



金刚石散热行业研究

买入（首次评级）
行业深度研究

证券研究报告

机械组

分析师：满在朋（执业 S1130522030002） 分析师：李嘉伦（执业 S1130522060003）

manzaipeng@gjzq.com.cn

lijialun@gjzq.com.cn

开启 AI 芯片散热新纪元

投资逻辑：

什么是金刚石散热？

金刚石为理论综合性能最优的散热材料：单晶金刚石室温热导率达 2000~2200W/(m·K)，是铜的 5~6 倍、铝的 9 倍以上，突破了传统金属材料的导热上限。除极高热导率外，金刚石还兼具与主流半导体材料高度匹配的低热膨胀系数、优异的电绝缘性以及低介电常数，这些特性使金刚石成为解决 AI 芯片、GaN 功率器件等高热流密度场景散热难题的“终极材料”。

金刚石铜、单晶/多晶金刚石适配不同应用需求：金刚石铜在保留大部分导热优势的同时，显著降低了制备成本与加工难度，最接近大规模量产的技术路线，可直接作为热沉使用，在高功率芯片、雷达、激光器、光模块等领域均有广阔应用前景。单晶/多晶金刚石则为更理想的散热材料，其中多晶有望先行落地，主要通过 HFCVD 或 MPCVD 技术制备。

金刚石可通过独立热沉、键合、外延生长等方式和半导体器件进行结合使用：金刚石基材料首先可以直接作为热沉使用替代原有散热材料，将其加工为翅片结构，通过导热界面材料（TIM）将金刚石直接贴合在器件封装的散热外壳表面，工艺最简单、可拆解更换，是基础的通用性方案。单晶/多晶金刚石还可通过键合、外延技术来实现和半导体器件的连接，目前产业针对金刚石/GaN 器件的键合、外延连接方式均已经有较成熟的研究，制造的例如金刚石衬底 GaN 晶圆散热性能大幅提升，未来将金刚石和 AI 芯片进行连接使用有望成为新的产业趋势。

金刚石散热具备成为 AI 芯片散热终极解决方案潜力，产业化进展加速。

AI 算力功耗指数增长，传统散热方案面临物理极限，金刚石散热有望成终极解决方案：目前随着 GPU 芯片功率密度提升、芯片向 2.5D/3D 堆叠演进将逐步跨过传统散热材料的物理极限，局部热点处热流密度可达 1000~2500W/cm²，全面超越传统风冷、铜液冷板乃至两相液冷方案上限，金刚石超高热导率将成终极解决方案。

产业化进展加速，应用端开始验证切入，供应端积极扩产布局：目前我们一方面看到应用端持续加速，2026 年 2 月，Akash Systems 完成全球首批搭载金刚石散热技术的英伟达 H200 GPU 服务器交付，后续进一步推出搭载 AMD Instinct MI350X GPU 的金刚石冷却 AI 服务器，英特尔 CEO 宣布投资了一家人造金刚石晶圆公司，看好钻石作为散热材料在芯片封装领域的应用潜力。同时国内供应端正积极扩产布局，黄河旋风、沃尔德等企业均宣布扩产布局金刚石散热领域，例如沃尔德目前已经实现了最大尺寸 320mm*320mm，兼容直径 50mm-300mm 的主流晶圆尺寸金刚石散热片制造，并已经开始向客户交付进行验证。

投资建议与估值

金刚石散热具备成为 AI 芯片散热终极解决方案潜力，未来潜在成长空间巨大，建议关注积极布局金刚石散热领域的企业。

风险提示

大规模商用进展不及预期风险、下游需求不及预期风险。



内容目录

1. 什么是金刚石散热？	5
1.1 金刚石为理论综合性能最优的散热材料	5
1.2 金刚石铜、单晶/多晶金刚石适配不同应用需求	5
1.2.1 金刚石铜：实现成本、性能平衡，有望最快实现产业化落地	5
1.2.2 单晶、多晶金刚石：最理想的半导体散热材料，多晶有望先行落地	10
1.3 金刚石可通过独立热沉、键合、外延生长等方式和半导体器件进行结合使用	13
1.3.1 独立热沉部件：在后道组装中通过粘接、焊接强化散热	13
1.3.2 键合：封装阶段与芯片进行键合进行间接连接	15
1.3.3 外延：通过直接外延生长直接连接达到最优散热效率	18
2. 金刚石散热具备成为 AI 芯片散热终极解决方案潜力，产业化进展加速	20
2.1 AI 算力功耗指数增长，传统散热方案面临物理极限，金刚石散热有望成终极解决方案	20
2.2 产业化进展加速，应用端开始验证切入，供应端积极扩产布局	23
3. 投资建议	30
4. 风险提示	31

图表目录

图表 1： 金刚石晶体结构和颗粒形貌	5
图表 2： 金刚石热导率断层领先，为散热“终极材料”	5
图表 3： 金刚石复合材料在热管理领域的应用	6
图表 4： 金刚石铜热导率不及单晶/多晶金刚石，但也高于常见的散热材料	6
图表 5： 金刚石/铜界面结构的简单示意图	7
图表 6： 金刚石/铜复合材料改性工艺	7
图表 7： 金刚石表面金属化	7
图表 8： 不同金刚石铜制备方法对比	8
图表 9： 真空热压烧结法	8
图表 10： 六面顶压机	8
图表 11： 放电等离子烧结法	9
图表 12： 熔体浸渗法	9
图表 13： 梯度金刚石/铜复合材料散热壳体示意图	9
图表 14： 不同电镀工艺下金刚石铜热导率不同	10
图表 15： 不同粒径下金刚石铜热导率不同	10
图表 16： 单晶金刚石是优秀的宽禁带高温半导体材料	10



