算先固定法律实体、经营地点、物料编号、计量单位和期间；任何一个边界变化都应单列，而非将其吸收到所谓需求增长中。[59][63][64]

在这一固定边界内，设期初可核库存为 B，期末为 E，本期向所研究外部供应商实际接收的物料为 R，由其他来源进入同一库存账户的数量为 I，从该库存账户转入生产的消耗为 C，账户边界内直接报废为 S（C 不含已单列的 S），退给该外部供应商的数量为 D，移出边界的其他数量为 O。若每项出入都按同一实物单位记录且互不重叠，库存恒等式为 B + R + I- C- S- D- O = E，因此 R = C + S + D + O- I + （E- B）。这里 R 是实际接收的毛数量，退货另记 D；它既不是新增订单，也不是扣退货后的净采购。其他来源 I 可以包括集团内转入或按事先定义计入的回收件，但同一件物料不能既记回收流入，又从消耗中再次扣除。若在制品、寄售货或买方供料不在库存边界内，应另建对应账户并说明所有权，不把会计金额和实物件数混在同一恒等式中。 若报废发生于物料已作为 C 移出账户之后，不能再把同一件计入 S；生产退回库存的可用件则按定义记入 I 并保留返工追溯。

这项核算揭示了一个容易被市场叙述抹平的条件。只有在材料编号与设计版本相同、生产消耗可以由合格系统数量解释、损耗和其他流量已知、库存变化得到控制时，单位技术用量才可能成为预测接收数量的组成部分。即便单位用量确定，交付系统数也未必等于本期投料的系统数：在制品、生产周期和返工会造成错期。若资料给的是装机容量、GPU 理论吞吐率或服务器热设计功率，则还没有获得可代入 C 的共同实物单位。若不同 GPU、逆变器和电池容量被合成一个总出货指标，维度错误更早就已发生。该框架要求先解决这些量纲和时点问题，再讨论增长率，而不是用一个总市场增幅把它们掩盖。

一个纯说明性算例可以展示库存的作用，数值不代表任何被研究企业。假设某固定物料账户本期生产消耗 1,000 件，其余流入流出均为零；若期末库存比期

SVSAC | sv-sac.org

初增加 200 件，外部接收量须为 1,200 件。若生产消耗同样为 1,000 件，但库存减少 200 件，接收量则为 800 件。两个场景的技术用量和生产消耗完全相同，实际接收量却相差 400 件。因此，即便一项新平台确实提高单位用量，某季度供方交付也可能因去库存而下降；反之，预购库存可能使交付先于终端消耗上升。这不是对某企业存在囤货的指控，而是说明库存字段为何会改变从技术需求到采购量的推理。要把这个例子用于真实案例，必须取得对应账户的期初期末数量和其他流量，不能只用公司合并库存的美元金额代替。

数量账户沿用上述地域区分，并为每条流量另记法人、发出/接收点及原产地证据。若美国地点外部接收 R 下降而境外关联转入 I 增加，可能只是路由替换，不证明生产消耗减少；R 增加也可能来自海外制造，不能以总部补未知产地。美国接收后出口整机、或美国消费由境外整机满足，均可成立，对本地上游意义不同。这里连接的是流量和地点，不重定义美国市场。

订单、接收和收入还需要各自的桥梁。订单可以被分期执行、改期或取消，采购承诺的金额可能对应不同物料与未来期间；实际接收后也未必马上形成可确认收入，具体取决于合同和履约条件。因此，不能把不可撤销义务余额直接代入 R，不能把供应商收入除以一个展会公布的单价便声称得到部件件数，也不能用买方合并存货判断某一料号的库存变化。对可恢复的后续调查，最小证据集合应包括经过版本控制的物料清单、按期间的实际接收记录、库存对账、退货与报废、集团转移及可核的供应地点；商业价格和收入确认另附合同口径。若公开资料只给其中两三项，报告可以解释缺口和候选机制，但应停止在数量识别之前。[59][64]

本次分析的实质结论因此有两个相互约束的部分。CES 能够把研究注意力引向正在变化的接口、功率、互连、感知和制造能力要求；具体产品、技术研究和生产事件又能把其中一些方向推进为可核事实。但公开材料并没有为所有案例提供同一种采购分母。企业申报、项目审计、工艺样品和行业统计各自支持局部问题，只有在产品、交易和地点一致时才可连接。对河北等潜在供应地区，合理的产业行动不是把技术热度排序直接转换成招商或产能目标，而是让候选企业围绕自己能制造的产品验证工艺能力、客户资格与交付账户。这里提出的核算与反证条件能够使机会判断随新证据上调或下调，而不因先前看好某一赛道就忽略延期、替代或库存变化。它支持的是有条件、可复核的产业判断，尚不支持某个地区已经获得美国市场份额的结论。[59][77][84][195][196]

SVSAC | sv-sac.org

给企业的下一步建议

观察 CES，应把视线从整机热度延伸到上游零部件；制造企业的机会往往藏在具体规格与交付要求中。因此，我们建议把下一步工作收敛为一项有明确交付物的专项任务。

具体起点是：从重点产品倒推材料、部件、工艺和服务需求，再验证现有能力能否满足目标客户。在此基础上，管理层可以按证据充分程度、资源投入与业务影响确定优先级，先验证关键假设，再安排后续合作与投入。

