



金刚石散热更新

——挺进AI赛道，应用空间广阔

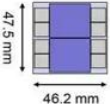
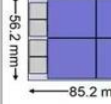
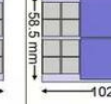
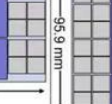
证券分析师
姓名：宁柯瑜
资格编号：S1350525020001
邮箱：ningkeyu@huayuanstock.com



要点一：芯片功率持续提升，散热成为算力的关键瓶颈

- 液冷技术多方案并行：现代AI服务器架构功率已超过250kW，AI芯片的局部热流密度更突破300W/cm²，热强度急剧攀升源于晶体管的高度密集集成以及对计算吞吐量的持续追求。当下一代芯片（如Feynman预测功率达4400w）的散热需求在裸片级别接近乃至超越500W/cm²的门槛时，以铜或硅基底为核心的传统冷却技术正逼近其实用极限，难以维持先进半导体稳定运行所需的最优工况，因此液冷架构迭代是行业刚需，只是液冷架构的迭代并不像柜外电力架构那么清晰，目前还是处于多技术路线并行、互相组合的阶段，我们认为以下这些技术方向都是将来应该重点关注的赛道：

图表：芯片功耗未来预期大幅增加

Next-Generation GPU-HBM Roadmap : More GPU & HBM Integrated Above Interposer				
GPU Architecture	Rubin (2026)	Feynman (2029)	Post Feynman (2032)	Next-Gen Architecture (2035)
GPU Die Size	728 mm ²	750 mm ²	700 mm ²	600 mm ²
GPU Power	800 W	900 W	1,000 W	1,200 W
GPU-HBM Module	R200	F400	Post Feynman GPU-HBM Module	Next-Gen GPU-HBM Module
Interposer Size				
# of GPU Dies	×2	×4	×4	×8
# of HBM Stack	HBM4×8	HBM5×8	HBM6×16	HBM7×32
Interposer Die Size	2,194 mm ² (46.2 mm x 48.5 mm)	4,788 mm ² (85.2 mm x 56.2 mm)	6,014 mm ² (102.8 mm x 58.5 mm)	9,245 mm ² (96.4 mm x 95.9 mm)
Total Bandwidth	16 / 32 TB/s	48 TB/s	128/256 TB/s	1,024 TB/s
Total HBM Capacity	288/384 GB	400/500 GB	1,536/1,920 GB	5,120/6,144 GB
Total Power	2,200 W	4,400 W	5,920 W	15,360 W

