

新兴趋势：值得关注新一代技术

本章节探讨人工智能对网络安全防御的影响、用于提高半导体产量的芯粒、电信运营商采用基于云的系统进行现代化改造，以及硅光子技术在人工智能数据中心的应用。

2025年，我们推出了一系列聚焦新兴技术的短篇文章。这些技术趋势通常较我们传统的预测主题更早被采用，尽管当前市场规模相对有限，但具备显著的增长潜力，有望在未来1-2年内发展为主流技术方向。

生成式人工智能与网络安全：风险与机遇并存

网络安全专业人士深知，生成式人工智能在带来网络威胁的同时又能用于开发网络解决方案，因此正在探索如何利用生成式人工智能的力量应对新兴风险，同时帮助强化技术环境。

当前网络攻击日益高发，其中与人工智能（包括生成式人工智能）相关的网络威胁与日俱增。据2024年的一项调研显示，在美国，71%的首席信息安全官认为人工智能的威胁等级为“非常高”或“较高”。¹人工智能正带来一系列挑战，包括监管变化、当前解决方案的有效性遭到破坏，以及对立方人工智能水平的提高，而企业加快应用人工智能又使问题进一步复杂化。

德勤预计，2024年利用生成式人工智能进行的网络攻击频发（较以往增加了一倍甚至两倍），而到2025年网络攻击频率还将持续增长。²生成式人工智能可用于发起多种方式的网络攻击，例如编写恶意网络钓鱼邮件。截至2024年第一季度，这类攻击较2023年同期增长了856%。³威胁行为者现已利用生成式人工智能工具编写恶意软件攻击代码。⁴

但生成式人工智能工具也可作为一股积极力量，帮助抵御或减少新一代人工智能带来的网络威胁。

一些网络行业从业人士担心，生成式人工智能在带来各种益处的同时，也会增加网络风险，因为其作为一种新的攻击载体，增加了攻击面。⁵不法分子可利用生成式人工智能发起多种方式的网络攻击，例如用于生成复杂、高容量的文本型网络钓鱼攻击，以及生成冒充首席执行官或其他C级高管的深度伪造图像和视频。根据调研数据显示，61%的受访企业在去年遭遇过深度伪造攻击，其中75%是冒充高管的网络攻击。⁶对此，多家生成式人工智能解决方案提供商也在设置技术防护栏，以防止其工具被用于生成此类文本和视频攻击，并嵌入数字水印，以便检测、标记或拦截生成式人工智能图像或文本（参阅《2025科技、传媒和电信行业预测》中关于水印和人工智能检测的相关讨论）。

此外,以科技行业为首的众多行业越来越广泛地使用生成式人工智能编码工具,这些工具能够提升程序员的编码效率。⁷但生成式人工智能工具创建的代码可能存在安全问题,根据2023年底的调研数据显示,半数以上(56%)的受访开发人员表示,代码安全问题时有发生,甚至会经常发生。⁸另外,调研还显示,部分开发人员经常绕过公司的编码工具使用政策,往往对生成代码的安全性过于自信,且并未仔细检查所有生成代码以排查安全问题。⁹尽管可能存在安全问题,生成式人工智能编码和安全大语言模型(LLM)也在帮助加快形成成熟、高效率和高效用的安全流程,例如安全信息和事件管理(SIEM)技术中的监控规则自动生成、身份和访问管理领域围绕访问 workflow、配置和第三方风险管理的相关用例。¹⁰

目前,生成式工智能与网络安全交叉融合,监管法规和地缘政治局势随之发生变化。例如,欧盟《人工智能法案》(AI Act)第15条对高风险人工智能系统的网络安全问题做出了明确规定。¹¹此外,自2022年以来,针对已实施有关人工智能(尤其是生成式人工智能)的各项技术存在出口限制,例如用于生成式人工智能模型训练和推理的先进节点半导体、先进芯片制造设备以及设计工具等。¹²