要把上述判断用于实际经营，可以围绕具体产品或项目、目标市场、现有能力和决策难点，进一步形成上游需求图谱、零部件能力匹配、潜在合作对象筛选条件。这类工作需要把行业研究、企业诊断与合作条件核验衔接起来，让分析结果成为管理层可以使用的决策依据。

资料与分析范围

下列说明列明资料范围、分析依据与适用条件，便于读者辨别文中的事实、推演和建议。市场进入、交易安排及适用规则仍需结合具体项目核实。

CES 可以展示科技产品的技术方向，却不能直接识别美国制造业的采购主体、生产地点及零部件订单。本篇考察一个具体问题：哪些公开证据足以把展会信号连接到已发生或有明确条件的上游制造需求？研究以 CES 2026 正式展会资料为起点，将技术架构、供应商公告、证券申报、项目里程碑、专利及技术研究与美国官方制造业统计交叉核对，按事实、分析推断和建议分别表述。对可量化材料，保留原始字段、地域及会计口径、观察时点与计算过程；对无法打开全文的来源，限缩至实际可见的官方信息。案例覆盖 AI 计算与互连、半导体设备和耗材、服务器系统、能源设备、边缘计算、汽车及机器人。研究不把展会规模、公司收入或资本开支相加成统一市场规模，也不以案例集估计 CES 的因果效果。[190][195][196]

主要发现是，技术需求、可核采购和美国境内制造活动之间存在多处不能省略的连接条件。供应商地区收入可能以客户设施、发货目的地或客户总部划分；关联方采购、不可撤销义务和匿名客户集中也各有不同含义。2024 年 AIES 同表六行业的材料费用结构并不相同，而 2023 与 2024 公布点估计的收入方向亦不一致，不能支持所有上游活动同步扩张的概括。先进封装、供电、污染控制和系统集成所引出的制造问题，应在具体工艺、产品资格和交付地点上验证；公开技术性能与专利不能替代量产或市场准入证据。本篇据此将机会判断落实为可反驳的采购问题，而不按展会热度给产业排名。结论受案例选择、企业披露边界、统计时滞

SVSAC | sv-sac.org

与产品级订单不可得限制；美国制造扩张是否转化为特定地区供应商收入，仍需独立的交易与资格证据。[195][196]

SVSAC - sv-sac.org

SVSAC | sv-sac.org

参考文献

[1] Consumer Technology Association (CTA). CES 2026: The Future is Here. 2026-01-09. https://www.ces.tech/press-releases/ces-2026-the-future-is-here (accessed2026-10-23).

[2] U.S. Bureau of Economic Analysis (BEA). Input-Output Accounts. 2026-07-22 (page update). https://www.bea.gov/data/industries/input-output-accounts-data (accessed2026-10-23).

[3] U.S. Census Bureau, Foreign Trade Division. International Trade Data Main Page. retrieved 2026-10-23. https://www.census.gov/foreign-trade/data/index.html (accessed2026-10-23).

[4] U.S. Census Bureau, Foreign Trade Division. USA Trade Online data product catalog. retrieved 2026-10-23. https://www.census.gov/foreign-trade/reference/products/catalog/usatradeonline.html (accessed2026-10-23).

[5] NVIDIA Corporation. NVIDIA Corporation Form 10-K for fiscal year ended January 25, 2026. 2026-02-25. https://www.sec.gov/Archives/edgar/data/1045810/000104581026000021/nvda-20260125.htm (accessed2026-10-23).

[6] Micron Technology, Inc.. Micron Technology, Inc. Form 10-K for fiscal year ended August 28, 2025. 2025-10-03. https://www.sec.gov/Archives/edgar/data/723125/000072312525000028/mu-20250828.htm (accessed2026-10-23).

[7] Apple Inc.. Apple Inc. Form 10-K for fiscal year ended September 27, 2025. 2025-10-31. https://www.sec.gov/Archives/edgar/data/320193/000032019325000079/aapl-20250927.htm (accessed2026-10-23).

[8] NVIDIA Corporation. NVIDIA Kicks Off the Next Generation of AI With Rubin—Six New Chips, One Incredible AI Supercomputer. 2026-01-05. https://nvidianews.nvidia.com/news/rubin-platform-ai-supercomputer (accessed2026-10-23).

[9] Consumer Technology Association / Pila Energy. Pila Mesh Home Battery (CES Innovation Awards 2026 product page). 2026 (award program entry; retrieved 2026-10-23). https://www.ces.tech/ces-innovation-awards/2026/pila-mesh-home-battery/ (accessed2026-10-23).

[10] Consumer Technology Association / EcoFlow. DELTA Pro Ultra X Whole Home Power Solution (CES Innovation Awards 2026 product page). 2026 (award program entry; retrieved 2026-10-23). https://www.ces.tech/ces-innovation-awards/2026/delta-pro-ultra-x-whole-home-power-solution/ (accessed2026-10-23).

