

通信

CXL 高速互联：破解 AI 时代“内存墙”新途径

► AI 时代“内存墙”问题愈发明显

AI 大模型的快速发展推动“算力”和“存力”需求快速增长，与此同时，对“运力”也提出了更高的要求，系统需要更高的带宽、更快的传输。但内存的性能提升速度远低于处理器的性能提升速度，导致处理器无法充分发挥其计算能力。“内存墙”问题由来已久，在 AI 时代表现的愈发明显，“算力”和“运力”之间的差距越来越大。Transformer 类的模型参数的数量呈现指数增长，每两年增加 410 倍，而 GPU 内存仅以每两年 2 倍的速度扩展。

► CXL 提高内存利用效率，技术优势明显

CXL 技术是一种新型的高速互联技术，旨在提供更高的数据吞吐量和更低的延迟，同时实现内存共享、提高内存利用效率，为化解“内存墙”问题提出新的解决方案。CXL 通过将计算和存储分离，形成内存池，从而能动态按需配置内存资源，提升效率。CXL 技术具有优势：1) CXL 延迟较低，通常为 10ns，而 PCIe 的延迟为 100ns。2) CXL 支持内存一致性，一致性的缺乏限制了 PCIe 应用程序。3) CXL 地址空间可按定义缓存，PCIe 则不可以。

► CXL 版本持续升级迭代，国际巨头纷纷加入 CXL 联盟

CXL 历经 5 个版本的升级发展。CXL1.0 于 2019 年 3 月发布，后历经 1.1、2.0、3.0 版本，2023 年 11 月，CXL 联盟发布了最新的 CXL3.1 版本。随着 CXL 技术的不断演进，未来数据中心各个计算节点和内存节点的互联将更加快速、高效和灵活。CXL 联盟由英特尔牵头成立，目前成员已经超过 255 个，涵盖了主要的 CPU、内存、存储和网络设备制造商。国际巨头加入 CXL 联盟，积极布局 CXL 技术，推出支持 CXL 技术的产品，助力 CXL 的发展。

► CXL 市场空间广阔，DRAM 占据主要份额

CXL 高速互联目前处于市场应用的早期阶段，未来采用 CXL 协议服务器的占比持续提升。Yole 预测到 2028 年，CXL 市场总收入将超过 150 亿美元，DRAM 将占据 CXL 市场的主要份额，Yole 预计到 2028 年，DRAM 占到 CXL 市场规模的 79%。三星和海力士相继推出了采用 CXL 内存控制器的 CXL 内存模组，三星推出其首款支持 CXL2.0 的 128GB DRAM，加速下一代存储器解决方案的商用化进程。

► 投资建议：关注国产算力和国产芯片相关领域

AI 大模型的快速发展，对“运力”也提出了更高的要求。CXL 凭借高速率低时延的优势，同时可以实现内存共享、提高内存利用效率，有望破除“内存墙”。CXL 市场空间广阔，目前渗透率仍较低，有望迎来快速发展，同时，CXL 的发展也利好国产算力和芯片的进步，我们建议对此保持高度关注。

风险提示：CXL 渗透率不及预期的风险，AI 发展不及预期的风险，产品技术迭代不及预期的风险。

投资建议：强于大市（维持）

上次建议：强于大市

相对大盘走势



作者

分析师：张宁

执业证书编号：S0590523120003

邮箱：zhangnyj@glsc.com.cn

联系人：李宸

邮箱：lichy@glsc.com.cn

相关报告

1、《通信：Marvell AI day，算力需求推动光互联加速迭代》2024.04.21

2、《通信：夯实算力基础，助力 AI 产业发展》2024.04.14

正文目录

1. 本周通信板块表现回顾	3
1.1 本周（4.22-4.26）通信板块走势	3
1.2 本周市场个股表现	3
2. CXL 高速互联：破解 AI 时代“内存墙”新途径	4
2.1 AI 时代“内存墙”问题愈发明显.....	4
2.2 CXL 高速互联应运而生，提高内存利用效率.....	4
2.3 CXL 技术优势明显.....	5
2.4 CXL 版本持续升级迭代.....	6
2.5 国际巨头纷纷加入 CXL 联盟	7
2.6 CXL 联盟定义了三种类型的设备.....	8
2.7 CXL 市场空间广阔，DRAM 占据主要份额.....	8
3. 投资建议：关注国产算力和国产芯片相关领域	10
4. 风险提示	10