图表 17:	单颗金刚石多晶面三维生长	10
图表 18:	马赛克拼接法制备大尺寸单晶金刚石	10
图表 19:	单晶金刚石与多晶金刚石的结构区别	11
图表 20:	金刚石薄膜微观结构与其热导率之间关系	11
图表 21:	不同 CVD 装置合成原理	12
图表 22:	目前热丝法、MPCVD 法是主要的制造路线	12
图表 23:	热丝化学气相沉积反应器的三维模型	13
图表 24:	MPCVD 要扩大成膜尺寸需要更大的微波输入功率或降低微波频率	13
图表 25:	电子封装的热传导情况	14
图表 26:	金刚石铜可直接加工成热沉使用	14
图表 27:	通过超快激光可实现金刚石基材料表面微通道加工	14
图表 28:	等离子体蚀刻加工后的微结构阵列	15
图表 29:	LDLED 增材制造金刚石铜复合材料微通道	15
图表 30:	现有金刚石与半导体器件连接工艺的技术路线	16
图表 31:	金刚石/GaN 器件散热结构设计	16
图表 32:	金刚石主要可通过键合或外延的技术帮助芯片进行散热	17
图表 33:	将金刚石作为衬底进行半导体器件的键合	17
图表 34:	金刚石/GaN 表面活化键合的基本流程	17
图表 35:	含 1.5nm 中间层的金刚石/GaN	18
图表 36:	4 英寸金刚石衬底 GaN 晶圆	18
图表 37:	GaN/金刚石集成亲水键合技术	18
图表 38:	GaN 异质外延金刚石基本流程	19
图表 39:	在多晶金刚石上生长晶体 GaN 的工艺步骤	19
图表 40:	金刚石衬底外延器件可实现温度大幅下降	20
图表 41:	金刚石生长 AlGaIn/GaNHEMT	20
图表 42:	NVIDIA GPU 功耗演进趋势与散热材料热导率对比	20
图表 43:	集成电路芯片上晶体管数目变化	21
图表 44:	Intel 公司半导体器件预计最大热设计功耗	21
图表 45:	台积电 CoWoS 结构	21
图表 46:	热流密度与散热技术演进	21
图表 47:	单晶金刚石实现芯片功耗承载力 4 倍量级跃迁	22
图表 48:	单晶金刚石解决芯片“局部热点”问题	22
图表 49:	部分电子封装散热材料的热导率和热膨胀系数	23
图表 50:	主流半导体材料性能维度的雷达图对比	23
图表 51:	Element Six 公司主要产品	24



图表 52: Coherent Corp Thermadite 800 产品	24
图表 53: Diamond Foundry 首款 100nm 单晶金刚石晶圆	24
图表 54: Orbray20 毫米方形单晶 (111) 金刚石基板	25
图表 55: SP3 推出的 SOD 技术	25
图表 56: 基于 SOD 打造氮化镓器件	25
图表 57: Akash Systems 交付全球首台钻石冷却 NVIDIA GPU 服务器	26
图表 58: Akash Systems 推进 AMD Instinct MI350X GPU 服务器	26
图表 59: 在直径为 2 英寸的多晶金刚石衬底上实现 GaN-HEMT 结构	26
图表 60: 在 Si、SiC 和金刚石制造的 GaN-HEMT 的散热比较	26
图表 61: 半导体器件生长金刚石	27
图表 62: 风优创 (黄河旋风子公司) 产品展示	27
图表 63: 异质外延金刚石的生产工艺	28
图表 64: 力量钻石金刚石半导体研发中心	28
图表 65: 惠丰钻石 CVD 金刚石散热项目在包头启动开工	29
图表 66: 国机精工超高导热 CVD 金刚石散热片	29
图表 67: 国机精工金刚石/铜复合材料	29
图表 68: 沃尔德募集资金说明 (2026 年 3 月)	29
图表 69: 曙光数创 C8000 V3.0 兆瓦级相变浸没液冷整机柜方案	30
图表 70: 京烽火“寒穹”方案	30
图表 71: 建议关注公司	30



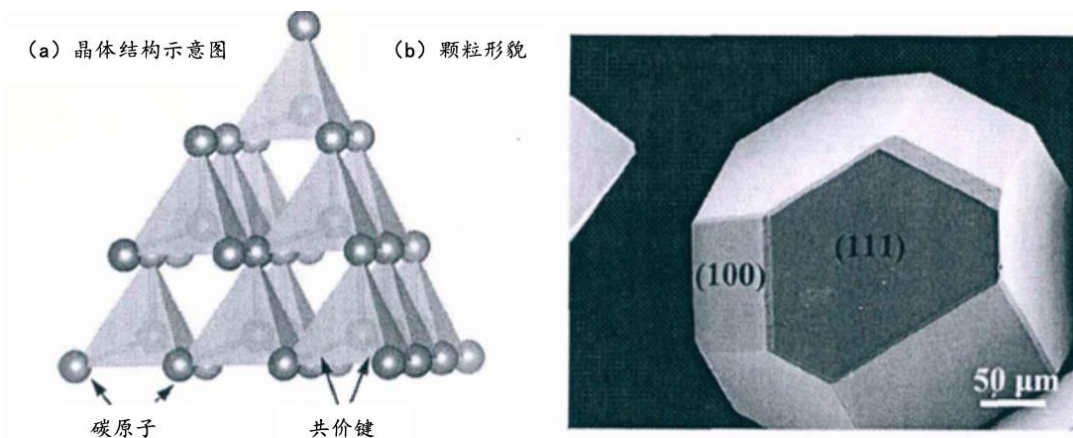
1.什么是金刚石散热？

1.1 金刚石为理论综合性能最优的散热材料

金刚石是自然界综合散热性能最优的材料，在热导率、热膨胀系数与电学特性上对芯片封装需求形成系统性适配。金刚石散热，是将金刚石材料作为热量的传导介质，紧密贴合于芯片产热核心，将热量迅速向外扩散导出。