[11] Consumer Technology Association / Amprius Technologies. Amprius 520 Wh/kg Cell (CES Innovation Awards 2026 product page). 2026 (award program entry; retrieved 2026-10-23). https://www.ces.tech/ces-innovation-awards/2026/amprius-520-whkg-cell/ (accessed2026-10-23).

[12] Consumer Technology Association (CTA). CES Innovation Awards Program. retrieved 2026-10-23; program page currently describes 2027 cycle. https://www.ces.tech/ces-innovation-awards/innovation-awards/ (accessed2026-10-23).

SVSAC | sv-sac.org

[13] Taiwan Semiconductor Manufacturing Company Limited (TSMC). CoWoS® advanced packaging technology. retrieved 2026-10-23. https://3dfabric.tsmc.com/english/dedicatedFoundry/technology/cowos.htm (accessed2026-10-23).

[14] Taiwan Semiconductor Manufacturing Company Limited (TSMC). TSMC Debuts A13 Technology at 2026 North America Technology Symposium. 2026-04-23. https://pr.tsmc.com/english/news/3302 (accessed2026-10-23).

[15] NVIDIA Corporation, Developer Technical Blog. Inside the NVIDIA Vera Rubin Platform: Six New Chips, One AI Supercomputer. 2026-01-05 (CES launch; page retrieved 2026-10-23). https://developer.nvidia.com/blog/inside-the-nvidia-rubin-platform-six-new-chips-one-ai-supercomputer/ (accessed2026-10-23).

[16] Intel Corporation. Intel Corporation Form 10-Q for quarter ended June 27, 2026. 2026-07-24. https://www.intc.com/filings-reports/all-sec-filings/content/0000050863-26-000157/intc-20260627.htm (accessed2026-10-23).

[17] Taiwan Semiconductor Manufacturing Company (TSMC). TSMC Arizona. retrieved 2026-10-23. https://www.tsmc.com/static/abouttsmcaz/index.htm (accessed2026-10-23).

[18] Jon D. Samuels and Gonca Senel, U.S. Bureau of Economic Analysis. A Value Chain Approach to Measuring the U.S. Production Structure (BEA Working Paper WP2026-01). 2026-01-15. https://www.bea.gov/research/papers/2026/value-chain-approach-measuring-us-production-structure (accessed2026-10-23).

[19] Internal Revenue Service. Instructions for Form 3468 (2025), Part IV—Advanced Manufacturing Investment Credit. 2026 tax-instruction edition. https://www.irs.gov/instructions/i3468 (accessed2026-10-23).

[20] Federal Communications Commission; Electronic Code of Federal Regulations. 47 CFR § 2.803, Marketing of radio frequency devices prior to equipment authorization. current through 2026-10-21. https://www.ecfr.gov/current/title-47/chapter-I/subchapter-A/part-2/subpart-I/section-2.803 (accessed2026-10-23).

[21] Federal Communications Commission; Electronic Code of Federal Regulations. 47 CFR § 2.907, Certification. current through 2026-10-21. https://www.ecfr.gov/current/title-47/chapter-I/subchapter-A/part-2/subpart-J/subject-group-ECFR1d1c20dde929672/section-2.907 (accessed2026-10-23).

[22] Federal Communications Commission; Electronic Code of Federal Regulations. 47 CFR § 15.212, Modular transmitters. current through 2026-10-21. https://www.ecfr.gov/current/title-47/chapter-I/subchapter-A/part-15/subpart-C/section-15.212 (accessed2026-10-23).

[23] U.S. Department of Energy, Office of Cybersecurity, Energy Security, and Emergency Response; Office of Manufacturing and Energy Supply Chains. Battery Energy Storage Systems Report. 2025-01. https://www.energy.gov/sites/default/files/2025-01/BESSIE_supply-chain-battery-report_111124_OPENRELEASE_SJ_1.pdf (accessed2026-10-23).

[24] Pila Energy. The Pila Mesh Home Battery: Product and Technical Specifications. retrieved 2026-10-23. https://www.pilaenergy.com/products/mesh-home-battery (accessed2026-10-23).

