仅供内部参考，请勿外传

财通证券 CAITONG SECURITIES

高热流密度时代，金刚石散热加速迈向产业化

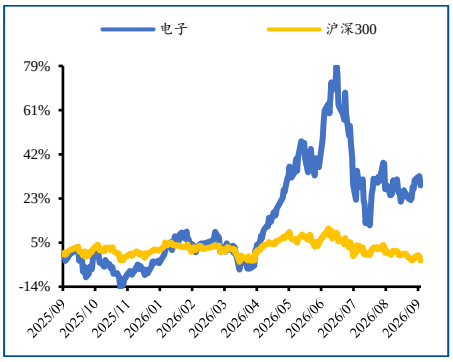
电子

证券研究报告

行业深度分析报告 / 2026.09.29

投资评级:看好（维持）

最近 12 月市场表现



分析师 唐佳
SAC 证书编号：S0160525110002
tangjia@ctsec.com

相关报告

1.《看好空白掩膜版与掩膜版的技术通胀和国产替代》 2026-09-22
2.《招股说明书梳理系列（三）：高凯技术》2026-09-22
3.《芯片近端散热瓶颈凸显，金刚石方案加速商业化》 2026-09-21

金刚石散热

核心观点

- **AI 芯片功耗攀升叠加热点散热压力持续提升，金刚石突破传统散热材料瓶颈：**GPU 功耗由 A100 约 400W 升至 Vera Rubin 约 2300W，芯片局部热流密度高度集中，热点区域面临更高峰值散热需求；同时，2.5D/3D 封装进一步抬升单位面积热负荷并延长内部传热路径，对近端均热与导热材料提出更高要求。传统铜、铝等散热材料在导热能力与热膨胀匹配方面逼近物理上限，金刚石热导率可达 2000-2200W/(m·K)，并兼具低热膨胀与电绝缘特性，适配高热流密度芯片近端散热需求。

- **金刚石可沿芯片至系统级散热链路多层渗透，六条技术路线对应不同集成深度与产业化阶段。**金刚石并非对应单一散热部件，而可通过复合材料、热沉、器件集成及微通道等形态进入不同散热层级。金刚石-铜兼顾成本与加工性，产业化成熟度最高；CVD 多晶兼具高导热与大尺寸制备能力，是纯金刚石热沉主要产业化方向；CVD 单晶性能更优，但大尺寸生长仍待突破；金刚石-SiC 复合液冷板向系统级延伸，GaN-on-Diamond 强化器件级近结散热，金刚石微通道则面向极端热流密度场景，仍处前沿验证阶段。

- **2026 年有望成为金刚石散热材料商用化落地元年。**年初英伟达确认 Vera Rubin 采用金刚石铜复合散热方案，Akash 向 NxtGen 交付全球首批搭载 Diamond Cooling 技术的 H200 GPU 服务器；国内金刚石-铜亦已在郑州超算等场景实现规模应用。产业化进程明显提速，但多数企业仍处客户验证及小批量供货阶段，大尺寸生长、精密加工与低热阻连接仍是规模放量的关键约束。

- **投资建议：**率先实现技术突破、客户验证和产能兑现的核心厂商有望优先受益。建议关注：沃尔德、四方达、黄河旋风、国机精工、力量钻石。

- **风险提示：**下游需求不及预期；产业化进展不及预期；技术成熟及降本进度不及预期；行业竞争加剧风险。

表 1：重点公司投资评级

代码	公司	总市值（亿元）	收盘价（09.28）	EPS（元）			PE			投资评级
				2025A	2026E	2027E	2025A	2026E	2027E	
688028	沃尔德*	180.38	119.50	0.63	0.94	1.16	103.08	127.01	103.57	-
300179	四方达*	215.86	44.44	0.19	0.35	0.60	78.81	127.73	73.92	-
002046	国机精工*	329.65	61.48	0.49	0.55	0.72	88.94	111.58	85.76	-
600172	黄河旋风*	237.96	16.50	-0.68	-	-	-8.67	-	-	-
301071	力量钻石*	167.89	65.98	0.43	0.92	1.65	85.34	70.89	39.45	-

数据来源：iFinD，财通证券研究所 注：市值、股价数据截至 2026 年 9 月 28 日，未标*标的预测值来自财通证券研究所，标*标的预测值来自 iFinD 一致预期

内容目录

1 金刚石高导热优势突出，突破芯片近端散热瓶颈 5
1.1 AI 芯片功耗攀升，热点散热需求与先进封装进一步抬升散热难度 5
1.2 传统散热材料瓶颈凸显，金刚石适配高热流密度散热需求 6
2 金刚石切入多级散热链路，覆盖芯片至系统级方案 8
3 金刚石散热路线多元，产业化梯次推进 9
3.1 短期路线：金刚石-铜产业化成熟，率先规模应用 9
3.2 中期主战场：CVD 多晶热沉片易于大尺寸制备，商业化优势突出 10
3.3 长期性能天花板：CVD 单晶热沉性能领先，大尺寸仍待突破 11
3.4 系统级方向：金刚石-SiC 复合液冷板拓展系统级散热方案 12
3.5 器件级方向：GaN-on-Diamond 强化器件散热，集成壁垒较高 13
3.6 远期方案：金刚石微通道一体化，拓展极端热流密度场景 13
4 生长、加工与键合构筑金刚石散热核心工艺壁垒 14
4.1 生长：HPHT 与 CVD 双路线并行，MPCVD 为主流首选 14
4.2 切割与抛光：加工损耗与表面质量构成规模化应用关键约束 15
4.3 界面键合：表面质量与键合工艺共同决定界面热阻 16
5 金刚石散热行业进入产业化加速期，需求释放推动产业链加速布局 17
5.1 高功率芯片散热需求释放，金刚石散热商业化进程加速 17
5.2 全球供给高度集中，国内企业依托产业基础加速切入功能化应用 18
5.3 产业链配套完善，中游材料制备占据核心价值 20
6 重点公司基本情况概览 20
6.1 国机精工：MPCVD 技术布局较早，金刚石散热已实现非民用供货 20
6.2 沃尔德：金刚石制备与精密加工协同，散热产品向晶圆级应用延伸 21
6.3 四方达：自研 MPCVD 设备支撑大尺寸散热片，小批量供货已启动 22
6.4 黄河旋风：超硬材料产业链龙头，国内首条 8 英寸热沉片产线落地 23
6.5 力量钻石：技术路线布局功能金刚石，散热片进入客户验证阶段 24
7 风险提示 25

图表目录

图 1: NVIDIA GPU 功耗随产品迭代持续提升 5
图 2：芯片功率分布不均加剧局部热点散热压力 5
图 3：异构集成持续向 3D 演进，发热增加并延长热传导路径 6

图 4：金刚石结构图 7
图 5：金刚石在热学与电学关键物性上优势突出 7
图 6：冷板式液冷架构与芯片散热路径 8
图 7：CVD 金刚石热扩散片与芯片散热结构示意图 9
图 8：金刚石与半导体器件连接技术路线 9
图 9：全金刚石基嵌入式微通道散热结构 9
图 10：单晶与多晶金刚石微观结构对比 11
图 11：CVD 单晶与多晶金刚石生长结构对比 11
图 12：大尺寸 CVD 单晶金刚石生长的三种具体路线 12
图 13：Coherent Thermadite/Diamond 冷板 12
图 14：GaN-on-Diamond 优势及主要应用场景 13
图 15：全金刚石嵌入式歧管微通道实物图 14
图 16：高温高压法（HPHT）工艺原理示意图 14
图 17：化学气相沉积法（CVD）工艺原理示意图 14
图 18：机械抛光示意图 16
图 19：化学机械抛光示意图 16
图 20：激光抛光示意图 16
图 21：等离子体辅助抛光示意图 16
图 22：现有金刚石与半导体器件连接工艺的技术路线图 17
图 23：全球 AI 服务器出货量（百万台） 17
图 24：全球 AI 芯片液冷渗透率（%） 17
图 25：NVIDIA Rubin 平台 45℃液冷散热示意图 18
图 26：YOGA Air 14 Ultra Aura 配置 3.4 克拉金刚石铜 18
图 27：人造金刚石产业链 20
图 28：金刚石散热产业链上、中、下游价值分布 20
图 29：国机金刚石超高导热 CVD 金刚石散热片 20
图 30：国机金刚石铜金刚石 20
图 31：2022-2025 国机精工收入拆分（亿元） 21
图 32：2022-2025 国机精工归母净利润及其同比增速 21
图 33：沃尔德单晶/多晶 CVD 金刚石热沉片 21
图 34：金刚石导热硅/碳化硅基复合晶圆 21
图 35：2022-2025 沃尔德收入拆分（亿元） 22
图 36：2022-2025 沃尔德归母净利润及其同比增速 22

图 38: 2022-2025 四方达收入拆分（亿元） 23
图 39: 2022-2025 四方达归母净利润及其同比增速 23
图 41: 2022-2025 黄河旋风收入拆分（亿元） 24
图 42: 2022-2025 黄河旋风归母净利润（亿元） 24
图 43: 力量钻石大颗粒金刚石单晶 24
图 44: 力量钻石半导体高功率金刚石散热片 24
图 45: 2022-2025 力量钻石收入拆分（亿元） 24
图 46: 2022-2025 力量钻石归母净利润及其同比增速 24

表 1: 常见散热材料热导率对比 6
表 2: 目前工业应用复合散热材料综合性能对比 7
表 3: 金刚石/铜复合材料制备工艺 10
表 4: 三类金刚石散热材料方案对比 11
表 5: 主要 CVD 金刚石沉积技术路线的工艺特征及应用对比 15
表 6: 海外主要金刚石散热公司及进展 19
表 7: 中国主要金刚石散热公司及进展 19

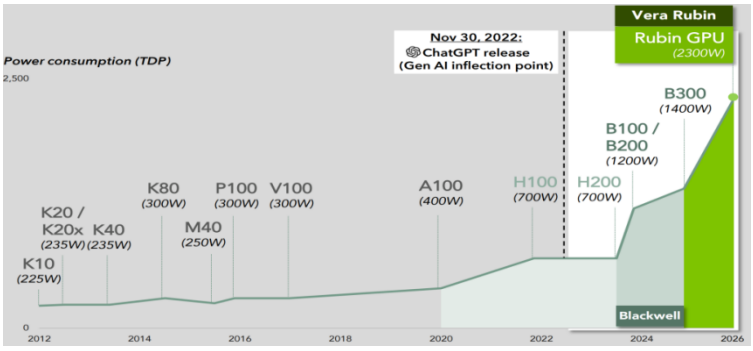
1 金刚石高导热优势突出，突破芯片近端散热瓶颈

1.1 AI 芯片功耗攀升，热点散热需求与先进封装进一步抬升散热难度

AI 算力需求持续提升，芯片功耗约束日益突出。芯片性能提升长期依赖制程微缩带来的晶体管密度与运行频率提升。早期在传统“登纳德缩放规律”下，晶体管尺寸缩小的同时工作电压也能同步下降，即使晶体管密度和运行频率不断提高，单位面积功耗仍可基本保持稳定。2005 年，受阈值电压及漏电功耗等因素制约，工作电压难以继续同步下降，原有缩放规律逐步失效。随着算力需求持续增长，晶体管集成规模持续扩大，功耗密度难以同步降低，功耗逐步成为芯片性能持续提升的重要限制因素。

高性能 GPU 功耗持续提升，散热架构同步由风冷向全液冷演进。以 NVIDIA 为例，A100 单 GPU 热设计功耗约 400W，Blackwell 提升至约 1000W，Vera Rubin 进一步达到 2300W；伴随功耗提升，NVIDIA 平台散热方案同步向液冷升级，Blackwell 阶段传统风冷与液冷方案并存，其中 DGX B200 仍采用风冷设计，而面向高密度机架的 GB200 NVL72 已采用液冷架构；进入 Rubin 代后，Vera Rubin 进一步采用 100%液冷架构。芯片热管理水平直接决定 AI 服务器整机运行稳定性、硬件服役周期与整机能源利用效率，单 GPU 功耗快速提升推动平台冷却能力同步升级，散热性能已成为限制高端算力充分释放的核心因素。