金刚石是碳元素的同素异形体，由碳原子以 sp^3 杂化共价键形成正四面体网络结构。1913 年布拉格父子通过 X 射线衍射首次解析出这一晶体结构，1954 年美国通用电气（GE）则首次通过高温高压法（HPHT）成功实现人工合成，标志着工业量产时代的开端。

图表1：金刚石晶体结构和颗粒形貌



来源：《金刚石增强铝基复合材料界面形成机理及导热性能》，国金证券研究所

金刚石是自然界热导率最高的材料，单晶金刚石室温热导率达 $2000\sim 2200\text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ，是铜的 $5\sim 6$ 倍、铝的 9 倍以上，其导热机制基于声子传输而非自由电子，从根本上突破了传统金属材料的导热上限。除极高热导率外，金刚石还兼具与主流半导体材料高度匹配的低热膨胀系数（CTE 约 $1.0\sim 1.2\times 10^{-6}/\text{K}$ ）、优异的电绝缘性（电阻率 $>10^{12}\Omega\cdot\text{cm}$ ）以及低介电常数（ 5.7 ），这些特性使金刚石成为解决 AI 芯片、GaN 功率器件等高热流密度场景散热难题的“终极材料”。

图表2：金刚石热导率断层领先，为散热“终极材料”

材料	热导率/ $(\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1})$	热膨胀系数/ (10^{-6} K^{-1})
CVD 金刚石	2000	1.2
铝 (Al)	237	8
氮化铝 (AlN)	170	4.6
氧化铍 (BeO)	250	6.4
银 (Ag)	410	19
铜 (Cu)	390	17
硅 (Si)	150	4.1
砷化镓 (GaAs)	56	6.5
碳化硅 (SiC)	490	2.8
氮化镓 (GaN)	150	3

来源：《金刚石增强铝基复合材料界面形成机理及导热性能》，国金证券研究所

1.2 金刚石铜、单晶/多晶金刚石适配不同应用需求

1.2.1 金刚石铜：实现成本、性能平衡，有望最快实现产业化落地

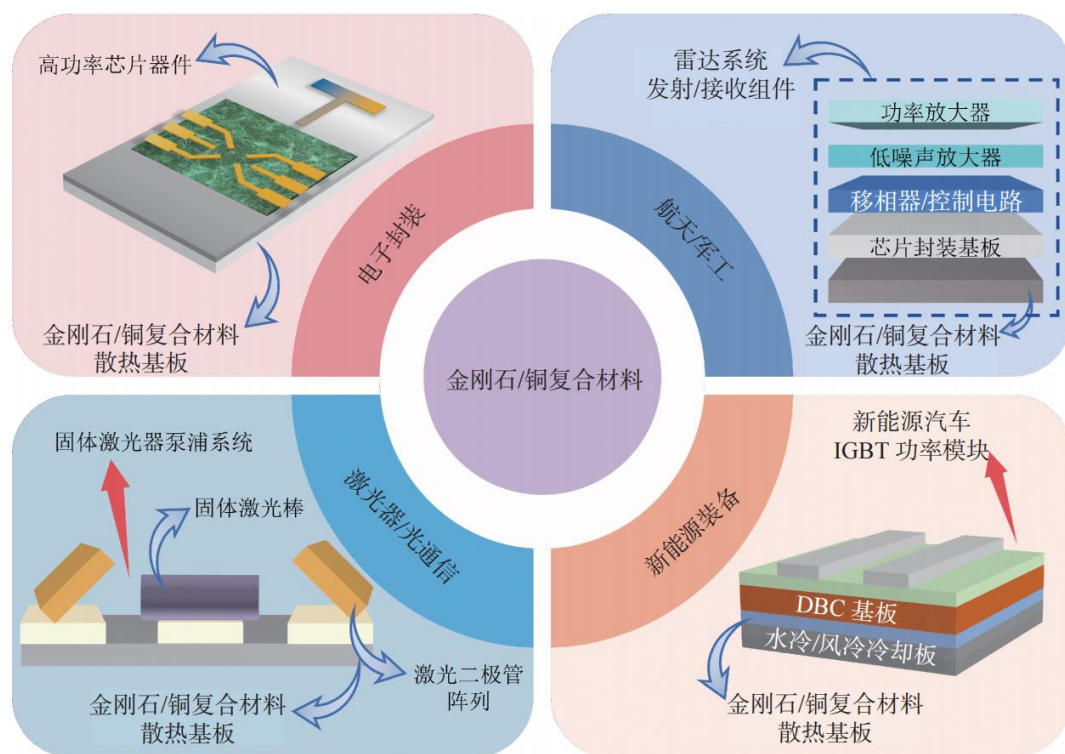
金刚石/金属复合材料是当前产业化程度最高、最接近大规模量产的技术路线，其核心逻辑是将金刚石的极高热导率与金属的延展性和可加工性相结合，实现性能与工程实用性的