SVSAC | sv-sac.org

[25] EcoFlow. DELTA Pro Ultra X Whole-Home Backup Power: U.S. Product Page. retrieved 2026-10-23. https://us.ecoflow.com/products/delta-pro-ultra-x (accessed2026-10-23).
[26] Boston Dynamics, Inc.. Boston Dynamics Unveils New Atlas Robot to Revolutionize Industry. 2026-01-05. https://bostondynamics.com/blog/boston-dynamics-unveils-new-atlas-robot-to-revolutionize-industry/ (accessed2026-10-23).
[27] Boston Dynamics, Inc.; Hyundai Mobis Co., Ltd.. Hyundai Mobis Forms Strategic Collaboration Framework with Boston Dynamics. 2026-01-07. https://bostondynamics.com/news/hyundai-mobis-forms-strategic-collaboration-framework-with-boston-dynamics/ (accessed2026-10-23).
[28] Hyundai Motor Group. Inside the Robotics Race: Atlas Learns the Real World. 2026-09-30. https://www.hyundaimotorgroup.com/en/story/hyundai-motor-group-bloomberg-atlas-boston-dynamics-rmac (accessed2026-10-23).
[29] Consumer Technology Association (CTA). Holographic Windshield Display (CES Innovation Awards 2026 product page). n.d.; CES Innovation Awards2026 listing. https://www.ces.tech/ces-innovation-awards/2026/holographic-windshield-display/ (accessed2026-10-23).
[30] Hyundai Mobis Co., Ltd.. Hyundai Mobis Forms Global Alliance for Next-Generation Display Technologies. 2026-02-03. https://www.mobis.com/en/aboutus/press.do?category=press&idx=6172 (accessed2026-10-23).
[31] Applied Materials, Inc.. Applied Materials, Inc. Form 10-K for fiscal year ended October 26, 2025. 2025-12-12. https://www.sec.gov/Archives/edgar/data/6951/000162828025056742/amat-20251026.htm (accessed2026-10-23).
[32] Lam Research Corporation. Lam Research Corporation Form 10-K for fiscal year ended June 29, 2025. 2025-08-11. https://www.sec.gov/Archives/edgar/data/707549/000070754925000075/lrcx-20250629.htm (accessed2026-10-23).
[33] KLA Corporation. KLA Corporation Form 10-K for fiscal year ended June 30, 2025. 2025-08-08. https://www.sec.gov/Archives/edgar/data/319201/000031920125000024/klac-20250630.htm (accessed2026-10-23).
[34] Intel Corporation. 2025-26 Corporate Responsibility Report. 2026-08. https://www.intel.com/content/dam/www/central-libraries/us/en/documents/2026-08/csr-2025-26-full-report.pdf (accessed2026-10-23).
[35] Micron Technology, Inc.. Idaho U.S. Manufacturing Expansion Project. accessed 2026-10-23; page includes 2026 updates. https://www.micron.com/us-expansion/id (accessed2026-10-23).
[36] Taiwan Semiconductor Manufacturing Company Limited (TSMC). TSMC Arizona. accessed 2026-10-23. https://www.tsmc.com/static/abouttsmcaz/index.htm (accessed2026-10-23).
[37] Intel Corporation. Ohio One Construction Timeline Update. 2025-02-28. https://www.intel.com/content/www/us/en/newsroom/news/corporate/ohio-one-construction-timeline-update.html (accessed2026-10-23).

SVSAC | sv-sac.org

[38] TTM Technologies, Inc.. 2025 Form 10-K for the fiscal year ended December 29, 2025. 2026-02-26. https://www.sec.gov/Archives/edgar/data/1116942/000119312526116064/d100681dars.pdf (accessed2026-10-23).

[39] TTM Technologies, Inc.. Form 10-Q for the quarter ended March 30, 2026. 2026-05-07. https://www.sec.gov/Archives/edgar/data/1116942/000119312526201403/ttmi-20260330.htm (accessed2026-10-23).

[40] Amphenol Communications Solutions. Open Compute Project: Data Center Solutions, Rack and Power Solutions. n.d.; accessed 2026-10-23. https://www.amphenol-cs.com/open-compute-project (accessed2026-10-23).

[41] Amphenol Corporation. IT Datacom: Data Centers. n.d.; accessed 2026-10-23. https://www.amphenol.com/markets/it-datacom/data-centers (accessed2026-10-23).

[42] onsemi. 2025 Form 10-K for the year ended December 31, 2025. 2026-02-04. https://www.sec.gov/Archives/edgar/data/1097864/000109786426000006/on-20251231.htm (accessed2026-10-23).

[43] Texas Instruments Incorporated. TI Unveils Complete 800 VDC Power Architecture for Future Generation AI Data Centers with NVIDIA. 2026-03-16. https://www.ti.com/about-ti/newsroom/news-releases/2026/2026-03-16-ti-unveils-complete-800-vdc-power-architecture-for-future-generation-ai-data-centers-with-nvidia.html (accessed2026-10-23).

[44] Allegro MicroSystems, Inc.. ACS37100 10 MHz TMR Current Sensor with Overcurrent FAULT Detection and Output Voltage Reference: Datasheet, Rev. 4. 2026-08-19. https://www.allegromicro.com/-/media/files/datasheets/acs37100-datasheet.pdf?sc_lang=en (accessed2026-10-23).

[45] onsemi. NVHL040N120SC1 Silicon Carbide MOSFET Datasheet, Rev. 2. 2022-05. https://www.onsemi.com/download/data-sheet/pdf/nvhl040n120sc1-d.pdf (accessed2026-10-23).

[46] onsemi. NVVR26A120M1WSB SiC Power Module for Traction Inverter Datasheet, Rev. 1. 2023-07. https://www.onsemi.com/pub/Collateral/NVVR26A120M1WSB-D.PDF (accessed2026-10-23).