中国持续加强生成式AI相关法规与监管

深度伪造是生成式AI领域面临的重大风险问题,其中具有代表性的“Deepfake”深度伪造技术,尽管在特定领域对社会有益,但也在经济、政治和社会等诸多领域遭到非法滥用,被世界经济论坛发布的《2024年全球风险报告》评为“未来两年全球十大风险”之首。未来防伪大模型将会成为中国深度伪造治理关键。防伪大模型是指利用大模型技术手段,围绕伪造、伪冒检测问题,所构建的复杂模型。相较于传统专家模型,防伪大模型在参数量以及训练数据规模方面展现出显著优势,拥有更为庞大的体量。2024年9月,国内金融领域首个针对Deepfake检测的技术规范《虚假数字人脸检测金融应用技术规范》的推出,为银行业的身份认证和交易验证场景注入了新的安全屏障。2025年,Deepfake检测技术有望在更多行业中得到广泛应用,推动数字安全技术的跨领域标准化与协同合作,成为构建全面数字安全生态的关键力量。

小结

随着生成式人工智能技术与企业的进一步融合,人工智能解决方案提供商应继续专注为最终用户提供安全的产品。不仅要确保产品本身的安全,公司在向第四方(通常是LLM服务提供商)提供自己或其他公司客户数据时也应保持谨慎。

随着欧盟《数字市场法案》(Digital Markets Act)¹³、《数字服务法案》(Digital Services Act)¹⁴和新法《人工智能法案》(AI Act)的出台,监管变得更加复杂。¹⁵科技公司不仅是人工智能的领先开发者,也是广泛使用人工智能模型的部署者。因此,大众可能对科技公司抱有更高期望,认为科技公司应发挥更大和更积极的作用,确保其开发并向企业销售的产品和解决方案中实施的生成式人工智能的可信度和安全性。威胁行为者对生成式人工智能技术的使用和滥用,尤其是在风险加剧、地缘政治分裂、换届选举、战争频发等时期,或将成为2025年及以后日益重要的防御和战略考虑因素。(参阅今年关于人工智能以及公司常用工具信任度的预测文章)

硅芯“化整为零”：芯粒“续命”摩尔定律

芯粒致力于为人工智能和高性能计算环境提供更加灵活、可扩展和高效的系统，同时提高良品率。

德勤预测，基于“芯粒”（当今最先进系统级封装（SiP）的构建模块）的全球先进封装技术收入将从2021年的约70亿美元增至2025年的160亿美元，增长超过一倍。¹⁶与依赖印刷电路板（PCB）上独立互连芯片的传统架构相比，芯粒可实现高速数据传输，降低延迟，优化PPA（功耗、性能和面积），甚至扩展摩尔定律。¹⁷芯粒通常在一些高速增长的市场中进行应用和探索，如人工智能加速器（特别是生成式人工智能）、高性能计算（HPC）和电信应用。

什么是芯粒（chiplet）？

芯片与芯粒有何区别？芯片制造商一般使用直径300毫米的硅晶片（约70,000平方毫米）来制造单晶晶粒（Die），其封装之后我们称之为“芯片”。高端先进芯片的尺寸一般为20毫米*20毫米（或400平方毫米），因此每个300毫米晶圆可切割晶粒数约为175个。但芯粒并非单片芯片——它是一种异构架构，其中更小的晶粒以类似单晶晶粒的方式封装在一起工作。另外，这些晶粒和模块可以来自不同的芯片制造商。¹⁸

为何当前芯粒如此重要？芯粒早在上世纪80年代就已经出现。但直到过去四五年间，行业才开始重新关注芯粒，并开始大规模进入该领域，其中主要原因在于前沿制造节点亟需提高产量。¹⁹随着行业发展日益接近摩尔定律的物理极限，先进芯片的制造变得越来越具挑战性。但芯粒的出现推动了半导体的微型化发展，采用系统级封装技术（SiP）的芯片，其性能可与使用单晶晶粒设计的传统系统级芯片（SoC）相媲美。²⁰

芯片越小、越复杂（如5纳米和3纳米的先进制程节点），在300毫米晶圆上的缺陷率就越高，进而可能影响良率。²¹800平方毫米左右的晶粒用于制造3纳米或5纳米工艺的最先进人工智能芯片，在采用传统单片方法组装和封装时可能只有50-55%的良率，缺陷密度为每平方厘米0.1个缺陷。²²在此情况下，成熟的90纳米和130纳米半制程节点的正常良率在90-95%左右。²³为解决这一难题，芯粒将多个尺寸更小、良率更高的芯片集成为一个整体运行系统，即将180平方毫米尺寸（良率达95%）的小晶粒使用基于芯粒的架构进行封装，能够实现以更低的成本制造出更高效、更强大的人工智能处理器，同时提高产品/功能的灵活性和可配置性，满足不断变化的市场需求。²⁴

