下载日志已记录，仅供内部参考

证券研究报告|行业专题报告
2026/09/20

有色金属行业	
投资评级	看好

新周期、新定价
关键金属的价值裂变与资本重构



五矿证券研究所 有色金属行业

分析师：王小芃
电话：010-56307033
登记编码：S0950523050002
邮箱：wangxiaopeng@wkzq.com.cn

分析师：李烁
电话：010-56307033
登记编码：S0950524120001
邮箱：lis19@wkzq.com.cn

中国五矿
五矿证券 MINMETALS SECURITIES

下载日志已记录，仅供内部参考

Contents 目录



01 有色金属迎来科技叙事

02 高传输效率：光+铜，覆盖长短端通信

03 高算力密度：制程微缩与三维集成

04 高功率：供电系统和散热

05 物理传感：AI从虚向实的必经之路

06 科技与金属双向赋能
——价值裂变与资本重构

下载日志已记录，仅供内部参考

01 有色金属迎来科技叙事

下载日志已记录，仅供内部参考

1.1 科技含量高的金属品种涨幅明显居前/热度上升

- 世界经济论坛（WEF）最新发布的2026年《新经济增长蓝图》报告中指出，AI已经成为定义新经济、提升生产效率、重构产业格局、影响财富分配的核心引擎，深度融入全球经济发展、企业成长的每一个环节。
- 大模型训练与推理需求持续增长，云厂商资本开支同步加码——据TrendForce，2026年全球八大云厂商资本开支同比增长约98%、合计突破9,220亿美元，直接带动上游硬件领域高速增长，间接拉动相关金属消费。
- **有色金属是突破物理极限的底层功能材料，多个金属迎来科技叙事：**2026年钽（GPU 供电电容）、铟锗（光与红外）、锡（封装与 PCB 焊）价格涨幅居前。

图表1：2024—2027年全球八大CSP资本支出总额



资料来源：Trendforce，五矿证券研究所

图表2：价格涨幅元素周期表，2026年钽、锗、铟、锌、锡涨幅居前

涨幅	铜	铝	铅	锌	镍	锡	海绵钛	
2024	3%	9%	-6%	12%	-10%	12%	-13%	
2025	45%	18%	3%	6%	12%	49%	3%	
2026	15%	9%	-5%	32%	-2%	30%	-5%	
2025以来	66%	29%	-2%	41%	9%	94%	-2%	
涨幅	锑锭	钨粉	粗铟	镓	锗锭	精铋	粗硒	碲
2024	71%	16%	30%	6%	84%	32%	-25%	13%
2025	13%	245%	13%	-19%	-22%	82%	10%	13%
2026	-35%	-13%	90%	8%	89%	1%	0%	9%
2025以来	-27%	199%	115%	-12%	48%	85%	10%	24%
涨幅	铍	海绵锆	铌	铼粉	钼粉	钽锭	氧化镝	氧化钇
2024	10%	-5%	3%	18%	0%	12%	-35%	-6%
2025	-4%	-18%	4%	70%	7%	6%	-17%	24%
2026	-5%	-5%	-12%	30%	36%	110%	9%	15%
2025以来	-9%	-22%	-9%	121%	46%	123%	-9%	42%

注：数据截至2026年9月1日
资料来源：iFind，SMM，五矿证券研究所

下载日志已记录，仅供内部参考

1.2 科技的宏观叙事-为什么是现在？

AI产业所处周期：从基建投入迈向商业化兑现。AI产业链可自上而下划分为四个层次：基础设施层（数据中心、算力集群、供电制冷）、硬件设备层（AI芯片、光模块、服务器、PCB）、模型算法层（基础大模型、行业大模型、通用技术、开发平台）、应用服务层（AIGC、智能体、行业应用）。大模型训练及推理需求持续增长，全球云厂商资本开支持续加码，带动上游硬件领域高速增长。

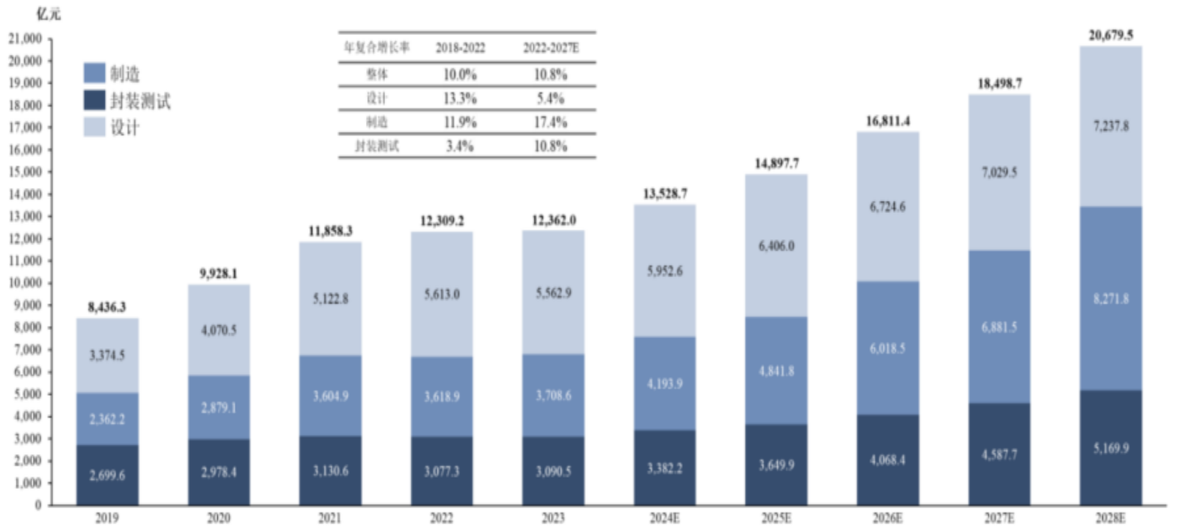
中美科技竞赛，半导体材料自主可控已从“成本问题”变为“安全问题”。据SEMI，预计我国集成电路产业制造环节占比持续提升，2022-2027年的复合增长率明显高于其他环节，国产替代正处于产业政策与资本开支双轮驱动的景气周期。

图表3：AI产业链公司产业链全景图



资料来源：思岚科技，五矿证券研究所

图表4：2019－2028年中国集成电路按产业链市场规模预测



资料来源：盛合晶微招股书，五矿证券研究所

下载日志已记录，仅供内部参考

1.3战略属性的定价——理解“未来”和“关键”

驱动全球经济的未来产业。在全球经济加速转型、地缘格局不断调整、传统增长模式逐步失效的大背景下，AI正在从一项可选择的技术，变成所有国家和经济体都必须布局的基础能力，也将成为塑造新经济的关键变革力量。

不可替代性来自功能，战略保障来自供给。钽在GPU供电电容、铟锗在光通信与红外、锡在先进封装焊料中，均属“用量极小却无法绕开”的环节；供给端，多国已将相关品种纳入关键矿产管理，2026年6月起施行的《中华人民共和国矿产资源法实施条例》将其列入战略性矿产目录。需求来自未来产业、供给受战略约束，这是“战略属性”的第一重来源。

消费结构重塑ing：从价格敏感型到价格不敏感。传统有色下游对价格高度敏感，涨价即需求萎缩，而AI产业链则对材料成本相对敏感度较低。

供需关系失衡：矿业投产周期更久。需求端是2-3年即可落地的数据中心，而供给端是15年以上才能走完一轮的矿山，供需错配的缺口就将体现在价格的斜率。

下载日志已记录，仅供内部参考

02

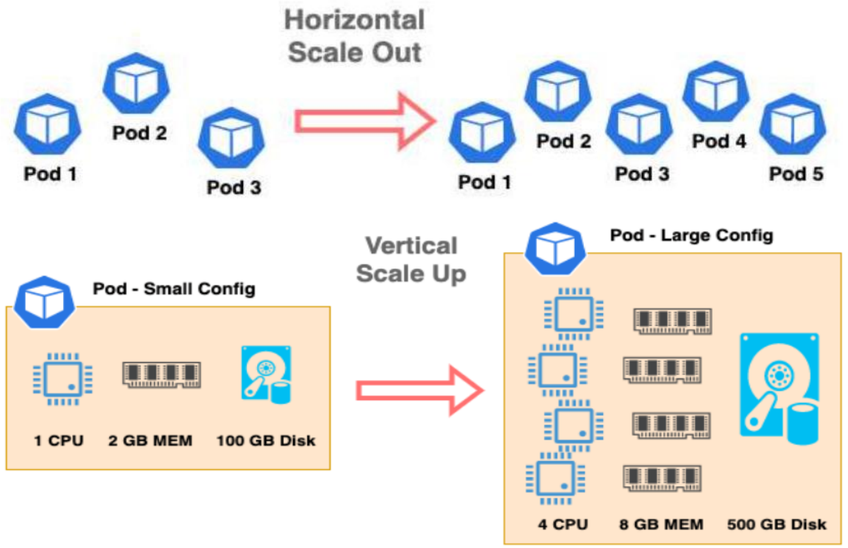
高传输效率：光+铜，覆盖长短端通信

下载日志已记录，仅供内部参考

2.1 光通信：长距离高效通信

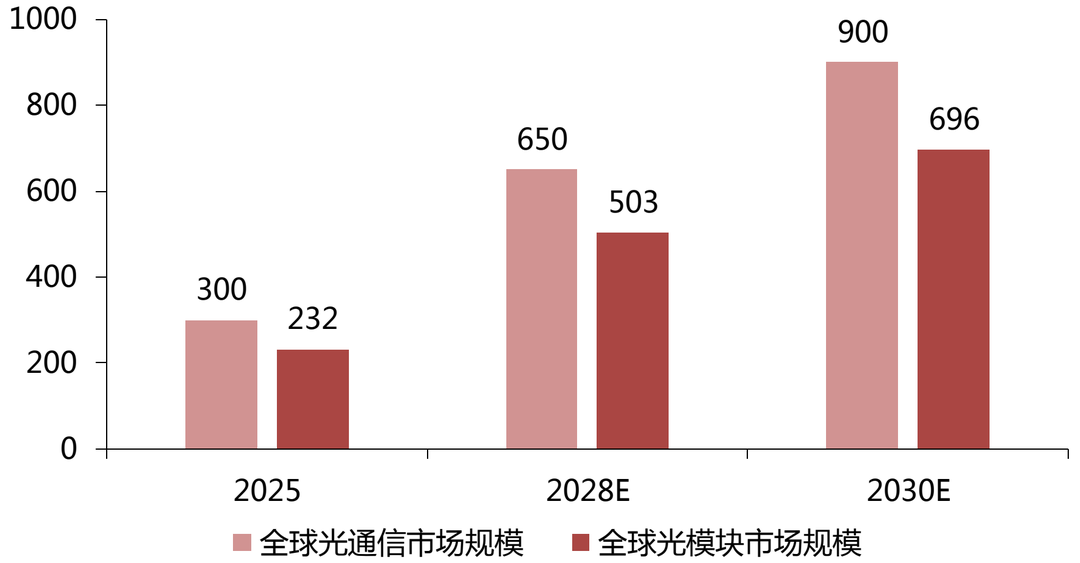
- 电子受电阻、电容与电磁干扰等物理约束，使电互连在带宽、距离、延迟、能耗和密度上逼近极限，无法满足当前互联需求；而光子的物理特性天然具备高带宽、低延迟、低能耗、远距离与抗干扰优势，因此光互连成为当前高效数据互联的最佳方案。
- 当前，AI数据中心正从Scale-Out转向Scale-Up，后者通过提升单节点互联效率、采用光电融合架构，成为满足超低延迟与超高带宽密度的必然选择，当前技术重心正明确向此倾斜。
- 全球光通信市场正以近 25% 的年复合增长率快速扩张。据摩根士丹利测算，2025年全球光通信市场规模约300亿美元，预计2028年将超过 650亿美元，到2030年突破 900亿美元 ，光模块则成为该领域中最大的子市场，占光通信市场比例约为77%。

图表5：当前AI数据中心发展趋势



资料来源：portworx，五矿证券研究所

图表6：全球光通信及细分市场规模（亿美元）



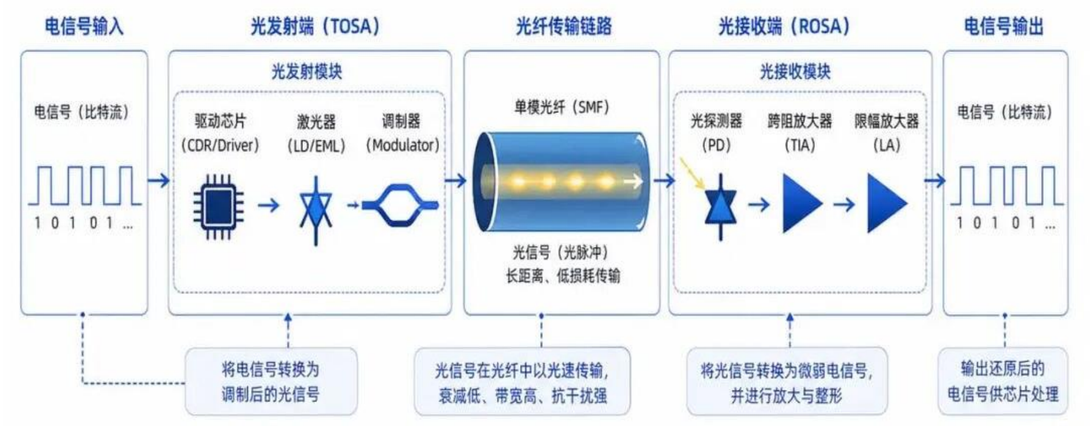
资料来源：中国光博会，五矿证券研究所

下载日志已记录，仅供内部参考

2.1 光通信：长距离高效通信

- 光通信本质是以光波为载体、光纤为介质的信息传输技术。其核心目标在于解决信息在微电子世界与物理光网络之间的转换效率。
- 光通信基本系统结构由电发射机、光发射机、传输光纤、光接收机和电接收机构成：电信号经光发射机转换为光信号进入光纤传输，到达接收端后由光接收机还原为电信号，其中光收发模块已实现收发一体化，核心包含有源光器件、无源器件及功能电路等。
- 光通信产业链的上游以InP衬底、光芯片及无源器件为核心基础，支撑中游光模块、光纤光缆和光交换设备等产品化载体的制造；下游则由AI数据中心、云计算服务商及电信运营商等应用场景驱动，实现从基础材料到终端价值落地的闭环。

