

证券研究报告 | 机械行业-金刚石散热 | 2026年7月19日

研究团队·行业专题报告

AI算力高增倒逼散热材料升级，金刚石散热迎来黄金发展期 ——金刚石散热行业专题报告

分析师

赵璐

登记编号：S1220524010001

朱柏睿

登记编号：S1220525080007



AI芯片升级需要金刚石散热：当芯片制程逼近物理极限，行业转向2.5D/3D异构集成延续性能增长，3D堆叠由多层薄芯片组成，中间层距散热器远，散热路径有限；叠加单芯片功耗突破1000W、局部热流密度超过1000 W/cm²时，铜散热（热导率~400 W/m·K）已抵达物理极限。行业迫切需要热导率更高且兼具电绝缘和CTE匹配的新材料，金刚石由此进入视野。

金刚石散热的优势：1) 金刚石的热导率是铜的3-5倍，采用金刚石散热片的GPU温度可降低10℃以上，算力提升15%-22%，支持高达50℃的工作环境温度。2) 金刚石与硅、氮化镓、碳化硅等半导体材料高度匹配，可大幅降低芯片与散热材料之间的热应力。3) 区别于铜铝等金属散热材料，金刚石不会引发芯片漏电、短路问题，也不会干扰高频电信号传输。4) 金刚石耐高温>600℃，耐腐蚀、抗辐射，稳定性远超传统散热材料。

金刚石散热材料三大技术路线：金刚石复合材料（金刚石铜、金刚石铝、金刚石碳化硅）、单晶金刚石、多晶金刚石。单晶金刚石与多晶金刚石为纯金刚石材料，具备超高热导率与优异绝缘性，可适配衬底、热沉片、微通道全场景应用，主打高端超高功耗散热需求。金刚石基复合材料中，金刚石铜的综合优势最为突出，相较于纯金刚石材料，其加工性更强、成本可控、量产性价比高。

CVD金刚石热沉片设备壁垒高：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。壁垒：1) 高频电磁场设计决定了等离子体的空间分布均匀性；2) 微波功率稳定性决定晶圆的生长速率和缺陷密度；3) 腔体密封和真空控制决定了杂质引入量；4) 温场均匀性调控直接决定晶圆应力分布（翘曲度）和良率。

数据中心AI芯片对金刚石散热的需求：根据DIGITIMES Asia预测，2026年全球数据中心AI芯片出货量约3805万片，2030年有望提升至5341万片。2026年是金刚石散热在AI芯片领域商业化应用的元年，预计渗透率1%；保守假设到2030年渗透率提升到12%；中性预期到2030年渗透率提升至16%；乐观预期到2030年提升至20%。测算得到在保守、中性、乐观预期下，2030年全球AI芯片用金刚石散热的市场规模分别为268、357、446亿元。

投资建议：建议关注四方达、黄河旋风、国机精工、沃尔德、力量钻石、惠丰钻石。

风险提示：产业化进展不及预期，行业竞争加剧风险，原材料价格波动风险，地缘政治风险等。

为什么需要金刚石散热

当芯片制程逼近物理极限，行业转向2.5D/3D异构集成延续性能增长。3D封装的散热难题在于结构本身，与2D设计中热量可横向向上扩散不同，3D堆叠由多层薄芯片组成，中间层距散热器远，散热路径有限。

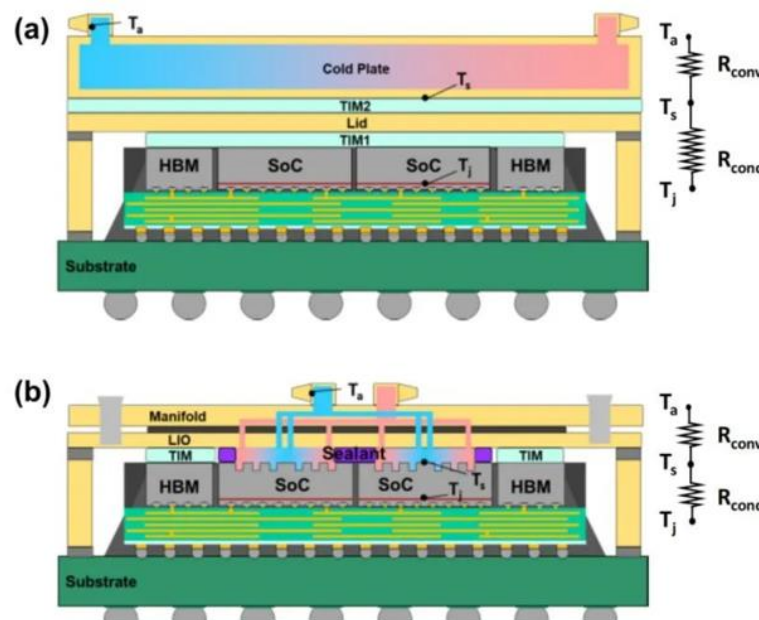
芯片间介电层和粘合剂热导率极低，垂直散热严重受阻，热量在堆叠内部聚集形成局部热点。