随着芯粒应用日益广泛，业内参与者正在寻找更多创新方法来改进设计制程，提高连接速度和带宽，改善能效。例如，业界正在研究数字孪生技术，以逐步模拟和可视化复杂的设计制程，包括芯粒的移动或交换技术，以衡量和评估多芯粒系统的性能。²⁵部分公司引入了一系列在芯片上组装和堆叠分立元件的互连技术，提高了传统大尺寸单片设计效率。²⁶此外，玻璃是一种更灵活、可扩展的有机基板，且在热传导性和每瓦性能方面更加优越，因此业内还在持续研发，探索将玻璃用作芯粒封装基板以用于满足高性能计算和人工智能环境的需求。²⁷行业甚至在探索利用光子学（利用光进行数据传输）作为提供光输入/输出（I/O）的互连解决方案，特别是用以满足HPC和AI工作负载的需求。该项技术可进行高能效和高速度的数据传输与处理（详见“硅光子”的相关预测章节）。²⁸

但与此同时，芯粒架构仍面临着独特的挑战。例如，通过薄基板连接的多个晶粒堆叠会产生热管理问题，导致潜在的电路故障和功率损耗。²⁹此外，随着更多的知识产权集成到这些复杂的封装中，从各地区不同供应商处采购组件或会增加网络攻击的风险，并使底层系统面临新的安全威胁。³⁰

小结

为帮助释放芯粒的商业价值，半导体价值链中的行业参与者应考虑协同合作，缩小差距，共同应对挑战，探索更多增长途径：

设备制造商、代工厂、集成器件制造商、无晶圆厂 (fabless) 公司以及外包半导体组装和测试供应商可进一步加强从晶圆厂到封装产业链的合作伙伴关系，推进共同研发工作。电源和逻辑集成电路制造商以及设计人员应将热管理相关的细微差别纳入考量。³¹

各业内公司还应考虑在行业早期成果（如《通用芯粒互连技术》(Universal Chiplet Interconnect Express) 标准、高带宽内存协议 (High Bandwidth Memory Protocol) 以及线束 (Bunch of Wires) 互联技术) 的基础之上，转向制定芯粒互连和数据互操作标准，推动早期成果的进一步发展。³²

电子设计自动化 (EDA) 公司、芯片设计人员和安全专家可设计开发内置功能的方法，以实现在芯粒层级感知潜在的知识产权盗窃和网络侵权行为，并与供应链的其他环节合作，帮助应对可能影响芯粒的更多威胁和攻击参数。此外，设计人员还应与EDA及其他计算机辅助设计和计算机辅助工程公司合作，加强针对混合系统和复杂异构系统的设计、模拟、验证和确认工具及能力，包括将人工智能技术应用于芯片设计。³³

业务/运营支持系统 (B/OSS)：电信公司对其业务和运营支持系统进行现代化升级

电信公司的后端业务和运营软件市场增长缓慢，但通过采用SaaS、微服务架构、云迁移等方式实现其现代化升级，是目前软件供应商的增长热点，也是电信公司利用5G、光纤和人工智能拓宽业务的重要机遇。

电信公司一直拥有两套独立但重要的电信专用IT系统。分别为业务支持系统 (BSS)，主要用于客户订单捕获、客户关系管理和计费；以及运营支持系统 (OSS)，负责服务订单管理、网络库存管理和网络运营。³⁴这通常是两个部署在本地的独立系统，且一般是定制的硬件定义系统，主要由一系列针对特定服务线（固定/移动）或技术领域（如接入、核心和传输）的个性化和专业化解决方案构成，形成了电信公司分散而复杂的基础设施。³⁵预计在2025年及以后，电信公司将引入更高水平的自动化和智能化以对这些系统进行现代化升级，从而加快增长速度。从长远来看，BSS和OSS甚至可能整合为一个平台。