图表7：光通信系统结构



资料来源：报告派，五矿证券研究所

图表8：光通信产业链结构



资料来源：报告派，五矿证券研究所

下载日志已记录，仅供内部参考

2.1 光通信：长距离高效通信

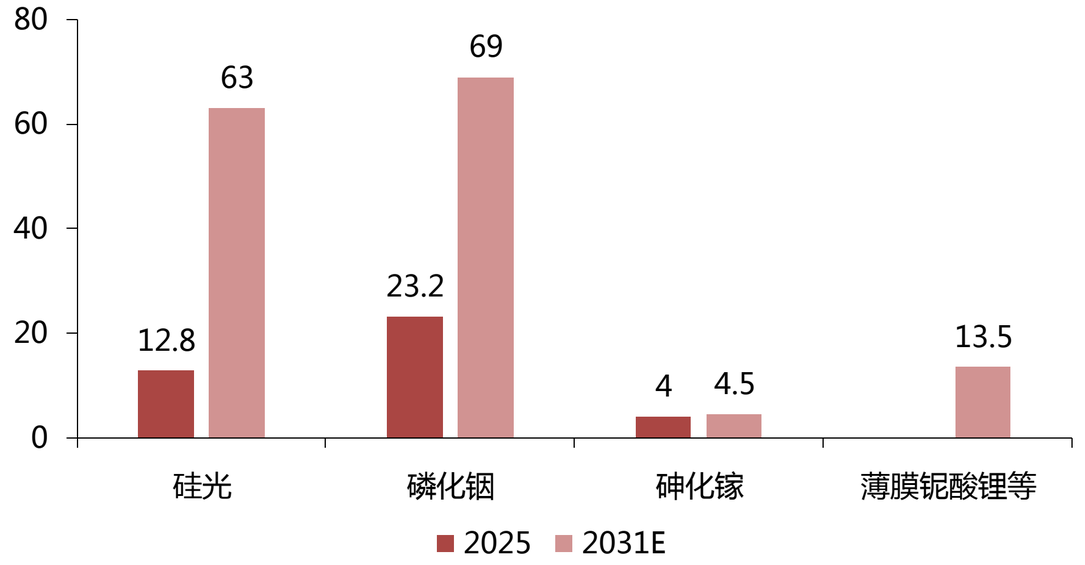
- 目前主流光芯片衬底材料有磷化铟（InP）、硅（Si）和砷化镓（GaAs）。InP属第二代III-V族材料，光电转换效率高，能在1310–1550nm波段覆盖全部中长距激光器并实现全集成，但晶圆尺寸小、良率低、成本高；硅属第一代半导体，可复用CMOS工艺实现光电集成，但间接带隙无法发光、温度系数大；GaAs属第二代III-V族材料，主要作为VCSEL衬底用于短距多模互联。
- 据LightCounting预测，2025至2031年光芯片市场规模将从40亿美元增长至150亿美元。其中，GaAs份额从10%降至3%，主要因其性能无法满足800G+高速光模块需求，被硅光快速替代；InP份额从58%降至46%，本质是被硅光和TFLN更快的增速稀释，InP仍是800G+高速长距光模块中光芯片的刚需衬底，且硅光方案均需外置CW激光器作为光源，其核心地位并未被动摇。

图表9：光通信系统结构

光芯片衬底类型	磷化铟（InP）	硅（Si）	砷化镓（GaAs）
半导体代际	第二代	第一代	第二代
带隙类型	直接带隙	间接带隙	直接带隙
禁带宽度	1.35eV	1.12eV	1.42eV
电子迁移率	~4,600cm²/V·s	~1,400cm²/V·s	~8,500cm²/V·s
发光波长区间	可调谐至1310nm/1550nm	不发光（间接带隙）	~850nm
能否制备激光器	能（高速长距，通信波段核心）	不能	能（短距低速）
光通信中的角色	EML/DFB/CW 激光器、PIN/APD 探测器	无源光波导/调制器	VCSEL 芯片
相对制造成本	高	低	中

资料来源：光纤在线，五矿证券研究所

图表10：光芯片市场规模（亿美元）



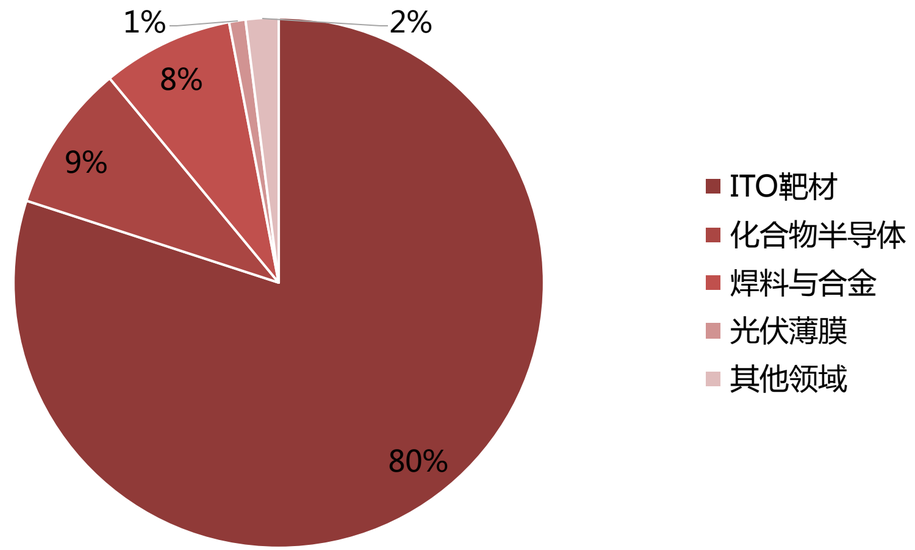
资料来源：LightCounting，五矿证券研究所

下载日志已记录，仅供内部参考

磷化铟：光芯片高速光电转换的核心材料基石

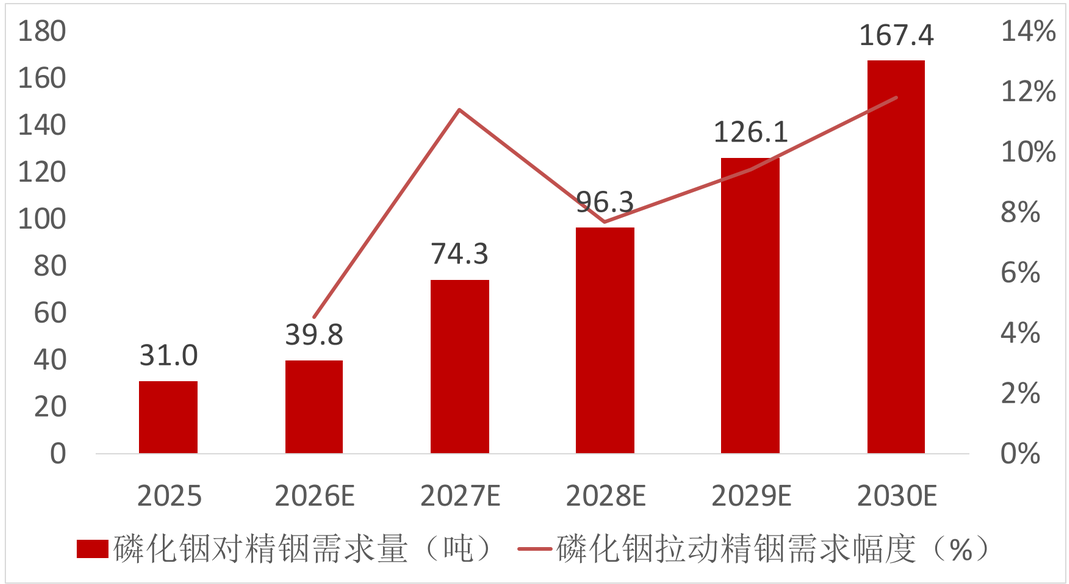
- 磷化铟衬底直接决定了EML激光器、CW激光器以及探测器的晶体质量与性能良率，是光芯片的不可替代基底。光通信拉动InP衬底需求的本质是磷化铟衬底作为1310/1550nm黄金波段高速光芯片唯一成熟的衬底材料，其物理不可替代性在AI算力驱动的光模块速率迭代中被持续放大，使得每代升级对InP衬底的消耗量呈倍数级增长，形成刚性需求传导链，从而持续拉动铟金属需求。
- 当前铟的下游需求以ITO靶材为主，占比约80%，下游用于液晶显示器和平板屏幕；化合物半导体、焊料和合金以及光伏薄膜合计占比18%。据SMM统计，以4英寸磷化铟衬底为计算基准，其2025-2030年的对铟的需求量由19.3吨扩大至167.4吨，据我们测算，**未来五年磷化铟需求增量对于整体铟需求增量的贡献幅度约为9%。**

图表11：2025年铟金属下游需求结构



资料来源：韦伯咨询，五矿证券研究所

图表12：光通信拉动铟需求测算



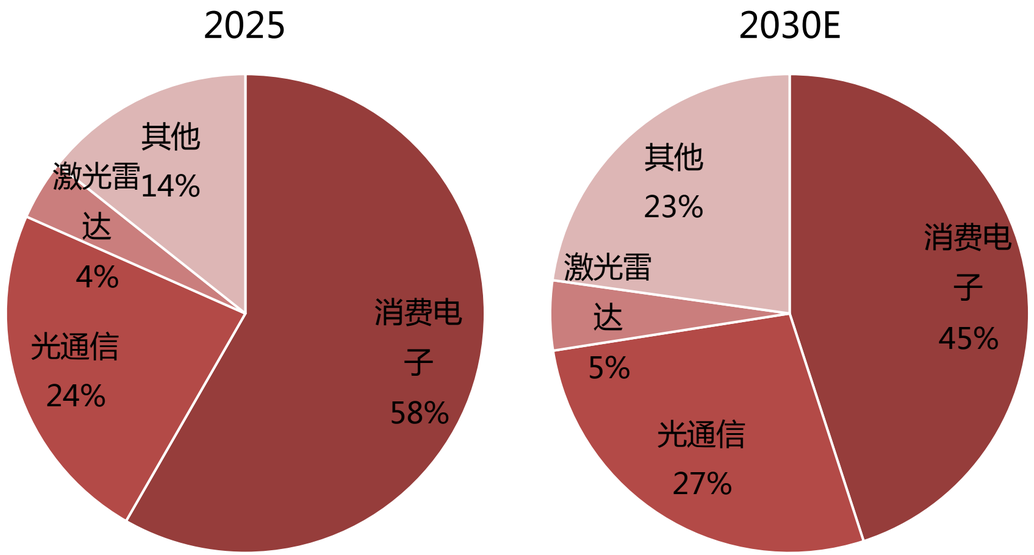
资料来源：中国电子报，韦伯咨询，LightCounting，IIM，普华有策，中金企信，ALFA，ginechip基础数据，五矿证券研究所测算

下载日志已记录，仅供内部参考

砷化镓：短距光互连光芯片的光源核心

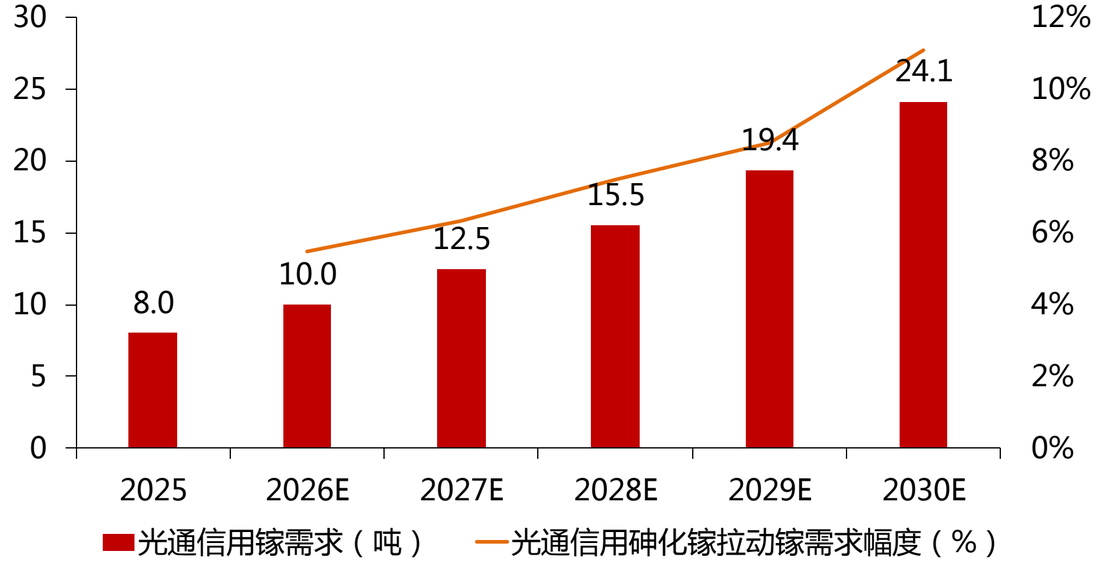
- 在光通信系统中，VCSEL芯片是数据中心短距互联的核心激光器类型，凭借850nm工作波长、低功耗、低成本、易阵列化生产等优势，成为100G SR4/400G SR8/800G SR8等多模短距光模块的主流方案。光通信对GaAs的需求拉动本质上是数据中心短距互联带宽升级带来的VCSEL用量增长，从而带动镓金属需求增加。
- 当前VCSEL芯片下游需求以消费电子为主，占比约58%。受硅光替代影响，VCSEL在光通信领域的份额占比提升不明显，我们预计到2030年光通信的市场份额小幅上升3%。据我们测算，以6英寸砷化镓衬底为计算基准，其2025-2030年的对镓金属的需求量由8吨扩大至24.1吨，**光通信用砷化镓衬底需求增量对于整体镓金属需求增量的平均贡献幅度约为7.8%。**