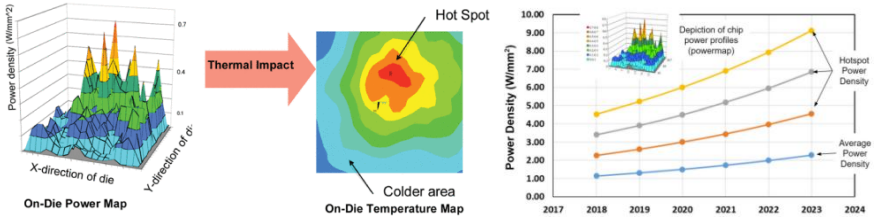
图1: NVIDIA GPU 功耗随产品迭代持续提升



数据来源：MUFG《Inflection Point for AI Expansion Has Shifted to Data Center Infrastructure》，财通证券研究所

芯片局部热流密度高度集中，热点区域面临更高峰值散热需求。热流密度（Heat Flux）是指垂直于热传递方向的单位面积热传递速率（单位：W/cm²），是衡量散热难度的核心参数：相同功耗下，热量越集中于较小面积，热流密度越高，单位面积需要快速导出的热量也越多。芯片内部不同功能区域的功率分布存在差异，高功率区域会形成局部温度热点，热点区域的单位面积功率负荷显著高于芯片平均水平。面向峰值散热需求，热管理技术需要覆盖约平均功率密度 2-4 倍的热点功率密度范围，芯片散热不仅需要导出整体热量，还需要快速摊开局部热点。

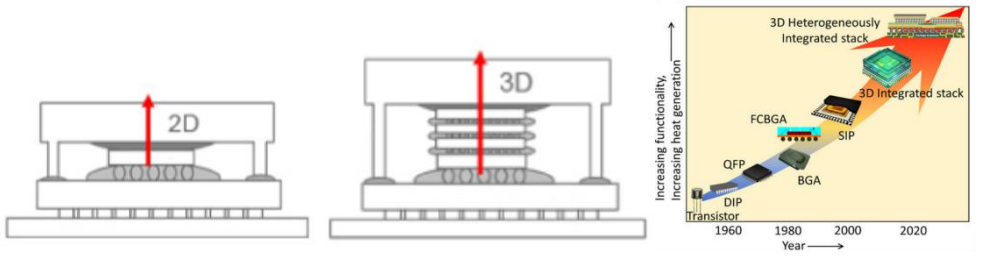
图2: 芯片功率分布不均加剧局部热点散热压力



数据来源：IEEE《Cooling a Microprocessor Chip》，IEEE HIR 2023，财通证券研究所

先进封装向 2.5D/3D 演进，芯片近端与封装内部的散热压力进一步放大。具体来看，**①单位面积承载的热负荷进一步上升：**3D 封装将多颗芯片裸片（die）沿垂直方向堆叠，多层芯片产生的总功耗需要通过单颗芯片大小的面积向外散热，使单位面积需要散出的功耗随之增加。**②封装内部传热路径更加复杂，热阻进一步增加：**2D 结构中，芯片产生的热量可穿过硅裸片，并经热界面材料传至顶部散热器或冷板；3D 结构下，距离顶部散热界面较远的芯片产生的热量需要穿过更多芯片层，以及层间互连/底部填充层、后端互连层（BEOL）和硅体等结构，才能传递至顶部散热器或冷板，多层结构叠加进一步增加整体热阻。随着 3D 堆叠加深，传统系统级冷却难以充分解决堆叠芯片内部的热量导出问题，散热需求进一步深入芯片近端与封装内部，对近端均热和高导热材料提出更高要求。

图3: 异构集成持续向 3D 演进，发热增加并延长热传导路径



数据来源：IEEE HIR 2023，Sharma 等《Thermal Management of 3-D Heterogeneously Integrated Microelectronics: Challenges and Future Research Directions》，财通证券研究所

1.2 传统散热材料瓶颈凸显，金刚石适配高热流密度散热需求

铜、铝等传统散热材料导热与热膨胀匹配瓶颈凸显，高热流密度下材料升级需求提升。芯片近端热扩散材料既需要较高热导率以快速将热量由芯片向外扩散、降低局部高温；也需要与半导体材料相匹配的热膨胀系数（适宜匹配范围约为 3-7ppm/K）以减小热膨胀失配产生的热应力。从传统散热材料的实际物性来看，铜、铝热导率分别约为 390-400、237W/mK，但热膨胀系数较高，分别达到 16.5、23.1ppm/K；铜钨、铝基碳化硅等复合材料虽改善了热膨胀匹配，但热导率则分别降至 180-220、180-250W/mK。随着器件功率密度持续提升，传统材料在导热能力与热膨胀匹配方面的约束，推动兼具高热导率与适宜热膨胀系数的新型热管理材料需求提升。

表1: 常见散热材料热导率对比

材料	热导率（W/mK）	相对铜倍数	热膨胀系数（ppm/K）	电性能
单晶金刚石	2000-2200	5.1-5.6X	1.0-1.5	绝缘
多晶 CVD 金刚石	800-1800	2.0-4.6X	1.5-2.5	绝缘
银	429	1.1X	18.9	导体
铜	390-400	1.0X（基准）	16.5	导体
铝	237	0.6X	23.1	导体
碳化硅（SiC）	350-500	0.9-1.3X	2.5-4.5	半导体
氮化铝（AIN）	170-230	0.4-0.6X	4.5	绝缘
石墨烯（面内）	约 5000	约 12.8X	可调	导体

数据来源：观研天下《中国金刚石散热行业发展趋势研究与投资前景分析报告（2026-2033 年）》，财通证券研究所

表2：目前工业应用复合散热材料综合性能对比

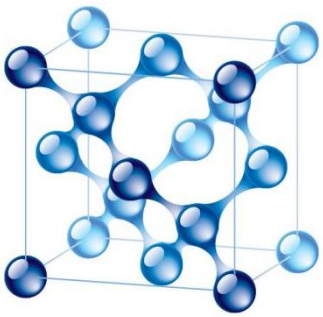
材料类型	热导率（W/(m•K)）	热膨胀系数（ppm/K）	密度（g/cm³）	抗拉强度（MPa）	成本相对值	适用热流密度（W/cm²）
铜钨合金	180-220	6-8	14	600	5	<200
氮化铝陶瓷	200-300	4.5-6	3.3	350	8	<250
石墨/铜复合	400-600	8-10	5.2	180	10	<300
铝基碳化硅	180-250	7-11	2.8-3.0	300-450	6	<200
金刚石铜（低含量）	550-700	6-8	5.5-6	300	12	<500
金刚石铜（高含量）	700-1000	5-7	6-6.5	350	18	>800
银金刚石	650	5-7	约 6.8	320	50	<600

数据来源：观研天下《中国金刚石散热行业发展趋势研究与投资前景分析报告（2026-2033 年）》，财通证券研究所

金刚石独特晶体结构赋予其高导热、电绝缘及热稳定等特性，适配高热流密度芯片近端散热需求。金刚石具有立方晶体结构，每个碳原子通过共价键与周围四个碳原子结合形成四面体结构；由于晶体中不存在自由电子，热量主要通过原子振动传递，其刚性连续的晶体结构使振动能够快速扩散至整个晶体，从而实现快速导热并保持电绝缘特性。此外，金刚石不会随着温度变化而发生明显的膨胀或收缩，并具有耐腐蚀、耐用和轻量等特征，在高性能微电子器件热管理中具备较好的综合适配性。

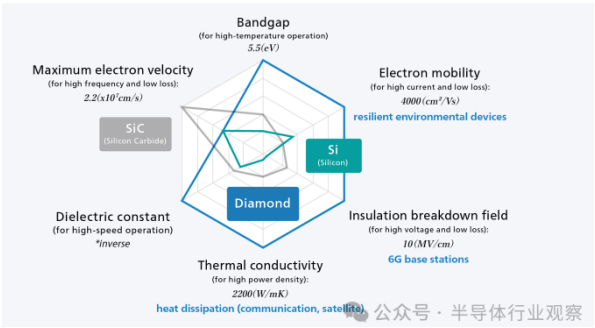
具体物性指标进一步体现了金刚石在高性能热管理中的材料优势。1）热导率高：单晶金刚石热导率可达 2000-2200W/mK，约为铜的 5.1-5.6 倍；多晶 CVD 金刚石热导率亦可达 800-1800W/mK，约为铜的 2.0-4.6 倍。**2）热膨胀系数低：**单晶金刚石和多晶 CVD 金刚石热膨胀系数分别约为 1.0-1.5ppm/K、1.5-2.5ppm/K，显著低于铜的 16.5ppm/K 和铝的 23.1ppm/K。**3）电绝缘性：**单晶及多晶 CVD 金刚石均为绝缘材料，区别于铜、铝等导电散热材料，可实现器件与散热结构之间的电气隔离；金刚石具有 5.5eV 的超宽禁带和 10MV/cm 的高击穿场强，在高温及强电场环境下仍具备较好的电学稳定性与耐击穿能力。

图4：金刚石结构图



数据来源：Coherent，财通证券研究所

图5：金刚石在热学与电学关键物性上优势突出

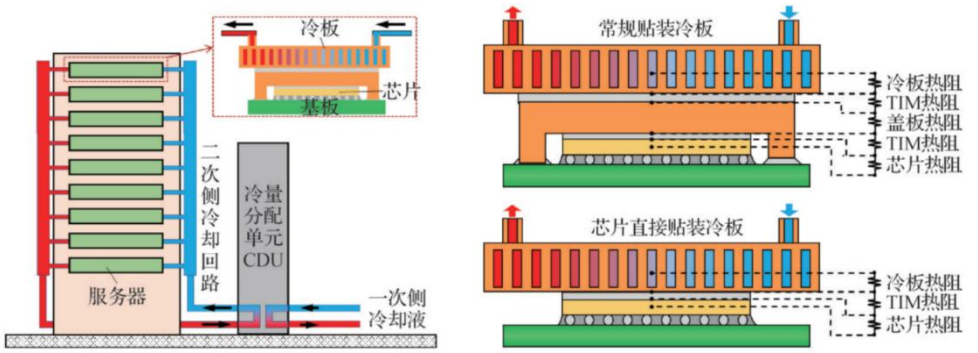


数据来源：半导体行业观察，财通证券研究所

2 金刚石切入多级散热链路，覆盖芯片至系统级方案

芯片产生的热量需沿封装内部至外部冷却系统逐级传出。芯片工作产生的热量首先由结区经芯片内部向外传导，随后依次经过 TIM1、散热盖（IHS）、TIM2 传递至冷板，并最终通过冷板内部冷却液的强制循环带走。其中，TIM1 位于裸片与散热盖之间，TIM2 位于散热盖与外部冷板之间，TIM 主要用于填充界面间隙、提升有效接触面积，并建立连续热传导路径，提高封装至冷却结构的传热效率；IHS 则承担芯片热量向更大面积扩散并向后级散热结构传递的作用。由此，芯片至冷却液之间形成由芯片内部导热、界面传热、盖板扩热及冷板对流换热共同构成的完整热传递链路；无盖或冷板直接贴装等结构则可通过减少盖板及部分界面层进一步缩短传热路径。

图6: 冷板式液冷架构与芯片散热路径



数据来源：邹启凡等《高功率大面积 AI 芯片液冷技术进展》，财通证券研究所

完整的芯片散热链路由多个材料层级及热界面共同构成，金刚石可根据不同集成方式进入不同散热层级。按集成层次划分，当前金刚石散热的技术路径可分为**芯片级、器件级、封装级、系统级**四层：

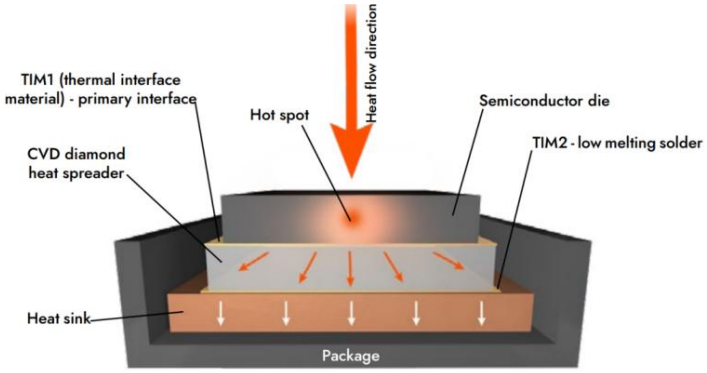
金刚石热沉片靠近芯片布置，主要承担热点扩散与近端导热功能。在芯片级方案中，单晶或多晶 CVD 金刚石可制成独立热沉片或热扩散片，贴装于芯片背面或高功率器件下方，利用高热导率将局部热点产生的热量快速向横向摊开，再向后端散热结构导出。