当单芯片功耗突破1000W、局部热流密度超过1000 W/cm²时，铜散热（热导率~400 W/m·K）已抵达物理极限。行业迫切需要热导率更高且兼具电绝缘和CTE匹配的新材料，金刚石由此进入视野。

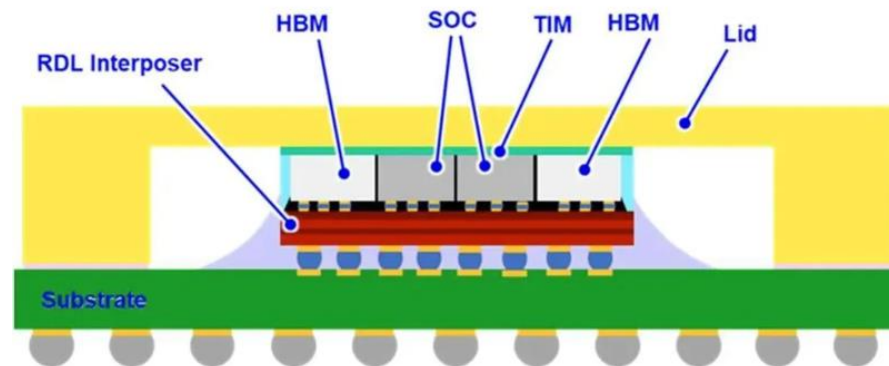
2026年，AI芯片功耗正式突破1kW门槛：

GPU世代	功耗	对应散热方案
A100 (2020)	400W	风冷为主
H100/H200 (2023-2024)	500-700W	风冷+入门液冷
Blackwell B200 (2025)	1000-1200W	液冷标配
Vera Rubin (2026-2027)	1500-2300W	液冷+新材料

图表：采用冷板式液冷的散热路径示意图



图表：2.5D/3D异构集成封装示意图



金刚石散热的优势

热导率：金刚石的热导率是铜的3-5倍，这一优势使其在处理高热流密度芯片时展现出无可比拟的性能。在实际应用中，采用金刚石散热片的GPU温度可降低10℃以上，算力提升15%-22%，支持高达50℃的工作环境温度。

热膨胀系数：与硅、氮化镓、碳化硅等半导体材料高度匹配，可大幅降低芯片与散热材料之间的热应力，避免高温循环导致的器件开裂、性能衰减。

电绝缘性：区别于铜铝等金属散热材料，不会引发芯片漏电、短路问题，也不会干扰高频电信号传输，完美契合AI芯片、射频器件的高频高压运行需求。

其他优势：金刚石耐高温>600℃，耐腐蚀、抗辐射，稳定性远超传统散热材料，适配极端工况下的长期稳定运行。

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 (AlN)	170-230	0.4-0.6X	4.5	绝缘
石墨烯 (面内)	约5000	约12.8X	可调	导体

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	-6.8	320	50	<600

金刚石散热材料的主要分类

金刚石散热材料三大技术路线：金刚石复合材料（金刚石铜、金刚石铝、金刚石碳化硅）、单晶金刚石、多晶金刚石。单晶金刚石与多晶金刚石为纯金刚石材料，具备超高热导率与优异绝缘性，可适配衬底、热沉片、微通道全场景应用，主打高端超高功耗散热需求。金刚石基复合材料中，金刚石铜的综合优势最为突出，相较于纯金刚石材料，其加工性更强、成本可控、量产性价比高。

金刚石铜复合材料：热导率约600-800 W/(m·K)，是纯铜的1.5-2倍，但成本仅为纯金刚石的五分之一到十分之一，兼顾了导热性能和可加工性，是当前产业化落地最快的路线。