图表13：VCSEL芯片下游需求结构变化



资料来源：产业世界、贝哲斯咨询、IIM、QYResearch基础数据，五矿证券研究所测算

图表14：光通信拉动镓需求测算



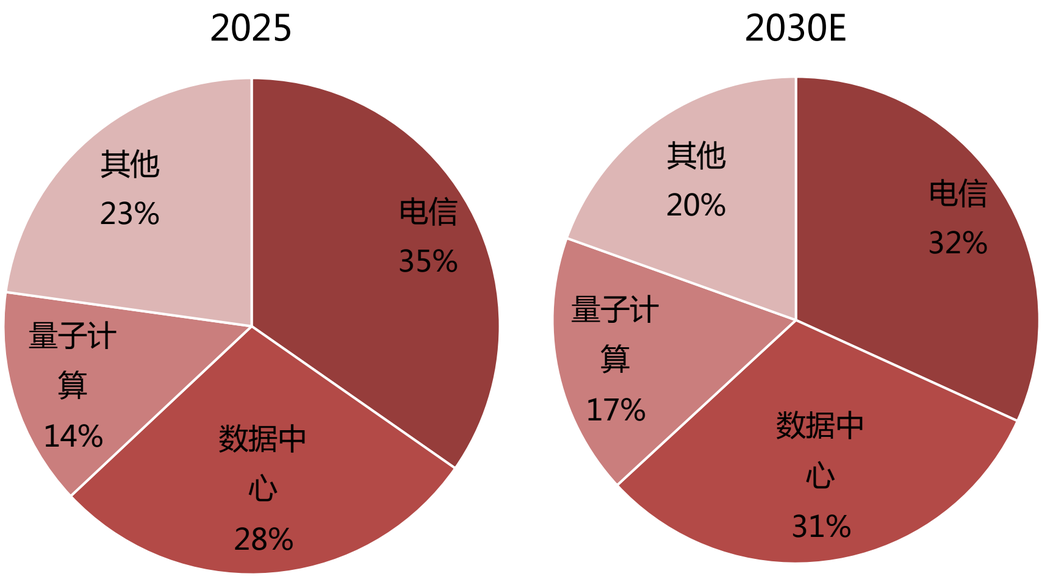
资料来源：产业世界、贝哲斯咨询、IIM、QYResearch、立鼎产业研究、Gallium Price基础数据，五矿证券研究所测算

下载日志已记录，仅供内部参考

薄膜铌酸锂：光芯片高速电光调制的带宽核心

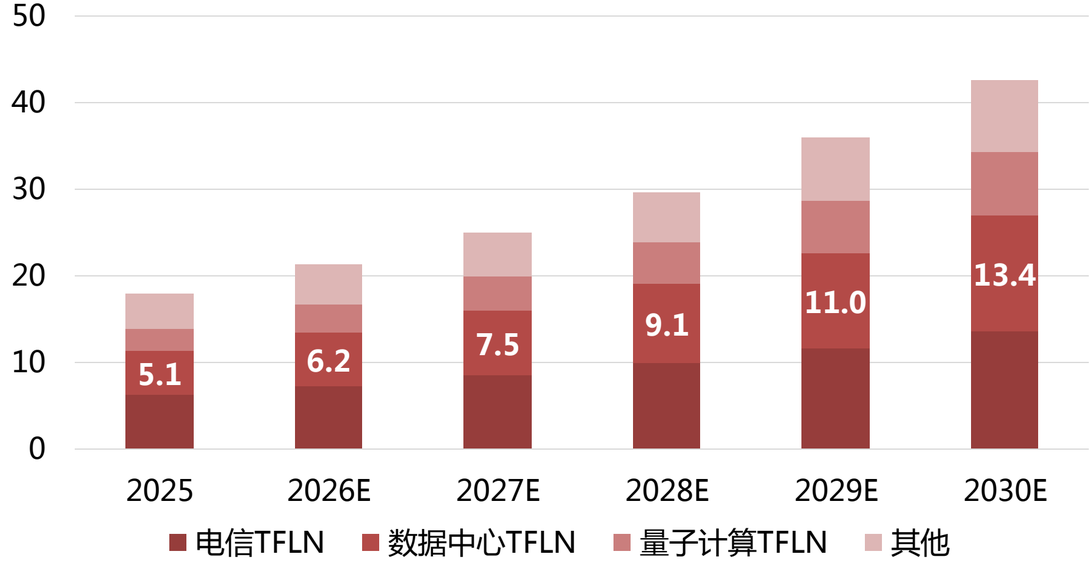
- 薄膜铌酸锂（TFLN）光调制器是当前高速光互连赛道中最具爆发潜力的核心器件，它依托新一代薄膜铌酸锂材料平台制造，通过马赫-曾德尔调制、双偏振同相正交调制等结构，将高速电信号高效转换为调制光信号，相比传统材料铌酸锂调制器，拥有更高电光带宽、更低驱动电压、更小器件尺寸和更强光子集成潜力，是支撑未来3.2T超高速光通信体系的核心硬件基础。
- 当前TFLN调制器下游主要用于电信通信领域，市场占比为35%。据我们测算，数据中心用TFLN调制器市场占比将从2025年的28%跃升至2030年的31%，CAGR约21.3%，数据中心用TFLN调制器市场规模将从2025年的5.1亿美元增加至2030年的13.4亿美元，主要受益于AI大模型训练集群的高速光互连需求爆发。

图表15：TFLN市场下游需求结构变化



资料来源：dataintelo基础数据，五矿证券研究所测算

图表16：TFLN市场规模（亿美元）



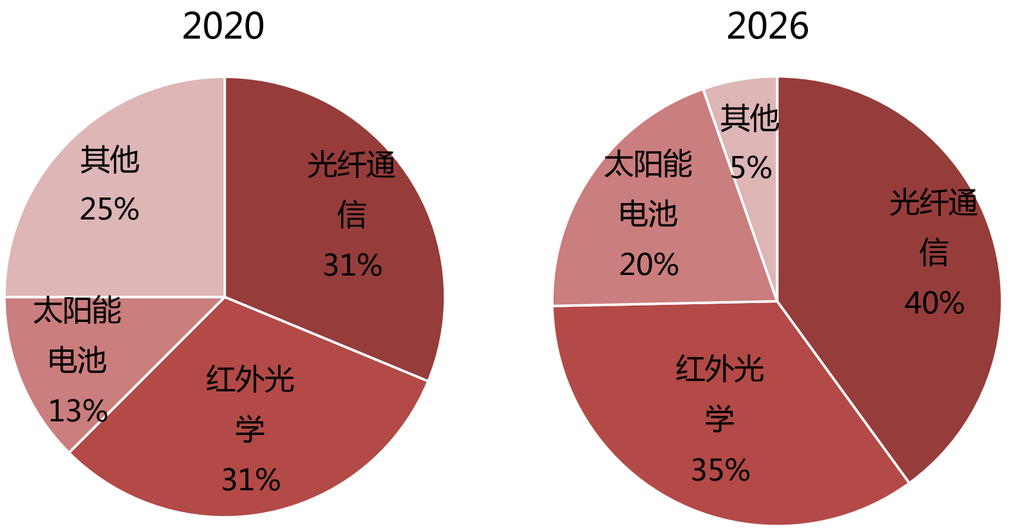
资料来源：dataintelo基础数据，五矿证券研究所测算

下载日志已记录，仅供内部参考

四氯化锗：光纤纤芯高折射率掺杂的关键锗源

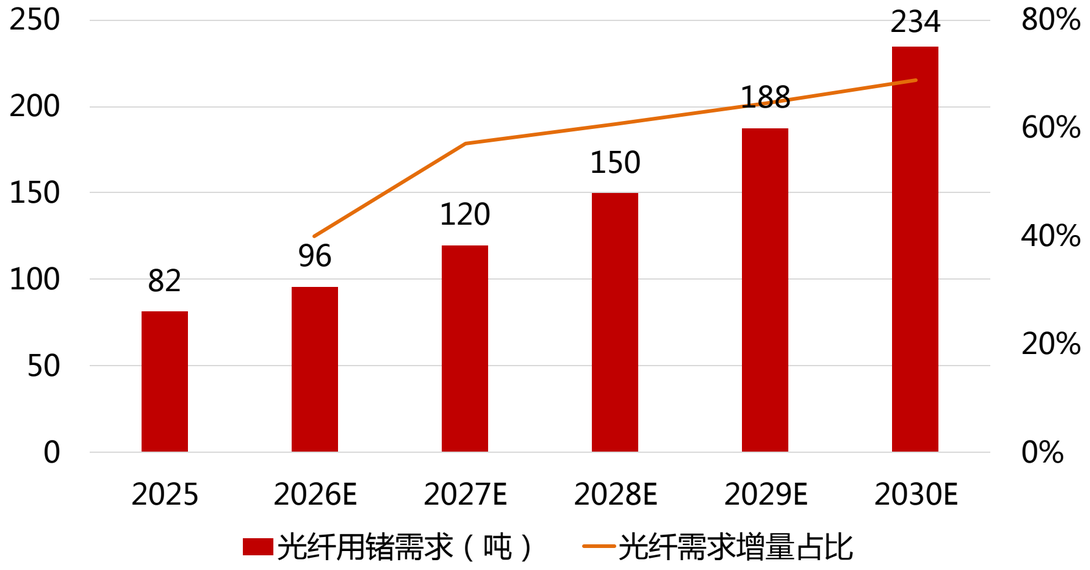
- 在光通信领域中，光纤导光的核心在于纤芯折射率须高于包层以实现全内反射，而四氯化锗经化学气相沉积生成的GeO_2是能稳定提升石英玻璃纤芯折射率、同时保持通信窗口（1310/1550nm）超低光损耗的掺杂剂——其6N级超高纯度和极低的红外吸收本征特性，使其成为光纤预制棒折射率调控中不可替代的物理基础。
- 从需求结构来看，2020年至2026年，锗需求从160吨增加至240吨，光纤通信需求占比提升9个百分点至40%，成为需求端的绝对主力。据我们测算，锗在光通信领域中的需求量将从2025年的82吨跃升至2030年的234吨，年复合增速约为23%，**光纤通信需求增量对于锗整体需求增量的平均贡献幅度为58%。**

图表17：四氯化锗下游需求结构变化



资料来源：SMM、中商产业研究院基础数据，五矿证券研究所测算

图表18：光通信拉动锗需求测算



资料来源：SMM基础数据，五矿证券研究所测算

下载日志已记录，仅供内部参考

2.2电通信：数据传输“短距利器”

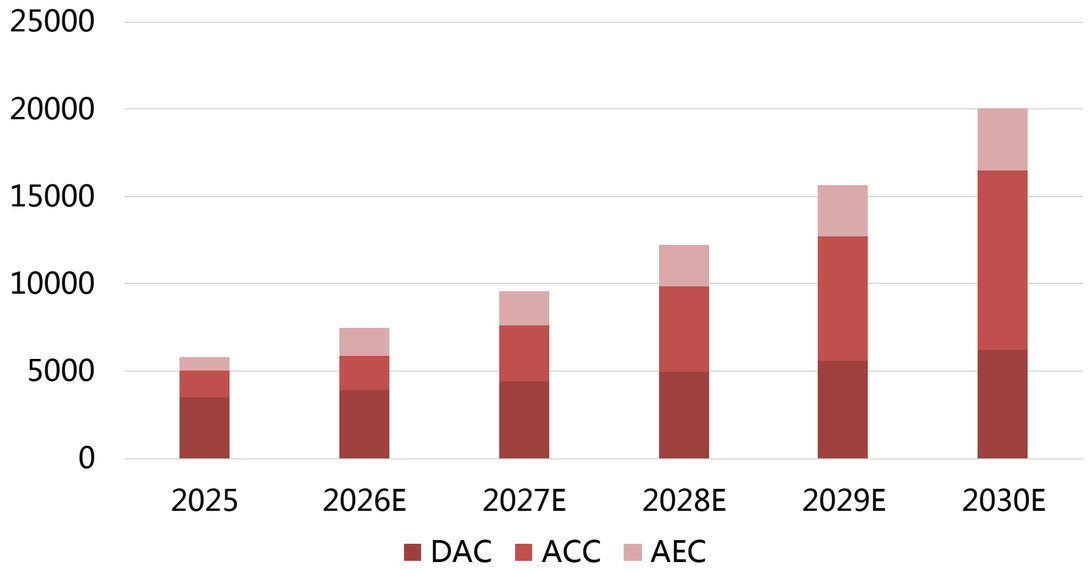
- 在数据中心内部，铜缆凭借无需光电转换带来的超低延迟、极低功耗以及成本优势，牢牢占据服务器机柜内及机柜间数米范围内的架顶式互联市场，为AI集群和云计算提供高可靠性的底层通道。
- 受AI训练集群与高性能计算互联需求拉动，我们预测**高速铜缆**（DAC、ACC、AEC）全球出货量将从2025年的约5833万条增加至2030年的约2亿条，CAGR为28%，整体保持高速增长态势。