备注：Rubin的Interposer宽度可能有误差

资料来源：KAIST, OCP 热饷公众号, Wiwynn白皮书, 华源证券研究所

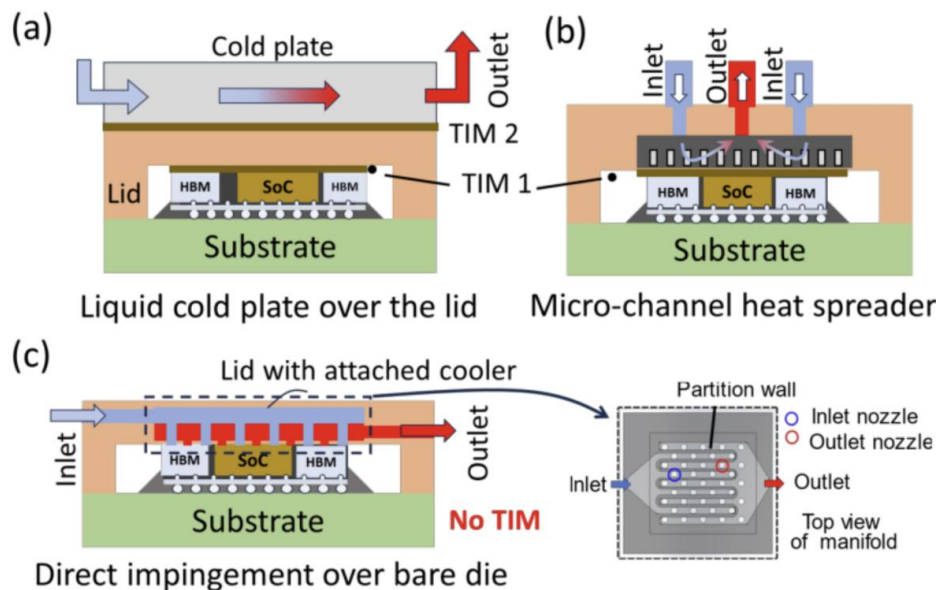
图表：机柜功耗预期同步大幅增加



要点一：芯片功率持续提升，散热成为算力突破的关键瓶颈

- 工艺端——微通道：盖板与冷板合二为一，剔除TIM层、流道宽度在100微米以内，但极易因细微杂质导致管道堵塞，良率低，准备前导期至少需一年以上。所以海外最初规划Rubin平台采用50微米间距方案，但走不通，过渡策略把流道压缩至0.1毫米，良率稳定。
- 材料端——金刚石散热：当先进芯片热流密度持续升高时，热量传导速率严重滞后于热量产生速率，导致芯片结温突破安全阈值，金刚石导热性能较优，为潜在散热材料优选。
- 两相冷却——冷却液改进：液体在热源表面沸腾相变，利用汽化带走热量，理论上是解决高热流密度的终极方案。然而，两相浸没高度依赖低沸点的氟化液，这使其面临较大的环保和成本挑战。

图表：微通道方案



图表：两相冷却

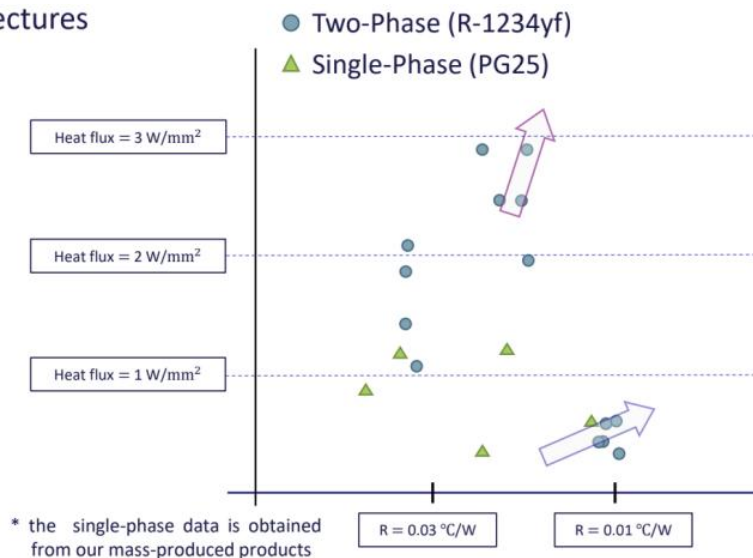
→For various GPU and CPU architectures

High Heat Flux Applications

- solve nearly 3 W/mm^2
- solve heating rate over 2 kW with a flow rate of 1 LPM

Low Heat Flux Applications

- remains good performance





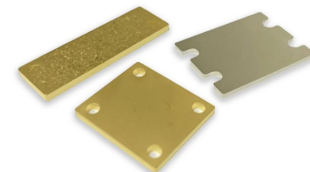
要点二：金刚石热导率高，在散热端处于“0-1”阶段

- 金刚石具备高硬度、高热导率等性能，散热端“0-1”应用开启：金刚石是目前所知天然存在的硬度最大的物质，具备高热导率、高化学稳定性、高光学透过性、极宽的禁带宽度等性能，目前整体应用主要分为两大方向：一是散热材料应用，二是半导体基材应用，半导体基材仍存在一定技术壁垒，仍旧处于研发周期中。而随着算力芯片需求迅猛增长，对大型服务器的散热需求和强度也越来越高，金刚石卓越的导热性引起关注，单晶金刚石的导热能力是铜的5倍，硅的10倍。金刚石散热材料逐步迎来规模化应用窗口期。
- 主流的金剛石散热方案（虽目前成本较高，但通过提高金刚石生长速度、设备国产化、规模效应等可持续降本，据央视采访披露，各家金刚石散热成本至少还有30%-50%的下降空间）。
 - ✓ 主流方案1——金刚石+铜/铝/碳化硅等复合材料：目前此类复合方案基本可以做到500-800（W/m·K）的热导率，导热性能优越。
 - 制备过程：由于金刚石的热膨胀系数（CTE）远低于铜，且金刚石具有化学惰性，无法在室温下以可靠且可扩展的方式直接与硅或铜键合，因此两种材料复合时候，需要对金刚石微粉做表面金属化处理。一种典型的金属化方案是Ti/Ni/Au叠层实现黏附和后续键合，随后将金属化金刚石通过焊接或其他键合方式与铜、硅或冷却模块等匹配结构连接。金刚石微流道的制造工艺起始于金刚石基底制备，与散热器路线相似，但尺寸要求往往更为严格，清洗完成后，采用激光加工/干法刻蚀/其他精密微加工技术在金刚石上制造微尺度流道。流道特征制备完成后，还需将结构化金刚石与另一组件集成，形成密封的流体通道，涉及金属化、与盖板或支撑框架键合、与进出口结构对准以及液冷模块的最终密封。