随着集成深度提升，金刚石进一步由独立热沉向器件及封装结构延伸。器件级以 GaN-on-Diamond 为代表，可通过在 GaN 射频或功率器件背面直接生长金刚石，或将 GaN 与金刚石衬底键合，替代 Si/SiC 衬底散热路径，实现金刚石与半导体器件的异质集成；封装级则主要采用金刚石/铜、金刚石/陶瓷等复合材料，用于封装基板及热沉结构件，在提升导热性能的同时兼顾加工性与成本。

系统级方案进一步推动金刚石高导热材料与液冷结构一体化。在金刚石基体上通过激光加工或反应离子刻蚀（RIE）制造微米级流道，通道宽度 50-500 μm，使冷却液直接在金刚石内部流动，实现近结区主动散热。依托金刚石高热导率，芯片热量可快速传递至微通道壁面并由冷却液带走；相比传统硅基或铜基微通道，金刚石微通道等效热阻可降低 30%-50%，并可承受更高热流密度。

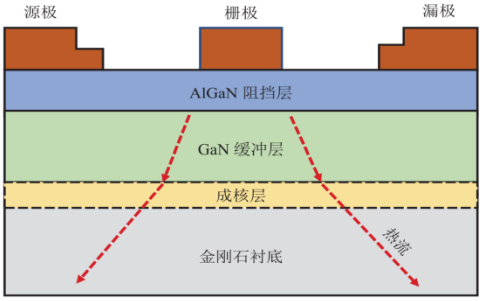
我们认为，金刚石散热并非对应散热链路中的某一个固定部件，而是以不同集成深度进入热管理链路，形成覆盖芯片至系统层级的多元解决方案。

图7: CVD 金刚石热扩散片与芯片散热结构示意图



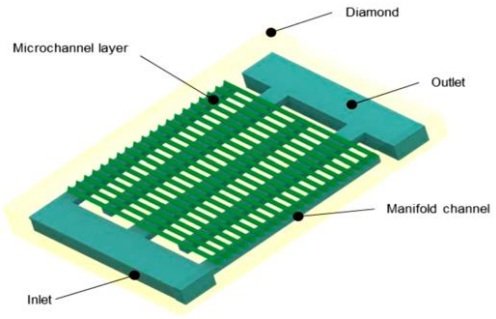
数据来源：Element Six，财通证券研究所

图8: 金刚石与半导体器件连接技术路线



数据来源：代文等《金刚石热沉与半导体器件连接技术研究现状与发展趋势》，财通证券研究所

图9: 全金刚石基嵌入式微通道散热结构



数据来源：Du 等《Fully diamond-based embedded manifold microchannel heat sink: Achieving ultra-high heat flux cooling》，财通证券研究所

高散热需求、高价值场景率先导入，通用市场渗透仍受成本与工艺约束。当前金刚石散热已覆盖 AI 服务器、光模块、IGBT 及 GaN 射频/功率器件等领域，其中金刚石/金属复合材料与金刚石热沉片构成现阶段两条主要产业化路线：前者凭借成本及产线适配优势，已在消费电子和服务器领域率先放量；后者散热性能更优，伴随 8 英寸产线投产及键合工艺成熟，未来 2-3 年有望加快向高端 AI 芯片导入。相比之下，GaN-on-Diamond 和金刚石微通道等路线短期仍受工艺难度和成本限制，主要停留在高价值小众场景。我们认为，金刚石散热短期仍将集中于高端算力、功率器件等强散热需求场景，普通服务器及消费电子等通用市场的大规模渗透需要持续降本和工艺成熟。

3 金刚石散热路线多元，产业化梯次推进

3.1 短期路线：金刚石-铜产业化成熟，率先规模应用

金刚石-金属复合材料产业化成熟，适配大批量、低成本散热场景。金刚石-金属复合材料以高导热金刚石为增强相，与具有适配热膨胀系数且加工成型性较好的金属结合，在保持较高导热性能的同时获得更可控的热膨胀系数和可加工能力。以金刚石-铜为例，通过调整金刚石颗粒体积分数，可将复合材料 CTE 调节至 5×10^{-6}/K-10×10^{-6}/K，与硅、砷化镓等半导体材料实现较好匹配。目前金刚石-金属复合材料产业化相对成熟、性价比较高，成本仅为纯 CVD 金刚石的 10%-20%；但金

刚石与金属界面存在固有热阻，导热性能上限低于纯金刚石热沉片，同时受金属基体导电性限制，不适用于绝缘封装及裸芯片近端精准散热等场景。

金刚石-铜复合材料制备路线多元。目前常用的金刚石-铜复合材料的制备工艺主要包括高温高压法，真空热压烧结法，熔体浸渗法，放电等离子烧结法等。高温高压法在短时高温高压下烧结成型，致密度高、效率高，但成本和能耗较高；真空热压法通过真空加压加热成型，界面副反应少、设备简单，但界面结合有限、制备效率较低；放电等离子烧结利用等离子体热效应快速致密，烧结温度低、效率高，但制品尺寸较小且导热率不高；熔体浸渗则通过毛细作用或外加压力将液态金属浸入预制体，其中无压浸渗成本较低但对增强相与金属基体的润湿性要求高，压力浸渗界面结合更好但成本较高。

界面调控仍是金刚石-铜性能提升的核心难点。金刚石和铜在常温下互不润湿、互不反应，直接复合难以结合致密，且复合材料界面易出现孔洞等缺陷。在较高制备温度下，虽可以实现良好的界面结合，但会诱导金刚石发生石墨化，极大降低复合材料的热导率。目前主要通过金刚石表面金属化、Cu 基体合金化等方式构筑碳化物过渡层、改善界面结合；但界面改性仍面临碳化物层厚度难控、均匀性差、元素残留等问题。

终端应用已率先落地，金刚石-铜成为当前产业化放量最快的技术路线。联想已在 YOGA Air 14 Ultra 高端 AI 轻薄本中将金刚石-铜应用于处理器近端散热；中科院宁波材料所开发的金刚石-铜散热模组已应用于 C8000 V3.0，并在郑州国家超算互联网核心节点（曙光 Scale）实现集群部署。

表3: 金刚石/铜复合材料制备工艺

制备工艺	优点	缺点
高温高压	致密度高，时间短，效率高	设备要求高，成本较高
热压烧结	操作简单，设备要求低	复合材料界面结合不强，热导率不高
溶体 压力浸渗	时间短，效率高，致密度高	设备要求高，成本高
浸渗 无压浸渗	设备简单，成本较低	对增强相与金属基体的润湿性要求高
放电等离子烧结	加热效率高，加热时间短，烧结温度低	烧结过程难以准确的控制，导热率不高

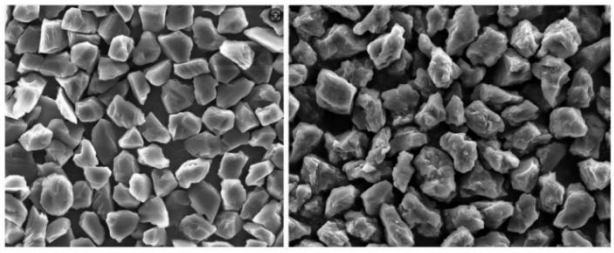
数据来源：DT 半导体材料，财通证券研究所

3.2 中期主战场：CVD 多晶热沉片易于大尺寸制备，商业化优势突出

多晶金刚石可实现更大尺寸制备，是目前商业化最优的纯金刚石方案。多晶金刚石由大量微小晶粒聚合而成，各晶粒结构与单晶金刚石相近，但排列无序、取向各异，通过不饱和键结合，存在显著晶界，整体结构均匀性较差、缺陷密度相对较高。相比单晶金刚石，CVD 法生长多晶金刚石对晶体取向和结构均匀性要求较低，无需晶种引导统一生长方向，可在基底上随机成核并生长形成多个晶粒；由于无需严格控制单一晶体取向，生长条件相对宽松，更易实现大面积、快速生长，成本亦相对较低。目前国内已实现 4-8 英寸量产，12 英寸处于研发阶段，大面积沉积工艺较为成熟，规模化制备能力持续提升。

大尺寸良率及切割、研磨、抛光等后加工仍是多晶金刚石热沉片规模化制备中的主要工艺难点。随着尺寸扩大，MPCVD 生长过程中衬底中心与外围温度更难保持均匀，易造成沉积厚度及应力分布差异，并在后续切割、研磨、抛光等加工工序中引发崩坏、碎裂；多晶金刚石晶界较多且应力分布不均，进一步增加表面平整化难度，大尺寸下粗糙度和平整度更难实现全域一致，边缘翘曲等问题也会增加后续键合难度。

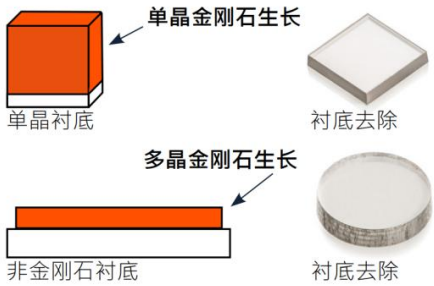
图10: 单晶与多晶金刚石微观结构对比



图左为单晶金刚石，右为多晶金刚石

数据来源：中国粉体网，财通证券研究所

图11: CVD 单晶与多晶金刚石生长结构对比



数据来源：Element Six，财通证券研究所

3.3 长期性能天花板：CVD 单晶热沉性能领先，大尺寸仍待突破

单晶金刚石面向超高导热、低热阻的极致散热需求。单晶金刚石由单一晶核沿特定结晶学方向定向生长发育而成，碳原子呈现严格有序的三维周期性排列，晶格结构完整连续，具有缺陷少、无晶界制约的特点。金刚石的热导性能主要来自碳原子振动（即声子）的传播，金刚石中的杂质元素、位错和裂纹等晶体缺陷，残留金属催化剂及晶格位向等因素都会与声子发生碰撞使其发生散射，从而限制声子的平均自由程，以降低热导率。单晶金刚石高度有序的晶格结构，使得其几乎没有晶界散射的影响，因此具有高达 2200W/(m•K)的热导率。但单晶金刚石生长速度较慢、尺寸受限，大规格产品成本指数级攀升，目前以研发和小批量交付为主，尚未大规模量产。

表4: 三类金刚石散热材料方案对比

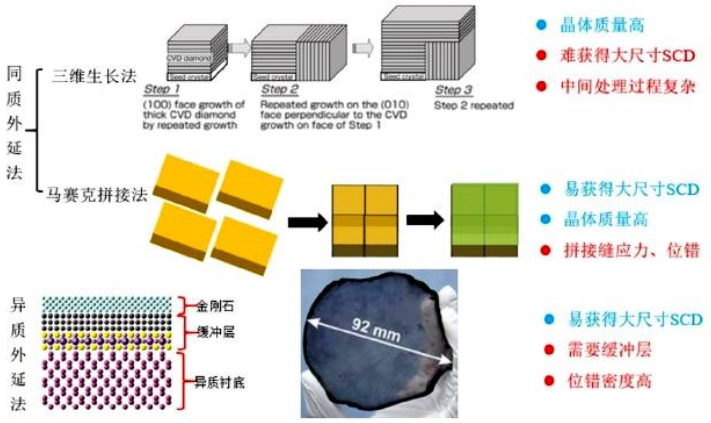
对比维度	CVD 单晶金刚石片	CVD 多晶金刚石片	金刚石-铜/铝复合材料
定义	由单一晶核生长、碳原子三维有序排列、无晶界的金刚石薄片，按晶体结构定义的材料形态	通过 CVD 工艺在衬底上沉积形成的多晶金刚石薄片	金刚石颗粒与铜或铝金属基体复合而成的导热结构材料
形态	独立薄片状，需切割、抛光等后加工	独立薄片状，可切割、抛光后使用	金刚石相（多晶微纳颗粒）弥散分布在金属基体中
尺寸	7mm×7mm-35mm×35mm；商用量产尺寸≤2-3 英寸，8 英寸仅实验室研发阶段	国内已实现 4-8 英寸量产，12 英寸处于研发阶段，是当前产业主流毛坯材料	直径 2-6 英寸（已量产）；可制备大尺寸板材
热导率	2000-2200W/(m • K)	1200-2000W/(m • K)	Cu 基：600-850W/(m • K)； Al 基：400-600W/(m • K)； Cu 基＞Al 基（Cu 导热更好但密度大）
市场应用	面向 AI 芯片、5G 基站、量子计算等前沿领域，目前以研发和小批量交付为主，尚未大规模量产	AI 芯片散热、GPU 散热、工业刀具等，已实现 8 英寸量产并交付华为等客户，是当前产业化核心	高功率器件散热基板（IGBT、LED）、电子封装壳体、散热器底座、半导体设备结构件，已商业化、短期规模化，国内已有产线出货
成本	高：生长速度慢、尺寸受限、纯度要求高，大规格成本指数级攀升	中等：大面积沉积工艺成熟、良率较高、成本可控，是当前性价比最优路线	性价比最高的金刚石散热材料，成本仅为纯 CVD 金刚石的 10%-20%