图表19：高速铜缆分类

对比维度	DAC（直连线缆）	ACC（有源铜缆）	AEC（有源电缆）
信号完整性	低，易衰减	中等至良好，具有均衡/放大功能	最佳，具有重定时功能
传输距离	≤3米	3-7米	5-15+米
成本	低	中	高
能量消耗	0W（被动）	低功耗	高于 ACC（通常每端 <1W）
灵活性	僵硬，弯曲性有限	略微灵活	高度灵活，适合复杂路由
应用场景	短距离、经济高效的部署	中距离部署	中长距离和高性能场景
局限性	趋肤效应导致的信号衰减、电磁干扰引发的信号完整性恶化、以及高速率下功耗与线径的恶性膨胀		

资料来源：Ascent Optics，五矿证券研究所

图表20：高速铜缆出货量（万条）



资料来源：QYResearch，IIM基础数据，五矿证券研究所测算

下载日志已记录，仅供内部参考

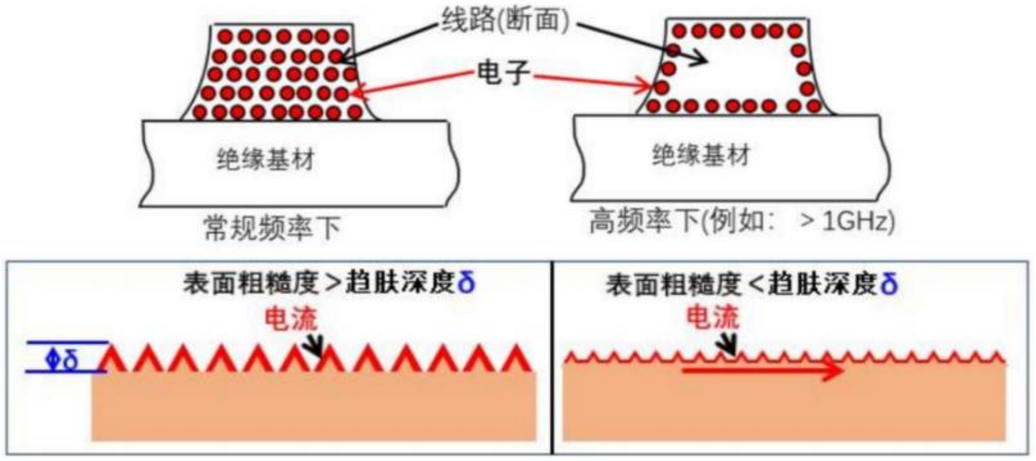
HVLP铜箔：多层PCB板低阻抗材料基础

高频传输导致趋肤效应明显。AI 算力板、交换机单通道 SerDes速率已达到 224Gbps，高频条件下趋肤效应明显，高频电流仅在 PCB 铜箔极薄的表层区域传输，造成信号插入损耗变大、信号完整性恶化。

从铜箔与基材两个维度同步升级。降低铜箔表面轮廓最大高度 Rz，削减铜箔粗糙度带来的额外导体损耗；选用低 Df（介质损耗因子）、Dk（介电常数）稳定的树脂体系，压低介质损耗。

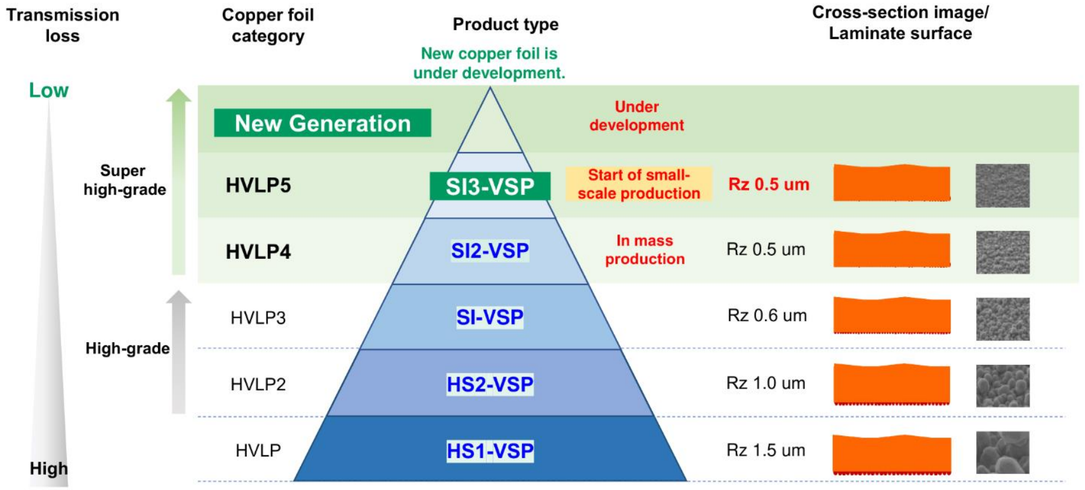
HVLP铜箔低Rz可显著降低导体损耗。超低轮廓电解铜箔HVLP属于高端电解铜箔，核心指标是压合面毛面粗糙度Rz（轮廓最大高度）极低，三井金属HVLP4可以将Rz降低至0.5μm（普通标准电解铜箔 Rz=3-8μm）

图表21：高频电流只在铜箔最表层流动（趋肤效应）



资料来源：《压延铜箔表面处理技术及进展》张春阳，五矿证券研究所

图表22：高速高频通信对铜箔Rz要求提高



资料来源：三井金属，五矿证券研究所

下载日志已记录，仅供内部参考

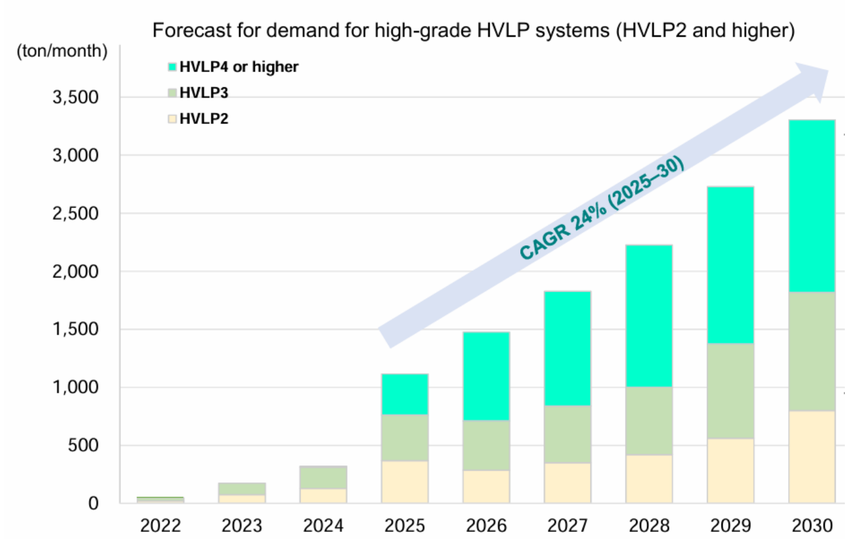
HVLP铜箔：多层PCB板低阻抗材料基础

□PCB板用铜箔量大幅提升。AI 芯片（GPU/ASIC）引脚数激增（BGA 管脚达数万个），平面布线空间受限，必须增加信号层疏导极度拥挤的走线。一般的服务器主板PCB在10-12层，而AI算力用到的PCB层数已经提升至20-30+层。

□未来五年高端HVLP铜箔需求量复合增速24%。根据三井金属描述，随着AI 服务器、高速交换机、800G/1.6T 光模块的 224Gbps 高速 PCB 需求增加，预计2030年全球HVLP2以上铜箔月度需求量将达到3,300吨/月，2025-2030年复合增长率达到24%。

□随着PCB层数的增加，PCB微钻用量也大幅攀升。1）PCB板更厚，通孔更深导致单板排削量大幅增加；2）高层数 M8/M9 板材的耐磨蚀特性导致微钻寿命大幅缩短。根据鼎泰高科招股说明书，预计2026-2030年全球PCB钻针复合增长率达到9.6%。

图表23：高频电流只在铜箔最表层流动（趋肤效应）



资料来源：三井金属，五矿证券研究所

图表24：PCB生产工艺流程



资料来源：鼎泰高科招股说明书，五矿证券研究所

下载日志已记录，仅供内部参考

03

高算力密度：制程微缩与三维集成

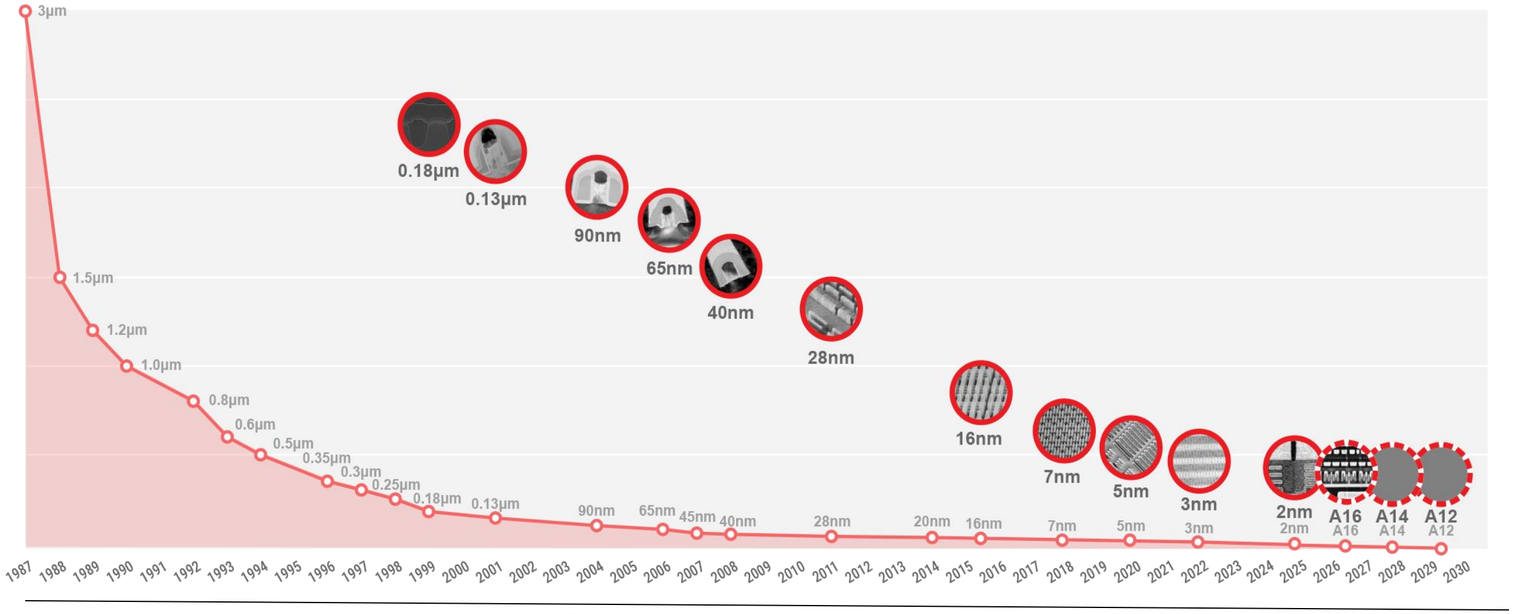
下载日志已记录，仅供内部参考

3.1制程微缩：在“二维平面”上塞进更多器件-缩小关键尺寸

先进制程延续“摩尔定律”。逻辑芯片，先进制程将晶体管做到 3nm以下，相同面积下的晶体管数量增加，提升芯片性能、降低功耗、提高集成度；**存储芯片，**与逻辑芯片的技术发展路线类似，增大介电常数、降低介电材料的厚度是改善电容器存储性能的主要途径。

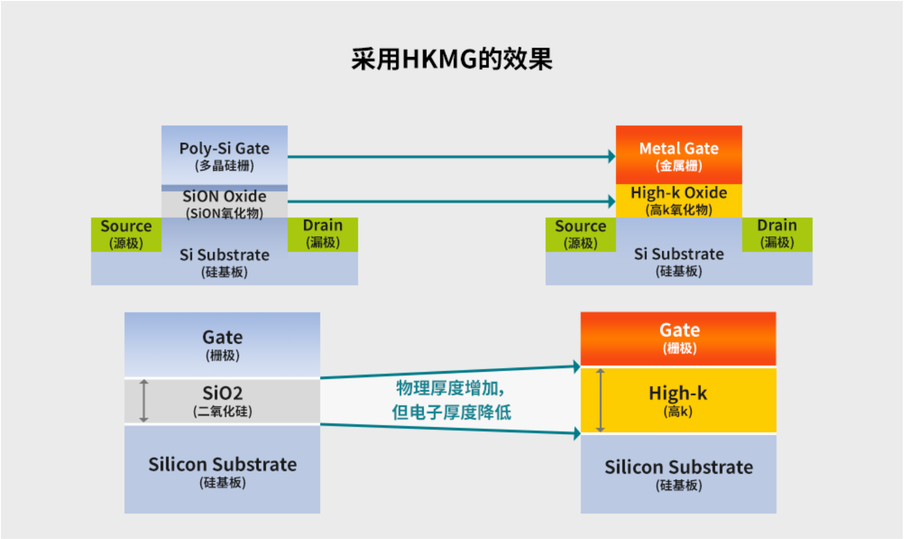
HKMG（高k金属栅极）工艺引领先进制程突破。二氧化硅介电常数低，氧化层极限厚度为 1.5nm，低于该厚度会出现隧穿现象。HKMG用具有显著更高介电常数的材料替代传统SiO2介质，同时用金属导体替代多晶硅电极，解决了使传统栅堆栈在先进工艺节点下难以继续维系的失效模式。