图表：金刚石与其他材料热导率对比

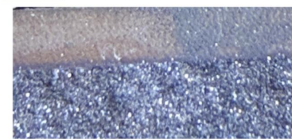
材料	导热系数（W/m·K）
金刚石+铜/SiC	500-800
碳化硅（SiC）	350-500
铜	390-400
铝	237

图表：金刚石+铜复合方案（做冷板材料）



Cu-Diamond samples

下一代冷板解决方案路线图

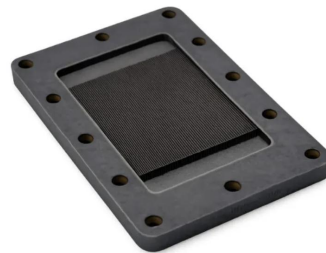


- 金刚石合金-250
- 金刚石颗粒尺寸：250微米
 - 热导率：680-730W/m·K
- 下一代金刚石合金-50
- 金刚石颗粒尺寸：50微米
 - 热导率：750-800W/m·K

测试样品	测试结果
Test Sample	Test Results
测试方向	测试方向
Test Direction	测试方向
测试温度	25
Test temperature °C	
厚度	0.025
Thickness mm	
密度	2.344
Density g/cm³	
比热容	0.439
Specific Heat Capacity J/g·°C	
热膨胀系数	11.666
Thermal Expansion Coefficient mm/m·°C	
导热系数	751.175
Thermal Conductivity Coefficient W/m²·°C	

备注：本报告中数据仅供参考，不作为商业用途。企业产品请至官网查询。
Remark: The writing data and result(s) in this report are(s) just for scientific research, education, internal quality control and product development etc.

图表：金刚石+SiC复合方案（做冷板材料）



Thermadite 是将金刚石融入碳化硅基体形成的材料，兼具高刚度、高稳定性和优异导热性能。Thermadite 800 的特性为激进的液冷方案提供了平台，避免了金属及金属-金刚石冷板常见的翘曲、应力及可靠性问题。



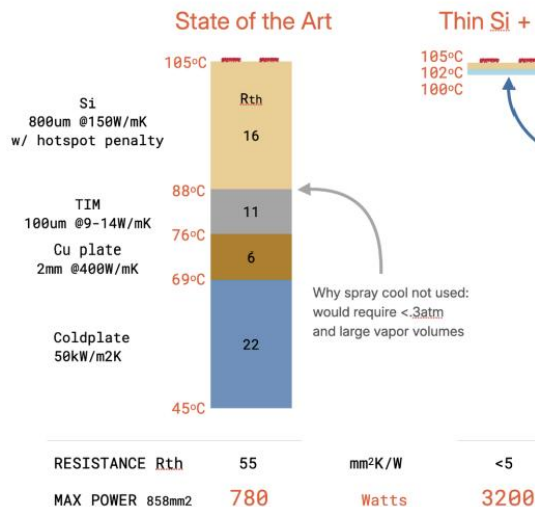
要点二：金刚石热导率高，在散热端处于“0-1”阶段

■ 主流的金剛石散热方案：目前成本较高，但通过提高金剛石生长速度、设备国产化、规模效应等因素，据央视采访，各家金剛石散热成本至少还有30%-50%的下降空间。

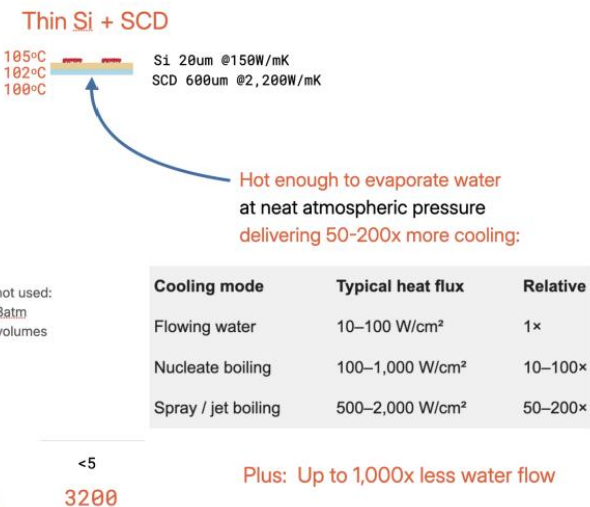
✓ 一些其他应用方案——Diamond Foundry提出将单晶金剛石集成作为芯片衬底，可以与两相液冷结合，带来10-100倍的散热性能提升。