图表目录

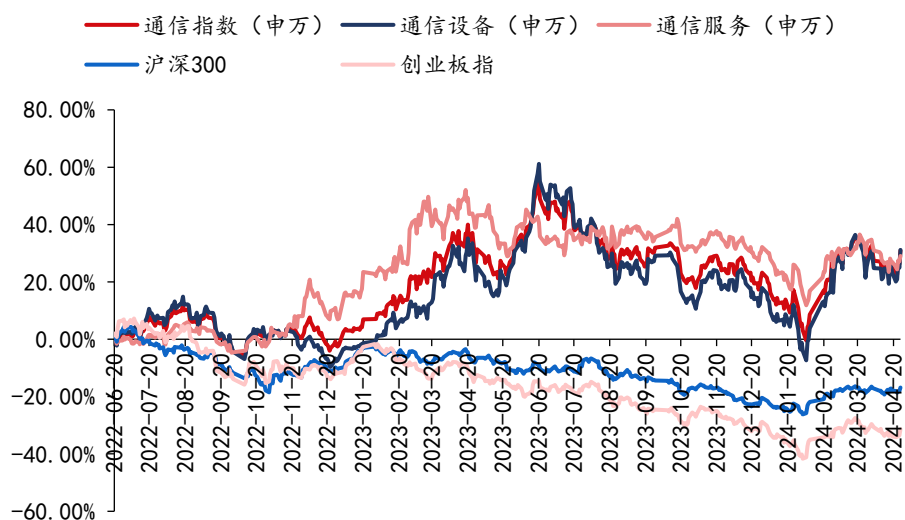
图表 1： 本周（4.22-4.26）通信板块走势	3
图表 2： 本周（4.22-4.26）通信板块个股涨跌幅前十	3
图表 3： 大模型参数量增长速度远超硬件迭代速度	4
图表 4： 带宽增长与算力增长差距明显	4
图表 5： CXL 内存池化和共享	5
图表 6： PCIe 和 CXL 关于存储应用的特性对比	6
图表 7： CXL 的发展过程	7
图表 8： 不同版本 CXL 的对比	7
图表 9： CXL 联盟董事会成员	8
图表 10： 三种已定义的 CXL 设备类型	8
图表 11： 全球服务器中采用 CXL 协议的占比	9
图表 12： CXL 市场规模情况预测	10

1. 本周通信板块表现回顾

1.1 本周（4.22-4.26）通信板块走势

本周通信行业指数上涨 4.86%，跑赢沪深 300 指数 3.66pct，跑赢创业板指 1.01pct。其中通信设备（申万）上涨 6.5%，通信服务（申万）上涨 1.73%。同期沪深 300 指数上涨 1.2%，创业板指上涨 3.86%。

图表1：本周（4.22-4.26）通信板块走势



资料来源：iFind，国联证券研究所

1.2 本周市场个股表现

本周通信板块涨幅靠前的个股有奥维通信、广哈通信、华丰科技等；跌幅靠前的个股有 ST 鹏博士、中新赛克、朗特智能等。

图表2：本周（4.22-4.26）通信板块个股涨跌幅前十

涨幅前十			跌幅前十		
证券代码	证券简称	周涨跌幅	证券代码	证券简称	周涨跌幅
002231.SZ	奥维通信	61.48%	600804.SH	ST 鹏博士	-14.29%
300711.SZ	广哈通信	43.16%	002912.SZ	中新赛克	-9.97%
688629.SH	华丰科技	23.28%	300916.SZ	朗特智能	-9.41%
301202.SZ	朗威股份	23.06%	300259.SZ	新天科技	-8.59%
300768.SZ	迪普科技	22.78%	002396.SZ	星网锐捷	-5.59%
688132.SH	邦彦技术	22.13%	002151.SZ	北斗星通	-4.99%
300502.SZ	新易盛	21.80%	300590.SZ	移为通信	-4.37%
688195.SH	腾景科技	21.38%	603236.SH	移远通信	-4.33%
002897.SZ	意华股份	17.93%	300394.SZ	天孚通信	-3.61%
300597.SZ	吉大通信	17.90%	002518.SZ	科士达	-3.47%