多晶金刚石热沉片：将热沉片直接贴合在芯片裸片顶部做热扩散，属于芯片级散热方案，未来1-3年有望进一步走向成熟。但8英寸及以上大尺寸多晶金刚石热沉制备难度呈指数级抬升。

MPCVD单晶金刚石：热导率突破2000 W/m·K，能够直接作为硅、氮化镓等芯片的原生基底，从底层重构芯片的全链路热阻分布。现阶段仅小尺寸产品实现商业化，8英寸大尺寸单晶量产技术有待突破。

图表：纯金刚石散热片和金刚石铜散热片对比

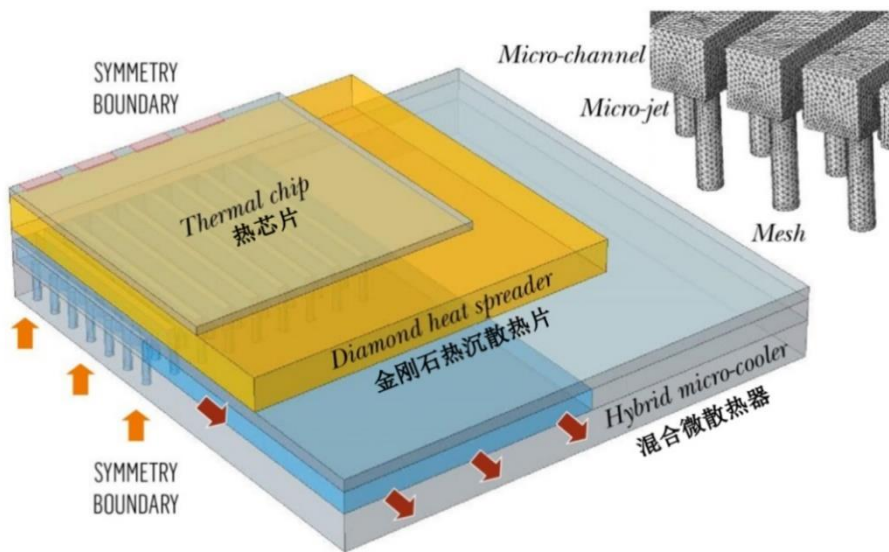
维度	MPCVD纯金刚石散热片（多晶/单晶）	金刚石铜复合散热片
热导率	1800-2200W/m·k	400-800W/m·k
最大尺寸	12英寸整片晶圆	小型方块（大部分10mm以内）
成本	高，设备、能耗昂贵，量产较慢	低，工艺成熟，量产快
下游定位	高端AI、航天军工 通用算力、消费电子	适配中功率算力服务器、功率半导体

金刚石散热片的主要应用领域

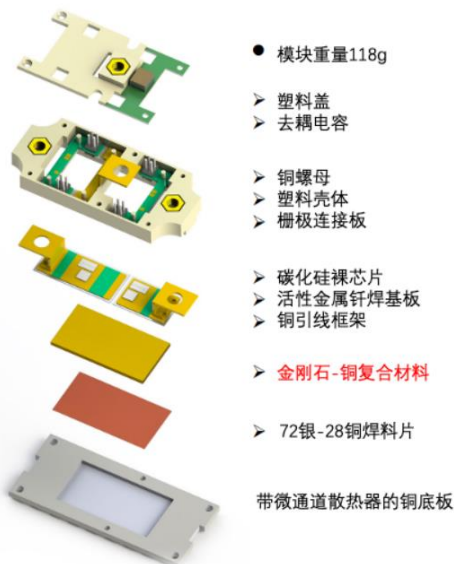
半导体与集成电路：金刚石热沉材料在半导体与集成电路中主要用在AI/GPU高端芯片、微波射频器件、激光二极管等结构的散热中，能有效解决热障问题，降低芯片温度20-30℃，热阻减少50%以上，直接提升算力稳定性与寿命。

宽禁带半导体功率模块：在新能源汽车SiC/GaN功率模块以及工业变频、轨道交通IGBT模块中应用金刚石散热能够允许模块在更高结温下工作，并提升电流承载能力15%-30%，能够突破当前电动汽车快充和续航性能。