- 两相之前面临的问题：在传统的液冷堆叠结构中，硅衬底、TIM的导热性能相对较差，这套体系的总热阻高达55 mm²K/W，大部分热度传不到冷板层，比如硅片底面的温度为88°C，而铜板背面的温度仅为69°C。在此温度下，水无法蒸发（除非大气压力降至0.3 bar以下—深压环境），因此使用单相方式，而两相一直无法推进。但是如果在芯片层面集成金剛石，使半导体厚度从约800μm 减薄至30μm以下，外层覆盖600μm厚度的金剛石衬底，复合热阻仅为0.4mm² K/W，如此可以重新分配整个系统的电阻分布，并提供一个温度更适宜两相冷却的背面表面，可以与两相结合。

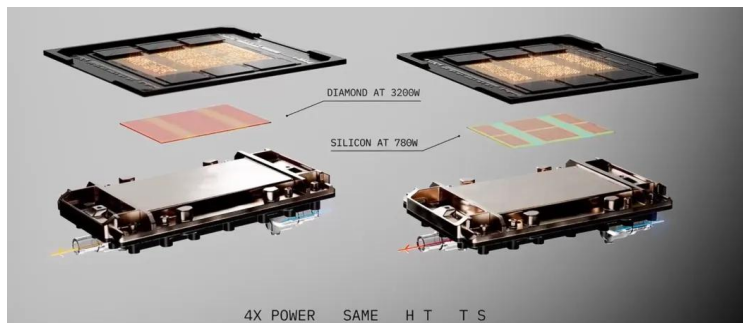
图表：传统架构下，冷却界面温度低，冷却液不具备蒸发条件



图表：芯片衬底集成单晶金剛石后，可使用蒸发（两相）冷却



图表：Diamond Foundry方案图示



图表：两相冷却液冷效果更好

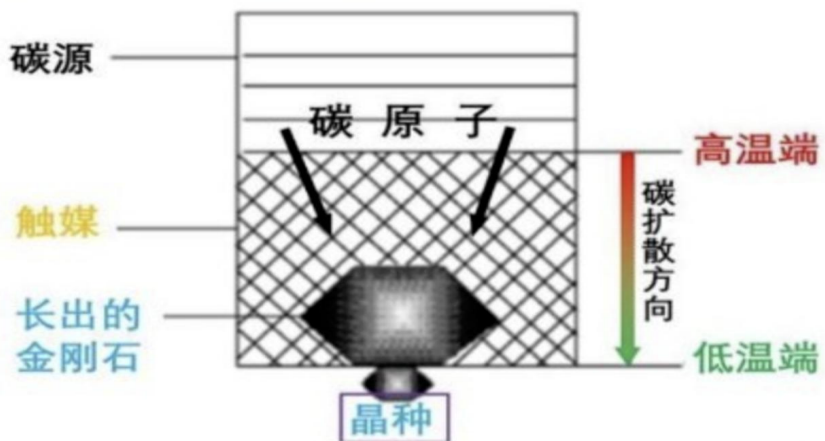
Cooling mode	Typical heat flux	Relative performance
Flowing water	10-100 W/cm²	1×
Nucleate boiling	100-1,000 W/cm²	10-100×



- **HPHT-高温高压法**：通常采用六面顶压机，模拟天然金刚石在地幔深处的形成条件，在高温高压下直接将石墨转化为金刚石。HPHT方法主要产出单晶块体颗粒状金刚石，晶体质量较好、杂质可控，但尺寸通常较小，难以用于大面积散热场景，多用于培育钻石。

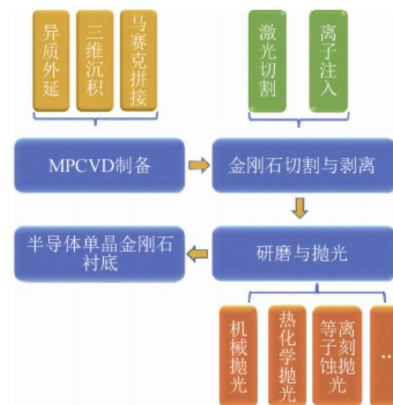
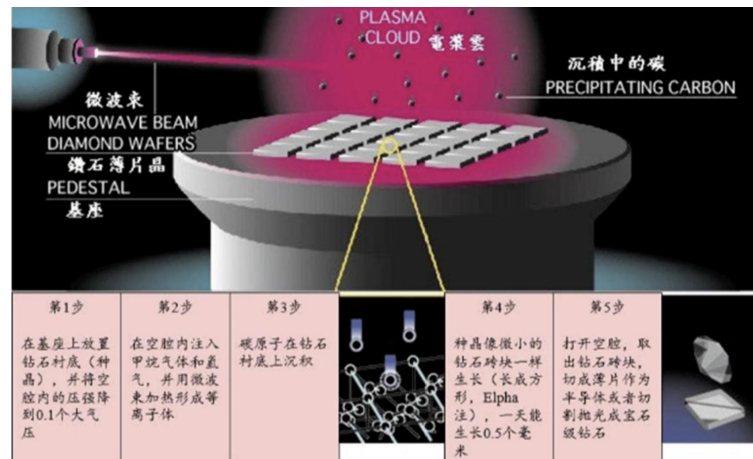
方法一：高温高压法（HPHT）