为何亟需开展现代化升级？按需获取服务和产品的市场发展要求企业重塑客户体验、重新定义产品服务、变革业务模式并重新布局销售渠道。在BSS领域，特别是计费板块，为应对不断变化的客户期望和新的数字收入流，需要开发新的功能来支持以产品和/或客户为中心的计费模式。这种影响或将贯穿整个B/OSS生命周期。

根据德勤分析师的预测，预计到2025年，OSS和BSS市场 (B/OSS) 的全球总收入将从2023年的630亿美元增至约700亿美元，年增长率约为5%。³⁶表明电信公司期望抓住5G独立组网、光纤等带来的潜在创收新机遇。此外，遗留基础设施的维护成本（电信公司花费在集成和定制遗留B/OSS系统方面的IT预算可高达80%）³⁷可能会促使电信公司加快对B/OSS软件的现代化升级。预计B/OSS的软件即服务产品的年增长率约为18%，而云迁移（又称“云化”）业务的年增长率约为21%，这表明BSS/OSS现代化升级下的各种子类型的增长速度是整个BSS/OSS软件行业5%增长率的三到四倍。³⁸

随着现代化升级步伐的加快，业内可通过API和微服务等工具，并利用基于云的软件定义解决方案（这类解决方案符合现有的标准配置并可提供模块化功能）实现BSS和OSS更有效的集成。此外，系统集成有助于电信公司降本增效、创造新的收入来源，提升网络韧性并加强网络和运营安全，以及为未来利用生成式人工智能技术合并系统奠定基础。“以服务为中心”或成为发展关键，因为下一代OSS系统将在每个服务层面（而非每个技术领域层面）上对供应、执行和保证进行协调。这有助于使OSS系统的流程更加“以服务为中心”，同时对技术和支持软件进行横向整合，即将各个技术平台和支持软件集成到一个统一系统，并主要部署在云端。

许多欧洲电信公司在过去数年对B/OSS软件系统进行了现代化升级，并取得了一定的经济效益。但未来新技术部署的目标或将以服务为中心。预计未来几年的大部分增长将来自美洲、中东和北非以及新兴的亚太地区。⁴⁰此外，BSS系统（特别是客户管理系统）近年呈现出向云端迁移的趋势，而OSS的迁移速度则较慢，部分原因在于电信公司对将重要功能转移到新兴系统持谨慎态度，不过，这种情况似乎正在发生改变。⁴¹

小结

或需首先理清“由谁来提供这些新服务？”这一问题。过去，此类服务由各BSS或OSS解决方案提供商和集成商提供，或由公司在内部构建自己的解决方案。随着B/OSS的现代化升级，知名企业软件供应商和超大规模云服务商也在尝试推出相关产品。⁴²他们要想取得成功，或需采用云计算/人工智能的思维模式进行现代化系统集成。

计费转型（B/OSS现代化升级的一个子类型）会产生重大影响，因为流经遗留计费系统的费额高达数十亿美元。部分电信公司高管担心开展计费转型会使该收入置于风险之中。⁴³在开展计费转型的同时，需审慎地平衡这一财务收入基石、调整业务目标并最大限度减少业务中断。我们在《驾驭计费转型的复杂性》一文中，进一步探讨了应对这一难题的考虑因素和选择方案。⁴⁴

在B/OSS的现代化升级过程中，电信公司应设法开源节流。降低成本是现代化商业案例的一个重要目标，但也应抓住网络即服务或融合产品等带来的创收机遇，有助于增强电信公司固定无线接入服务的变现能力。

此外，B/OSS现代化升级还需电信公司整合内部的OSS和BSS系统，采用行业标准应用程序编程接口（API），⁴⁵注重研发运维（DevOps）以控制成本，并引入新兴的人工智能和机器学习（AI/ML）技术。

最后，随着电信公司寻求从相对分散的B/OSS环境转型为更加统一的模式，公司的治理模式也应随之改变。B/OSS曾是工程部门的专属范围，但在其现代化升级的各个阶段节点，应有更多的利益相关方包括人力资源、IT和财务部门参与其中。