平衡。

以金刚石/铜为例，金刚石/铜复合材料是以金刚石颗粒为增强相、铜为连续基体相，通过特定制备工艺将两者复合而成的新型热管理材料。其本质是一种金属基复合材料，通过在铜基体中引入高体积分数的金刚石颗粒，将金刚石的极高热导率与铜的良好延展性、可焊接性和导电性有机结合，形成兼具高导热、低热膨胀与工程可加工性的综合性能材料。

图表3：金刚石复合材料在热管理领域的应用



来源：《高导热金刚石铜复合材料研究进展》，国金证券研究所

金刚石/铜复合材料是目前综合性能最优、工程化程度最高的金刚石散热材料产品，其核心价值在于同时实现高热导率与低热膨胀系数的精准匹配。与纯金刚石热沉相比，金刚石/铜复合材料在保留大部分导热优势的同时，显著降低了制备成本与加工难度；与传统铜热沉相比，热导率可达 $600 \sim 1000 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ ，是纯铜（约 $400 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ ）的 $1.5 \sim 2.5$ 倍；通过调控金刚石体积分数，CTE 可精准调控至 $5 \sim 7 \times 10^{-6}/\text{K}$ ，与 SiC ($4.0 \times 10^{-6}/\text{K}$)、GaN ($5.6 \times 10^{-6}/\text{K}$) 等主流功率半导体器件高度匹配，可消除传统铜热沉因热失配导致的长期可靠性隐患。华太电子量产级产品热导率已稳定达到 $800 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ ，较当前数据中心主流散热材料提升幅度达一倍以上。

图表4：金刚石铜热导率不及单晶/多晶金刚石，但也高于常见的散热材料

类型	材料	热导率/ $(\text{W} \cdot (\text{m} \cdot \text{K})^{-1})$	热膨胀系数/ (10^{-6} K^{-1})	密度/ $(\text{g} \cdot \text{cm}^{-3})$
芯片材料	Si ⁷	150	4.1	2.3
	GaAs ⁷	39	5.8	5.3
陶瓷材料	Al ₂ O ₃ ^{1 2}	20	6.75	3.9
	AlN ^{1 3}	170~320	17	3.5
塑料材料	环氧树脂 ^{1 5}	0.2	15.8	10.2
	聚四氟乙烯 ⁷	0.1	20	2.15
金属材料	Al ^{1 7}	238	23.6	2.7
	Cu ^{1 7}	400	17.6	8.96
	Invar ^{1 6}	11	1.3	8.1
	Kovar ^{1 6}	17	5.9	8.3
	W-15Cu ^{1 8}	215	7.3	16.4



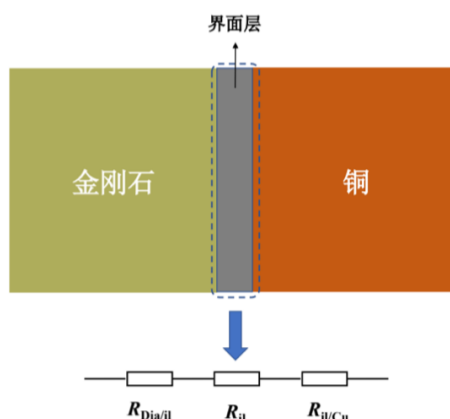
复合材料	金刚石/铜 ⁷	450~600	5.0~7.0	5.3~6.7
	金刚石/铝 ⁷	440~530	7.0~9.0	3.1~3.2

来源：《高密度集成电路散热用高导热金刚石铜复合材料研究进展》，国金证券研究所

金刚石/铜复合材料的制备工艺主要分为两部分，一是解决金刚石/铜的界面结合问题，常用的方法是预先将金刚石表面改性或在铜基体添加活性因素，二是通过压力和温度提供烧结动力将金刚石与铜成型为复合材料。

首先，是界面结合问题。由于金刚石表面能比较高，导致大多数金属包括铜在液态时难以湿润展开与金刚石充分接触，因此若不进行表面处理，金刚石颗粒与铜基体之间将形成极高的界面热阻，使复合材料的实际热导率远低于理论预测值。

图表5：金刚石/铜界面结构的简单示意图



来源：《电子器件散热用金刚石铜复合材料的制备及性能研究》，国金证券研究所

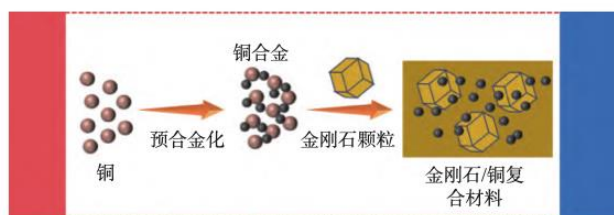
目前常用的解决方法有：

(1) 铜基体合金化：在铜基体中添加亲碳元素（Ti、Cr、Co、B等），充当金刚石与铜之间的“声子桥梁”。这些元素可与金刚石反应形成碳化物中间层，从而增强界面结合强度。

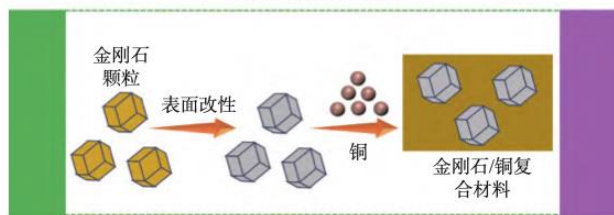
(2) 金刚石表面金属化：通过物理/化学方法在金刚石表面沉积一层与铜结合较好的物质（如W、Ti、Cr及Mo等），这些元素不仅与铜基体具有良好的润湿性，而且可以在热处理过程中与金刚石反应形成稳定的金属碳化物中间层，从而构建高强度的化学结合界面。主要的方法有化学气相沉积、磁控溅射、盐浴镀覆。