模拟天然金刚石在地幔深处的形成条件，在高温高压下直接将石墨转化为金刚石。HPHT方法主要产出单晶块体颗粒状金刚石，晶体质量较好、杂质可控，但尺寸通常较小，难以用于大面积散热场景。



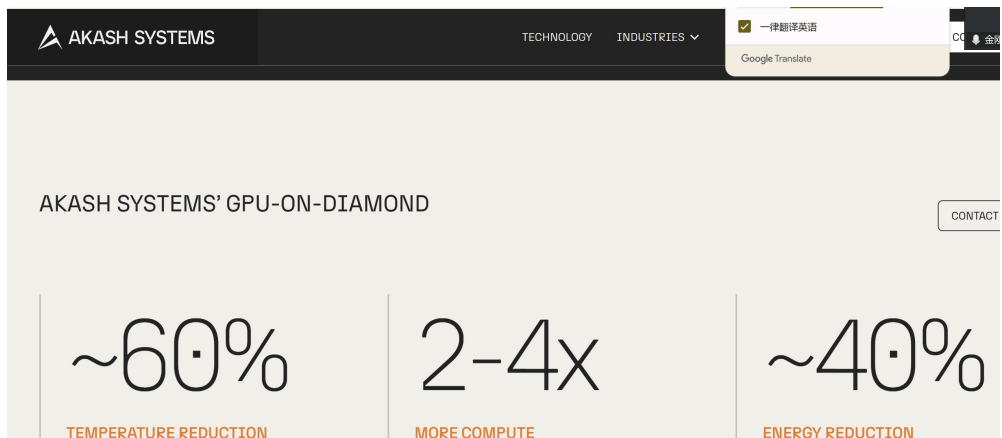
HPHT培育钻石生成示意图

- **CVD—化学气相沉积法**：在高温低压环境下分解含碳气体（如甲烷），碳原子在衬底表面逐渐沉积并生长成金刚石薄膜。该方法可按需制备大尺寸、高纯度的金刚石材料，尤其适用于大面积的散热片和金刚石晶圆。CVD法主要包括微波等离子体CVD（MPCVD）、热丝CVD等，目前MPCVD凭借其高纯度、高可控性，成为大规模制造高端金刚石热沉片的主流方法。



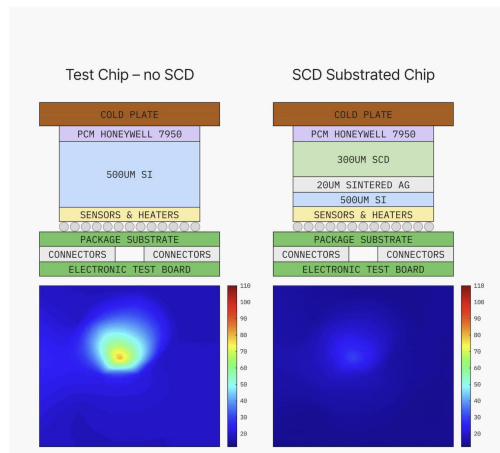
■ 应用金刚石解决方案后，芯片散热效率显著提升：

图表：Akash金刚石服务器散热效果



图表：Diamond Foundry金刚石方案

D F



DF 可键合金刚石基底能将人工智能芯片热点温度大幅降低 52 摄氏度，实现高达 34 瓦每平方毫米的超高功率密度。

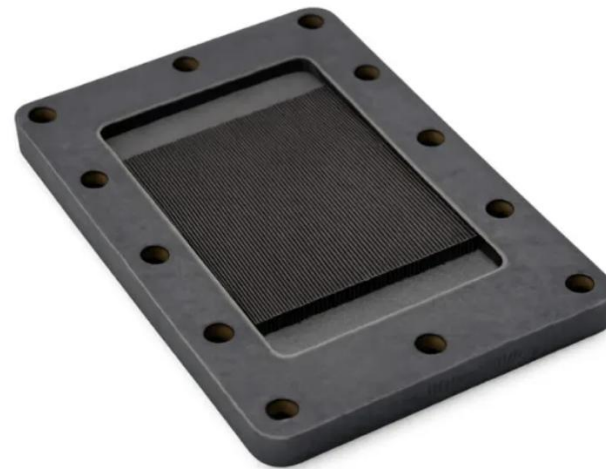
该技术带来两大核心优势：

- A. 芯片可在更高功耗下大幅提升运行速度；
- B. 芯片使用寿命显著延长 —— 温度每降低 10°C，芯片寿命最高可提升一倍。
- 结合芯片热分布图优化散热方案后，芯片功耗上限与运行速度最高可提升 15 倍。