硅光子：生成式人工智能实现光速通信

生成式人工智能要求日益提高，硅基光学器件正走出研究实验室，成为数据中心的应用焦点。

德勤预测，用于光收发器的硅光子芯片的销售额将从2023年的8亿美元增至2025年的12.5亿美元，复合年均增长率为25%。⁴⁶ 相较2026年全球芯片的预期销售额6,870亿美元，该等硅光子芯片的销售额所占比重较小，⁴⁷ 但与传统替代方案相比，硅光子芯片可助力生成式人工智能数据中心（与其他数据中心相比，生成式人工智能数据中心需应对海量数据的高速传输需求）实现光速通信、使用更小组件、降低成本、减少能耗、减少热量产生（热管理）。⁴⁸

硅芯片可应用于电气领域，使用通过电线传输的电信号与其他芯片进行通信，或者需连接或结合外部激光器和调制器，利用光子通过光纤电缆传输信号。光纤的带宽通常高于铜线；光信号能够在较少的能量消耗下传输更远的距离。此外，光纤电缆不受电磁干扰，而铜线则容易受电磁干扰的影响。相比铜线，光缆通常更难被窃听或拦截，因此更加安全。不过，传统光子技术存在局限性（主要在成本和尺寸方面），而硅光子技术有望克服该等局限性。⁴⁹

2025年，光子器件制造逐渐呈以下趋势：

- 采用与许多电子芯片相同的材料——硅。
- 采用与许多电子芯片相同材料的基板——硅。
- 采用与许多芯片相同的制造工艺。
- 采用成熟的硅光子生态系统，涵盖设计、制造、代工、测试、封装和组装流程，应与目前硅芯片制造的同类生态系统兼容。

上述趋势使得芯片公司能够在单个芯片上集成电子和光子元件。随着时间的推移，可能会对诸多不同用例产生影响。不过，2025年，预计硅光子技术主要应用于数据中心，尤其是用于运行生成式人工智能训练和推理。多数数据中心的芯片、托盘和机架之间的通信速度低于100G（每秒100千兆字节），而生成式人工智能设备则需以更快的速度传输更多数据——速度要求达到400G，甚至800G——光子技术是最佳解决方案。⁵⁰

需了解一些必要的数据中心背景资料。生成式人工智能数据中心内有许多服务器机架。标准服务器机架宽度为24英寸（600毫米）、深度为42英寸（1066.80毫米）、高度为73.6英寸（1866.90毫米）：这就是所谓的42U服务器机柜（1U代表一个标准机架单元的高度，相当于1.75英寸【44.45毫米】）。⁵¹ 各种芯片和机架需以不同的速度在不同的距离间相互通信，通信距离和速度部分取决于机架尺寸。

因此，硅光子技术在2025年及以后应用前景广阔。不同技术有不同的“甜蜜点”，这主要取决于元件之间的距离，硅光子技术元件之间的距离有一个最佳区域值（大于10厘米且小于10米），与铜或传统光子技术相比，硅光子技术在短期内拥有更大优势，因此近期可能拥有更多收益机会。

托盘上芯片到芯片互连：生成式人工智能机架式服务器配置包含2个GPU和1个CPU托盘，托盘高度为1U或2U，具体取决于所选的冷却技术。2025年，芯片间托盘（距离小于10厘米）通信为电子通信，但随着时间的推移或将发展为光通信。由于可用空间有限（高度为2到4英寸），同时为了降低成本，可能需要使用集成硅光子技术，而非分立光子器件。不过，鉴于芯片间托盘距离极短，2025年，电信号或许已足以实现通信。

机架上托盘到托盘互连: 一个服务器机架可装置18个高度为1U的托盘。这是最密集的配置。每个托盘均需与其他所有托盘进行通信, 通信距离不超过垂直方向一到两米的距离。⁵²据估计, 到2025年初, 每个机架的光学成本将达到约144,000美元。⁵³到2025年下半年或2026年初, 硅光子器件在这一领域的应用将逐步得到推广。

机架到机架互连, 距离较近: 由于各种原因 (电力、冷却、成本), 许多配对服务器机架的密度减半, 相邻机架紧密靠拢, 需在一两米的距离内进行通信。两个服务器机架之间在一定程度上几乎完全可以实现光学通信, 这可能是硅光子技术在2025年迎来的最大机遇。

机架到机架互连, 距离较远: 在超大规模数据中心, 每个服务器机架 (或配对服务器机架) 均需与其他所有机架服务器 (以及各种存储器和处理器) 进行通信: 可能需要数十米甚至数百米长的光纤电缆。硅光子技术可实现高带宽和长距离传输, 并且由于光子器件集成度高, 可降低成本和功耗。⁵⁴虽然成本较高是一个考虑因素, 但预计硅光子技术在短期内不会取代传统光子技术在该应用领域中的地位。