数据来源：麦曲能源 MatchEnergy，财通证券研究所

单晶金刚石性能优异，但大尺寸合成仍是其商业化应用的重要瓶颈。目前大尺寸单晶金刚石主要包括三维生长（单颗生长）、拼接生长和异质外延生长三种路线。三维生长通过在籽晶不同晶面反复生长扩大籽晶面积，具有晶体质量高、位错密度少的优势，但随生长次数增加，原子错排以及内部缺陷和位错逐渐增加，尺寸进一步扩大受到限制；拼接生长可获得大尺寸单晶金刚石，但籽晶晶向偏差会使拼接区域产生应力，需要保证拼接位置晶向和厚度一致；异质外延则通过选择合适的异质衬底生长单晶金刚石，制备英寸级单晶的关键在于提高形核密度并选择

合适的异质衬底。**我们认为，大尺寸制备难度与成本制约单晶金刚石短期放量，但其性能上限显著高于其他方案，随着生长与加工工艺持续突破，有望打开高端散热的远期应用空间，决定金刚石散热行业的远期性能高度。**

图12: 大尺寸 CVD 单晶金刚石生长的三种具体路线



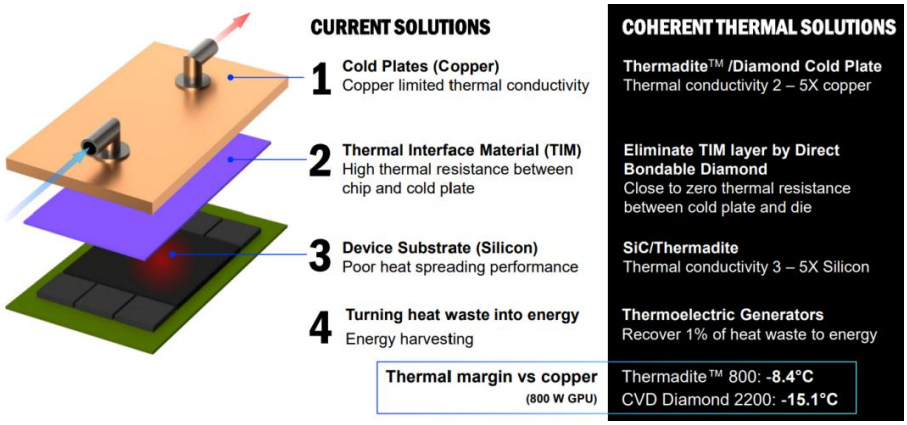
数据来源：纳米网，财通证券研究所

3.4 系统级方向：金刚石-SiC 复合液冷板拓展系统级散热方案

金刚石-SiC 加速向液冷板集成，系统级散热成为新的产业化方向。Thermadite 采用反应结合 SiC 陶瓷复合体系，在 SiC 基体中引入金刚石，兼具高热导率、低热膨胀系数、高刚度及较好的尺寸稳定性。2026 年 3 月，Coherent 面向下一代 AI 加速器推出 Thermadite 800 液冷板，将金刚石-SiC 复合材料进一步集成至液冷结构中，推动金刚石散热由高导热材料向系统级散热部件拓展。

Thermadite 800 兼具高导热与轻量化优势，高热流密度场景下散热性能更优。其热导率达到 800 W/(m·K)，约为铜的两倍，在高热流密度 AI 加速器环境下，相较传统铜冷板可使芯片温度降低超过 15℃，同时材料密度较铜低约 60%；内部微通道还可根据芯片热图进行针对性设计，将冷却能力集中于局部热点。相比金属及金属-金刚石冷板，Thermadite 800 在高强度液冷条件下还可降低翘曲、应力及可靠性风险，金刚石-SiC 有望成为高功率液冷场景下的重要技术路线。

图13: Coherent Thermadite/Diamond 冷板



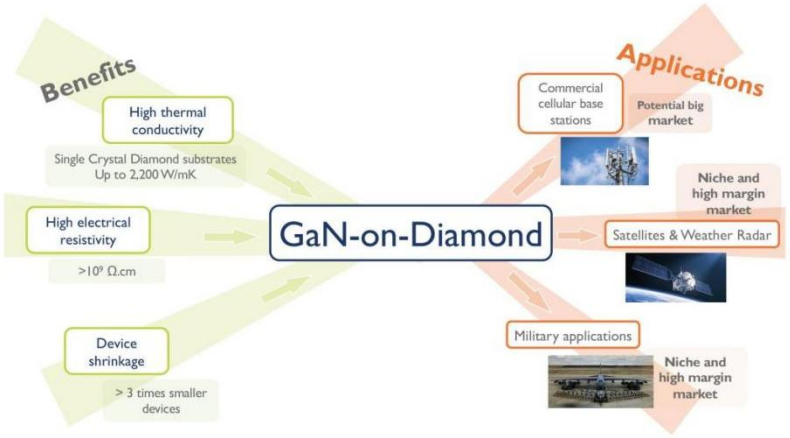
数据来源：Coherent，财通证券研究所

3.5 器件级方向：GaN-on-Diamond 强化器件散热，集成壁垒较高

GaN-on-Diamond 发挥金刚石高导热优势，支撑 GaN 器件向更高功率密度发展。GaN 理论上可实现超高功率密度，但实际应用中器件运行产生的大量热量难以快速导出，导致结温攀升，而传统 Si、SiC 等衬底材料受限于热导率，难以匹配 GaN 器件的散热需求。以金刚石作为 GaN 器件衬底，可利用其超高热导率实现热量从器件有源区向封装散热片快速传导，有效降低结温；在同等功率密度下，金刚石衬底 HEMT 温升明显低于传统 SiC 衬底。DARPA NJTT 项目中，金刚石衬底 GaN 晶体管已实现 11W/mm 线性功率、超过 40kW/cm²热通量，功率处理能力提升超过 3 倍。

GaN 与金刚石集成壁垒较高，难点集中于界面适配与大尺寸衬底制备。金刚石与 GaN 存在较大的热膨胀及晶格失配，加之金刚石硬度高、化学性质稳定，当前仍面临热应力、界面热阻及大尺寸衬底等问题。GaN-on-Diamond 主要包括键合与外延生长两类路径，其中键合工艺需解决键合温度、界面层厚度及成分控制等问题，外延生长则受高质量金刚石衬底制备及晶体缺陷制约。当前 GaN-on-Diamond 已在射频、功率及微波器件中推进应用，主要覆盖商用基站、军用雷达、卫星通信及气象雷达等高功率 RF 场景，并有望向 6G 通信、高效电力传输等领域拓展。

图14: GaN-on-Diamond 优势及主要应用场景



数据来源：Yole，财通证券研究所

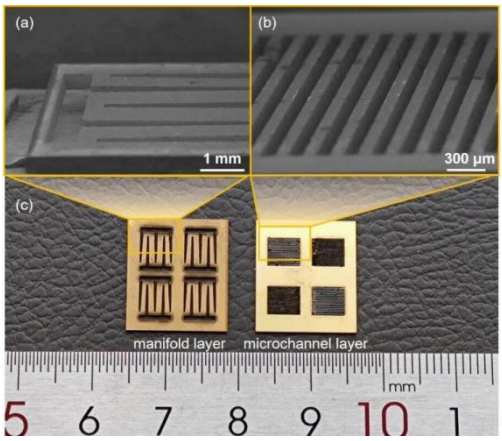
3.6 远期方案：金刚石微通道一体化，拓展极端热流密度场景

金刚石微通道将材料均热与流体排热进一步整合，面向极端热流密度场景。金刚石微通道将高热导率金刚石与微通道流动冷却结合，利用金刚石在平面内迅速“摊铺”局部热点、将热量快速输送至附近冷却通道，并通过较低的扩散热阻与微尺度流动换热机制协同，实现超高热流密度热点的近结区冷却。传统硅基微通道虽然能够强化对流换热，但在高热流密度、小热源条件下，基底材料有限的热导率使扩散热阻成为进一步提升散热能力的重要限制，金刚石则可通过降低热点扩散热阻强化微通道散热能力。

金刚石微通道已实现超高热流密度实验验证，但产业化应用尚处早期。2026 年，北京大学团队研制出全金刚石基嵌入式歧管微通道散热器（FDMMHS），利用激光加工技术在金刚石衬底上实现了高深宽比的微通道与歧管结构的精密制造与集成，并在 1mm×1mm 热点下实现 10，000W/cm²的超高热流密度散热，确立了“全金刚石-歧管微通道”协同散热的新范式。当前金刚石微通道仍主要处于性能验证

与工程可行性探索阶段，材料成本、加工一致性、系统集成及长期可靠性等问题仍待解决，产业化应用尚早。

图15: 全金刚石嵌入式歧管微通道实物图



数据来源：DT 半导体材料，财通证券研究所

4 生长、加工与键合构筑金刚石散热核心工艺壁垒

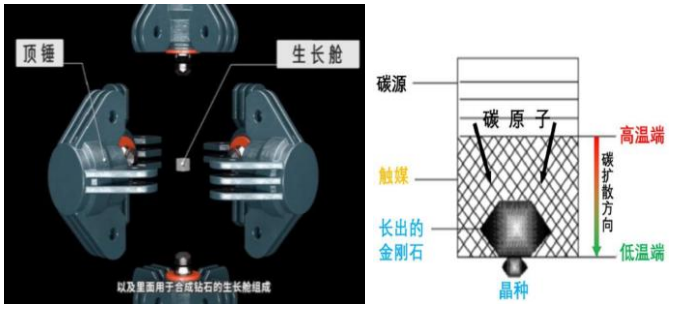
4.1 生长：HPHT 与 CVD 双路线并行，MPCVD 为主流首选

人工金刚石制备方法主要包括高温高压法（HPHT）和化学气相沉积法（CVD）：

HPHT 法技术成熟，适用于小尺寸、高品质单晶金刚石稳定供应。高温高压法（HPHT）是最早实现产业化的金刚石制备技术，以石墨粉、金属触媒粉为主要原料，通过超高温、高压条件模拟天然金刚石的结晶条件和生长环境，实现石墨向金刚石的相转变。在 5-7GPa、1400-1600℃条件下，镍铁合金等催化剂可降低相转变活化能，并实现碳源传输与结晶导向。HPHT 法技术成熟、成本低，适用于大批量、小尺寸、高质量金刚石的稳定供应；但受高压设备体积及金属触媒引入限制，在晶体尺寸和杂质控制方面存在一定约束。