图表25：先进制程的发展



资料来源：台积电官网，五矿证券研究所

图表26：HKMG（高k金属栅极）结构



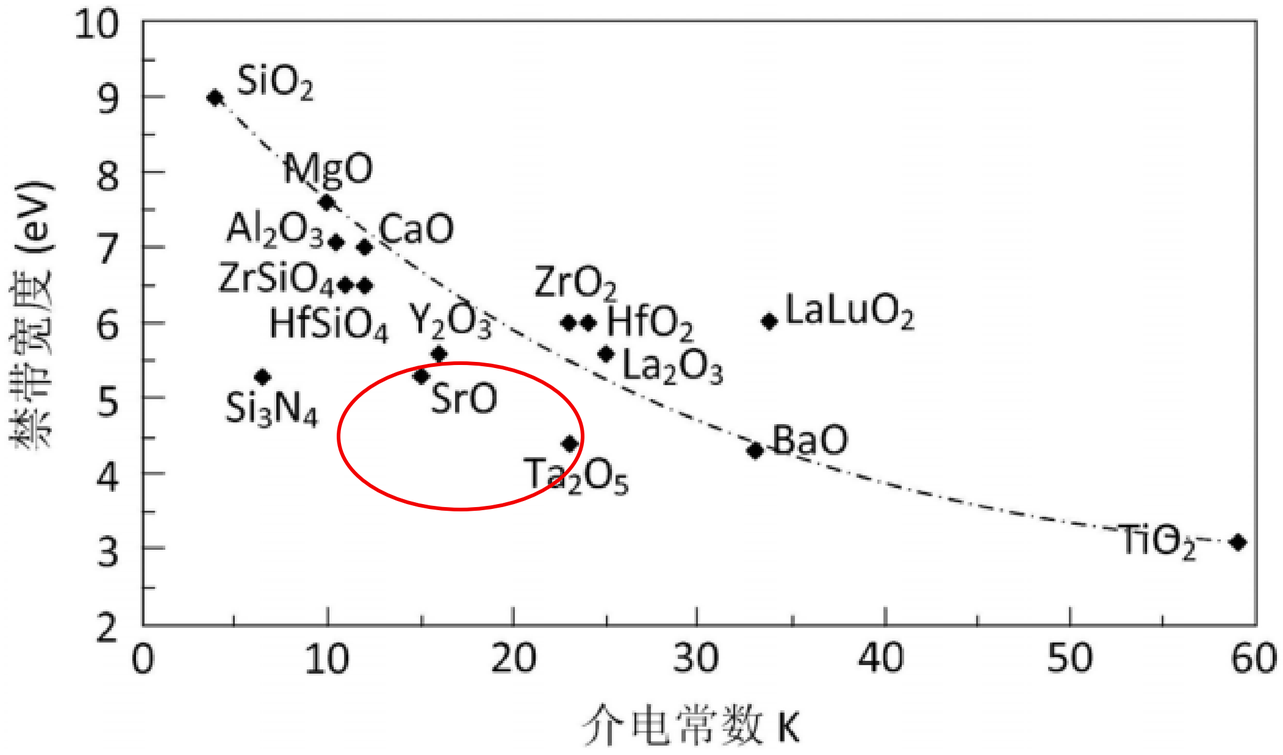
资料来源：半导体材料与设备，五矿证券研究所

下载日志已记录，仅供内部参考

3.1制程微缩：在“二维平面”上塞进更多器件-缩小关键尺寸

□锆、铪是芯片High-k首选材料。更高的介电常数可以降低栅漏电流密度；宽禁带可以提高材料与硅衬底交界面形成的势垒高度，阻挡隧穿；合适的结晶温度，以保持非晶态，防止晶界会成为漏电流通道和缺陷聚集地；当将锆（Zr）以约 1:1 的比例掺氧化铪中，晶体会在低温降温过程中稳定在特定的正交相，从而展现出强烈的铁电性。

图表27：铪是高介电常数和宽禁带宽度的首选材料



资料来源：天天IC，五矿证券研究所

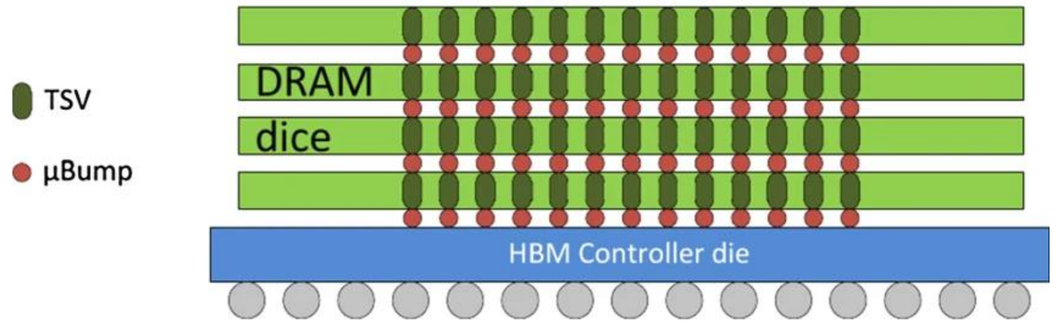
下载日志已记录，仅供内部参考

3.2 3D堆叠：向“垂直方向”借空间

3D堆叠解决计算“内存墙”瓶颈。摩尔定律驱动下，近二十年来计算能力增长了约 90000 倍，而内存带宽仅增长约 30 倍——两者相差约三个数量级。性能提升的路径从“变小”切换到“叠高”，3D堆叠将计算核心与内存垂直靠近，物理距离缩短，带宽飙升（如HBM3E带宽已超1TB/s）。

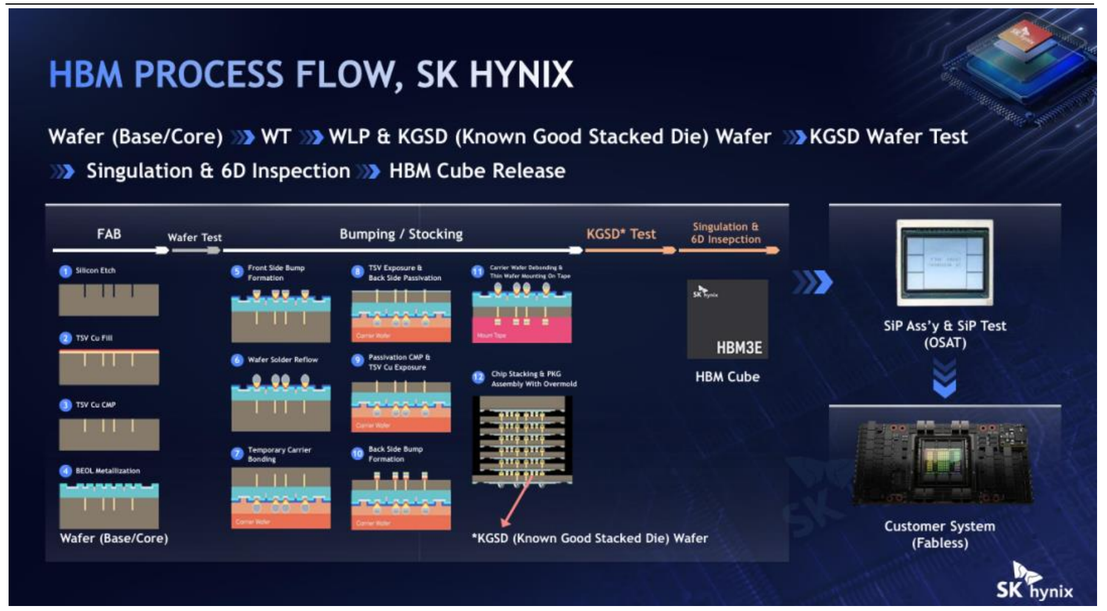
TSV 三维电学互连是HBM核心控制点。TSV（Through Silicon Via）在 DRAM 芯片上打出数千个微米级硅通孔，依托高密度堆叠与先进散热封装，实现上下层芯片的高密度直接信号传输。TSV工艺技术包括深硅刻蚀形成微孔，再进行绝缘层、阻挡层、种子层的沉积，深孔填充，退火，CMP 减薄，Pad 的制备叠加等工艺技术。

图表28：HBM 芯片纵向 TSV 堆叠结构



资料来源：Accelerating time series motif discovery in the Intel Xeon Phi KNL processor，五矿证券研究所

图表29：HBM生产工艺



资料来源：海力士，五矿证券研究所

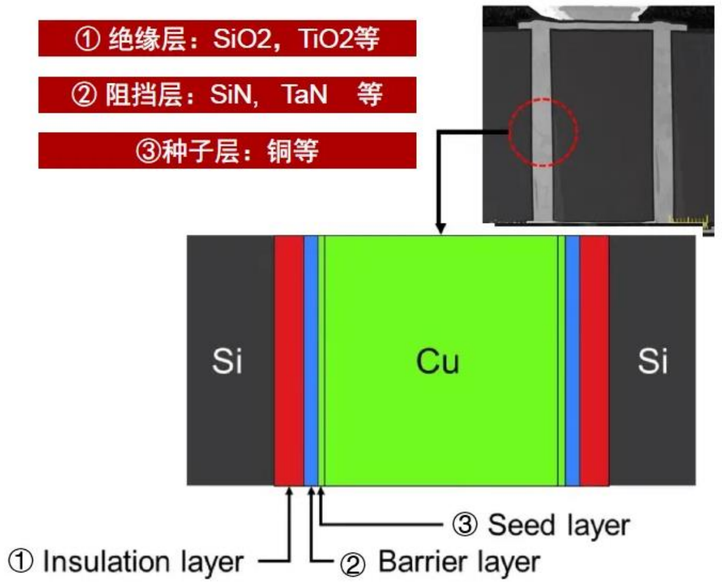
下载日志已记录，仅供内部参考

3.2 3D堆叠：向“垂直方向”借空间

□钽、钛、铜在TSV工艺中起到关键角色：

- **深盲孔刻蚀。**通过 SF_6 刻蚀与 C_4F_8 钝化膜交替进行的 Bosch 工艺，在硅衬底上刻蚀出深宽比达 10:1 至 20:1 的垂直盲孔
- **绝缘层/阻挡层沉积。**在Cu 和半导体本体之间需要沉积一层阻挡层，既能阻挡Cu 向SiO2中扩散，也能提高Cu 在SiO2表面的黏附强度。通常的阻挡层材料包括Ta、TaN/Ta、TiN 等金属或金属化合物。
- **电镀铜填充。**在阻挡层之后还会再生长一层Cu种子层，用于后续电镀填充工序中导电作用；和提供Cu晶核，以获得更均匀的结晶。

图表30：硅通孔微观结构



资料来源：倍特盛，五矿证券研究所

下载日志已记录，仅供内部参考

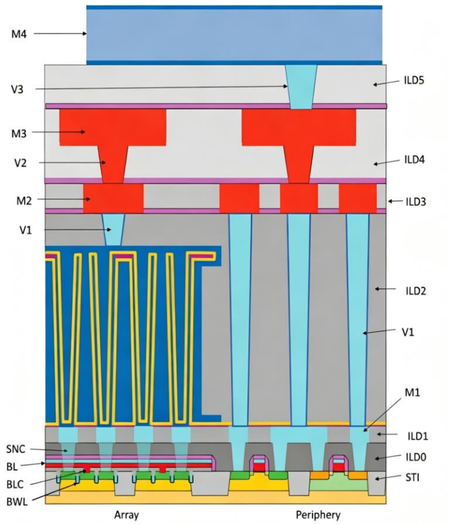
3.2 3D堆叠：向“垂直方向”借空间

□HBM中的钨。钨能通过CVD配合WF6在纳米级深孔中覆盖率高，且热膨胀系数与硅相近，所以在半导体中主要用于晶体管与互联层的连接、先进DRAM的字线、大容量3D NAND字线（300层以下）等。

- 接触插塞：填充晶体管源极/漏极与第一层金属布线之间的微型接触孔
- 位线与埋入式字线：先进 DRAM 存储单元中，常作为埋入式字线和位线导电层，以及连接电容器的接点

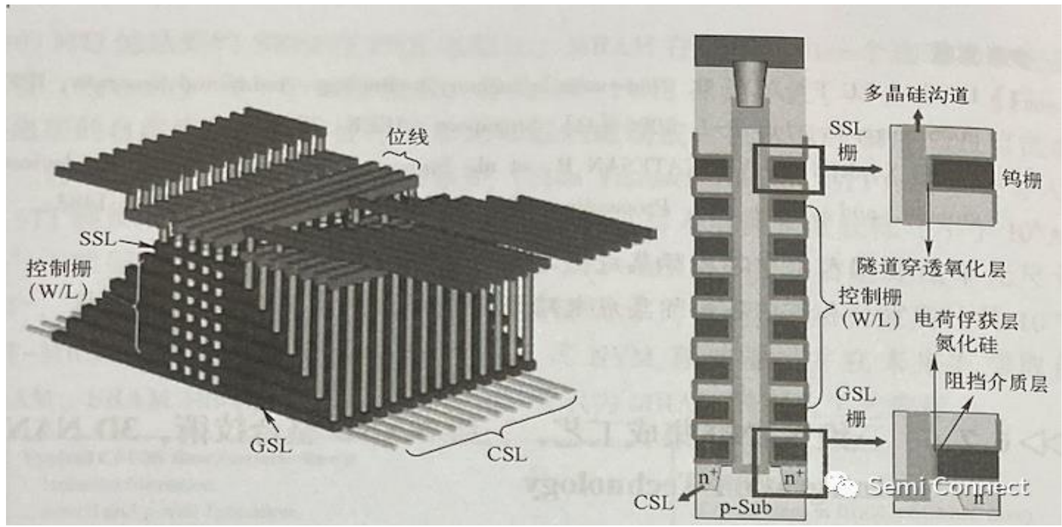
□钼代钨主要发生在更细场景。钼电子自由程短，在超薄尺寸下的电阻率显著低于钨，引入钼替代部分极细钨：1）随着逻辑芯片制程推进至 3nm 及以下，接触孔尺寸缩小；2）300层以上3D NAND字线的物理厚度被进一步压缩至 10~15 纳米以下