关于硅光子技术的另一个预测: 并购。如果生成式人工智能数据中心持续增长, 尤其是对高速度和低功耗的需求 (均有可能) 持续增长, 且硅光子技术被视为一项日益重要的新兴技术, 则大型企业或将斥资数十亿美元收购在硅光子技术领域处于领先地位的硅光子技术初创企业、公司或其他公司的部门。⁵⁵

尽管本文聚焦生成式人工智能数据中心在加速硅光子需求方面的重要性, 但必须指出的是, 硅光子技术在其其他领域亦有潜在的应用前景。近期最显著的应用机会是为高级驾驶辅助系统 (近期) 和自动驾驶功能 (长期) 制造片上激光雷达装置。⁵⁶

By	Duncan Stewart Canada	Karthik Ramachandran India
	Prashant Raman India	Roger Chung China

1. Srini Subramanian and Meredith Ward, “[2024 Deloitte-NASCIO Cybersecurity Study](#),” *Deloitte Insights*, Sept. 30, 2024.
2. The Deloitte authors make this prediction based on what they are seeing in the market and what their clients are telling them.
3. Duncan Riley, “[Generative AI services have driven a huge surge in phishing attacks](#),” *Silicon Angle*, May 22, 2024.
4. Michael Crider, “[Hackers are now using AI-generated code for malware attacks](#),” *PCWorld*, Sept. 25, 2024.
5. Tiernan Ray, “[Generative AI is new attack vector endangering enterprises, says CrowdStrike CTO](#),” *ZDNet*, June 30, 2024.
6. Ian Barker, op. cit.
7. Faruk Muratovic, Duncan Stewart, and Prashant Raman, “[Tech companies lead the way on generative AI: Does code deserve the credit?](#),” *Deloitte Insights*, Aug. 2, 2024.
8. Snyk, [2023 Snyk AI-generated code security report](#), accessed Aug. 11, 2024.
9. Ibid.
10. Mandy Address, “[Generative AI for cybersecurity: Is it right for your organization?](#),” *Fast Company*, June 17, 2024.
11. EU Artificial Intelligence Act, “[Article 15: Accuracy, Robustness and Cybersecurity](#),” accessed Aug. 28, 2024.
12. Christie Simons et al., [2024 global semiconductor outlook](#), Deloitte, Jan. 22, 2024.
13. European Commission, “[The Digital Markets Act: Ensuring fair and open digital markets](#),” accessed Oct. 6, 2024.
14. European Commission, “[The Digital Services Act](#),” accessed Oct. 6, 2024.
15. European Commission, “[AI Act](#),” accessed Oct. 6, 2024.
16. Deloitte analysis based on data and chart presented in “[Semiconductor – A treasure trove for private equity investors](#),” (June 2024, p. 11). We used chiplet packaging baseline market share for 2021 (24% of the US\$30 billion total market) and applied 22% CAGR to arrive at the 2025 predicted value of US\$16 billion.