[47] Texas Instruments Incorporated. Bidirectional, Dual Active Bridge Reference Design for Level 3 Electric Vehicle Charging Stations, TIDUES0F Rev. F. 2026-04 revision. https://www.ti.com/lit/ug/tidues0c/tidues0c.pdf (accessed2026-10-23).

[48] Allegro MicroSystems, Inc.. From Amps to Kiloamps: How to Select the Right Current Sensor Architecture and Manage Power Density. 2026-05-13. https://www.allegromicro.com/en/insights-and-innovations/blogs/current-sensors-series/how-to-select-the-right-current-sensor-architecture (accessed2026-10-23).

[49] Pierluigi Sarti; original assignee Facebook, Inc. (now Meta Platforms, Inc. per assignment history). High voltage direct current power system for data centers, U.S. Patent US9622373B1. 2017-04-11. https://patents.google.com/patent/US9622373B1/en (accessed2026-10-23).

SVSAC | sv-sac.org

[50] Desheng Guo, Texas Instruments Incorporated. Evolution of the Power Supply Unit in Data Center Servers and Key Technologies Supporting 800V DC Architecture (Technical White Paper STDA027). 2026-03. https://www.ti.com/lit/STDA027 (accessed2026-10-23).

[51] Jian Xu, Xinxiong Jiang, Yi Bao, Yuchen Zheng, Xuhui Chen, Qiang Xu, Siyang Liao, Deping Ke, and Xiaoqi Gao. Sequential Operating Simulation of Solid State Transformer-Driven Next-Generation 800 VDC Data Center. 2026-01-26 (arXiv v2). https://arxiv.org/pdf/2601.16502 (accessed2026-10-23).

[52] NVIDIA Corporation. 800 VDC Architecture for AI Data Centers. n.d.; accessed 2026-10-23. https://www.nvidia.com/en-us/data-center/technologies/800-vdc-architecture/ (accessed2026-10-23).

[53] Lam Research Corporation. Form 10-K for fiscal year ended June 28, 2026. 2026-08-07. https://www.sec.gov/Archives/edgar/data/707549/000070754926000037/lrcx-20260628.htm (accessed2026-10-23).

[54] KLA Corporation. Form 10-K for fiscal year ended June 30, 2026. 2026-08-06. https://www.sec.gov/Archives/edgar/data/319201/000031920126000027/klac-20260630.htm (accessed2026-10-23).

[55] U.S. Bureau of Labor Statistics. Semiconductor manufacturing exports, top six states, 2025. 2026-08-28 (last modified). https://www.bls.gov/mxp/publications/industry-pamphlets/charts/semiconductor-exports-top-6.htm (accessed2026-10-23).

[56] U.S. Census Bureau. 2024 Annual Integrated Economic Survey (AIES) Data and Methodology. 2026-09-29 data page revision; methodology published 2026. https://www.census.gov/data/tables/2024/econ/aies/2024-aies-tables.html (accessed2026-10-23).

[57] U.S. Census Bureau. E-Stats Methodology: Value of Shipments. 2025-03-26. https://www.census.gov/programs-surveys/e-stats/technical-documentation/methodology.html (accessed2026-10-23).

[58] U.S. Census Bureau. Glossary of Economic Census Fields and Variables: Sales, value of shipments, or revenue ($1,000). 2017 Economic Census; glossary page published 2022-05-16. https://www.census.gov/programs-surveys/economic-census/year/2017/economic-census-2017/about/fieldsandvariables.html (accessed2026-10-23).

[59] Super Micro Computer, Inc.. Form 10-K for the fiscal year ended June 30, 2026. 2026-08-28. https://www.sec.gov/Archives/edgar/data/1375365/000137536526000022/smci-20260630.htm (accessed2026-10-23).

[60] Dell Technologies Inc.. Form 10-K for the fiscal year ended January 30, 2026. 2026-03-19. https://www.sec.gov/Archives/edgar/data/1571996/000157199626000008/dell-20260130.htm (accessed2026-10-23).

[61] NVIDIA Corporation. NVIDIA Kicks Off the Next Generation of AI With Rubin. 2026-01-05. https://nvidianews.nvidia.com/news/rubin-platform-ai-supercomputer (accessed2026-10-23).

[62] NVIDIA Corporation. NVIDIA DGX SuperPOD Sets the Stage for Rubin-Based AI Factories. 2026-01-05. https://blogs.nvidia.com/blog/dgx-superpod-rubin/ (accessed2026-10-23).

SVSAC | sv-sac.org

[63] Enphase Energy, Inc.. Enphase Energy Reports Second Quarter 2026 Financial Results. 2026-07-28. https://www.sec.gov/Archives/edgar/data/1463101/000146310126000080/a2026q2exx991pressrelease.htm (accessed2026-10-23).

[64] Enphase Energy, Inc.. Form 10-Q for the quarter ended June 30, 2026. 2026-08-06. https://www.sec.gov/Archives/edgar/data/1463101/000146310126000081/enph-20260630.htm (accessed2026-10-23).

[65] QUALCOMM Incorporated. Form 10-Q for the quarterly period ended June 28, 2026. 2026-07-27. https://www.sec.gov/Archives/edgar/data/804328/000080432826000086/qcom-20260628.htm (accessed2026-10-23).