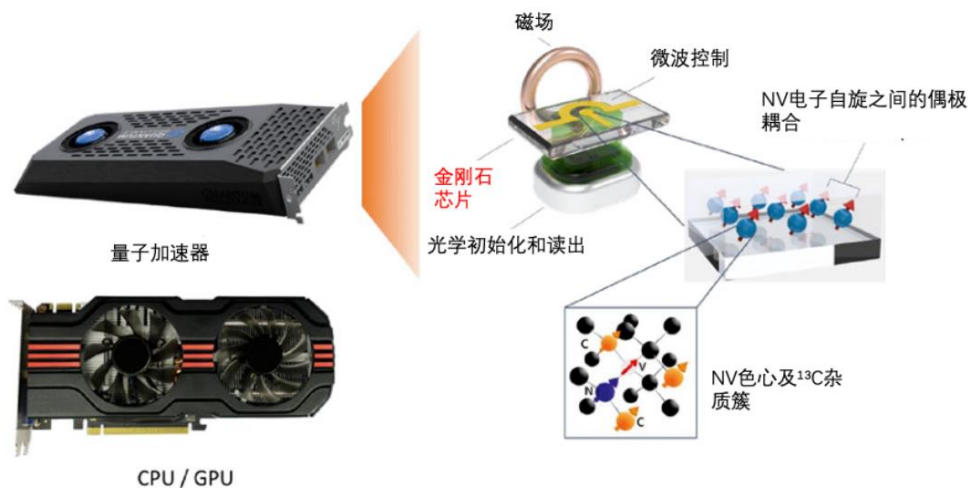
量子通信/航空航天：金刚石材料能够量子计算机中NV色心（氮-空位中心）的载体材料以及机载/星载电子系统：相控阵雷达、卫星通信载荷等，具有优异的量子相干性和抗辐射性。



金刚石芯片散热结构示意图，来自化合积电



金刚石在碳化硅功率模块上应用概念图（1）



Quantum Brilliance金刚石量子计算机加速器

金刚石散热产业链：上游是金刚石原料与CVD制备，中游是表面金属化与复合成型，下游是热沉产品与系统集成。

金刚石原料分为两大技术路线：

- CVD（化学气相沉积法）：利用微波等离子体激发含碳气体，在籽晶表面沉积金刚石。产物纯度高、可做大尺寸、热导率性能优异，是半导体级散热的主流路线。
- HPHT（高温高压法）：模拟天然金刚石形成环境，在高温高压条件下将石墨转化为金刚石。成本低、产量大，但产品纯度和尺寸受限，主要用于磨料、珠宝领域。

CVD金刚石的核心装备是MPCVD（微波等离子体化学气相沉积）设备：此前进口单台MPCVD设备价格高达千万元人民币级别，交付周期长达12-18个月。2022年进口设备均价仍在800-1200万元区间，2024年国产设备均价已降至300-500万元，降幅超过40%。

成本占比（以金刚石铜为例）：CVD金刚石材料制备成本占比最高；粉末冶金/熔渗工艺将金刚石骨架与铜基体结合的环节，核心挑战在于界面结合质量和颗粒分散均匀性；精密加工，金刚石是已知最硬的材料，对其进行切割、研磨、抛光时工具磨损极快，加工效率远低于常规金属。

图表：金刚石铜散热片产业链核心环节

环节	核心任务	关键技术	国内代表企业/进展
1.金刚石原料	人工培育高纯度金刚石	CVD（化学气相沉积）/HPHT（高温高压）	力量钻石、黄河旋风、惠丰钻石、中南钻石
2.CVD/HPHT制备	大尺寸、高热导率金刚石晶圆/薄片	MPCVD设备、晶圆生长工艺	中科院宁波材料所（技术源头）、黄河旋风（8英寸量产）
3.表面金属化	金刚石表面金属镀层，提升焊接性	磁控溅射、真空蒸镀、电镀/镀铜	宁波赛墨科技、楚江新材、博威合金
4.复合成型	金刚石与铜/铝复合，形成散热板材	气压熔渗、真空热压烧结、SPS	宁波赛墨科技、华太电子、三帝科技
5.系统集成	热沉/冷板产品与液冷系统对接	热界面材料集成、液冷结构设计	曙光数创、高澜股份、英维克