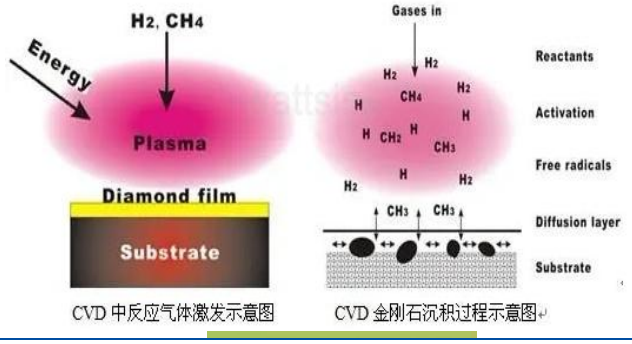
CVD 法是大尺寸、高纯度金刚石规模化生长的主流技术。化学气相沉积法(CVD)通常以甲烷为碳源、氢气为稀释气体，通过能量输入激发等离子体，解离出活性碳物种，在衬底表面择优结晶为金刚石薄膜，利用氢自由基抑制石墨相形成。CVD 法合成金刚石具有尺寸大、低杂质浓度、高结晶质量等优点，电学、光学、热学、声学等方面性能优异，但设备、工艺要求高，沉积速率较低。

图16: 高温高压法（HPHT）工艺原理示意图



数据来源：培育钻石网，财通证券研究所

图17: 化学气相沉积法（CVD）工艺原理示意图



数据来源：未来产链，财通证券研究所

CVD 制备路线多样，MPCVD 凭借较高的纯净度与工艺稳定性成为主流技术。CVD 金刚石根据反应气体活化方式主要包括热丝化学气相沉积（HFCVD）、直流辅助等离子体化学气相沉积（DC-PACVD）、微波等离子体化学气相沉积（MPCVD）和直流电弧等离子体喷射化学气相沉积（DC Arc Plasma Jet CVD）。其中，MPCVD 法采用无极放电，可避免热金属丝蒸发对金刚石膜的污染，等离子体纯净；同时，微波功率调节连续平缓，使沉积温度可连续稳定变化。因此，MPCVD 法成为高速率、高质量、大面积沉积金刚石膜的首选方法。

表5: 主要 CVD 金刚石沉积技术路线的工艺特征及应用对比

沉积方法	HFCVD	DC-PACVD	MPCVD	DC Arc Plasma Jet CVD
中文名称	热丝化学气相沉积	直流辅助等离子体化学气相沉积/热阴极化学气相沉积	微波等离子体化学气相沉积	直流电弧等离子体喷射化学气相沉积
激活方式	热激活	辉光放电	电磁激活	弧光放电
独立金刚石薄膜直径(mm)	150	203	150	175
沉积速率(μm/h)	1-10	6-25	0.1-34	5-930
气体温度(K)	1500-3600	1500-6000	2500-4000	4000-7000
多晶热导率(W/mK)	~1200	~1200	~2000	~1800
优势	低压下获取面积大、设置简单、设备便宜	低压下获取面积大、设置简单、设备便宜	金刚石薄膜质量优异、稳定的沉积	最高线性增长率、高质量的金刚石
缺点	低生长速率、最低金刚石薄膜质量、热丝降解	低压条件下生长速率低、电极污染	需模拟燃烧室、3D 沉积困难、低生长速率	沉积面积小、过程控制难、能量和气体消耗大、电极污染
金刚石薄膜质量	工具和散热器等级	工具和散热器等级	所有等级包括电子级	工具、散热器和光学等级
散热应用	中端应用的大面积热管理	工业级散热器应用	具有大面积晶圆级集成能力的先进集成电路（IC）热调节	用于中低功率器件的非标几何形状散热器

数据来源：芯语，李成明等《化学气相沉积（CVD）金刚石研究现状和发展趋势》《人工晶体学报》，王子昂等《CVD 多晶金刚石膜的生长技术与热导率优化研究进展》《表面技术》，财通证券研究所

4.2 切割与抛光：加工损耗与表面质量构成规模化应用关键约束

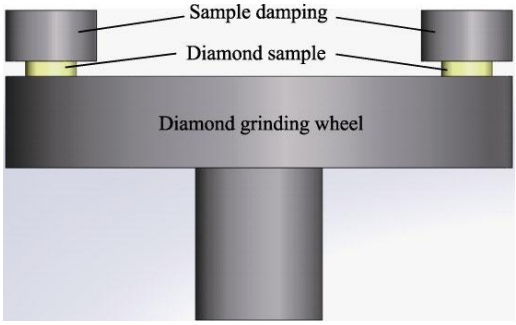
金刚石硬度高、加工损耗大，切割环节直接影响材料利用率与加工成本。大尺寸金刚石生长完成后，需要进一步切割为特定形状和厚度，但常规线切割和机械加工材料损耗较大，限制大尺寸金刚石的材料利用率。相比之下，激光加工利用高能量密度使局部金刚石快速气化，具有作用时间短、光斑小、切割速度快、切缝窄等优势，已成为金刚石切割的重要加工方式；但使用激光切割方法分离外延层时，会损耗掉一部分的金刚石，且损耗的比例随着金刚石片的尺寸增加而变大。

金刚石表面质量直接影响热沉接触与散热效率，高效、低损伤抛光仍是规模化应用的关键。CVD 金刚石通常存在薄膜厚度不均、应力变形、晶粒尺寸及取向不一致等问题，应用前需要进行平整化处理；用于热沉材料时，更高的表面光滑度有助于增加有效接触面积、提升界面传热效率。然而，受超高硬度、高耐磨性及化学惰性影响，金刚石表面加工难度较高，如何兼顾抛光效率、加工成本与表面损伤控制，仍是其规模化应用的重要工艺难点。

当前主要抛光路线包括：（1）机械抛光（MP）：利用金刚石磨粒机械作用去除材料，是目前应用最广的方式，但加工效率较低，且机械冲击易形成凹坑、亚表面裂纹和晶格损伤；**（2）化学机械抛光（CMP）：**通过在机械抛光过程中加入氧化剂，氧化碳原子提高抛光速率，具有表面损伤小、粗糙度低、设备简单、运行维护成本低，抛光后的表面污染较轻等优点；**（3）热化学抛光（TCP）：**以碳原子在热金属中的扩散、金刚石转化为石墨和金刚石的氧化为基础的抛光技术，能获得低损伤、平整的表面，但由于需要在真空和高温下进行，设备复杂、成本高，操作难度大，难以精确控制加热温度，使样品表面均匀受热；**（4）动态摩擦抛光**

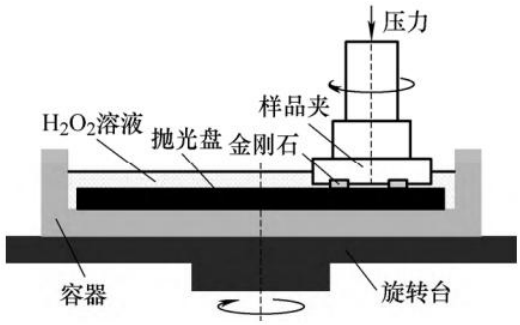
（DFP）：通过高速旋转金属盘与金刚石表面摩擦，结合碳原子扩散和氧化实现材料去除，去除速率较高，但仍需进一步兼顾加工效率与表面粗糙度。**（5）涉及高能粒子非接触式的抛光方法：**包括激光抛光（LP）、离子束抛光（IBP）和等离子体辅助抛光（PAP）等。激光抛光通过局部加热实现气化或石墨化去除，效率较高但需控制热影响；离子束抛光利用离子溅射实现精细加工，但易形成表面波纹；等离子体辅助抛光通过表面活化后配合软磨料去除，可获得较高表面质量，但设备成本较高。**各类抛光路线在效率、表面质量、损伤控制及成本之间仍存在权衡，大面积、高质量抛光仍是金刚石规模化应用的重要工艺难点。**

图18: 机械抛光示意图



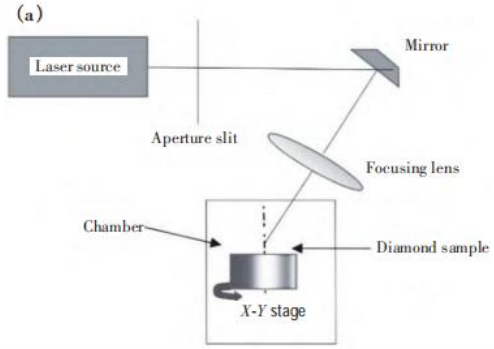
数据来源：中国粉体网，财通证券研究所

图19: 化学机械抛光示意图



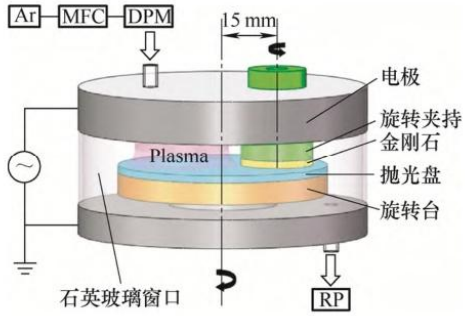
数据来源：中国粉体网，财通证券研究所

图20: 激光抛光示意图



数据来源：中国粉体网，财通证券研究所

图21: 等离子体辅助抛光示意图



数据来源：中国粉体网，财通证券研究所

4.3 界面键合：表面质量与键合工艺共同决定界面热阻

金刚石热沉需要通过可靠连接形成连续热传导路径，连接方式直接影响其高导热性能的发挥。金刚石与半导体器件的连接可分为直接连接和间接连接：直接连接使金刚石与半导体界面直接相连，主要包括外延沉积和低温键合；间接连接则通过中间层实现，主要包括软钎焊、瞬时液相扩散焊和纳米银低温烧结。直接连接能够减少中间层带来的热传导阻力，但工艺难度较高；间接连接与现有半导体封装工艺兼容性较好，是当前更具规模化基础的连接方式。

低热阻连接首先取决于待键合表面的加工质量，大尺寸键合对粗糙度、平整度及工艺控制提出更高要求。低温直接键合要求金刚石热沉和半导体表面保持平整、较小翘曲度，表面粗糙度通常需低于 1nm；同时，键合过程中还需要施加一定压力，而压力大小和保压时间较难控制，容易造成试样破碎并降低良品率。随着键合面积扩大，对面型一致性和工艺均匀性的要求进一步提高，目前大尺寸直接键

合仍存在较高工艺难度。此外，多晶金刚石由于晶粒、凹坑和表面凸起等问题，更难同时获得满足直接键合要求的低粗糙度和高平整度。

图22: 现有金刚石与半导体器件连接工艺的技术路线图



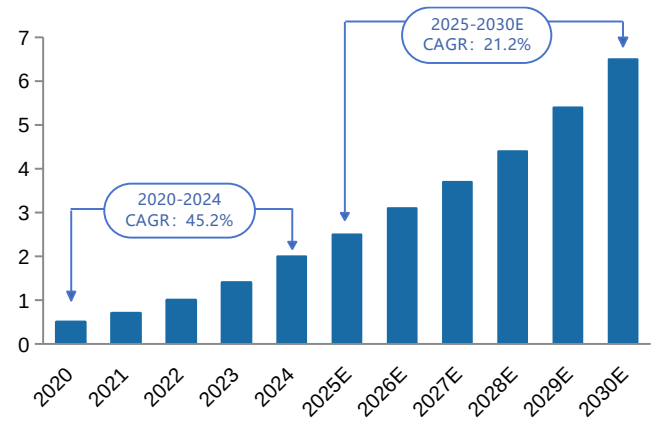
数据来源：化合积电，财通证券研究所

5 金刚石散热行业进入产业化加速期，需求释放推动产业链加速布局

5.1 高功率芯片散热需求释放，金刚石散热商业化进程加速

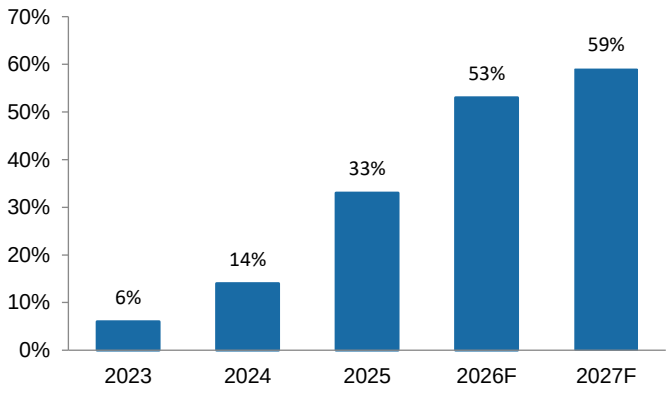
AI 服务器持续放量叠加液冷渗透加速，高功率芯片散热需求加速释放。根据 Frost & Sullivan，全球 AI 服务器出货量由 2020 年的 50 万台增至 2024 年的 200 万台，CAGR 达 45.2%；预计 2025-2030 年出货量将由 250 万台进一步增至 650 万台，CAGR 为 21.2%。随着 AI 芯片散热需求提升，液冷技术加速渗透，根据 TrendForce 数据，AI 芯片液冷渗透率预计由 2025 年的 33%提升至 2026 年的 53%，2027 年进一步达到 59%。NVIDIA、AMD 和 Google 的高端芯片正在推动液冷技术普及，其中 NVIDIA 机架式解决方案出货量预计 2026 年翻倍，Google 超过 80%的 AI 服务器已采用液冷技术。