17. Moore's Law notes that the number of transistors on an integrated circuit would double every two years but with a smaller increase in cost—translating into nearly twice the superior performance over the previous generation (because of doubling of transistors by shrinking the linewidths) at a marginal additional cost. However, shrinking transistor linewidths is reaching its physical limit. To read further, see: Alchip's "[Moving from SoCs to chiplets could help extend Moore's Law](#)," Sept. 26, 2022.
18. Deloitte's analysis of multiple publicly available sources including product information published by chip companies, as well as articles from sources such as *EE Journal*, *Semiconductor Engineering*, *EE Times*.
19. Based on our analysis of chiplet-based new product announcements and launches from major semiconductor companies (including IDMs, fabless, and chip design players). Chiplets allow multiple functionalities such as GPU, CPU, and memory components to be densely packed on a single chip. Moreover, chiplets have helped deal with the complexity involved in integrating the diverse components with varying manufacturing and packaging technologies coming in from IDMs, foundries, and other component manufacturers from various regions worldwide. To read further, see: Dr. Uwe Lambrette et al., "[Semiconductor – A treasure trove for private equity investors](#)," Deloitte, June 2024.
20. TrendForce, "[\[News\] Understanding 3DIC, heterogeneous integration, SiP, and chiplets at once](#)," March 19, 2024; Alchip, "[Moving from SoCs to chiplets could help extend Moore's Law](#)."
21. Max Maxfield, "[Are you ready for the chiplet age?](#)," *EE Journal*, July 27, 2023.
22. Yinxiao Feng and Kaisheng Ma, "[Chiplet actuary: A quantitative cost model and multi-chiplet architecture exploration](#)," Institute for Interdisciplinary Information Sciences (Tsinghua University, China), April 9, 2024.
23. "[Test & reliability challenges in advance semiconductor geometries](#)" (presentation at 2013 Semiconductor Wafer Test Conference), June 9, 2013. Data for 130 nm and 90 nm based on the chart on page 22 titled "Dramatic rise in systematic yield issues."
24. Deloitte analysis based on our conversations with subject matter experts in the areas of advanced packaging, as well as data and research from publicly available sources, including Feng et al., "[Chiplet actuary: A quantitative cost model and multi-chiplet architecture exploration](#)"; Maxfield, "[Are you ready for the chiplet age?](#)"
25. Ann Mutschler, "[Digital twins gaining traction in complex designs](#)," *Semiconductor Engineering*, June 27, 2024.
26. Eric Beyne, "[Chiplet interconnect technology: Piecing together the next generation of chips](#)," *3D InCites*, July 3, 2024.
27. Bilal Hachemi, "[Glass Core substrates: The new race for advanced packaging giants](#)," Yole Group, June 17, 2024; Anton Shilov, "[Intel's glass substrates advancements could revolutionize multi-chiplet packages](#)," *Tom's Hardware*, Sept. 18, 2023.
28. See section Silicon photonics: Gen AI communicates at light speed.

29. Karen Heyman, “*Thermal challenges multiply in automotive, embedded devices*,” *Semiconductor Engineering*, July 2, 2024.
30. Saman Sadr and Richard Lin, “*Securing the new frontier: Chiplets & hardware security challenges*,” *Universal Chiplet Interconnect Express*, Feb. 7, 2024; Nitin Dahad, “*Chiplets are the latest buzz, but many challenges lie ahead*,” *Embedded*, March 10, 2024.
31. Thermal and heat management are noted as one of the major roadblocks to commercializing 3D ICs. To read further, see: Brian Bailey, “*Why there are still no commercial 3D-ICs*,” *Semiconductor Engineering*, Jan. 29, 2024.
32. As noted in *Deloitte Global’s 2024 semiconductor industry outlook*, not only the traditional OSATs but even major IDMs, foundries, fabless companies, EDA vendors, and startups are making the moves and ramping up solutions based on chiplets architectures to push the bar on advanced packaging technologies. Also, see: Ann Mutschler, “*Chiplet IP standards are just the beginning*,” *Semiconductor Engineering*, March 6, 2024; Majeed Ahmad, “*A sneak peek at chiplet standards*,” *EDN*, Sept. 4, 2023.
33. Ann Mutschler, “*Chip design digs deeper into AI*,” *Semiconductor Engineering*, June 3, 2024.
34. Andrew Wooden, “*The evolution of BSS and OSS in the telecoms sector*,” *Telecoms.com*, Aug. 15, 2023.
35. Ibid.
36. Deloitte analysis, based on Alex Bilyi, “*CSPs’ spending on telecoms-related OSS/BSS software and services will reach USD80 billion by 2028*,” *Analysys Mason*, Nov. 13, 2023.
37. Nia Batten, “*The hidden costs of legacy tech*,” *Data Centre Review*, Sept. 1, 2023.
38. Deloitte analysis, based on Alex Bilyi, “*CSPs’ spending on telecoms-related OSS/BSS software and services will reach USD80 billion by 2028*.”
39. Chris Silberberg and Chris Barnard, “*How telcos are transforming in Europe: Technology, services and customers*,” *IDC*, Sept. 1, 2022.
40. Deloitte analysis, based on Alex Bilyi, “*CSPs’ spending on telecoms-related OSS/BSS software and services will reach USD80 billion by 2028*.”
41. Mark Mortensen, Andy He, and John Abraham, *Market pulse: Digital transformation of BSS/OSS to the cloud & DevOps*, *Analysys Mason*, Jan. 2018.
42. Ryan, “*OSS/BSS in the clouds*,” *Passionate about OSS*, July 20, 2020; Anjali Mishra, “*OSS/BSS market players are building robust systems to support next-gen networks*,” *Global Market Insights (GMI)*, May 6, 2022.