资料来源：iFind，国联证券研究所

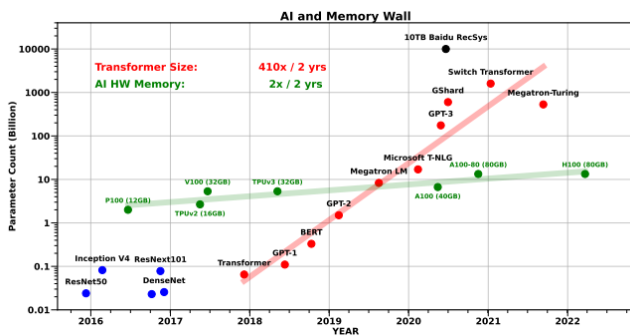
2. CXL 高速互联：破解 AI 时代“内存墙”新途径

2.1 AI 时代“内存墙”问题愈发明显

AI 大模型的快速发展推动“算力”和“存力”需求快速增长，与此同时，对“运力”也提出了更高的要求。“运力”是指在计算和存储之间传输数据的能力，AI 时代，系统需要更大的运力，需要更高的带宽、更快的传输。

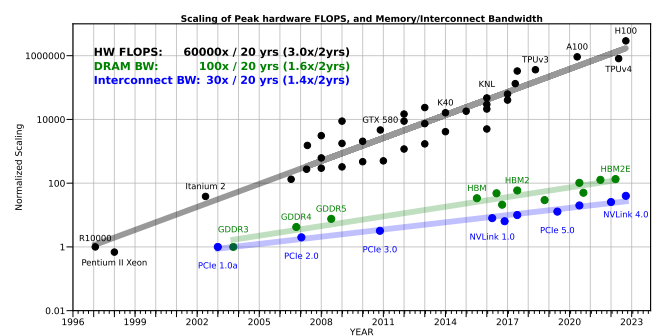
“内存墙”问题由来已久，在 AI 时代表现的愈发明显，“算力”和“运力”之间的差距越来越大。“内存墙”指内存的性能提升速度远低于处理器的性能提升速度，从而导致处理器无法充分发挥其计算能力。由于内存的读写速度相对较慢，处理器在等待数据从内存中读取或写入时会出现空闲状态，从而限制了系统的性能，即使增加处理器数量和核数，也无法有效提高整体的计算能力。Transformer 类的模型参数的数量呈现指数增长，每两年增加 410 倍，而 GPU 内存仅以每两年 2 倍的速度扩展。