图23: 全球 AI 服务器出货量（百万台）



数据来源：Frost & Sullivan，财通证券研究所

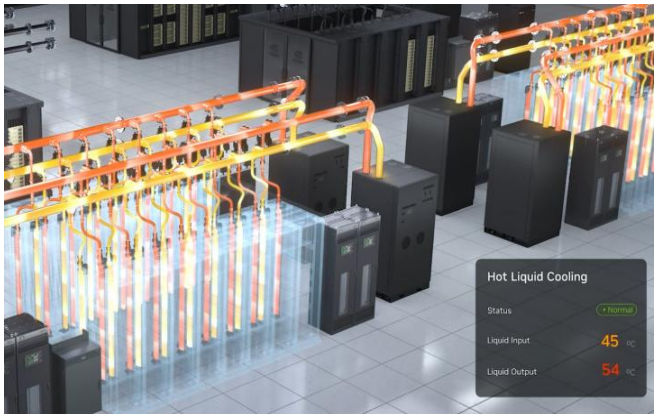
图24: 全球 AI 芯片液冷渗透率（%）



数据来源：TrendForce，财通证券研究所

2026 年有望成为金刚石散热材料商用化落地元年。1 月，英伟达在 CES 上正式确认 Vera Rubin 将搭载“金刚石铜复合散热盖+45℃温水直液冷”方案；2 月，Akash Systems 宣布向印度主权云服务商 NxtGen AI PVT Ltd 交付全球首批搭载 Diamond Cooling 技术的英伟达 H200 GPU 服务器；3 月，Akash Systems 宣布发售搭载 AMD Instinct MI350X GPU 的金刚石冷却 AI 服务器；4 月，中科院宁波材料所制备的金刚石铜散热模组在郑州国家超算中心实现全国首次规模化应用，该材料热导率突破 1000W/(m·K)，模组传热能力提升 80%，芯片性能提升 10%、温度下降 5℃；5 月，联想发布 YOGA Air 14 Ultra 高端 AI 轻薄本，配备金刚石铜复合散热模组。金刚石散热材料产业化里程碑于 2026 年密集落地，商业化进程加速推进。

图25: NVIDIA Rubin 平台 45℃液冷散热示意图



数据来源：NVIDIA，财通证券研究所

图26: YOGA Air 14 Ultra Aura 配置 3.4 克拉金刚石铜



数据来源：联想，财通证券研究所

5.2 全球供给高度集中，国内企业依托产业基础加速切入功能化应用

全球人造金刚石供给高度集中，国内功能化应用有望加速渗透。我国人造金刚石产量占全球总产量的 95%，其中河南约占全国 80%，郑州、商丘、许昌、南阳等地集聚力量钻石、惠丰钻石、中南钻石、黄河旋风等行业龙头。应用结构方面，据《中国人造金刚石产业地图（2023 年）》，国内人造金刚石仍主要用于金刚石工具等结构性材料，结构性材料应用占比超过 90%，面向声、光、电、磁、热等领域的功能化应用占比不足 10%，功能化应用仍具较大提升空间。

全球产业链加速布局金刚石散热赛道，海外企业凭借技术先发优势率先实现商业化落地，国内企业依托完整产业基础快速跟进。

全球金刚石散热市场呈现“寡头初现、美企先发”的格局。Element Six 是全球最大的人造金刚石制造商，掌握从 HPHT 到 CVD 的全技术路线，在高端热沉片领域占据领先地位；Coherent 在 CVD 金刚石光电器件和散热领域具有深厚积累，持续推进可键合金刚石及金刚石-SiC 复合材料等产品；Akash Systems 聚焦金刚石散热在高端算力设备中的应用，2026 年 2 月向印度 NxtGen AI 交付全球首批金刚石冷却 NVIDIA H200 服务器，3 月进一步推出搭载 AMD MI350X GPU 的金刚石冷却 AI 服务器。海外头部企业持续突破金刚石散热核心技术与终端应用场景，落地多项标志性成果。

表6: 海外主要金刚石散热公司及进展

区域	公司名称	核心技术	最新进展
美国	Akash Systems	专利 Diamond Cooling®技术，合成金刚石直接集成于 GPU 散热模组	2026 年 2 月向印度 NxtGenAI 交付全球首批金刚石冷却 NVIDIA H200 服务器，GPU 能效提升 15%（FLOPS/W）；3 月发布全球首款金刚石冷却 AMD MI350X 服务器，获 3 亿美元订单
英国	Element Six	De Beers 旗下，CVD 金刚石热扩散器，Diamond-Copper 复合材料	与日本 Orbray 合作实现晶圆级单晶金刚石制造里程碑，推动热扩散器向大尺寸演进
美国	Coherent	CVD 金刚石基板（直径达 145mm）可键合金刚石（Bondable Diamond）Diamond-loaded SiC 复合材料	2026 年 1 月推出高性能可键合金刚石解决方案，消除热界面电阻;2025 年 6 月发布金刚石-SiC 复合材料
美国	Diamond Foundry	实验室培育金刚石技术，Diamond Wafer 晶圆级金刚石键合	开发芯片级金刚石直接键合技术，声称可解锁 5 倍 AI 芯片性能
日本	住友电工	Cu-Diamond 复合材料 GaNon Diamond（氮化镓直接键合在金刚石衬底）技术	2025 年 5 月与大阪公立大学合作，在 2 英寸多晶金刚石衬底上成功制造 GaN-HEMT，大幅提升高频功率器件散热性能
美国	SP3 Diamond	20 年 CVD 金刚石涂层与晶圆制造经验	专注为半导体制造提供高质量金刚石晶圆，拓展热管理解决方案产品线
印度	NxtGen AI	终端应用代表，金刚石冷却 AI 数据中心规模化部署	2026 年 2 月在印度率先部署全球首批金刚石冷却 NVIDIA H200 GPU 服务器，显著优化数据中心 PUE 指标

数据来源：观研天下《中国金刚石散热行业发展趋势研究与投资前景分析报告（2026-2033 年）》，财通证券研究所

国内头部企业依托本土超硬材料产业积淀，加速向半导体级金刚石散热材料赛道转型，产能与技术落地节奏持续提速。四方达率先实现 CVD 金刚石散热片海外客户小批量供货，具备 12 英寸衬底生产能力；国机精工拥有 MPCVD 设备自研能力，国防领域已形成小批量订单；黄河旋风战略聚焦半导体散热，8 英寸热沉片产线已投产，拟配置 300 台 MPCVD 设备；力量钻石半导体高功率散热片金刚石功能材料研发制造项目已投产。整体看，中国企业在工业级产能和成本上优势明显，但在高端 CVD 技术、品牌认知和客户认证周期上仍处追赶阶段。

表7: 中国主要金刚石散热公司及进展

公司名称	核心技术	最新进展
力量钻石	微波等离子体 CVD 技术，生产半导体高功率散热金刚石功能材料，热导率可达 2200W/(m·K)	2025 年 1 月，半导体高功率散热片金刚石功能材料研发制造项目正式建成投产，迈出产业化重要一步
黄河旋风	掌握 HPHT 和 CVD 双技术路线，与优普莱合作采用 MPCVD 法量产国内最大 8 英寸金刚石热沉片	2026 年 2 月子公司风优创揭牌，国内首条 8 英寸金刚石热沉片生产线落成，一期投资 3.6 亿元，年产能 2 万片
中兵红箭	旗下中南钻石为全球最大超硬材料供应商之一，具备 HPHT 和 CVD 双技术路线	加大在多晶金刚石热沉领域的研发投入，积极布局半导体级散热材料赛道
四方达	自主研发 MPCVD 设备及工艺，具备高品质大尺寸超纯 CVD 金刚石批量制备能力	2025 年 12 月宣布已具备批量制备 12 英寸金刚石衬底及薄膜的能力，可用于芯片热沉等领域
化合积电	MPCVD 制备高质量金刚石晶圆级金刚石衬底、热导率超 2000W/(m·K)金刚石热沉	2025 年底攻克高质量大尺寸多晶金刚石制备技术，实现单晶金刚石表面粗糙度 Ra<1nm；10 月呼和浩特量产基地投产
国机精工	具备从六面顶压机+MPCVD 设备到材料的全链自制能力，生产金刚石散热片和光学窗口片	2025 年金刚石散热收入超千万，12 月牵头制定国内首个热沉用金刚石片团体标准；与华为联合测试昇腾芯片热沉片
沃尔德	国内少数掌握 CVD 法三大工艺（MPCVD、热丝、直流电弧）的企业，开发 CVD 金刚石热沉片	2026 年 3 月定增募资 3 亿元用于金刚石微钻及功能材料等项目;已成立 AI 芯片散热专项组，12 寸 CVD 金刚石热沉片处于测试阶段
惠丰钻石	/	2026 年 2 月拟投资 10 亿元建设包头 CVD 金刚石项目，一期安装 500 台 MPCVD 设备，重点生产热沉片、半导体功能材料及培育钻石；柘城基地同步扩建高导热单晶及复合材料生产线
曙光数创	采用自研国产冷媒，可实现全年自然冷却。并首次规模化应用金刚石铜导热材料，热导率提升 80%，助力芯片性能提升 10%	2026 年 4 月 8 日，曙光数创在“液冷聚能，智算向新”2026 战略发布会上，正式发布全球首个 MW 级相变浸没液冷整机柜及其基础设施整体解决方案（C8000V3.0）。最高可支持单机柜功率超过 900kW，达到 MW 级，单机柜承载功率为传统液冷方案的 3–5 倍，散热能力超过 200W/cm²

数据来源：观研天下《中国金刚石散热行业发展趋势研究与投资前景分析报告（2026-2033 年）》，财通证券研究所

5.3 产业链配套完善，中游材料制备占据核心价值

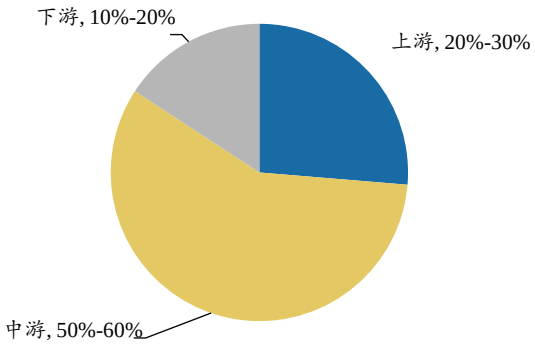
我国已形成较完整的金刚石散热产业链，中游材料制备为价值核心，下游验证决定商业化节奏。上游涵盖石墨、金属触媒、叶蜡石等原辅料及六面顶压机、MPCVD设备等核心装备，中游包括金刚石单晶、微粉、复合材料及热沉片制备，下游延伸至芯片封装、服务器及半导体散热等终端应用。上游设备决定材料产能与品质上限，目前六面顶压机已基本实现全国产供应；根据《中国金刚石散热行业发展趋势研究与投资前景分析报告（2026-2033 年）》，国产专用 MPCVD 设备全球市占率达 50%，MPCVD 设备构成 CVD 金刚石扩产的刚性前置环节，新增产能建设与设备配置规模高度相关。中游决定产业链主要价值量与供给能力，企业间良率、成本及产品性能分化明显；下游则受封装适配与客户认证周期影响，终端验证进展决定产业化放量节奏。