图表31：埋入式字线（BWL）DRAM内存



资料来源：《3D IC devices, technologies, and manufacturing》Hong Xiao，五矿证券研究所

图表32：3D NAND结构图/钨钼需求测算



资料来源：半导体材料与工艺，五矿证券研究所

下载日志已记录，仅供内部参考

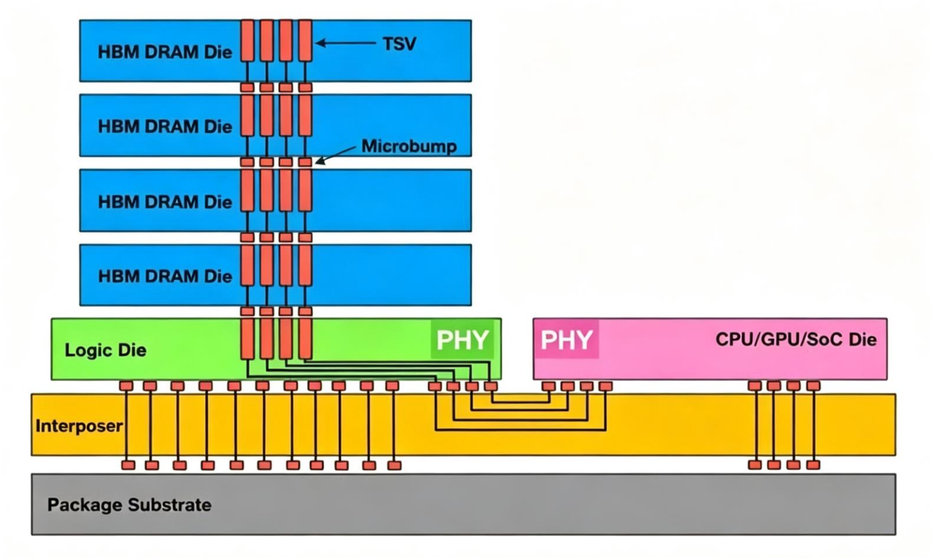
3.3先进封装（Chiplet）：在“三维空间”做系统集成

先进封装缩短芯片间的互联距离。先进封装即多个具有特定独立功能、可在不同制程节点制造的芯片，通过高密度垂直/平面互连技术重新集成在同一封装内的架构设计与制造方法。

锡是先进封装的核心材料。微凸点焊料负责芯片侧的精细互连（电镀级高纯锡与电镀化学品、Type 6~8 Paste超细焊锡膏），BGA锡球负责封装体与PCB的连接，锡膏用于系统级封装的元件贴装。

高纯化和提高电迁移能力是未来发展趋势。芯片电极尺寸急剧缩小，焊料中微量放射性元素诱发的软错误风险成倍增加；微凸块截面积微小、电流密度高，焊料需通过掺杂微量 Ni、Sb、Bi 或稀土元素，抑制金属原子扩散与柯肯达尔空洞生成

图表33：先进封装结构



资料来源：九川数科，五矿证券研究所

图表34：先进封装各环节锡膏用量

互连层级	典型结构/材料	含锡量相对判断	核心结论
HBM 内部堆叠互连	早期焊料凸块，现阶段以微凸块为主；长期可能转向直接/混合键合	单点含锡极少，但连接数极多	先进封装技术壁垒最高的锡应用之一，但纯吨量未必最大
HBM/逻辑芯片与硅中介层	微凸块、Cu pillar + solder cap、锡基焊料凸点	单位面积含锡低于BGA，但价值密度高	受层数提升与I/O增长驱动，焊点数显著增加
中介层与有机(ABF)基板	C4/焊球/倒装互连	单点锡量高于微凸块	是“锡量明显上台阶”的关键层级之一
封装基板 BGA 与 PCB	BGA 焊球、SMT 锡膏	耗锡主体	AI 服务器整机耗锡的主战场

资料来源：smm，五矿证券研究所

下载日志已记录，仅供内部参考

04 高功率：供电系统和散热

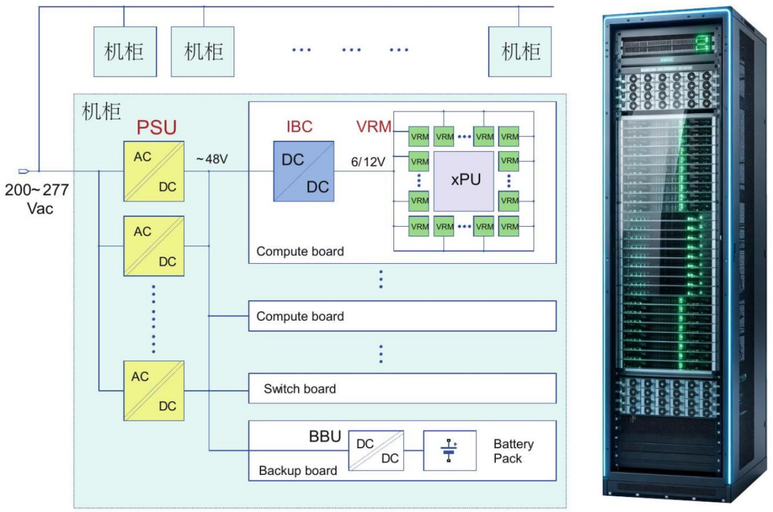
下载日志已记录，仅供内部参考

4.1第三代半导体：高压架构的基石

高压架构是数据中心供电系统发展的确定方向。800VDC高压直流架构系统电压等级直接跨越了传统硅基 MOSFET 的安全安全工作区，将全面倒逼 1200V SiC MOSFET 与高压 GaN 成为下一代数据中心电网的底层基石。

- SiC（碳化硅）：凭借低导通损耗、高开关频率、耐高温等特性，可显著降低电源转换损耗与散热成本，适用于高压、大功率场景，如PSU的AC-DC前端、PFC（功率因数校正）级。
- GaN（氮化镓）：在相同导通电阻下可以实现更小芯片面积，同时具备更低开关损耗和更低栅极电荷，尤其适合高频、高功率密度DC/DC模块，如DC-DC和VRM（电压调节模块， 紧贴CPU/GPU布置，负责将12V DC降压至芯片所需的1V/0.8V）。

图表35：算力服务器IT机架电源架构：PSU输出48V，IBC降至6/12V为xPU供电



资料来源：东微半导体，五矿证券研究所

下载日志已记录，仅供内部参考

4.2金属合金磁粉芯

- 金属合金磁粉芯是制造服务器电源中PFC电感和DC-DC电感的核心磁性材料。与传统铁氧体相比，它具有更高的饱和磁通密度，意味着在更小的体积内能承受更大电流，且高温稳定性更好。（GPU 存在毫秒级数百安培的动态负载剧跳）
- 常见材料体系包括**铁硅铝磁粉芯、铁镍磁粉芯、铁硅磁粉芯**等。发展方向：1）微粉化与纳米级化学包覆，抑制高频涡流损耗；2）金属粉末+扁平铜线一体压铸；3）纳米晶/软磁复合材料，在保持大电流不饱和的前提下提高初始磁导率，减少铜线缠绕圈数
- 单台AI服务器一体成型电感用量是传统服务器的8-10倍，价值量提升5-15倍。根据灼识咨询统计及预测，2025年全球AI芯片电感行业规模58亿元，预计2030年达到269亿元，年复合增长率35.9%。

图表36：芯片电感示意图



资料来源：铂科新材，五矿证券研究所

图表37：全球AI芯片电感行业市场规模



资料来源：界面新闻，铂科新材，五矿证券研究所

下载日志已记录，仅供内部参考

4.3电源的高要求-电容

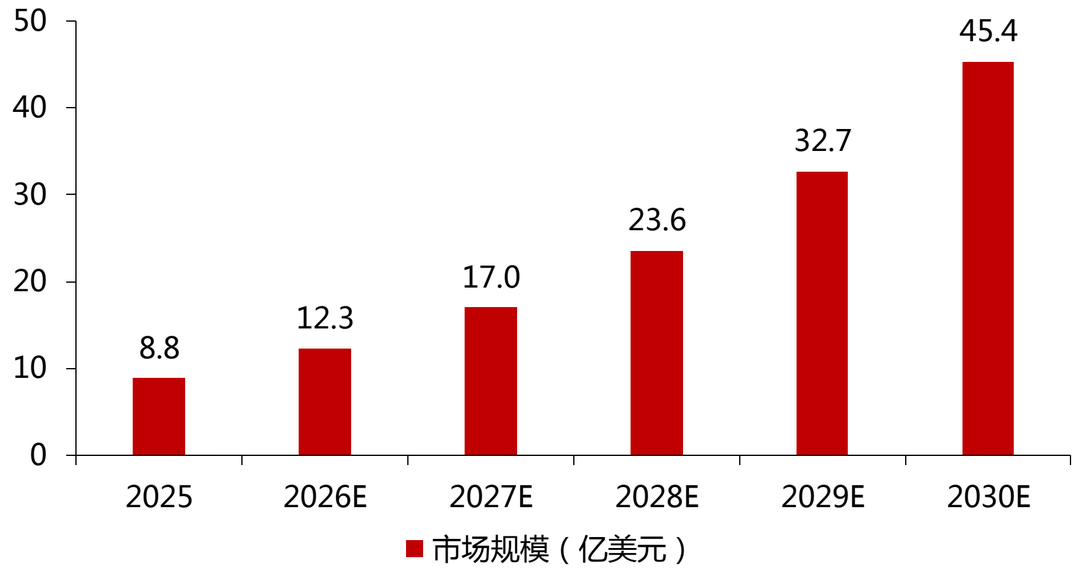
- AI数据中心供电从传统12V/48V跃升至800V/±400V高压直流架构，电解电容、薄膜电容、MLCC（多层陶瓷电容）等基础器件作为产业链底层支撑，面临耐压等级大幅提升、高频响应与可靠性要求更严、功率密度更高的全新技术迭代需求。
- **全球AI服务器MLCC市场规模持续攀升。**据Global Info Research调研报告显示，2025年全球AI服务器MLCC市场规模为8.8亿美元，预计2026年增至12.3亿美元，2030年达到45.4亿美元，CAGR为38.7%。
- 随着AI芯片功耗提升和板级空间收紧，MLCC向高容、小尺寸、低ESL、高可靠升级，高端高容产品价值量占比将持续提升。

图表38： 服务器机柜要求的历史演变



资料来源：智工能源科技，五矿证券研究所

图表39：全球AI服务器MLCC市场规模



资料来源：Global Info Research，五矿证券研究所

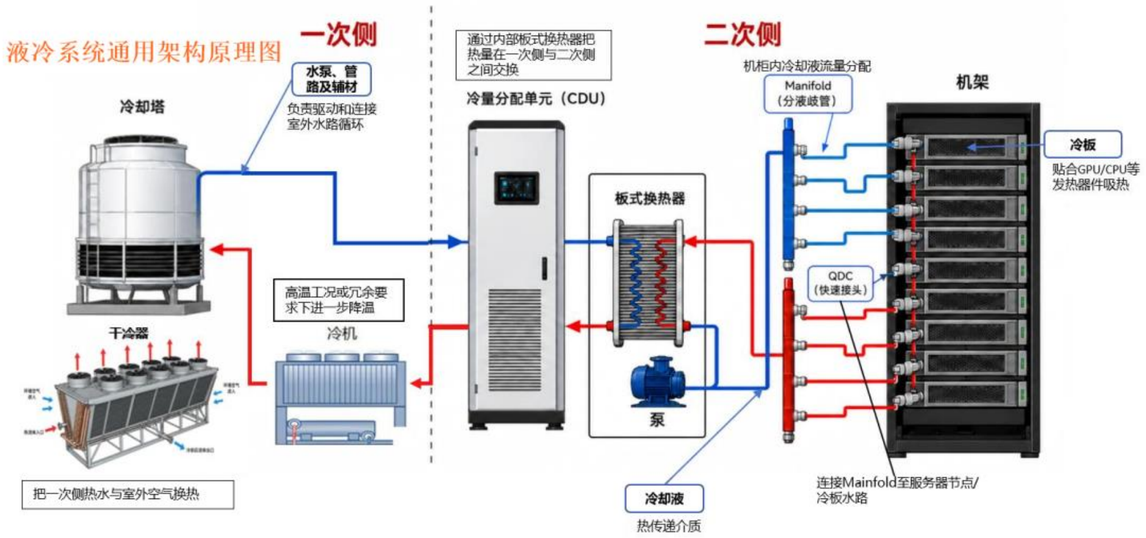
下载日志已记录，仅供内部参考

4.4液冷-高功率散热的解决方案

传统风冷方案逐渐接近物理极限，液冷是支撑下一代算力基础设施的重要部分。施耐德电气研究表明，算力规模相同时下，单个机架功率为20kW的，液冷比传统风冷节省大约10%的投资成本；单机架功率增加到40kW时，这一比例上升到了14%。

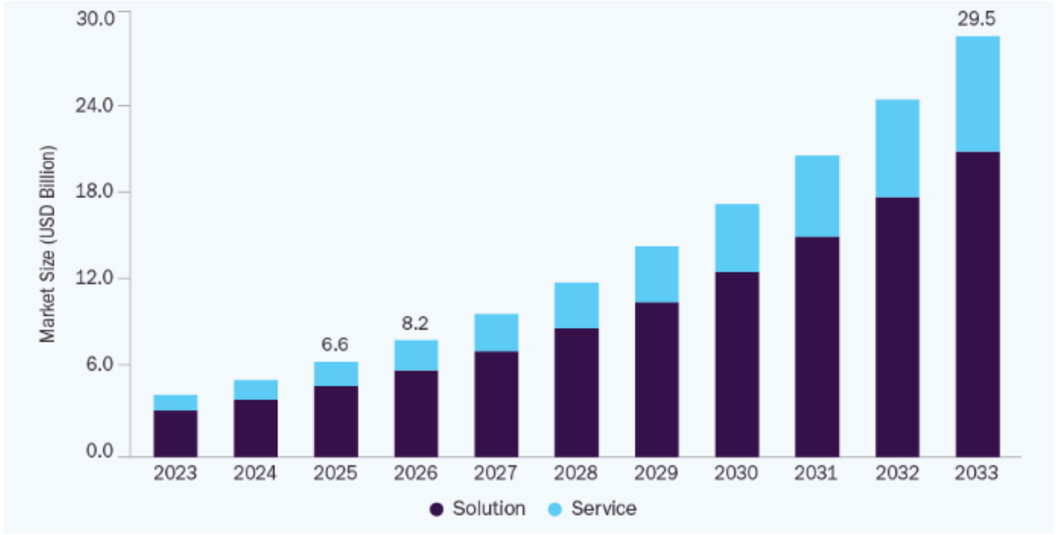
从 GB200、GB300 迭代到 Rubin，机柜液冷配套价值持续走高：GB200 液冷配套约 8 万美元，GB300 约 9.5 万美元，Rubin 直接来到 14-16 万美元。根据Grand View Research预测，2025年全球智算中心液冷市场规模达到了 66 亿美元，预计2033年达到295亿美元，年复合增长率达到20.6%