图表3：大模型参数量增长速度远超硬件迭代速度



资料来源：Amir Gholami 等《AI and Memory Wall》，国联证券研究所

图表4：带宽增长与算力增长差距明显

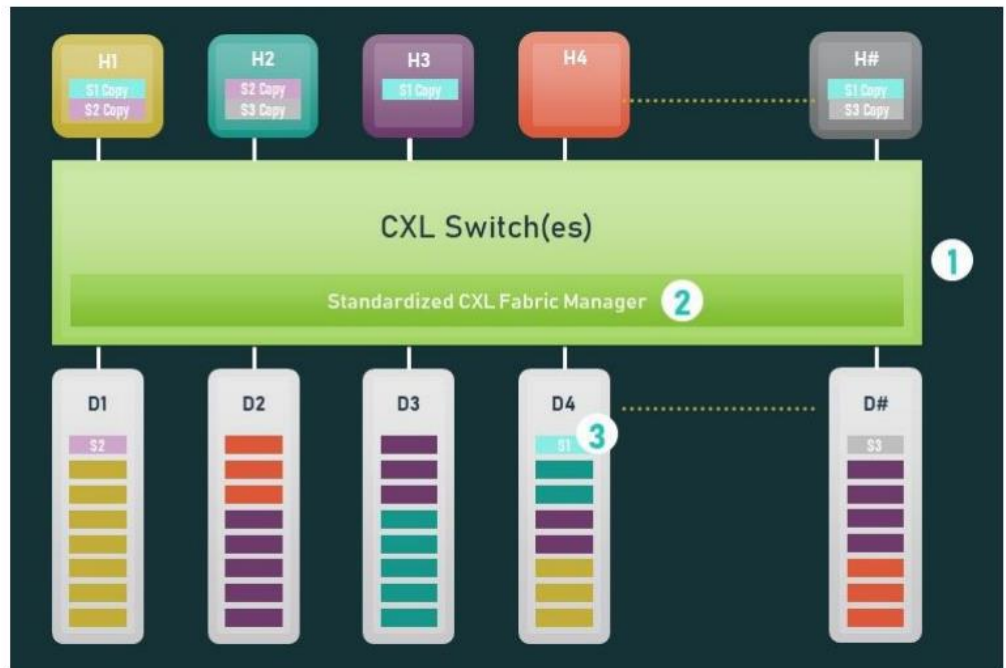


资料来源：Amir Gholami 等《AI and Memory Wall》，国联证券研究所

2.2 CXL 高速互联应运而生，提高内存利用效率

CXL (Compute Express Link) 技术是一种新型的高速互联技术，旨在提供更高的数据吞吐量和更低的延迟，同时实现内存共享、提高内存利用效率，为化解“内存墙”问题提出新的解决方案。它最初由英特尔、AMD 和其他公司联合推出，并得到了包括谷歌、微软等公司在内的大量支持。CXL 的目标主要是为了解决 CPU 和设备、设备和设备之间的内存鸿沟，解决内存分割造成的较大浪费、不便和性能下降。CXL 通过将计算和存储分离，形成内存池，从而能动态按需配置内存资源，提升效率。

图表5: CXL 内存池化和共享



资料来源: CXL 《introducing the CXL 3.1 Specification》, 国联证券研究所

2.3 CXL 技术优势明显

与 PCIe 技术相比, CXL 技术具有优势。1) CXL 延迟较低, 通常为 10ns, 而 PCIe 的延迟为 100ns。2) CXL 支持内存一致性, 一致性的缺乏限制了 PCIe 应用程序。3) CXL 地址空间可按定义缓存, PCIe 地址空间通常不可缓存。但相较于 PCIe 庞大且成熟的生态系统, CXL 目前应用并不广泛, 仍有广阔的发展空间。

图表6: PCIe 和 CXL 关于存储应用的特性对比

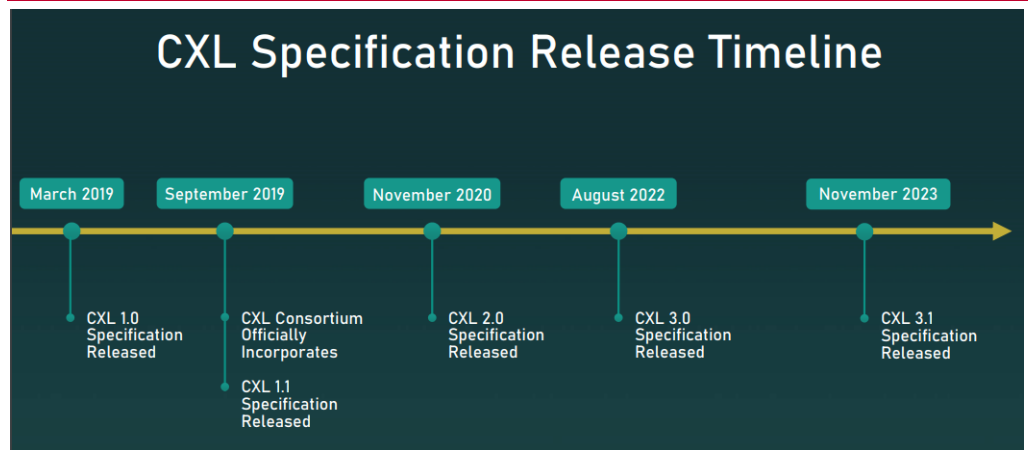
特性	PCI Express	CXL
最大带宽	PCIe5.0 为 32GT/s x16 PCIe6.0 为 64GT/s x16	CXL2.0 为 32GT/s x16 CXL3.0 为 64GT/s x16
一致性	无	支持; 主机管理
延迟	100ns	10ns
可缓存性	PCIe 地址空间通常不可缓存	CXL 地址空间可按定义缓存
切换	芯片和嵌入式	CXL2.0 和 3.0 支持 未来芯片有望
拓扑	主机到设备, 交换式	主机到设备, 交换式, 结构
内存访问	通常是 DMA	专用 CXL.mem
传输大小	PCIe 针对更大的数据有效载荷进行了优化; 传统块存储 (512B、1KB、2KB、4KB); 开销较低, 适用于处理非缓存数据	CXL 针对 64B 缓存行传输进行了优化; 固定大小实现低延迟
存储标准	基于 PCIe 的闪存 (NVMe)	基于 CXL 接口的 SSD 和 DRAM, 适用于众多新型内存/存储应用
数据路径	32b - 512b 1024b	原生 512b 1024b
实现	仅 PCIe	可支持 PCIe 的 CXL 控制器 设备中不需要 Home agent
应用	非一致数据移动应用、大型 DMA 块传输、传统存储控制器; NVMe	线性存储: 字节可寻址的 (而不是块或扇区) SSD 后续产品; 计算型内存
生态系统	庞大且成熟, 最高达到 PCIe5.0	到目前为止, 应用并不广泛; CXL 有望加速发展