图表：Coherent金刚石+SiC产品

Thermadite 800 的热导率达到 800W/(m·K)，约为铜的两倍，同时具备较低热膨胀系数和较高尺寸稳定性。这些特性通过卓越的散热性能和低热阻界面，有效降低了芯片温度。

在高热流密度的人工智能加速器环境中，与传统铜质冷板相比，采用 Thermadite 800 液冷板可使芯片温度降低超过 15°C。该材料密度较铜降低约 60%，实现了对重量敏感的系统的高性能冷却。

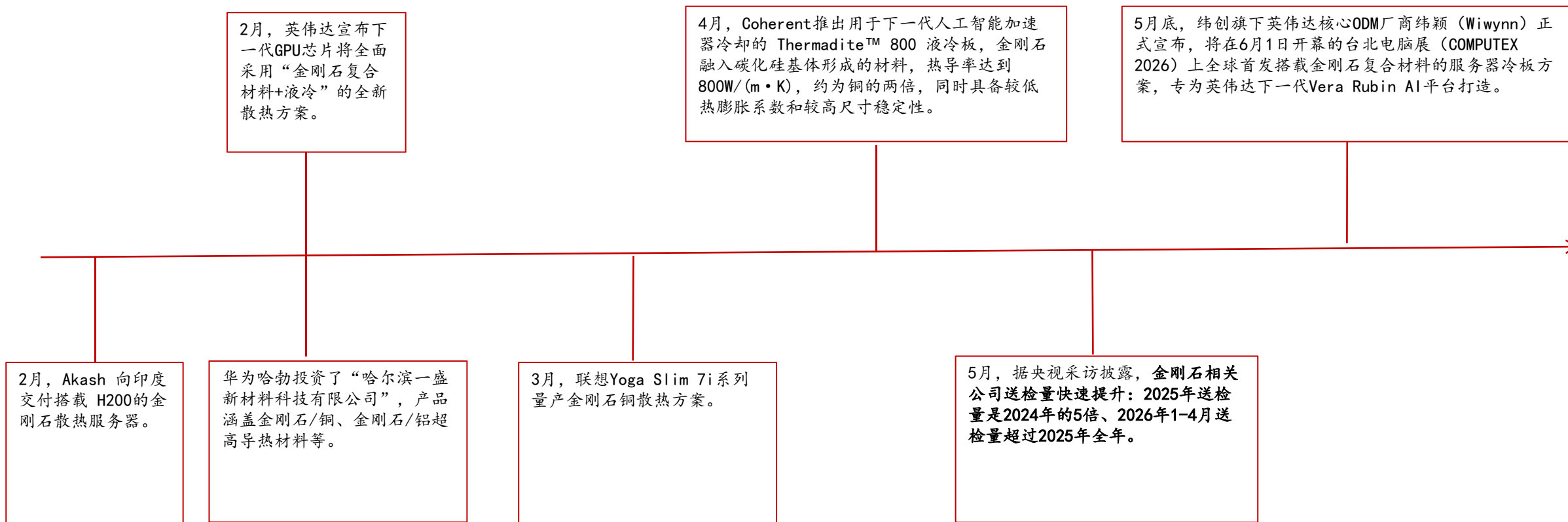




要点三：海内外进度梳理及预期

- 金刚石产业催化不断：从2026年2月，Akash 向印度交付了首批搭载 H200的金刚石散热服务器开始，金刚石散热再次曝光于公众视野下，2 月英伟达（NV）对外表示，后续可能采用“金刚石+” 散热方案，Coherent、纬创相继推出金刚石+SiC/铜的复合散热产品。国内厂商采用金刚石散热材料的意愿持续走高，市场需求同步快速增长。据央视采访披露，2026年1-4月，金刚石相关公司送检总量已超过 2025 年全年水平。