43. Amit Kumar Singh et al., “[Navigating the complexities of billing transformation](#),” *Deloitte Insights*, 2024.
44. Ibid.
45. TM Forum, “[Introduction to Open APIs](#),” accessed Sept. 24, 2024; GSMA, “[GSMA Open Gateway API descriptions](#)”
46. Deloitte analysis and interpolation of *Light Trends Newsletter*, “[Sales of silicon photonics chips will reach \\$3 billion by 2029](#),” LightCounting, May 2024.
47. WSTS, “[WSTS Semiconductor Market Forecast Spring 2024](#),” press release, June 4, 2024.
48. Adam Carter, “[Silicon photonics key to unlocking AI’s full potential](#),” *EE Times*, Aug. 18, 2023.
49. Deloitte analysis based on publicly available third-party sources, including Karen Heyman, “[Transitioning to photonics](#),” *Semiconductor Engineering*, April 13, 2023; Maxime Fazilleau, “[What makes optical fibre immune to EMI?](#),” Tiny Green PC, Jan. 23, 2017.
50. FiberStamp, “[Driving the future of high-speed data transfer: The role of PAM4 and silicon photonics in the age of AI](#),” *Medium*, Nov. 8, 2023.
51. Christopher Tozzi, “[A guide to server rack sizes for data centers](#),” Data Center Knowledge, Jan. 8, 2024.
52. Mary Zhang, “[Data center racks, cabinets, and cages: An in-depth guide](#),” *Dgtl Infra*, Sept. 28, 2023; Tozzi, “[A guide to server rack sizes for data centers](#).”
53. Dylan Patel and Daniel Nishball, “[Nvidia’s optical boogeyman – NVL72, Infiniband Scale Out, 800G & 1.6T Ramp](#),” *SemiAnalysis*, March 25, 2024.
54. M. Duranton, D. Dutoit, and S. Menezo, “[3 - Key requirements for optical interconnects within data centers](#),” in *Optical Interconnects for Data Centers*, Tolga Tekin et al. (eds) (Sawston, UK: Woodhead Publishing, 2017), pp. 75–94.
55. Contributions from Deloitte subject matter specialists in July and August 2024.
56. Eric Walz, “[Stellantis invests in lidar startup SteerLight](#),” *Automotive Dive*, April 2, 2024.

致谢

The authors would like to thank **Jack Fritz, John Levis, Stephen Winsor, Sandy Lawrence-Morgan, Essaki Velusami, Kannan Ramakrishnan, Nina Zhang, Gautham Du** , and **Dan Hamling** for their contributions to this article.

Cover image by: **Jaime Austin; Getty Images, Adobe Stock**

关于德勤

Deloitte（“德勤”）泛指一家或多家德勤有限公司，以及其全球成员所网络和它们的关联机构（统称为“德勤组织”）。德勤有限公司（又称“德勤全球”）及其每一家成员所和它们的关联机构均为具有独立法律地位的法律实体，相互之间不因第三方而承担任何责任或约束对方。德勤有限公司及其每一家成员所和它们的关联机构仅对自身行为承担责任，而对相互的行为不承担任何法律责任。德勤有限公司并不向客户提供服务。请参阅www.deloitte.com/cn/about了解更多信息。

本通讯中所含内容乃一般性信息，任何德勤有限公司、其全球成员所网络或它们的关联机构并不因此构成提供任何专业建议或服务。在作出任何可能影响您的财务或业务的决策或采取任何相关行动前，您应咨询合格的专业顾问。

我们并未对本通讯所含信息的准确性或完整性作出任何（明示或暗示）陈述、保证或承诺。任何德勤有限公司、其成员所、关联机构、员工或代理方均不对任何方因使用本通讯而直接或间接导致的任何损失或损害承担责任。

© 2025。Deloitte Development LLC版权所有保留一切权利。

CQ-001CN-25