资料来源: synopsys 官网, 国联证券研究所

2.4 CXL 版本持续升级迭代

CXL 历经 5 个版本的升级发展, 内存共享和设备的灵活性增强。CXL1.0 于 2019 年 3 月发布, 后历经 1.1、2.0、3.0 版本, 2023 年 11 月, CXL 联盟发布了最新的 CXL3.1 版本。随着 CXL 技术的不断演进, 未来数据中心各个计算节点和内存节点的互联将更加快速、高效和灵活。

图表7: CXL 的发展过程



资料来源: CXL 《introducing the CXL 3.1 Specification》, 国联证券研究所

CXL1.0 及 1.1 版本归为一代标准, 二者相比并没有较大的区别。CXL2.0 发布于 2020 年, 新增了切换、内存池化、按需内存分配、IDE (完整性和数据加密) 功能。

CXL3.0 版本在三个关键领域进行重大改进。1) PCIe 协议由 PCIe5.0 上升到 PCIe6.0, 传输速率由 32GT/s 提升至 64GT/s; 2) CXL3.0 可以支持更加灵活的 Switch 拓扑; 3) 除了支持内存池化, CXL3.0 还进一步支持内存共享。

CXL3.1 新版本对横向扩展 CXL 进行了结构改进、增加了新的可信执行环境功能, 并对内存扩展器进行了改进。1) 支持使用全局集成内存 (GIM) 通过 CXL 结构进行主机间的通信, 这可以大大提高系统性能。2) 通过 CXL 对内存事务的直接点对点支持来增加 GPU 内存的使用效率, 这对于处理大规模数据集和 AI 工作负载非常有帮助。

图表8: 不同版本 CXL 的对比

Features	CXL 1.0 / 1.1	CXL 2.0	CXL 3.0	CXL 3.1
Release date	2019	2020	August 2022	November 2023
Max link rate	32GTs	32GTs	64GTs	64GTs
Flit 68 byte (up to 32 GTs)	✓	✓	✓	✓
Flit 256 byte (up to 64 GTs)			✓	✓
Type 1, Type 2 and Type 3 Devices	✓	✓	✓	✓
Memory Pooling w/ MLDs		✓	✓	✓
Global Persistent Flush		✓	✓	✓
CXL IDE		✓	✓	✓
Switching (Single-level)		✓	✓	✓
Switching (Multi-level)			✓	✓
Direct memory access for peer-to-peer			✓	✓
Enhanced coherency (256 byte flit)			✓	✓
Memory sharing (256 byte flit)			✓	✓
Multiple Type 1/Type 2 devices per root port			✓	✓
Fabric capabilities (256 byte flit)			✓	✓
Fabric Manager API definition for PBR Switch				✓
Host-to-Host communication with Global Integrated Memory (GIM) concept				✓
Trusted-Execution-Environment (TEE) Security Protocol				✓
Memory expander enhancements (up to 32-bit of meta data, RAS capability enhancements)				✓