图表6：金刚石/铜复合材料改性工艺

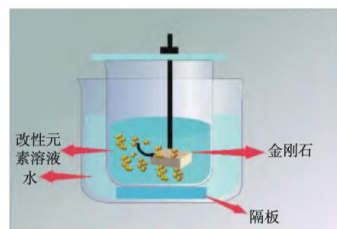
图表7：金刚石表面金属化



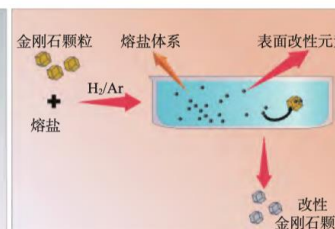
(a) 铜基体合金化
Copper matrix alloying



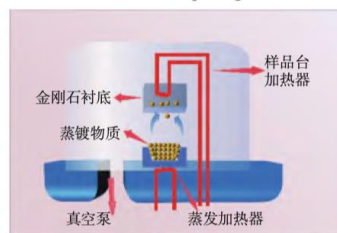
(b) 金刚石表面金属化
Diamond surface metallization



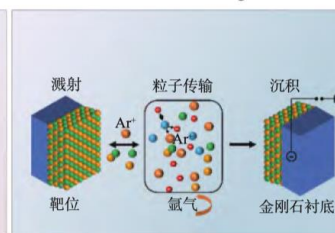
(a) 化学镀膜
Chemical plating



(b) 盐浴镀膜
Salt bath coating



(c) 真空蒸发镀膜
Vacuum evaporation coating



(d) 磁控溅射镀膜
Magnetron sputtering coating



来源：《高导热金刚石铜复合材料研究进展》，国金证券研究所

来源：《高导热金刚石铜复合材料研究进展》，国金证券研究所

第二，是金刚石/铜复合材料的成型工艺，该阶段的核心挑战在于如何在高温高压条件下实现金刚石颗粒与铜基体的致密结合，同时控制界面反应以获得最优的界面热导，常用的成型工艺包括固相烧结法和液相烧结法，其中固相烧结法包括真空热压烧结、高温高压烧结、放电等离子烧结等，液相烧结法包括液态浸渗法。

图表8：不同金刚石铜制备方法对比

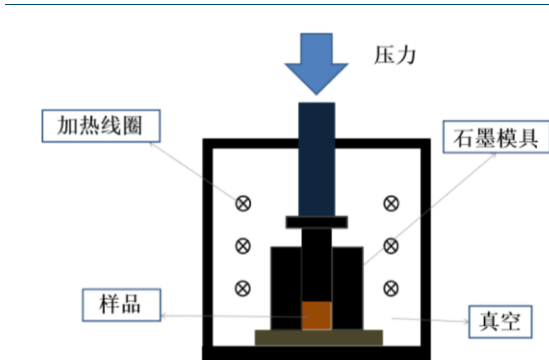
一级分类	二级指标	粉末冶金法	真空热压烧结法	放电等离子烧结法	高温高压法	冷喷涂沉积法	熔渗法
金刚石类型	-	MBD8	HFD-D	MBD8	MBD4	PDA	MBD8/HHD
物料参数	基体	99.8%铜粉	99.9%电解铜粉	99.9%铜粉	合金/纯铜粉	纯铜粉	纯铜块/棒
物料参数	界面改性层	-	-	B、Ti、Si、 Cr、Zr、W、Mo	-	-	-
物料参数	粒径/ μm	100	106~125	100~400	20~200	35~200	50~400
物料参数	体积分数/%	20~60	40~60	35~60	60~90	20~40	60~65
工艺参数	温度/ $^{\circ}\text{C}$	900	800~1050	880~950	1100~1300	350	1100~1300
工艺参数	压力/MPa	110	70	40~50	8000	3	1~4
工艺参数	时间/min	60	60~180	20	6~10	/	5~30
性能参数	致密度/%	98.5	99.2~99.7	/	/	/	99.4~99.7
性能参数	最优热导率/W $\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$	305	536	687	907	/	943
其他参数	制备成本	低	较低	中	高	较高	中
其他参数	使用频率	★★	★★★	★★★	★	★	★★★

来源：《金刚石/铜复合材料的制备方法及应用现状》，国金证券研究所

1) 真空热压烧结法：将金刚石与铜粉混合后放入模具，在真空或特定气氛下同时施加压力（通常 $\leq 100\text{MPa}$ ）与温度使其成型。工艺成熟、设备常见，但铜与金刚石界面结合较差，需精细调控烧结参数并添加 Ti、Cr 等活性元素优化界面；轴向单向加压使产品尺寸较小、形状单一，制备高热导率产品存在一定难度。

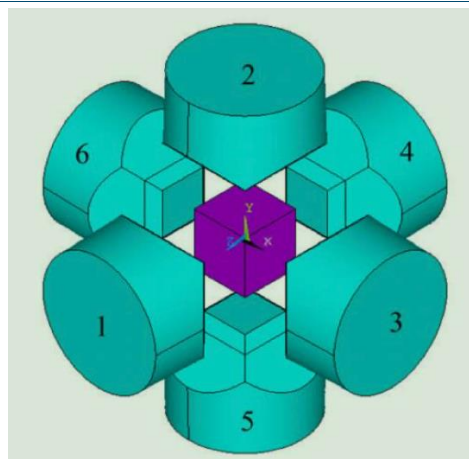
2) 高温高压烧结法：采用六面顶压机对粉体施加各向均衡的 GPa 级压力（通常 $\geq 1000\text{MPa}$ ）进行成型。超高压使复合材料致密度大多远超其他工艺，烧结效率极高，但设备昂贵、条件苛刻，经济性较低。