[66] Qualcomm Technologies, Inc.. Qualcomm Launches Dragonwing IQ-X Series. 2025-11-13. https://www.qualcomm.com/news/releases/2025/11/qualcomm-launches-dragonwing-iq-x-series--transforming-industria (accessed2026-10-23).

[67] Qualcomm Technologies, Inc.. Qualcomm Introduces Dragonwing Q-2390 and IQ-2390 Processors, Expanding Access to Intelligent Connected Devices. 2026-09-01. https://www.qualcomm.com/news/releases/2026/09/-qualcomm-introduces-dragonwing-q-2390-and-iq-2390-processors--e (accessed2026-10-23).

[68] Entegris, Inc.. Form 10-Q for the quarter ended June 27, 2026. 2026-08-06. https://www.sec.gov/Archives/edgar/data/1101302/000110130226000150/entg-20260627.htm (accessed2026-10-23).

[69] MKS Inc.. MKS Inc. Reports Second Quarter 2026 Financial Results. 2026-08-05. https://investor.mks.com/news-releases/news-release-details/mks-inc-reports-second-quarter-2026-financial-results (accessed2026-10-23).

[70] MKS Inc.. Semiconductor Etching Solutions. n.d.; accessed 2026-10-23. https://www.mks.com/s/semiconductor-etching-solutions (accessed2026-10-23).

[71] Entegris, Inc.. Form 10-K for the fiscal year ended December 31, 2025. 2026-02-19. https://www.sec.gov/Archives/edgar/data/1101302/000110130226000012/entg-20251231.htm (accessed2026-10-23).

[72] MKS Inc.. Dynamic Frequency Tuning (DFT) for RF Plasma Generators. n.d.; accessed 2026-10-23. https://www.mks.com/n/dynamic-frequency-tuning/ (accessed2026-10-23).

[73] Gheorghe Stan, Nicolas A. Alderete, Cristian V. Ciobanu, and Paresh D. Daharwal. Probing the Nanoscale Onset of Plasticity in Electroplated Copper for Hybrid Bonding Structures via Multimodal Atomic Force Microscopy. 2025 (NIST publication record:2025-12-19). https://doi.org/10.1021/acsanm.5c05142 (accessed2026-10-23).

[74] Shuhang Lyu, Thomas E. Beechem, and Tiwei Wei. Thermo-Mechanical Reliability Analysis and Raman Spectroscopy Characterization of Sub-micron Through Silicon Vias (TSVs) for Backside Power Delivery in 3D Interconnects. n.d.; ECTC conference manuscript accessed 2026-10-23. https://s-pack.org/wp-content/uploads/2024/07/ECTC_SL_Final-1.pdf (accessed2026-10-23).

[75] Apple Inc.. Electronic Package Including a Hybrid Thermal Interface Material and Low Temperature Solder Patterns to Improve Package Warpage and Reliability. 2023-09-05. https://patents.google.com/patent/US11749631B2/en (accessed2026-10-23).

SVSAC | sv-sac.org

[76] National Institute of Standards and Technology. Accurate Cure Kinetics, Stress, Mechanical Properties and Warpage. 2024-01-12; updated 2026-10-02. https://www.nist.gov/programs-projects/accurate-cure-kinetics-stress-mechanical-properties-and-warpage (accessed2026-10-23).

[77] U.S. Government Accountability Office. Semiconductors: Commerce Needs Plan to Meet CHIPS for America R&D Requirements. 2026-08-06. https://files.gao.gov/reports/GAO-26-109121/index.html (accessed2026-10-23).

[78] National Institute of Standards and Technology, CHIPS Program Office. CHIPS Program Office Awards. n.d.; updated 2026-08-06. https://www.nist.gov/chips/chips-program-office-awards (accessed2026-10-23).

[79] Robert Bosch LLC. Bosch announces $225 million direct funding agreement with the U.S. Department of Commerce as part of a $2 billion investment in Roseville, Calif.. 2026-07-13. https://us.bosch-press.com/pressportal/us/en/press-release-31424.html (accessed2026-10-23).

[80] Qualcomm Incorporated and BMW Group. Qualcomm and BMW Group Unveil Groundbreaking Automated Driving System at IAA Mobility 2025. 2025-09-05. https://www.qualcomm.com/news/releases/2025/09/qualcomm-and-bmw-group-unveil-groundbreaking-automated-driving-s (accessed2026-10-23).

[81] BMW Group. Efficient, sustainable, digital: New BMW Group Plant Debrecen set to begin series production of the BMW iX3. 2025-09-17. https://www.press.bmwgroup.com/global/article/detail/T0452702EN/efficient-sustainable-digital:-new-bmw-group-plant-debrecen-set-to-begin-series-production-of-the-bmw-ix3?language=en (accessed2026-10-23).

[82] BMW Group. Ramp-up in record time: BMW Group Plant Debrecen produces 50,000th BMW iX3. 2026-07-28. https://www.press.bmwgroup.com/global/article/detail/T0459620EN/ramp-up-in-record-time:-bmw-group-plant-debrecen-produces-50-000th-bmw-ix3?language=en (accessed2026-10-23).