资料来源: CXL 《introducing the CXL 3.1 Specification》, 国联证券研究所

2.5 国际巨头纷纷加入 CXL 联盟

CXL 联盟由英特尔牵头成立, 目前成员已经超过 255 个成员, 涵盖了主要的 CPU、内存、存储和网络设备制造商。国际巨头纷纷加入 CXL 联盟, 积极布局 CXL 技术, 推

出支持 CXL 技术的产品，助力 CXL 的发展。

图表9：CXL 联盟董事会成员



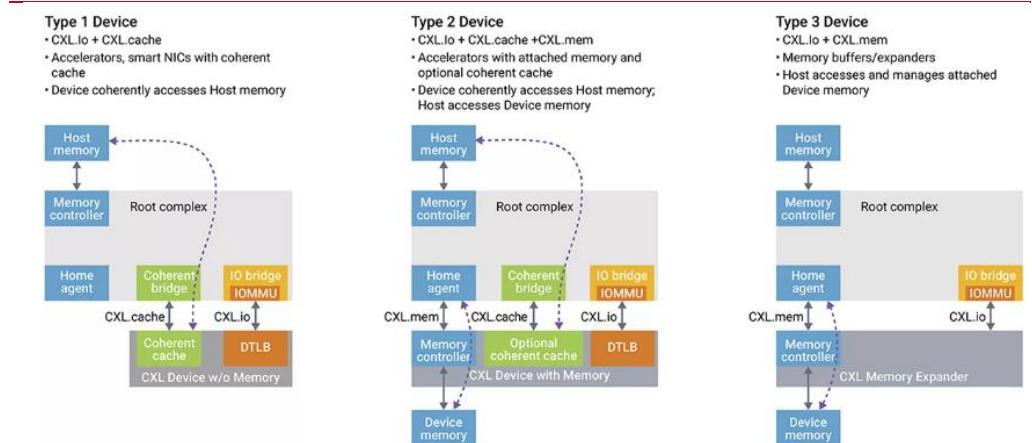
资料来源：CXL 《introducing the CXL 3.1 Specification》，国联证券研究所

2.6 CXL 联盟定义了三种类型的设备

CXL 标准定义了三个协议：1) CXL.io 协议本质上是 PCIe 5.0 的改进，用于初始化、链接、设备发现和列举以及寄存器访问。2) CXL.cache 协议定义了主机和设备间的交互，允许连接的 CXL 设备以极低的延迟高效地缓存主机内存。3) CXL.mem 协议提供了主机处理器，使用加载和存储命令访问设备连接的内存。

CXL 联盟定义了三种类型的设备，分别支持不同的子协议。CXL.io 协议用于初始化和链接，所以必需获得所有 CXL 设备的支持，如果该协议发生故障，链接就无法运行。第一种设备用于智能 NIC 等设备。第二种设备用于带有内存的加速器，如 GPU、GPU、FPGA 等。第三种设备用于内存拓展和池化。

图表10：三种已定义的 CXL 设备类型



资料来源：synopsys 官网，国联证券研究所

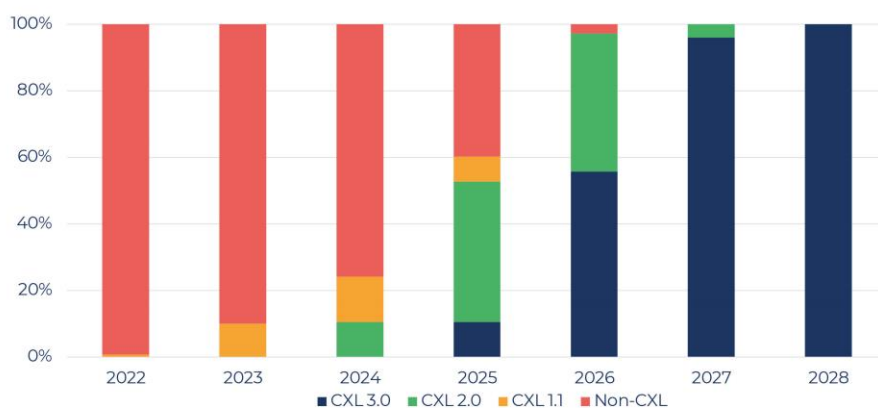
2.7 CXL 市场空间广阔，DRAM 占据主要份额

CXL 高速互联目前处于市场应用的早期阶段，未来有望迎来快速发展，采用 CXL 协议服务器的占比持续提升。根据 Yole 的预测，到 2025 年，采用 CXL 协议的数据中心服务器占比达到 60%左右，到 2027 年，这一数据将接近 100%。Yole 预测到 2028 年，CXL 市场总收入将超过 150 亿美元。