图表9：真空热压烧结法



来源：《高密度集成电路散热用高导热金刚石铜复合材料研究进展》，国金证券研究所

图表10：六面顶压机



来源：《Finite-element analysis on pressure transfer mechanism in large-volume cubic press》，国金证券研究所

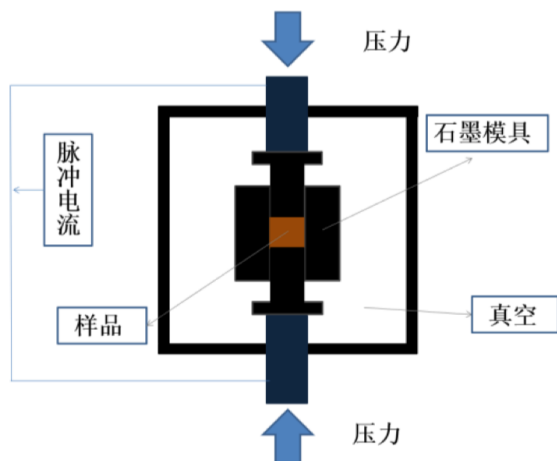
3) 放电等离子烧结法：向粉末颗粒通入脉冲电流并施加压力，通过火花放电产生的等离



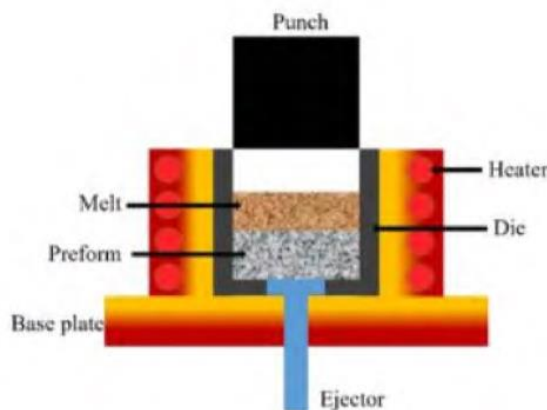
子体活化颗粒表面,实现超快速致密化烧结。所需温度与压力低于热压烧结,升降温迅速,可有效抑制晶粒长大,热导率表现优于传统热压烧结。

4) 熔体浸渗法:将铜加热至熔融状态后渗入金刚石预制坯的颗粒间隙,分为无压熔渗(依靠毛细力驱动)与加压熔渗(施加外力促进渗入)两类,后者使用更为广泛。熔渗法目前可实现的最高热导率约为 $720\sim 722\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$,是目前工程化产品中热导率最高的制备工艺路线。

图表11: 放电等离子烧结法



图表12: 熔体浸渗法



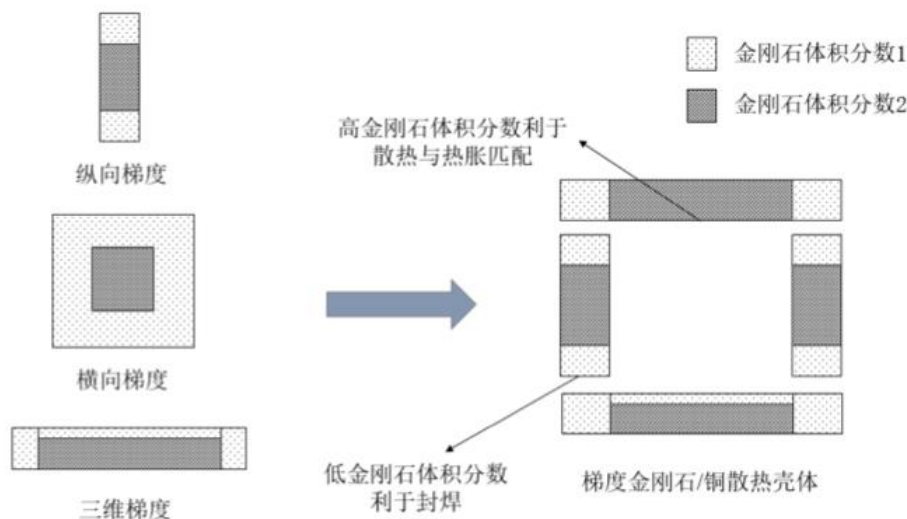
来源:《电子器件散热用金刚石_铜复合材料的制备及性能研究》,国金证券研究所

来源:《金刚石铜复合材料制备工艺及应用研究进展》,国金证券研究所

所

此外,在实际应用于封装壳体过程中,金刚石/铜作为一种含颗粒的复合材料,需考虑金刚石颗粒含量对焊接性能的影响。金刚石颗粒含量越高,焊接性能越差,但与此同时,金刚石颗粒含量高,有利于散热和热膨胀系数匹配。因此需要设计梯度式的金刚石/铜材料,在接近焊接的区域金刚石颗粒含量低,在与器件连接的区域金刚石含量高,从而兼顾封装散热壳体的热物理性能与封焊性能的需求。