图表：2026年初以来金刚石散热应用的事件催化



華源証券 要点四：市场规模及降本预期

- **金刚石散热可应用于多场景，千亿市场规模可期：**根据Yole Développement、Market Research Future等多家咨询机构的报告及中国地质大学(北京)郑州研究院整理，2023年全球市场规模约45-50亿美元，年复合增长率18%-22%，2030年预测市场规模120-150亿美元，核心增长来自于1) 5G基站持续建设，预计2030年全球将有1500-2000万个5G基站；2) 新能源汽车渗透率持续提升，2030年全球渗透率预计将达到50%以上；3) 成本下降推动金刚石散热向更多应用场景如AI服务器等领域渗透。
- **成本有望持续下降，加速商业化进度：**基于前述可知，目前散热用金刚石几乎全部采用化学气相沉积（CVD）法生产，其中MPCVD是主流技术路线。在规模效应、设备国产化、工艺良率提升等演进过程中，工业金刚石有望持续降本
 - ✓ 我国金刚石产能优势明显：河南是全球超硬材料核心集聚区，全省人造金刚石产量约占全国的80%、工业级人造金刚石年产量约120亿克拉，撑起全球产业的半壁江山。未来随着技术成熟和产能扩张、国产化设备使用渗透率提升，CVD金刚石的成本有望快速下降。
 - ✓ MPCVD国产化迅速：我国MPCVD领域起步较晚但发展迅猛，目前以宁波晶钻科技、四方达、国机精工、深圳优普莱等为代表的国内企业和科研机构，在MPCVD设备自主研发与高质量金刚石制备上取得突破。（深圳优普莱已正式推出915MHz 大功率MPCVD设备，获得市场客户高度认可，大功率MPCVD设备国产化有望加速。）

图表：优普莱MPCVD设备



- 金刚石海外格局：海外以Element Six为首，其产品主要为CVD金刚石，市场份额约40%，此外日本住友电工、Diamond Foundry、Coherent也有相应产品布局。
- 国内多家布局：各家公司技术路线储备充分，百花齐放，产能性能接近海外水平，有较大潜力。

图表：各家公司储备多技术路线，以四方达为代表，部分公司已经给下游客户送样

技术路径		金刚石散热产品	产能	进度
四方达	MPCVD方案为主，配套其他储备	可做4-12英寸金刚石片，自研量产的CVD金刚石散热片热导率可达2000W/mK 以上，目前已具备制备大尺寸（12英寸）金刚石衬底及薄膜的相关生产能力，现阶段主要围绕4英寸及以上的MPCVD金刚石散热片进行生产	在沙雅县投资约4.5亿元用于建设年产2.5万片CVD金刚石生产线及附属设施，目前产能无法匹配需求	公司金刚石散热片已通过客户测试，验证进展符合预期，并进入小批量供货阶段
沃尔德	MPCVD、热丝CVD均有	已开发CVD金刚石单/多晶热沉片的产品，多尺寸	/	大功率激光器的CVD金刚石片已经通过客户认证
国机精工	金刚石单晶、金刚石多晶和金刚石铜复合方案均有储备，主要采用MPCVD法		公司目前MPCVD产能对应产值大约在1.5亿元左右，至明年，产能对应产值约2亿元，可满足一定时段内的市场需求，公司也会根据市场情况，适时扩大产能	金刚石散热片和金刚石光学窗口片已有小批量订单，主要供应国防工业领域，2025年实现收入超1000万元。目前，CVD金刚石产品（含单晶与多晶）已进入行业头部客户的验证阶段；金刚石铜复合材料已向重点客户送样验证。在民用散热领域，各技术路线产品目前均处于下游客户验证阶段，如果进展顺利，年内有望有小批量订单的商业化落地
惠丰钻石	金刚石微粉，铜+金刚石为主，也有单多晶金刚石方案		内蒙古包头投资10亿元建设CVD金刚石产线，预计6月份安装完毕。一期计划采购500台MPCVD设备，设备采购安装调试后大约1-2个月即可批量生产	/
黄河旋风	MPCVD为主，其他均有储备	6、8英寸多晶金刚石柔性薄膜、0.1-1mm的热沉片等	2026年2月份实现国内首条8英寸金刚石片产线投产落成，未来规划实现年产15万片产能	/
力量钻石	MPCVD法	金刚石微粉、单晶、多晶金刚石片	拟将约10.3亿元募集资金变更投入新项目“金刚石功能材料生产研发建设项目”，目前已开始二期MPCVD设备采购	半导体散热材料项目一期已于2025年初投产

资料来源：Ifind，各家公司公众号等，华源证券研究所



- 下游技术进度不及预期风险。目前液冷技术架构多路线并行，若下游技术路径有所调整，产业进度可能不及预期。
- 竞争格局恶化风险。国内外金刚石散热参与公司较多，未来竞争可能进一步加剧，导致产品价格等出现波动。
- 下游需求波动风险。若下游高功率芯片和机柜等进度放缓或出货有延迟，可能导致AI相关散热产品需求波动。