图表11：全球服务器中采用 CXL 协议的占比

2022-2028 CXL CAPABLE SERVER CPU VOLUME MIX BREAKDOWN BY CXL VERSION (% OF TOTAL UNITS)

Source: Memory-Processor Interface 2023 - Focus on CXL report, Yole Intelligence, 2023

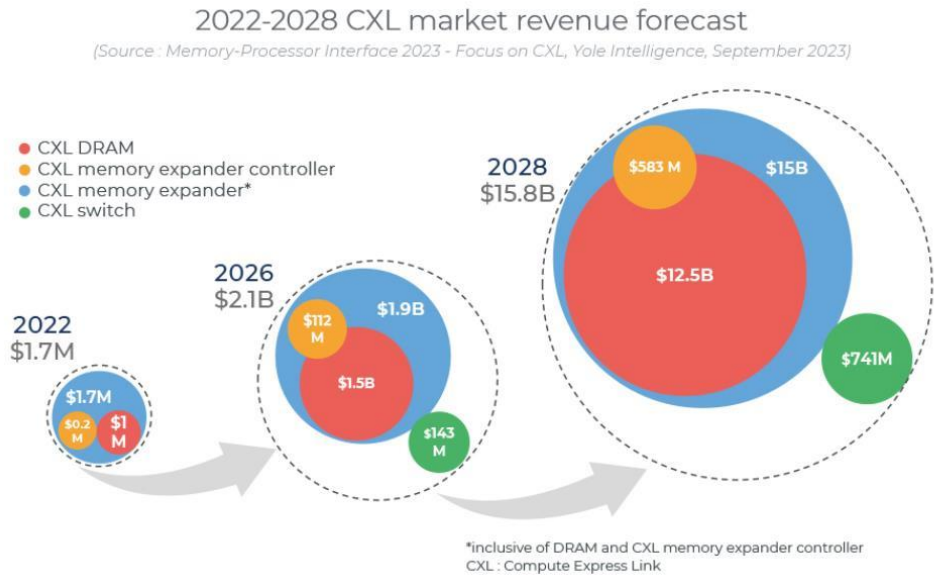


www.yolegroup.com | ©Yole Intelligence 2023

资料来源：Yole group，国联证券研究所

DRAM 占据 CXL 市场的主要份额，国际巨头纷纷进行布局。Yole 预计到 2028 年，DRAM 市场规模达到 125 亿美元，占到 CXL 市场规模的 79%。三星和海力士相继推出了采用 CXL 内存控制器的 CXL 内存模组。2023 年 5 月，三星电子推出其首款支持 CXL2.0 的 128GB DRAM，加速下一代存储器解决方案的商用化进程。

图表12: CXL 市场规模情况预测



资料来源: Yole group 《CXL: a promising solution to data center memory bottlenecks?》, 国联证券研究所

3. 投资建议: 关注国产算力和国产芯片相关领域

AI 大模型的快速发展, 对“运力”也提出了更高的要求。CXL 凭借高速率低时延的优势, 同时可以实现内存共享、提高内存利用效率, 有望破除“内存墙”。CXL 市场空间广阔, 目前渗透率仍然较低, 未来有望迎来快速发展, 同时, CXL 的发展也利好国产算力和国产芯片的进步, 我们建议对此保持高度关注。

4. 风险提示

CXL 渗透率不及预期的风险, AI 发展不及预期的风险, 产品技术迭代不及预期的风险。

分析师声明

本报告署名分析师在此声明：我们具有中国证券业协会授予的证券投资咨询执业资格或相当的专业胜任能力，本报告所表述的所有观点均准确地反映了我们对标的证券和发行人的个人看法。我们所得报酬的任何部分不曾与，不与，也将不会与本报告中的具体投资建议或观点有直接或间接联系。