图表13: 梯度金刚石/铜复合材料散热壳体示意图



来源:《电子器件散热用金刚石铜复合材料的制备及性能研究》,国金证券研究所

制造过程中,复合电镀工艺、金刚石粒度、金刚石含量均对最终材料的热导率会产生较大影响。



图表14：不同电镀工艺下金刚石铜热导率不同

电镀工艺	金刚石含量 (vol %)	密度 / (g/cm ³)	比热容 /[J/(kg · K)]	热扩散系数 /(mm ² /s)	实验热导率 /[W/(m · K)]	理论热导率 /[W/(m · K)]
埋砂法	28.5	7.41	402	10.2	30	473
间歇搅拌法	10.3	8.4	391	131.4	431	426

来源：《电子封装中高散热铜/金刚石热沉材料的电镀技术研究》，国金证券研究所

图表15：不同粒径下金刚石铜热导率不同

平均粒径 (μm)	金刚石含量 (vol %)	密度 / (g/cm ³)	比热容 /[J/(kg · K)]	热扩散系数 /(mm ² /s)	实验热导率 /[W/(m · K)]	理论热导率 /[W/(m · K)]
70	10.3	8.4	391	131.4	431	426
100	10.1	8.41	390	135.5	444	431
135	11.6	8.33	391	134.1	437	435
196	8.8	8.47	390	135.3	446	440

来源：《电子封装中高散热铜/金刚石热沉材料的电镀技术研究》，国金证券研究所

1.2.2 单晶、多晶金刚石：最理想的半导体散热材料，多晶有望先行落地

单晶金刚石性能最优，但成本高、大尺寸制备难度大，主要应用于高端极致性能场景。单晶金刚石具有超宽的禁带宽度、低的介电常数、高的击穿电压、高的本征电子和空穴迁移率，以及优越的抗辐射性能，是已知的最优秀的宽禁带高温半导体材料。

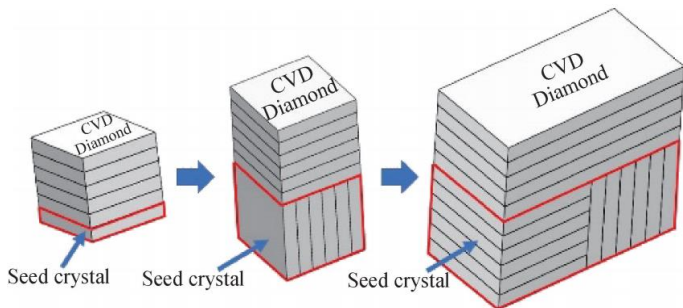
图表16：单晶金刚石是优秀的宽禁带高温半导体材料

性能指标	数值	单位
强度	>1.2	GPa
硬度	1.0×10^4	kg/mm ²
抗压强度	>110	GPa
拉伸模量	1.14×10^3	GPa
透光范围	紫外到远红外	—
热导率	2320	$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$
饱和电子漂移速度	2.7×10^7	cm/s
饱和空穴漂移速度	1.0×10^7	cm/s
电阻率	$10^1 \sim 10^6$	Ω / m
介电常数	5.7	—
禁带宽度（带隙）	5.45	eV
击穿场强	1.0×10^7	V/cm

来源：《半导体用大尺寸单晶金刚石衬底制备及加工研究现状》，国金证券研究所

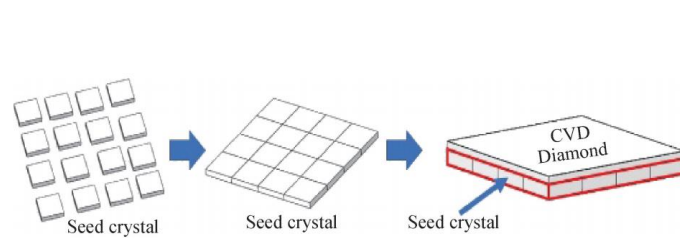
要实现单晶金刚石的大尺寸生长较为困难，要实现以单颗衬底生长大尺寸金刚石可以在籽晶的晶面生长至一定厚度时，将其打磨后在侧面继续生长，利用三维生长法可以使金刚石籽晶面积进一步扩大。或采用马赛克拼接法得到大面积的金刚石，但对籽晶的晶相、厚度一致性要求高，同时对沉积环境要求较高。

图表17：单颗金刚石多晶面三维生长



来源：《半导体用大尺寸单晶金刚石衬底制备及加工研究现状》，国金证券研究所

图表18：马赛克拼接法制备大尺寸单晶金刚石

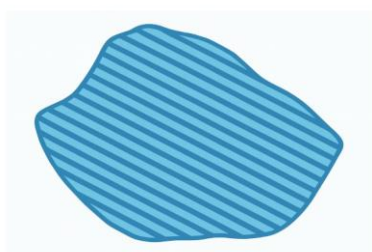


来源：《半导体用大尺寸单晶金刚石衬底制备及加工研究现状》，国金证券研究所

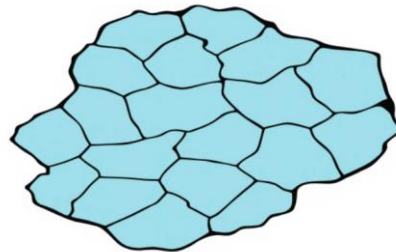
多晶金刚石通过 CVD 工艺灵活控制晶粒尺寸，兼顾性能与成本，具备较强规模化潜力。多晶金刚石由大量随机取向的金刚石晶粒组成，同样通过 CVD 工艺制备，但通过调整沉积气压、温度、气体流量等参数，促使基底表面大量晶核同时生成并各自生长，从而灵活控制晶粒尺寸和晶界特性。由于晶界的存在会对声子传输产生散射效应，热导率通常在 1000~1800W/(m·K) 区间，低于单晶金刚石，但可实现更大沉积面积与更低制备成本。