图表40：冷板式液冷系统原理图



资料来源：中粉热管理、五矿证券研究所

图表41：全球数智中心液冷市场规模预测



资料来源：Grand View Research，五矿证券研究所

下载日志已记录，仅供内部参考

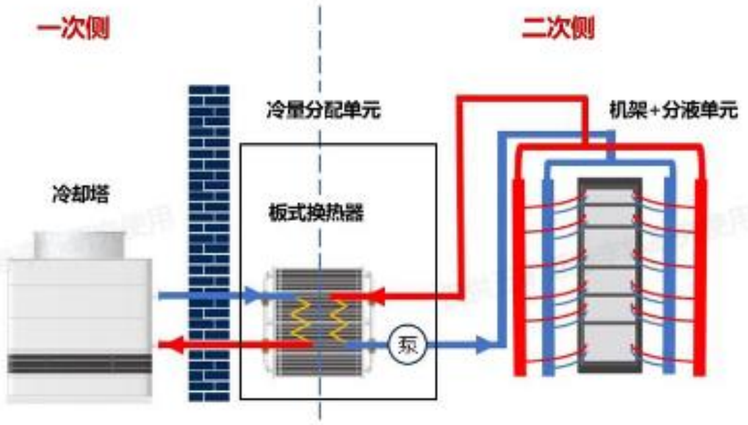
4.4液冷-高功率散热的解决方案

□智算中心液冷散热系统主要有三种形式，分别为：冷板式液冷系统、浸没式液冷系统和喷淋式液冷系统，其中冷板式系统成熟可靠，工程实践广泛；浸没式液冷在二次侧实现了 100%液体冷却，节能效果更优。

□**冷板式液冷系统主要包括：**冷板、管路、快速接头、分液歧管、冷量分配单元与室外一次侧冷却设备等组件。冷板通常是由**铜、铝等高导热金属构成的封闭腔体**。未来冷板将向微米级拓扑结构演进，采用金属 3D 打印技术配合金刚石/铜复合物。

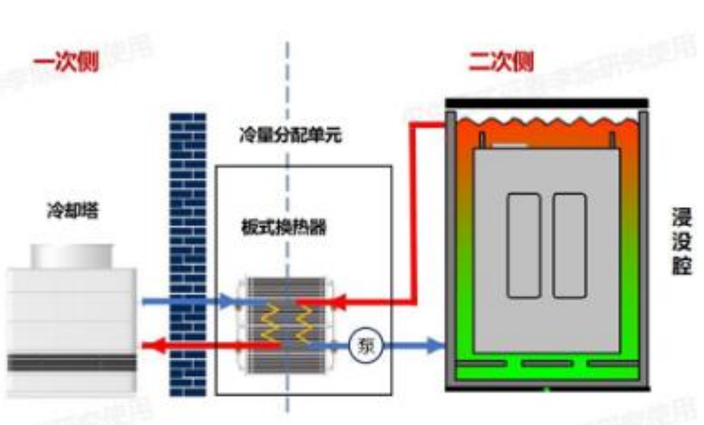
□**芯片散热：**芯片散热有TIM1（一级热界面材料 / 封装级热界面）、TIM2（二级热界面材料 / 系统级板级热界面）。当前主流高功率芯片有聚合物基相变导热界面材料（PCM）、铟箔金属焊料（Solder TIM）以及液态金属（Ga-In 合金），未来趋势关注“金刚石铜”复合材料、多晶金刚石热沉片等。

图表42：冷板式液冷系统图



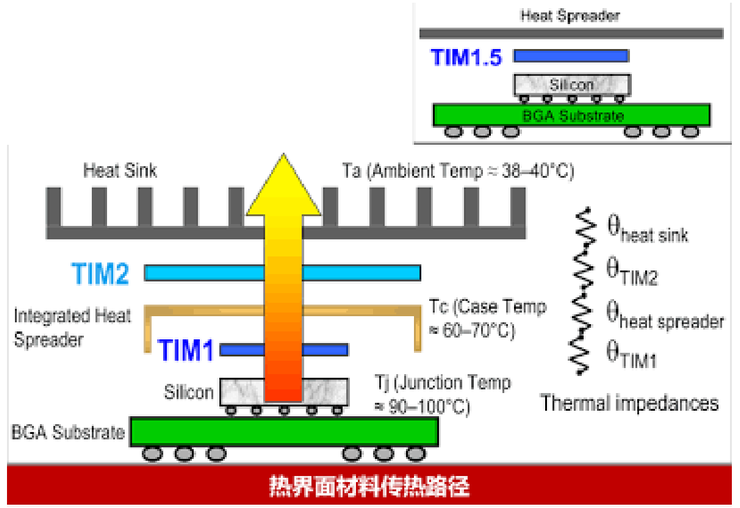
资料来源：中国信通院、五矿证券研究所

图表43：浸没式液冷系统图



资料来源：中国信通院、五矿证券研究所

图表44：芯片封装级热界面材料传热路径



资料来源：鸿富诚、五矿证券研究所

下载日志已记录，仅供内部参考

05 物理传感：AI从虚向实的必经之路

下载日志已记录，仅供内部参考

物理感知是AI走向现实世界的重要方式

- 物理感知是具身智能体与物理世界交互的起点和基础，它作为智能体的“感官系统”，为后续的决策与执行提供关键的环境与状态信息，是智能体实现自主行动的先决条件。
- 具身智能传感器承担感知层核心功能，是智能体获取外部信息、掌控自身状态的唯一入口，按功能分为力觉传感器、触觉传感器、视觉传感器、MEMS IMU以及位置传感器五大核心品类，覆盖智能体全场景感知需求。
- 传感器属于具身智能产业链上游环节，在人形机器人BOM成本中占比约15%。我国出台的《人形机器人创新发展指导意见》中，明确将传感器作为核心零部件，纳入重点支持领域，鼓励企业加大研发投入，突破核心技术瓶颈。

图表45：传感器类别及作用

传感器类型	核心定位	关键作用
力觉传感器	力控核心“皇冠明珠”	六维力矩传感器同步测三维力+力矩，支撑腕部力控、步态平衡、安全协作
触觉传感器	精细操作“最后一公里”	电子皮肤+MEMS阵列，实现灵巧手精细抓取、安全人机交互
3D视觉传感器	智能体的“智慧之眼”	结构光/ToF/双目方案，完成环境建图、物体识别、避障导航
MEMS IMU	平衡定位“内耳”	集成加速度计+陀螺仪，保障姿态估计、运动规划、稳定行走
位置传感器	关节精准“标尺”	光电/磁编码器，实现关节角度、位置高精度反馈

资料来源：luminwave，五矿证券研究所

图表46：具身智能产业链上游结构



资料来源：具身智机产业汇，五矿证券研究所

下载日志已记录，仅供内部参考

砷化铟镓：具身智能短波红外感知的高灵敏光电探测核心

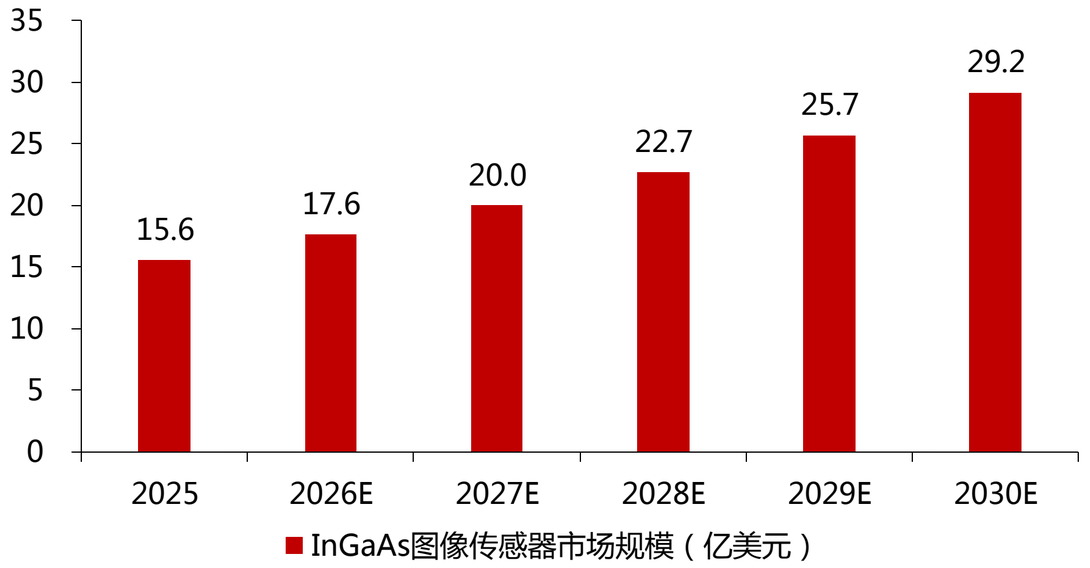
- 砷化铟镓（InGaAs）具有带隙可调与高电子迁移率的物理特性，通过调节组分能使其覆盖近红外至短波红外波段，利用短波红外可穿透雾霾、实现全天候感知的能力，弥补可见光与热红外的盲区，让智能体在低光、烟、雾等复杂环境下保持视觉能力。同时，InGaAs 具有直接带隙和极高的电子迁移率，能实现皮秒级响应速度与高量子效率，是人眼安全波段激光雷达（LiDAR）接收端的理想材料，满足具身智能对全天候适应性和高速高精度探测的需求。
- 据Intel market research预测，InGaAs图像传感器市场规模将从2025年的15.6亿美元增长至2030年的29.2亿美元，CAGR为13.4%，其增量主要受益于消费市场对智能终端设备更快处理速度和更高精度的需求的日益增加。

图表47：InGaAs短波红外探测器作用

功能领域	InGaAs SWIR探测器具体作用
环境感知与导航	提供类似可见光的清晰反射成像，具备穿雾、烟、尘能力，用于恶劣环境下的全天候导航与侦察。
目标与物质识别	利用光谱“指纹”特性区分物质，并能识别人眼和可见光无法分辨的伪装、假发等。
工业与质量检测	实现半导体晶圆内部缺陷检测、裂缝检测及工业色选。
微光与夜视	借助月光、星光等微弱反射光成像，实现无需主动照明的微光夜视能力。
激光雷达与3D感知	高效探测155X nm“人眼安全”激光，是远距离激光雷达（LiDAR）的关键。

资料来源：马旭，李云雪等：论文《短波红外探测器的发展与应用》，五矿证券研究所

图表48：InGaAs图像传感器市场规模



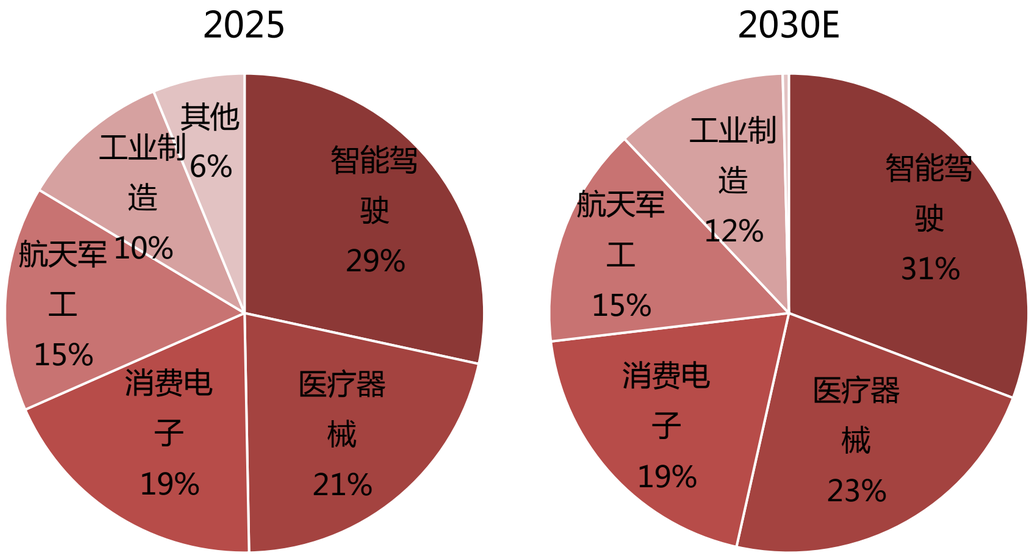
资料来源：Intel market research基础数据，五矿证券研究所测算

下载日志已记录，仅供内部参考

锆钛酸铅：具身智能体的压电“触觉神经”