图表：金刚石铜散热片的成本结构

成本环节	占比	主要影响因素	当前痛点
CVD金刚石材料	35-40%	设备折旧、气体能耗、金刚石厚度	生长速率受物理极限限制，6英寸晶圆需要数天生长周期
粉末冶金/熔渗工艺	20-25%	金刚石微粉与铜基体的界面结合	颗粒分散均匀性影响良率
精密加工	25-30%	切割、研磨、抛光	金刚石硬度极高，加工工具磨损快
表面处理与验证	10-15%	镀层工艺、可靠性测试	军工/半导体级验证周期长
合计	100%	—	当前约为纯铜的3-5倍

CVD金刚石热沉片制造设备和生长工艺的难点

CVD金刚石制备工艺：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，它的原理是在微波电磁场中激发氢气和甲烷形成等离子体，碳原子在衬底表面逐层沉积生长为金刚石晶格。

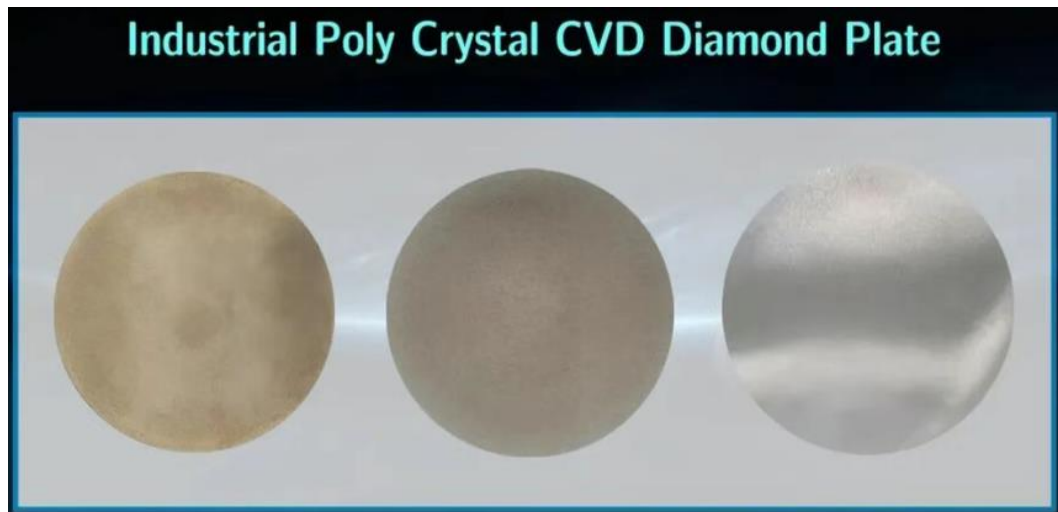
MPCVD设备设计难点：

- 高频电磁场设计决定了等离子体的空间分布均匀性；
- 微波功率稳定性决定晶圆的生长速率和缺陷密度；
- 腔体密封和真空控制决定了杂质引入量；
- 温场均匀性调控直接决定晶圆应力分布（翘曲度）和良率。

生长过程中工艺控制的难点：沉积温度、甲烷浓度、气体压力是控制生长的关键参数。

- 高温：高生长速率
- 高甲烷浓度：高生长速率，但可能生长成石墨相
- 高压：高沉积速率，但可能会产生“烟煤”（石墨+无定形碳的混合物）

图表：CVD纯金刚石散热片晶圆示意图



CVD纯金刚石散热片流程

籽晶制备（HPHT）→MPCVD腔体生长→激光切割→双面精密抛光（粗糙度 < 10nm）→表面金属化镀层→低温键合工艺→可靠性测试（高低温循环）→成品散热晶圆

类型	能量来源	特点	应用
HFCVD（热丝）	W/Re 丝加热分解气体	简单、便宜、均匀性差	多晶金刚石膜
MPCVD（微波等离子体）	2.45 GHz 或 915 MHz 微波激发等离子体	均匀、高纯、单晶可控	单晶金刚石晶圆主流
DC-Arc CVD	直流电弧放电	高速沉积、局部加热	厚膜 / 工业刀具涂层
Hot Filament + Plasma Hybrid	混合能源	提升沉积速率与品质	研究型装置

MPCVD（微波等离子体 CVD）是制备电子级金刚石晶圆的核心技术。

全球数据中心AI芯片用金刚石散热的市场空间测算

单芯片金刚石散热价值量：目前4英寸单晶金刚石散热片的价格约40000元/片，主流数据中心GPU芯片的面积约800-900 mm²；若4英寸金刚石片实际可用面积占比90%，则对应约7颗芯片需求，测算一颗芯片对应金刚石散热价值量约5714元，假设未来几年每年有小幅下降。