评级说明

投资建议的评级标准		评级	说明
报告中投资建议所涉及的评级分为股票评级和行业评级（另有说明的除外）。评级标准为报告发布日后6到12个月内的相对市场表现，也即：以报告发布日后的6到12个月内的公司股价（或行业指数）相对同期相关证券市场代表性指数的涨跌幅作为基准。其中：A股市场以沪深300指数为基准，新三板市场以三板成指（针对协议转让标的）或三板做市指数（针对做市转让标的）为基准；香港市场以摩根士丹利中国指数为基准；美国市场以纳斯达克综合指数或标普500指数为基准；韩国市场以柯斯达克指数或韩国综合股价指数为基准。	股票评级	买入	相对同期相关证券市场代表指数涨幅20%以上
		增持	相对同期相关证券市场代表指数涨幅介于5%~20%之间
		持有	相对同期相关证券市场代表指数涨幅介于-10%~5%之间
	行业评级	卖出	相对同期相关证券市场代表指数跌幅10%以上
		强于大市	相对同期相关证券市场代表指数涨幅10%以上
		中性	相对同期相关证券市场代表指数涨幅介于-10%~10%之间
		弱于大市	相对同期相关证券市场代表指数跌幅10%以上

一般声明

除非另有规定，本报告中的所有材料版权均属国联证券股份有限公司（已获中国证监会许可的证券投资咨询业务资格）及其附属机构（以下统称“国联证券”）。未经国联证券事先书面授权，不得以任何方式修改、发送或者复制本报告及其所包含的材料、内容。所有本报告中使用的商标、服务标识及标记均为国联证券的商标、服务标识及标记。

本报告是机密的，仅供我们的客户使用，国联证券不因收件人收到本报告而视其为国联证券的客户。本报告中的信息均来源于我们认为可靠的已公开资料，但国联证券对这些信息的准确性及完整性不作任何保证。本报告中的信息、意见等均仅供客户参考，不构成所述证券买卖的出价或征价邀请或要约。该等信息、意见并未考虑到获取本报告人员的具体投资目的、财务状况以及特定需求，在任何时候均不构成对任何人的个人推荐。客户应当对本报告中的信息和意见进行独立评估，并应同时考量各自的投资目的、财务状况和特定需求，必要时就法律、商业、财务、税收等方面咨询专家的意见。对依据或者使用本报告所造成的一切后果，国联证券及/或其关联人员均不承担任何法律责任。

本报告所载的意见、评估及预测仅为本报告出具日的观点和判断。该等意见、评估及预测无需通知即可随时更改。过往的表现亦不应作为日后表现的预示和担保。在不同时期，国联证券可能会发出与本报告所载意见、评估及预测不一致的研究报告。

国联证券的销售人员、交易人员以及其他专业人士可能会依据不同假设和标准、采用不同的分析方法而口头或书面发表与本报告意见及建议不一致的市场评论和/或交易观点。国联证券没有将此意见及建议向报告所有接收者进行更新的义务。国联证券的资产管理部门、自营部门以及其他投资业务部门可能独立做出与本报告中的意见或建议不一致的投资决策。

特别声明

在法律许可的情况下，国联证券可能会持有本报告中提及公司所发行的证券并进行交易，也可能为这些公司提供或争取提供投资银行、财务顾问和金融产品等各种金融服务。因此，投资者应当考虑到国联证券及/或其相关人员可能存在影响本报告观点客观性的潜在利益冲突，投资者请勿将本报告视为投资或其他决定的唯一参考依据。

版权声明

未经国联证券事先书面许可，任何机构或个人不得以任何形式翻版、复制、转载、刊登和引用。否则由此造成的一切不良后果及法律责任有私自翻版、复制、转载、刊登和引用者承担。

联系我们

北京：北京市东城区安定门外大街208号中粮置地广场A塔4楼
无锡：江苏省无锡市金融一街8号国联金融大厦12楼
 电话：0510-85187583

上海：上海浦东新区世纪大道1198号世纪汇一座37楼
深圳：广东省深圳市福田区益田路4068号卓越时代广场1期13楼