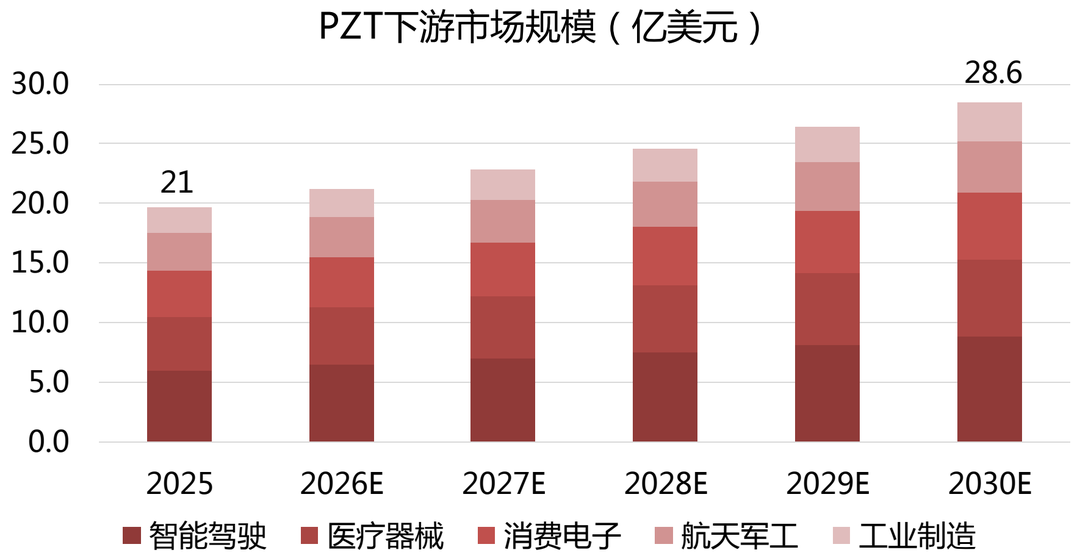
- 锆钛酸铅（PZT）是一种典型的压电陶瓷材料，拥有优异的压电性能、高居里温度和高机电耦合系数，是传感器、制动器、换能器及能量收集装置的核心功能材料。目前，PZT正在成为机器人触觉感知和电子皮肤的关键传感元件，从高分辨率的纹理识别和方向感知，到静态力检测、双模态传感，再到大面积可拉伸电子皮肤和微型自供能系统，PZT都展现出强大潜力。
- 据我们测算，PZT整体下游市场规模将从2025年的21亿美元增长至2030年的28.6亿美元，CAGR为6.8%。其中，智能驾驶是第一大应用领域，采用基于PZT的传感器的高级驾驶辅助系统，在防撞、车道保持和自适应巡航控制等方面发挥着重要作用；同时，由于PZT陶瓷具有出色的机电耦合系数和压电电荷常数，其在医疗器械、消费电子等领域的先进设备小型化趋势中也不可或缺。

图表49：PZT下游市场结构



资料来源：Data Intelo，五矿证券研究所

图表50：PZT下游市场规模



资料来源：Data Intelo基础数据，五矿证券研究所测算

下载日志已记录，仅供内部参考

06

科技与金属双向赋能
——价值裂变与资本重构

下载日志已记录，仅供内部参考

6.1 科技与金属双向赋能，从“算法”到“物理”的五大环节重新定义金属材料需求结构

- AI 的瓶颈正从"算法"转向"物理"——信号怎么传、电怎么供、热怎么散、空间怎么省、世界怎么感知，每一环节都和关键金属材料息息相关
- 科技产业要求 → 关键部件 → 金属 → 需求结构 → 不可替代性，一是需求是结构性的周期逻辑不同；二是多品种供给高度集中，需求兑现带来巨大价格弹性

图表51：新周期下科技对关键金属产业链影响 **AI 算力背后，第一性原理——需求结构性增长 × 供给高度集中，决定价格弹性**

环节	科技要求	关键部件	涉及金属材料	需求强度	为什么不可替代
光通信	数据长距离高速传输，机柜间“光进铜退”	光模块、激光器、光纤	磷化铟、砷化镓、薄膜铌酸锂、四氯化锗	拉动铟、镓需求贡献占比约7-8%	唯一能直接发出1.3/1.55μm光纤低损耗波长的衬底材料
电通信	板内/柜内短距离、大电流、低损耗传输	高速铜缆、高多层PCB、CCL	铜（HVLP超低轮廓铜箔）	AI服务器15–30kg/台，为普通服务器的3–6倍	导电率仅次于银、成本远低于银，规模用量下无替代选项
算力密度	制程微缩放缓，向“垂直方向”和系统级借空间	3D堆叠、HBM、先进封装微凸块、TSV	锡（微凸块焊料）	单颗HBM含数千个微凸块，先进封装焊点成倍增加	可量产、可靠、低成本互连，微凸点/锡基焊料为主流方案
高功率	高压直流供电与液冷散热成为算力标配	电源模块、金属磁粉芯、液冷板	铝、金属磁粉芯、SiC/GaN配套材料	液冷服务器20–30kg铝/台；机柜功率132kW→600kW+	风冷触及物理极限，液冷与高压供电是绕不开的必选项
物理传感	AI 从“算”走向“感知”，进入真实物理世界	短波红外探测器、压电传感器	砷化铟镓、锆钛酸铅（PZT）	具身智能带来的“从0到1”新增需求	InGaAs适用于短波红外探测，PZT为成熟压电陶瓷体系

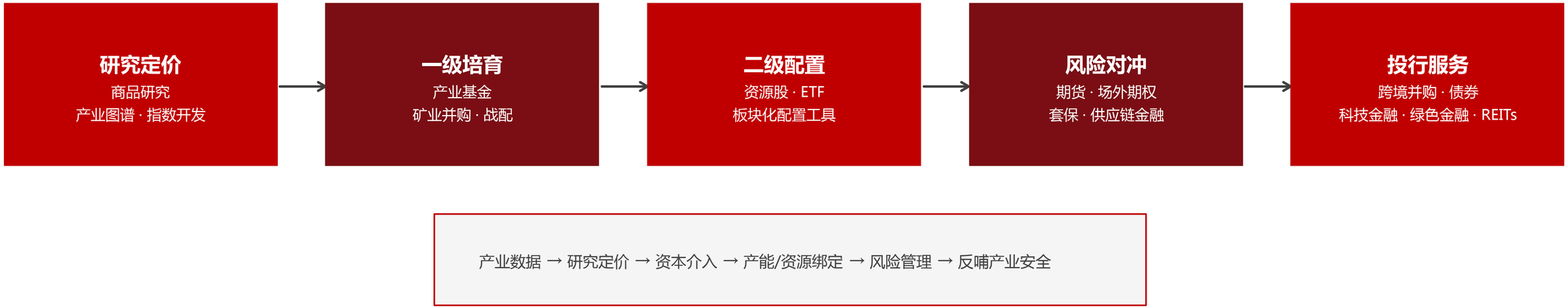
资料来源： 新华网人民日报，产业世界，贝哲斯咨询，IIM， QYResearch ，立鼎产业研究， Gallium Price，SMM，陈星全，屈金芝等：论文《 2021—2035年世界锗矿产品供需形势分析》，化源网，中国电子报， 韦伯咨询，LightCounting，IIM，普华有策，中金企信，五矿证券研究所

下载日志已记录，仅供内部参考

6.2 金融资本布局关键金属赛道：研究·一级·二级·商品·投行

- **赛道特征**：关键金属横跨商品、股票、并购、衍生品多个市场，价格发现与风险管理需求同步爆发——金融机构的角色正从“交易通道”转向“产业生态支撑“
- **金融机构布局**：研究定价（商品与产业研究、指数开发）→ 一级培育（产业基金、矿业并购）→ 二级配置（资源股、ETF）→ 风险对冲（期货、场外期权、套保）→ 投行服务（跨境并购、债券、科技金融、绿色金融）
- **产融结合逻辑**：以研究建立定价权，以资本绑定资源与产能，以工具管理价格波动，以金融服务嵌入产业链上下游——金融反哺产业，产业沉淀数据与资产

图表52：金融机构布局关键金属赛道——产业支撑



资料来源：五矿资本年报、五矿资本债券年报、五矿证券研究所

下载日志已记录，仅供内部参考

6.3 核心结论：新周期、新定价、双向赋能、价值裂变、资本重构

01 周期切换	人工智能为代表的科技产业成为有色金属新需求引擎 ”算力金属“从概念变为产业现实——需求结构从地产基建切换到**基础设施+硬件设备+模型算法+应用服务+电网**，锡钽铟等小金属进入全新应用周期
02 定价重构	**供需刚性×战略管制×金融属性** 构成三层定价，价格中枢系统性抬升；全球战略性矿产资源政策加码，资源溢价从市场预期走向制度约束
03 双向赋能	科技为金属开辟新场景（铟锡钽锗镓钼）， 金属为科技定义物理边界（铜铝筑底盘、小金属稳运行）；不可替代性是价值裂变的根源
04 价值裂变	利润进一步向上游资源端集中，中游材料加工承压，产业链进入**“资源为王+材料突围”**阶段
05 资本重构	金融机构从“交易通道”转向“产业生态支撑” **研究定价、一级培育、二级配置、商品工具、投行服务** 布局关键金属赛道
06 布局建议	上游拿资源（权益矿+长协）、中游选材料（高纯定制+成本传导）、金融抓工具（指数+衍生+并购） 紧密跟踪需求兑现、供给释放、宏观三大变量

资料来源：五矿资本年报、五矿资本债券年报、五矿证券研究所

下载日志已记录，仅供内部参考

风险提示

1、**需求兑现不及预期风险**：AI等新兴产业需求兑现不及预期，全球云厂商资本开支放缓，算力金属需求增长低于预期；

2、**供给超预期风险**：海外供应恢复超预期——缅甸佤邦复产提速、印尼出口放量、刚果（金）扰动缓和，供需紧平衡转向宽松，价格面临回调压力；

3、**宏观波动风险**：美联储政策信号、美元走势及地缘局势变化，可能引发有色金属估值与市场情绪的大幅波动；

4、**技术替代风险**：新材料体系或技术路线变革（如硅光集成、替代封装方案、电容技术演进）可能削弱部分品种的不可替代性；

5、**产业链供应链风险**：中游成本传导不畅导致需求破坏，或价格过快上涨引发政策调控与替代加速，反过来抑制需求。

下载日志已记录，仅供内部参考

Thank you

欢迎关注微信公众号

五矿证券研究所

上海

浦东新区陆家嘴街道富城路99号震旦国际大厦30楼
邮编：200120

深圳

深圳市南山区滨海大道3165号五矿金融大厦23层
邮编：518035

北京

北京市东城区朝阳门北大街3号五矿广场C座3F
邮编：100010

下载日志已记录，仅供内部参考

免责声明

分析师声明

作者具有中国证券业协会授予的证券投资咨询执业资格，以勤勉的职业态度，独立、客观地出具本报告。作者保证：（i）本报告所采用的数据均来自合规渠道；（ii）本报告分析逻辑基于作者的职业理解，并清晰准确地反映了作者的研究观点；（iii）本报告结论不受任何第三方的授意或影响；（iv）不存在任何利益冲突；（v）英文版翻译若与中文版有所歧义，以中文版报告为准；特此声明。

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；香港市场以恒生指数为基准；美国市场以纳斯达克综合指数或标普500指数为基准。	股票评级	买入	预期个股相对同期相关证券市场代表性指数的回报在20%及以上；
		增持	预期个股相对同期相关证券市场代表性指数的回报介于5%～20%之间；
		持有	预期个股相对同期相关证券市场代表性指数的回报介于-10%～5%之间；
		卖出	预期个股相对同期相关证券市场代表性指数的回报在-10%及以下；
		无评级	对于个股未来6个月的市场表现与基准指数相比无明确观点。
	行业评级	看好	预期行业整体回报高于基准指数整体水平10%以上；
		中性	预期行业整体回报介于基准指数整体水平-10%～10%之间；
		看淡	预期行业整体回报低于基准指数整体水平-10%以下。

一般声明

五矿证券有限公司（以下简称“本公司”）具有中国证监会批复的证券投资咨询业务资格。本公司不会因接收人收到本报告即视其为客户，本报告仅在相关法律许可的情况下发放，并仅为提供信息而发放，概不构成任何广告。本报告的版权仅为本公司所有，未经本公司书面许可，任何机构和个人不得以任何形式对本研究报告的任何部分以任何方式制作任何形式的翻版、复制或再次分发给任何其他人。如引用须联络五矿证券研究所获得许可后，再注明出处为五矿证券研究所，且不得对本报告进行有悖原意的删节和修改。在刊载或者转发本证券研究报告或者摘要的同时，也应注明本报告的发布人和发布日期及提示使用证券研究报告的风险。若未经授权刊载或者转发本报告的，本公司将保留向其追究法律责任的权利。若本公司以外的其他机构（以下简称“该机构”）发送本报告，则由该机构独自为此发送行为负责。

本报告所载的资料、意见及推测仅反映本公司于发布本报告当日的判断，本报告所指的证券或投资标的的价格、价值及投资收入或将产生波动；在不同时期，本公司可发出与本报告所载资料、意见及推测不一致的报告；本公司不保证本报告所含信息保持在最新状态。同时，本公司对本报告所含信息可在不发出通知的情形下做出修改，投资者应当自行关注相应的更新或修改。

本报告的作者是基于独立、客观、公正和审慎的原则制作本研究报告。本报告的信息均来源于公开资料，本公司对这些信息的准确性和完整性不作任何保证，也不保证所包含信息和建议不发生任何变更。本公司已力求报告内容的客观、公正，但文中的观点、结论和建议仅供参考，不包含作者对证券价格涨跌或市场走势的确定性判断。在任何情况下，报告中的信息或意见不构成对任何人的投资建议，投资者据此做出的任何投资决策与本公司和作者无关。在任何情况下，本公司、本公司员工或者关联机构不承诺投资者一定获利，不与投资者分享投资收益，也不对任何人因使用本报告中的任何内容所引致的任何损失负任何责任。本公司及作者在自身所知情范围内，与本报告中所评价或推荐的证券不存在法律法规要求披露或采取限制、静默措施的利益冲突。

五矿证券版权所有。保留一切权利。

特别申明

在法律许可的情况下，五矿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，投资者应当考虑到五矿证券及/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。