金刚石散热的渗透率：2026年是金刚石散热在AI芯片领域商业化应用的元年，预计渗透率1%；保守假设到2030年渗透率提升到12%；中性预期到2030年渗透率提升至16%；乐观预期到2030年提升至20%。

全球数据中心AI芯片市场规模：根据DIGITIMES Asia预测，2026年全球数据中心AI芯片出货量约3805万片，2030年有望提升至5341万片。

数据中心AI芯片用金刚石散热市场空间：结合上述假设，测算得到在保守、中性、乐观预期下，2030年全球AI芯片用金刚石散热的市场规模分别为268、357、446亿元。

	2026E	2027E	2028E	2029E	2030E
全球数据中心AI芯片需求量，万片	3805.0	4439.6	4889.2	5006.9	5340.7
单片AI芯片对应金刚石散热价值量，元	5714.3	5428.6	5157.1	4641.4	4177.3
金刚石散热在AI芯片领域渗透率（保守）	1.0%	3.0%	6.0%	9.0%	12.0%
使用金刚石散热AI芯片数量，万片	38.1	133.2	293.4	450.6	640.9
AI芯片用金刚石散热的市场空间，亿元	21.7	72.3	151.3	209.2	267.7
金刚石散热在AI芯片领域渗透率（中性）	1.0%	4.0%	8.0%	12.0%	16.0%
使用金刚石散热AI芯片数量，万片	38.1	177.6	391.1	600.8	854.5
AI芯片用金刚石散热的市场空间，亿元	21.7	96.4	201.7	278.9	357.0
金刚石散热在AI芯片领域渗透率（乐观）	1.0%	4.0%	9.0%	14.0%	20.0%
使用金刚石散热AI芯片数量，万片	38.1	177.6	440.0	701.0	1068.1
AI芯片用金刚石散热的市场空间，亿元	21.7	96.4	226.9	325.3	446.2

金刚石散热国内外重点公司梳理

企业名称	金刚石散热业务布局/产品	产业化进展	核心竞争力
ELEMENT SIX	CVD多晶/单晶金刚石热沉片、金刚石铜复合材料	全球最大人造金刚石制造商，高端热沉片市场领先，已批量供应军工、通信领域	全技术路线覆盖（HPHT+CVD），深厚专利积累，客户认证壁垒高
COHERENT	CVD金刚石散热片、光电器件用金刚石热沉	在光通信、激光器散热领域有成熟应用，积极拓展AI芯片散热	化合物半导体及金刚石材料双重技术优势，设备-材料-器件垂直整合
AKASH SYSTEMS	金刚石基射频功放模块、芯片级金刚石散热方案	与美国军方、航天机构合作，获得多个研发项目合同	专注金刚石在射频及高功率电子中的应用，系统级方案能力
DIAMOND FOUNDRY	培育钻石及CVD金刚石散热片	以培育钻石切入，正在拓展工业散热市场，已向部分半导体客户进行送样	低成本CVD技术+可再生能源制造，产能扩张快
SMITHS INTERCONNECT	金刚石热沉片、微波封装用散热材料	长期服务军工、航空航天、通信基础设施，有成熟产品线	高可靠性封装经验，定制化能力
A. L. M. T. CORP.	金刚石-铜复合材料、金刚石散热基板	在功率器件散热领域有应用，主要服务日本本土及亚洲市场	金属基复合材料工艺成熟，与功率模块厂家合作紧密
四方达	CVD多晶/单晶金刚石散热片、12英寸金刚石衬底、热导率2000W/m·K以上产品	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。同时，公司正加快推进沙雅年产2.5万片CVD金刚石散热基地建设。	公司拥有自主知识产权的MPCVD合成及加工设备和CVD金刚石生长工艺技术，具备高品质大尺寸超纯CVD金刚石批量生产能力
国机精工	金刚石单晶、多晶、金刚石铜复合材料	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，年内有望有小批量订单的商业化落地。	一是深耕金刚石领域多年，产业积淀深厚；二是依托国家级重点实验室的技术支撑，研发实力突出；三是自主研发金刚石生长及加工全流程设备，技术自主可控
黄河旋风	6-8英寸金刚石热沉片、规划12英寸产品	2026年2月28日，国内首条8英寸金刚石热沉片生产线在子公司河南风优创正式投产。拟3年内配置300台MPCVD设备，实现年产15万片大尺寸金刚石热沉片。	建有国家级金刚石标准化工作组、河南省金刚石材料产业研究院等17个省级以上科研平台，拥有300余人高水平研发团队及400余件授权专利
沃尔德	12英寸钻石散热晶圆，系列化钻石散热晶圆产品	公司研发的高品质CVD金刚石热沉，专为解决大功率激光器在高功率密度下的散热问题，目前产品已顺利通过客户认证。	公司在CVD金刚石的制备及应用方面已有多年的研发和技术储备，是少数能够全部掌握CVD金刚石生长技术的公司之一，拥有河北省CVD金刚石功能材料科技创新中心、廊坊市CVD金刚石生长技术研发中心等自主研发平台
力量钻石	金刚石散热材料	有多家国内知名半导体企业、科技企业积极与公司对接，陆续推进送样、研发、测试等合作，下游客户需求热度在持续高涨。	公司半导体高功率散热片项目一期已投产
惠丰钻石	CVD金刚石单晶、CVD金刚石多晶、金刚石复合材料、粉末填料	包头项目一期计划采购500台MPCVD设备，涵盖CVD金刚石热沉片、半导体等功能材料及培育钻石的研发与生产，主要负责规模化量产	公司已建立高水平的研发生产队伍，形成多项专利，牵头或参与制定《金刚石铜复合材料制备技术规范》《高导热金刚石微粉（体）技术要求》《电动汽车IGBT模块基板用陶瓷基金刚石复合材料》《电子封装用高导热金刚石铜复合材料技术规范》等多项标准