[83] BMW Group. Successful test of humanoid robots at BMW Group Plant Spartanburg. 2024-08-06. https://www.press.bmwgroup.com/global/article/detail/T0444265EN/successful-test-of-humanoid-robots-at-bmw-group-plant-spartanburg?language=en (accessed2026-10-23).

[84] BMW Group. BMW Group to deploy humanoid robots in production in Germany for the first time. 2026-02-27. https://www.press.bmwgroup.com/global/article/detail/T0455864EN/bmw-group-to-deploy-humanoid-robots-in-production-in-germany-for-the-first-time?language=en (accessed2026-10-23).

[85] BMW Group. BMW Group advances the use of Physical AI in production with Figure 03 project in Spartanburg. 2026-06-25. https://www.press.bmwgroup.com/global/article/detail/T0458778EN/bmw-group-advances-the-use-of-physical-ai-in-production-with-figure-03-project-in-spartanburg?language=en (accessed2026-10-23).

[86] Samantha Yates, David Zhou, Edward Kung, and other OCP contributors. Cold Plate Development and Qualification. n.d.; document accessed 2026-10-23.

SVSAC | sv-sac.org

https://www.opencompute.org/documents/ocp-cold-plate-development-and-qualification-with-integrated-comments-pdf (accessed2026-10-23).

[87] Berhanu Wondimu, Edward Kung, David Zhou, Brad Zakaib, and OCP contributors. Liquid to Liquid CDU Test Methodology and Performance Rating, Revision 1.0. 2024-11-01. https://www.opencompute.org/documents/ocp-wp-l-lcdu-test-methodology-performance-rating-r1-pdf (accessed2026-10-23).

[88] Dale Sartor, F. Philip Yu, Craig Myers, Sean Barlett, and Sean T. Sivapalan. Guidelines for Using Water-Based Transfer Fluids in Single-Phase Cold Plate-Based Liquid-Cooled Racks. 2022. https://www.opencompute.org/documents/guidelines-for-using-water-based-transfer-fluids-in-single-phase-cold-plate-based-liquid-cooled-racks-final-pdf (accessed2026-10-23).

[89] Michael Gonzalez, Conrad Wächter, Tommy Brill, Jeff Grau, Tim Marquis, Mathew Archibald, Scott Stammer, and OCP contributors. Liquid Cooling Integration and Logistics White Paper, Revision 1.0. n.d.; revision 1.0; accessed 2026-10-23. https://www.opencompute.org/documents/ocp-liquid-cooling-integration-and-logistics-white-paper-revision-1-0-1-pdf (accessed2026-10-23).

[90] ASHRAE Technical Committee 9.9. Water-Cooled Servers: Common Designs, Components, and Processes. 2019. https://www.ashrae.org/file%20library/technical%20resources/bookstore/whitepaper_tc099-watercooledservers.pdf (accessed2026-10-23).

[91] Sandeep Razdan, Matt Traverso, and Anthony Torza. Co-Packaged Optics Integration for Hyperscale Networking. 2023; posted as IEEE EPS technical article 2025. https://eps.ieee.org/wp-content/uploads/2025/11/Photonics_TC_Co-Packaged_Optics_Final.pdf (accessed2026-10-23).

[92] Manish Mehta. An AI Compute ASIC with Optical Attach to Enable Next Generation Scale-Up Architectures. 2024-08-26. https://www.hc2024.hotchips.org/assets/program/conference/day1/61_HC2024.Broadcom.ManishMehta.v2-NO-VIDEO.pdf (accessed2026-10-23).

[93] Pavlos Maniotis and Daniel M. Kuchta. Exploring the benefits of using co-packaged optics in data center and AI supercomputer networks: a simulation-based analysis. 2024-01-08. https://opg.optica.org/jocn/abstract.cfm?uri=jocn-16-2-A143 (accessed2026-10-23).

[94] John Knickerbocker, Jean Benoit Heroux, Griselda Bonilla, Hsiang Hsu, Neng Liu, Adrian Paz Ramos, Francois Arguin, Yan Tribodeau, Badr Terjani, Mark Schultz, Raghu Kiran Ganti, Linsong Chu, Chinami Marushima, Yoichi Taira, Sayuri Kohara, Akihiro Horibe, Hiroyuki Mori, and Hidetoshi Numata. Next generation Co-Packaged Optics Technology to Train & Run Generative AI Models in Data Centers and Other Computing Applications. 2024-12-09. https://arxiv.org/abs/2412.06570 (accessed2026-10-23).

[95] NVIDIA Corporation. NVIDIA Announces Spectrum-X Photonics, Co-Packaged Optics Networking Switches to Scale AI Factories to Millions of GPUs. 2025-03-18. https://investor.nvidia.com/news/press-release-details/2025/NVIDIA-Announces-Spectrum-X-Photonics-Co-Packaged-Optics-Networking-Switches-to-Scale-AI-Factories-to-Millions-of-GPUs/ (accessed2026-10-23).