图27: 人造金刚石产业链



数据来源：智研咨询，财通证券研究所

图28: 金刚石散热产业链上、中、下游价值分布



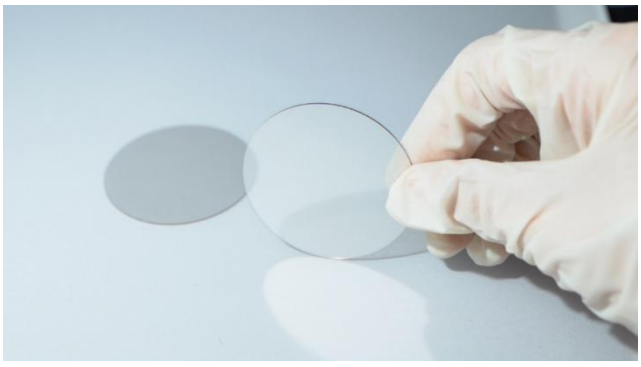
数据来源：陶瓷时代，财通证券研究所

6 重点公司基本情况概览

6.1 国机精工：MPCVD 技术布局较早，金刚石散热已实现非民用供货

国机精工的业务涵盖轴承、超硬材料及制品和供应链服务，旗下国机金刚石是其功能性金刚石业务的重要平台。公司掌握 MPCVD 金刚石制备及加工技术，已形成单晶、多晶金刚石散热片和金刚石铜复合材料等产品布局，可面向高功率微波、激光及半导体器件的热管理需求。金刚石散热片与光学窗口片已在非民用领域取得小批量订单；民用散热产品仍处于客户验证阶段。

图29: 国机金刚石超高导热 CVD 金刚石散热片



数据来源：国机金刚石官网，财通证券研究所

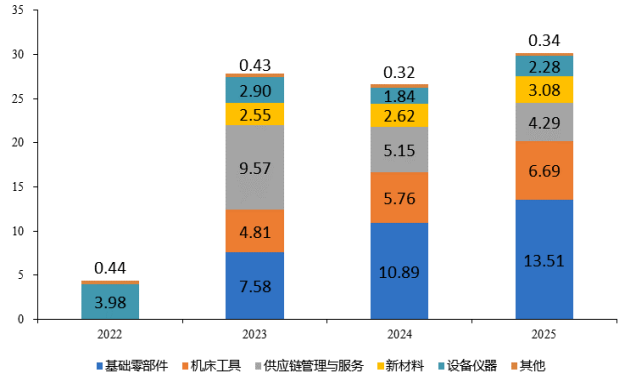
图30: 国机金刚石铜金刚石



数据来源：国机金刚石官网，财通证券研究所

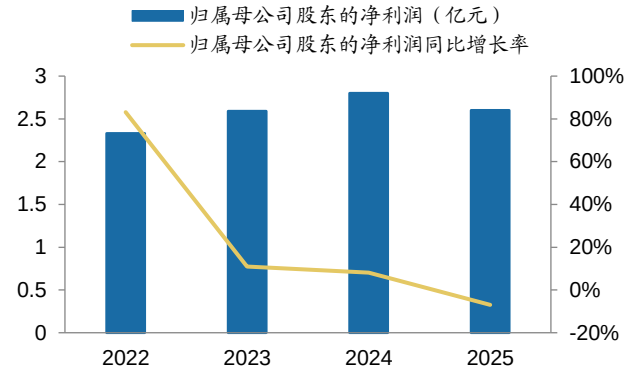
2022-2025 年，国机精工营业收入分别为 34.36 亿元、27.84 亿元、26.58 亿元和 30.19 亿元，呈现先降后升的走势；同期归母净利润分别为 2.33 亿元、2.59 亿元、2.80 亿元和 2.60 亿元。2025 年收入同比增长 13.59%，但归母净利润同比下降 6.96%，主要与超硬材料业务注入国机金刚石后，部分收益计入少数股东损益有关。现阶段，公司整体业绩仍主要由轴承和超硬材料制品支撑，金刚石散热的后续增量取决于民用客户验证和订单转化。

图31: 2022-2025 国机精工收入拆分（亿元）



数据来源：iFinD，财通证券研究所

图32: 2022-2025 国机精工归母净利润及其同比增速

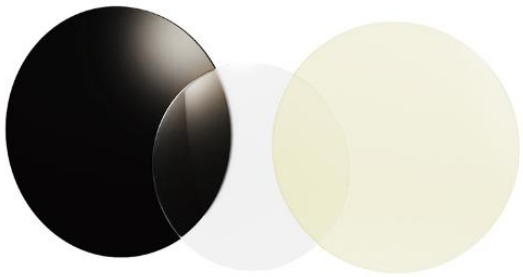


数据来源：iFinD，财通证券研究所

6.2 沃尔德：金刚石制备与精密加工协同，散热产品向晶圆级应用延伸

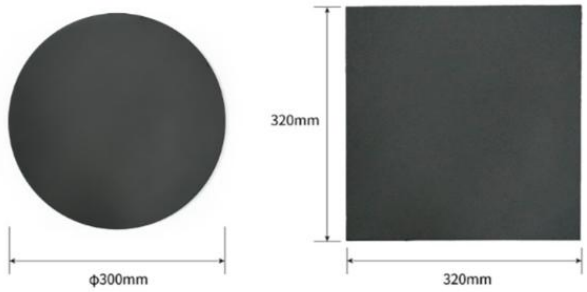
沃尔德以超硬刀具为核心业务，并将金刚石功能材料作为新的发展方向。公司已开发 CVD 单晶、多晶金刚石热沉片，以及在硅或碳化硅晶圆表面沉积金刚石层的复合晶圆。前者主要用于高功率器件的局部散热，后者面向晶圆级热管理；材料生长、精密研磨和镜面抛光等技术积累，为其开发不同尺寸及表面精度的产品提供了基础。目前，金刚石散热相关产品仍以客户开发和验证为主。

图33: 沃尔德单晶/多晶 CVD 金刚石热沉片



数据来源：沃尔德官网，财通证券研究所

图34: 金刚石导热硅/碳化硅基复合晶圆

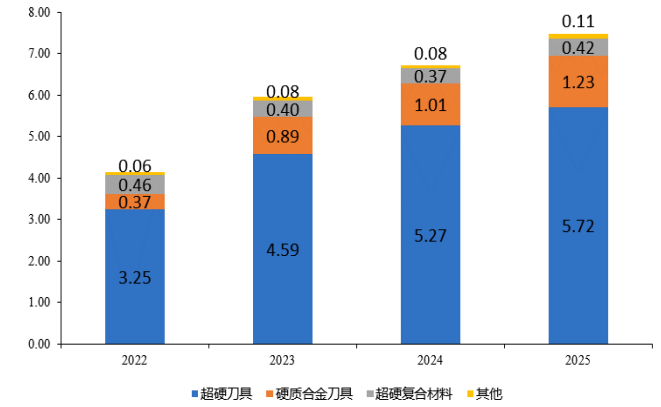


数据来源：沃尔德官网，财通证券研究所

2022-2025 年，沃尔德营业收入分别为 4.14 亿元、6.03 亿元、6.79 亿元和 7.54 亿元，持续增长；同期归母净利润分别为 0.63 亿元、0.97 亿元、0.99 亿元和 0.95 亿元，2024 年以来利润增长弱于收入增长。2025 年公司收入同比增长 11.08%，归母净利润同比下降 4.71%。年报显示，收入增长主要来自核心刀具业务，金刚石功能材料虽已产生小规模收入，但仍处于投入期。因此，现阶段不能把公司收入

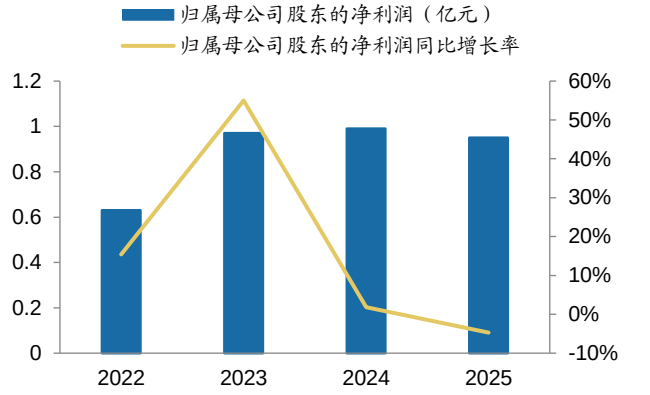
增长直接归因于金刚石散热；其财务贡献还需观察热沉片和复合晶圆能否通过客户验证并形成稳定订单。

图35: 2022-2025 沃尔德收入拆分（亿元）



数据来源：iFinD，财通证券研究所

图36: 2022-2025 沃尔德归母净利润及其同比增速

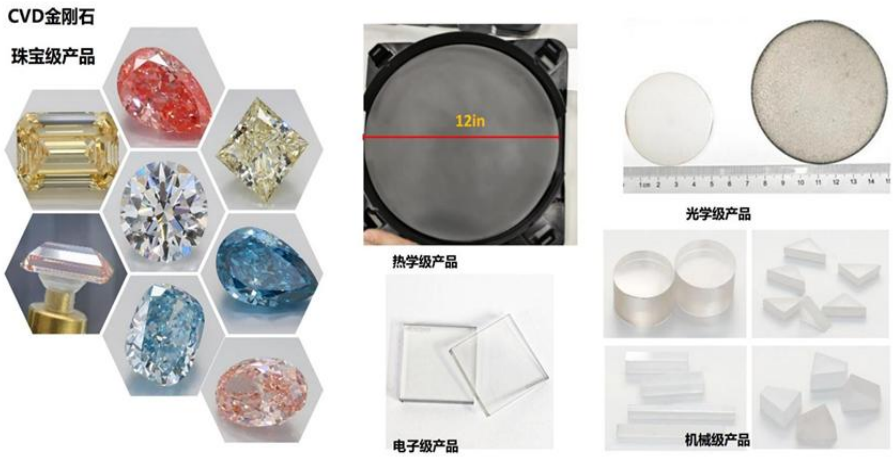


数据来源：iFinD，财通证券研究所

6.3 四方达：自研 MPCVD 设备支撑大尺寸散热片，小批量供货已启动

四方达长期从事聚晶金刚石复合材料和精密超硬工具的研发生产，近年来通过控股子公司河南天璇拓展 CVD 功能性金刚石业务。公司拥有自研 MPCVD 设备和金刚石生长工艺，散热方向目前以多晶金刚石散热片为主，并具备大尺寸金刚石衬底及薄膜的制备能力。公司披露，CVD 金刚石散热片已通过客户测试并进入小批量供货阶段，可适配高端电子产品散热场景；后续扩大供货规模仍取决于客户需求及产能建设进度。

图37: 四方达金刚石产品

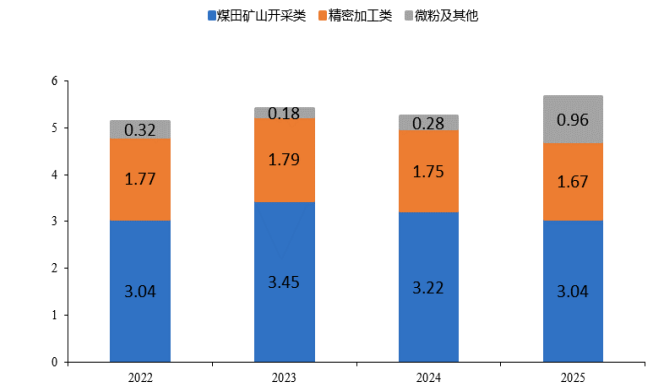


数据来源：公司公告，财通证券研究所

2022-2025 年，四方达营业收入分别为 5.14 亿元、5.42 亿元、5.25 亿元和 5.67 亿元，整体在 5 亿-6 亿元区间波动；同期归母净利润分别为 1.54 亿元、1.38 亿元、1.18 亿元和 0.93 亿元，连续下降。2025 年收入同比增长 7.98%，归母净利润同比下降 20.77%。年报显示，河南天璇的 CVD 金刚石业务收入增长较快，但仍处于产能爬坡和工艺完善阶段，前期产品成本较高，子公司当年仍有较大亏损。需要