风险提示：产业化进展不及预期，行业竞争加剧风险，原材料价格波动风险，地缘政治风险等。

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，保证报告所采用的数据和信息均来自公开合规渠道，分析逻辑基于作者的职业理解，本报告清晰准确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。研究报告对所涉及的证券或发行人的评价是分析师本人通过财务分析预测、数量化方法、或行业比较分析所得出的结论，但使用以上信息和分析方法存在局限性。特此声明。

免责声明

本研究报告由方正证券制作及在中国（香港和澳门特别行政区、台湾省除外）发布。根据《证券期货投资者适当性管理办法》，本报告内容仅供我公司适当性评级为C3及以上等级的投资者使用，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。若您并非前述等级的投资者，为保证服务质量、控制风险，请勿订阅本报告中的信息，本资料难以设置访问权限，若给您造成不便，敬请谅解。

在任何情况下，本报告的内容不构成对任何人的投资建议，也没有考虑到个别客户特殊的投资目标、财务状况或需求，方正证券不对任何人因使用本报告所载任何内容所引致的任何损失负任何责任，投资者需自行承担风险。

本报告版权仅为方正证券所有，本公司对本报告保留一切法律权利。未经本公司事先书面授权，任何机构或个人不得以任何形式复制、转发或公开传播本报告的全部或部分内容，不得将报告内容作为诉讼、仲裁、传媒所引用之证明或依据，不得用于营利或用于未经允许的其它用途。如需引用、刊发或转载本报告，需注明出处且不得进行任何有悖原意的引用、删节和修改。

类别	评级	说明
公司评级	强烈推荐	分析师预测未来12个月内相对同期基准指数有20%以上的涨幅。
	推荐	分析师预测未来12个月内相对同期基准指数有10%以上的涨幅。
	中性	分析师预测未来12个月内相对同期基准指数在-10%和10%之间波动。
	减持	分析师预测未来12个月内相对同期基准指数有10%以上的跌幅。
行业评级	推荐	分析师预测未来12个月内行业表现强于同期基准指数。
	中性	分析师预测未来12个月内行业表现与同期基准指数持平。
	减持	分析师预测未来12个月内行业表现弱于同期基准指数。
基准指数说明		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，美股市场以标普500指数为基。



方正证券研究所

专注 · 专心 · 专业

北京市朝阳区朝阳门南大街10号兆泰国际中心A座17层

长沙市天心区湘江中路二段36号华远国际中心37层

上海市静安区延平路71号延平大厦2楼

深圳市福田区竹子林紫竹七道光大银行大厦31层

广州市天河区兴盛路12号楼隼峰院2期3层方正证券