SVSAC | sv-sac.org

[96] NVIDIA Corporation. Silicon Photonics Networking for Agentic AI. n.d.; product page accessed 2026-10-23. https://www.nvidia.com/en-us/networking/products/silicon-photonics/ (accessed2026-10-23).

[97] Intel Corporation. Intel Announces Next U.S. Site with Landmark Investment in Ohio. 2022-01-21. https://www.intc.com/news-events/press-releases/detail/1521/intel-announces-next-us-site-with-landmark-investment-in (accessed2026-10-23).

[98] Intel Corporation. Ohio One Construction Timeline Update. 2025-02-28. https://www.intel.com/content/www/us/en/newsroom/news/corporate/ohio-one-construction-timeline-update.html (accessed2026-10-23).

[99] Intel Corporation. 2025–26 Corporate Responsibility Report. 2026-06-17. https://csrreportbuilder.intel.com/pdfbuilder/pdfs/CSR-2025-26-Full-Report.pdf (accessed2026-10-23).

[100] Micron Technology, Inc.. Micron Breaks Ground on Leading-Edge Manufacturing Fab in Boise, Idaho. 2022-09-12. https://investors.micron.com/news/press-release/2022/Micron-Breaks-Ground-on-Leading-Edge-Manufacturing-Fab-in-Boise-Idaho-09-12-2022/default.aspx (accessed2026-10-23).

[101] Micron Technology, Inc.. Micron and Trump Administration Announce Expanded U.S. Investments in Leading-Edge DRAM Manufacturing and R&D. 2025-06-12. https://investors.micron.com/news/press-release/2025/Micron-and-Trump-Administration-Announce-Expanded-U-S--Investments-in-Leading-Edge-DRAM-Manufacturing-and-RD-06-12-2025/default.aspx (accessed2026-10-23).

[102] Micron Technology, Inc.. Fiscal Q4 2026 Earnings Call Prepared Remarks. 2026-09-30. https://investors.micron.com/files/doc_financials/2026/q4/Q4-FY26-Prepared-Remarks.pdf (accessed2026-10-23).

[103] Micron Technology, Inc.. Micron Announces Historic Investment of up to $100 Billion to Build Megafab in Central New York. 2022-10-04. https://investors.micron.com/news/press-release/2022/Micron-Announces-Historic-Investment-of-up-to-100-Billion-to-Build-Megafab-in-Central-New-York-10-04-2022/default.aspx (accessed2026-10-23).

[104] Micron Technology, Inc.. Micron Accelerates U.S. Investments, Pours First Concrete at New York Fab. 2026-07-09. https://investors.micron.com/news/press-release/2026/Micron-Accelerates-U-S--Investments-Pours-First-Concrete-at-New-York-Fab/default.aspx (accessed2026-10-23).

[190] Consumer Technology Association. CES 2026 Audit Shows Four Percent Growth in Participation as Innovators Showed Up in Las Vegas. 2026-03-31. https://www.ces.tech/press-releases/ces-2026-audit-shows-four-percent-growth-in-participation-as-innovators-showed-up-in-las-vegas (accessed2026-10-23).

[191] ZEISS. ZEISS, tesa, Saint-Gobain Sekurit and Hyundai Mobis Form QuadAlliance to Accelerate Holographic Windshield Display Mass Production. 2026-02-03. https://www.zeiss.com/corporate/en/about-zeiss/present/newsroom/press-releases/2026/quadalliance.html (accessed2026-10-23).

SVSAC | sv-sac.org

[192] TTM Technologies, Inc.. TTM Technologies Opens Ultra-HDI Manufacturing Facility in Syracuse, NY, Advancing America’s Defense Electronics Industrial Base. 2026-06-22. https://investors.ttm.com/news-events/press-releases/detail/407/ttm-technologies-opens-ultra-hdi-manufacturing-facility-in (accessed2026-10-23).

[193] TTM Technologies, Inc.. Form10-Q for quarter ended June29 2026. 2026-08-05. https://investors.ttm.com/sec-filings/all-sec-filings/content/0001193125-26-335107/ttmi-20260629.htm (accessed2026-10-23).

[194] TTM Technologies, Inc.. TTM Technologies, Inc. Reports Third Quarter2026 Results. 2026-10-22. https://investors.ttm.com/news-events/press-releases/detail/420/ttm-technologies-inc-reports-third-quarter-2026-results (accessed2026-10-23).

[195] U.S. Census Bureau. 2024 AIES31BASIC01: Manufacturing geographic area statistics, DAT data and field definitions. 2026-09-03 (2024 AIES release index). https://www2.census.gov/programs-surveys/aies/data/2024/AIES31BASIC01.zip (accessed2026-10-23).

[196] U.S. Census Bureau. 2023 AIES31BASIC01 current public manufacturing table and field definitions. 2023 observation year; public directory current files modified2026-09-08. https://www2.census.gov/programs-surveys/aies/data/2023/AIES31BASIC01.zip (accessed2026-10-23).

SVSAC - sv-sac.org

SVSAC | sv-sac.org