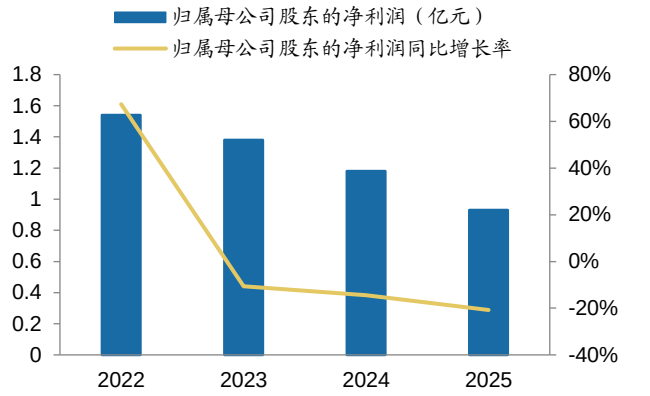
注意，河南天璇的收入包含多类 CVD 金刚石产品，不能全部计入散热片。对四方达而言，研究重点是散热片的小批量供货能否逐步扩大，以及大尺寸产品的良率和成本能否改善。

图38: 2022-2025 四方达收入拆分（亿元）



数据来源：iFinD，财通证券研究所

图39: 2022-2025 四方达归母净利润及其同比增速

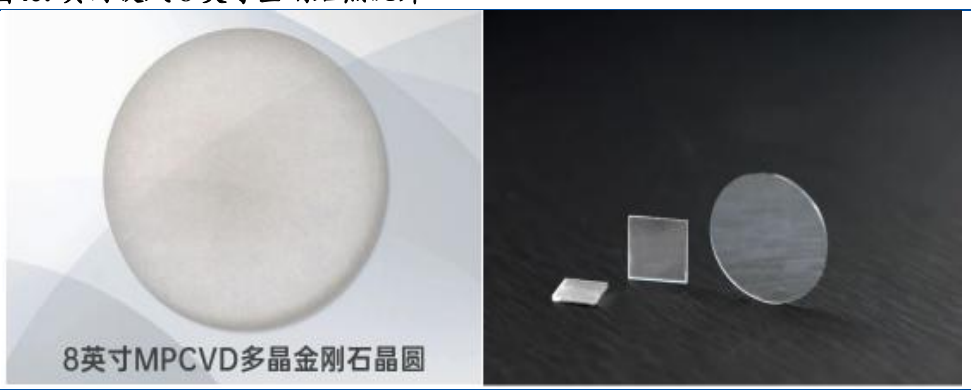


数据来源：iFinD，财通证券研究所

6.4 黄河旋风：超硬材料产业链龙头，国内首条 8 英寸热沉片产线落地

黄河旋风是国内超硬材料行业龙头，具备覆盖人造金刚石材料及相关制品的全产业链布局。并通过子公司河南风优创发展 CVD 金刚石散热材料业务。公司与 MPCVD 设备厂商深圳优普莱共同建成国内首条 8 英寸金刚石热沉片生产线，将设备开发、金刚石材料生长与热沉片生产相衔接。相关产品覆盖 6 英寸、8 英寸多晶金刚石薄膜及不同厚度的热沉片，主要应用于高功率电子器件、半导体激光器、光模块、新能源汽车及航空航天等领域。

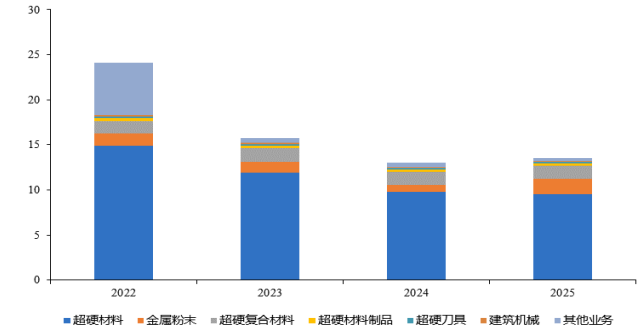
图40: 黄河旋风 8 英寸金刚石热沉片



数据来源：黄河旋风微信公众号，财通证券研究所

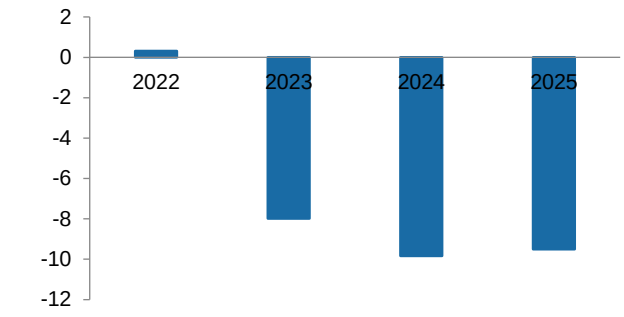
2025 年，黄河旋风实现营业收入 13.56 亿元，同比增长 4.24%；归母净利润亏损 9.50 亿元，较上年同期亏损 9.83 亿元有所收窄。公司目前正推动大尺寸金刚石热沉片的产业化，相关产线已经投产，订单也开始陆续交付。如果后续客户验证和批量采购顺利推进，金刚石散热业务有望成为公司新的增长变量。不过，该业务目前仍处于产业化初期。

图41: 2022-2025 黄河旋风收入拆分（亿元）



数据来源：iFinD，财通证券研究所

图42: 2022-2025 黄河旋风归母净利润（亿元）



数据来源：iFinD，财通证券研究所

6.5 力量钻石：技术路线布局功能金刚石，散热片进入客户验证阶段

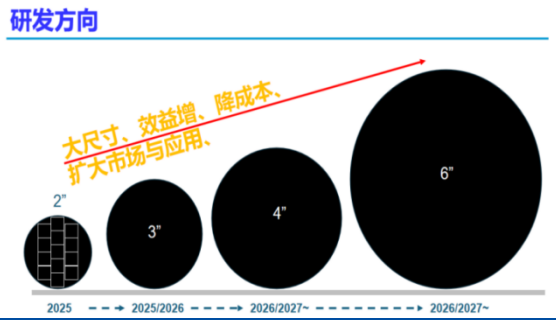
力量钻石是国内超硬材料领域的重要企业，具备高温高压和 CVD 两类金刚石制备技术。公司产品布局覆盖大颗粒金刚石单晶及半导体高功率金刚石散热片，已建成半导体高功率散热片研发制造项目，并与台湾捷斯奥共同推进金刚石功能材料关键技术研发。公司表示其金刚石散热片热导率达到铜的 5 倍以上，目前已有多家半导体及科技企业与公司开展送样、研发和测试。

图43: 力量钻石大颗粒金刚石单晶



数据来源：力量钻石官网，财通证券研究所

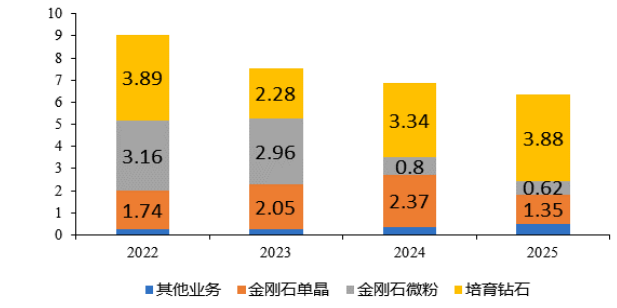
图44: 力量钻石半导体高功率金刚石散热片



数据来源：力量钻石官网，财通证券研究所

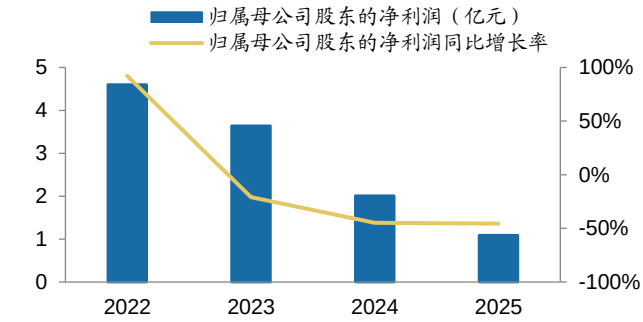
2025 年，力量钻石实现营业收入 6.32 亿元，同比下降 7.84%；归母净利润 1.09 亿元，同比下降 45.57%。随着相关项目建成投产，公司正推动金刚石散热片由技术研发向客户验证阶段过渡，并通过调整募集资金投向进一步完善功能材料的规模化生产能力。公司认为金刚石散热有望成为新的业务增长点。

图45: 2022-2025 力量钻石收入拆分（亿元）



数据来源：iFinD，财通证券研究所

图46: 2022-2025 力量钻石归母净利润及其同比增速



数据来源：iFinD，财通证券研究所

7 风险提示

下游需求不及预期：金刚石散热需求主要受益于 AI 算力基础设施建设及高功耗芯片持续迭代，若相关需求增长放缓，可能影响金刚石散热市场需求释放。

产业化进展不及预期：金刚石散热目前仍处于产业化早期阶段，若下游客户验证、产品导入及规模化应用进度不及预期，可能影响行业商业化进程。

技术成熟及降本进度不及预期：金刚石散热在材料制备、加工及界面结合等环节仍存在较高技术要求，若工艺优化、良率提升及成本下降速度不及预期，可能制约市场渗透。

行业竞争加剧风险：随着国内外企业持续布局并扩充相关产能，行业参与者逐步增加，若未来竞争加剧，可能对产品价格及企业盈利能力产生影响。

仅供内部参考，请勿外传

信息披露

● 分析师承诺

作者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，具备专业胜任能力，保证报告所采用的数据均来自合规渠道，分析逻辑基于作者的职业理解。本报告清晰地反映了作者的研究观点，力求独立、客观和公正，结论不受任何第三方的授意或影响，作者也不会因本报告中的具体推荐意见或观点而直接或间接收到任何形式的补偿。

● 资质声明

财通证券股份有限公司具备中国证券监督管理委员会许可的证券投资咨询业务资格。

● 公司评级

以报告发布日后 6 个月内，证券相对于市场基准指数的涨跌幅为标准：
买入：相对同期相关证券市场代表性指数涨幅大于 10%；
增持：相对同期相关证券市场代表性指数涨幅在 5%～10%之间；
中性：相对同期相关证券市场代表性指数涨幅在-5%～5%之间；
减持：相对同期相关证券市场代表性指数涨幅小于-5%；
无评级：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。
A 股市场代表性指数以沪深 300 指数为基准；中国香港市场代表性指数以恒生指数为基准；美国市场代表性指数以标普 500 指数为基准。

● 行业评级

以报告发布日后 6 个月内，行业相对于市场基准指数的涨跌幅为标准：
看好：相对表现优于同期相关证券市场代表性指数；
中性：相对表现与同期相关证券市场代表性指数持平；
看淡：相对表现弱于同期相关证券市场代表性指数。
A 股市场代表性指数以沪深 300 指数为基准；中国香港市场代表性指数以恒生指数为基准；美国市场代表性指数以标普 500 指数为基准。

● 免责声明

本报告仅供财通证券股份有限公司的客户使用。本公司不会因接收人收到本报告而视其为本公司的当然客户。
本报告的信息来源于已公开的资料，本公司不保证该等信息的准确性、完整性。本报告所载的资料、工具、意见及推测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邀请或向他人作出邀请。
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价格、价值及投资收入可能会波动。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。
本公司通过信息隔离墙对可能存在利益冲突的业务部门或关联机构之间的信息流动进行控制。因此，客户应注意，在法律许可的情况下，本公司及其所属关联机构可能会持有报告中提到的公司所发行的证券或期权并进行证券或期权交易，也可能为这些公司提供或者争取提供投资银行、财务顾问或者金融产品等相关服务。在法律许可的情况下，本公司的员工可能担任本报告所提到的公司的董事。
本报告中所指的投资及服务可能不适合个别客户，不构成客户私人咨询建议。在任何情况下，本报告中的信息或所表述的意见均不构成对任何人的投资建议。在任何情况下，本公司不对任何人使用本报告中的任何内容所引致的任何损失负任何责任。
本报告仅作为客户作出投资决策和公司投资顾问为客户提供投资建议的参考。客户应当独立作出投资决策，而基于本报告作出任何投资决定或就本报告要求任何解释前应咨询所在证券机构投资顾问和服务人员的意见；
本报告的版权归本公司所有，未经书面许可，任何机构和个人不得以任何形式翻版、复制、发表或引用，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。