華源証券

HUAYUAN SECURITIES

评级说明和重要声明

证券分析师声明

本报告署名分析师在此声明，本人具有中国证券业协会授予的证券投资咨询执业资格并注册为证券分析师，本报告表述的所有观点均准确反映了本人对标的证券和发行人的个人看法。本人以勤勉的职业态度，专业审慎的研究方法，使用合法合规的信息，独立、客观的出具此报告，本人所得报酬的任何部分不曾与、不与，也不将会与本报告中的具体投资意见或观点有直接或间接联系。

一般声明

华源证券股份有限公司（以下简称“本公司”）具有中国证监会许可的证券投资咨询业务资格。

本报告是机密文件，仅供本公司的客户使用。本公司不会因接收人收到本报告而视其为本公司客户。本报告是基于本公司认为可靠的已公开信息撰写，但本公司不保证该等信息的准确性或完整性。本报告所载的资料、工具、意见及推测等只提供给客户作参考之用，并非作为或被视为出售或购买证券或其他投资标的的邀请或向人作出邀请。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、财务状况和特殊需求，必要时就法律、商业、财务、税收等方面咨询专家的意见。对依据或使用本报告所造成的一切后果，本公司及/或其关联人员均不承担任何法律责任。任何形式的分享证券投资收益或者分担证券投资损失的书面或口头承诺均为无效。

本报告所载的意见、评估及推测仅反映本公司于发布本报告当日的观点和判断，在不同时期，本公司可发出与本报告所载意见、评估及推测不一致的报告。本报告所指的证券或投资标的的价格、价值及投资收入可能会波动。除非另行说明，本报告中所引用的关于业绩的数据代表过往表现，过往的业绩表现不应作为日后回报的预示。本公司不承诺也不保证任何预示的回报会得以实现，分析中所做的预测可能是基于相应的假设，任何假设的变化可能会显著影响所预测的回报。本公司不保证本报告所含信息保持在最新状态。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。

本报告的版权归本公司所有，属于非公开资料。本公司对本报告保留一切权利。未经本公司事先书面授权，本报告的任何部分均不得以任何方式修改、复制或再次分发给任何其他人，或以任何侵犯本公司版权的其他方式使用。如征得本公司许可进行引用、刊发的，需在允许的范围内使用，并注明出处为“华源证券研究所”，且不得对本报告进行任何有悖原意的引用、删节和修改。本公司保留追究相关责任的权利。所有本报告中使用的商标、服务标记及标记均为本公司的商标、服务标记及标记。

本公司销售人员、交易人员以及其他专业人员可能会依据不同的假设和标准，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或交易观点，本公司没有就此意见及建议向报告所有接收者进行更新的义务。本公司的资产管理部门、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。



信息披露声明

在法律许可的情况下，本公司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。本公司将会在知晓范围内依法合规的履行信息披露义务。因此，投资者应当考虑到本公司及/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。

投资评级说明

证券的投资评级：以报告日后的6个月内，证券相对于同期市场基准指数的涨跌幅为标准，定义如下：

买入：相对同期市场基准指数涨跌幅在20%以上；

增持：相对同期市场基准指数涨跌幅在5%~20%之间；

中性：相对同期市场基准指数涨跌幅在-5%~+5%之间；

减持：相对同期市场基准指数涨跌幅低于-5%及以下。

无：由于我们无法获取必要的资料，或者公司面临无法预见结果的重大不确定性事件，或者其他原因，致使我们无法给出明确的投资评级。

行业的投资评级：以报告日后的6个月内，行业股票指数相对于同期市场基准指数的涨跌幅为标准，定义如下：

看好：行业股票指数超越同期市场基准指数；

中性：行业股票指数与同期市场基准指数基本持平；

看淡：行业股票指数弱于同期市场基准指数。

我们在此提醒您，不同证券研究机构采用不同的评级术语及评级标准。我们采用的是相对评级体系，表示投资的相对比重建议；

投资者买入或者卖出证券的决定取决于个人的实际情况，比如当前的持仓结构以及其他需要考虑的因素。投资者应阅读整篇报告，以获取比较完整的观点与信息，不应仅仅依靠投资评级来推断结论。

本报告采用的基准指数：A股市场（北交所除外）基准为沪深 300 指数，北交所市场基准为北证50指数，香港市场基准为恒生中国企业指数（HSCEI），美国市场基准为标普 500指数或者纳斯达克指数，新三板基准指数为三板成指（针对协议转让标的）或三板做市指数（针对做市转让标的）。



華源証券

HUAYUAN SECURITIES