图表19：单晶金刚石与多晶金刚石的结构区别



单晶金刚石

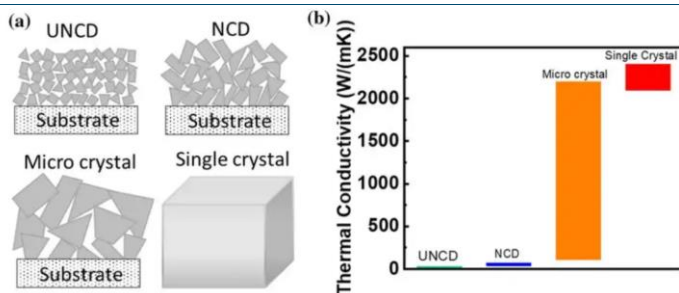


多晶金刚石

来源：UKAM Industrial Superhard Tools, 国金证券研究所

从超纳米晶（UNCD，晶粒<10nm）、纳米晶（NCD，晶粒 10~100nm）、微晶金刚石到大颗粒多晶金刚石，随晶粒增大，热导率呈系统性递增规律，其中微晶和大颗粒多晶金刚石凭借兼顾性能与成本的优势，在高功率器件散热领域展现出较强的产业化潜力。

图表20：金刚石薄膜微观结构与其热导率之间关系



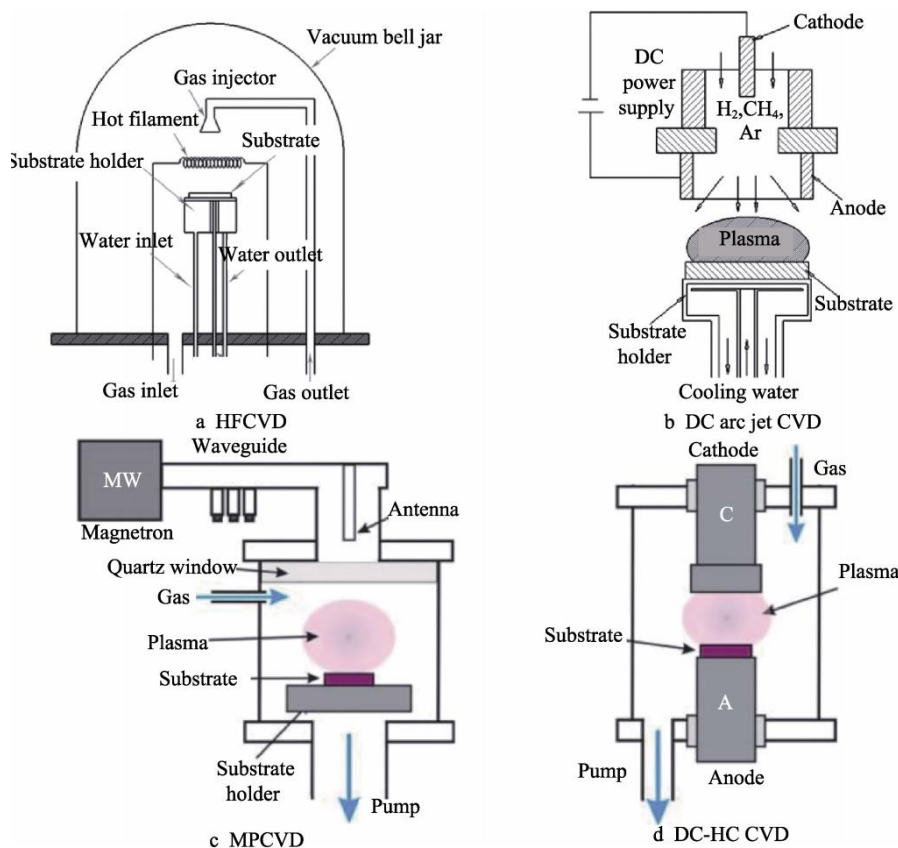
a Diagram of diamond thin films consisting of ultrananocrystals [12, 13, 24], nanocrystals [12, 41, 105, 111, 113], micro-crystals [42, 112, 114], and single crystal [106, 125, 126], respectively. b Corresponding thermal conductivity of the CVD film as a function of crystal size at room temperature. The column height corresponds to the range of corresponding thermal conductivity measurement results

来源：《A review of thermal properties of CVD diamond films》，国金证券研究所

CVD 金刚石制造主要采用热丝化学气相沉积（HFCVD）、微波等离子体化学气相沉积（MPCVD）、直流热阴极化学气相沉积（DC-HC CVD）、直流电弧等离子体喷射化学气相沉积（DC arc jet CVD）。



图表21：不同 CVD 装置合成原理



来源：《CVD 多晶金刚石膜的生长技术与热导率优化研究进展》，国金证券研究所

目前热丝法、MPCVD 法是主要的制造路线。

图表22：目前热丝法、MPCVD 法是主要的制造路线

指标	热丝化学气相沉积 (HFCVD)	直流电弧等离子体喷射化学气相沉积 (DC arc jet CVD)	微波等离子体化学气相沉积 (MPCVD)	直流热直流热阴极化学气相沉积 (DC-HC CVD)
活化方式	热活化	电弧放电	电磁活化	辉光放电
沉积面积	0.5 平方米	7 英寸	8 英寸	8 英寸
沉积速率 / (微米 · 小时 ⁻¹)	1 月 10 日	5-930	0.1-34	6 月 25 日
气体温度 / 开尔文	1500-3600	4000-7000	2500-4000	1500-6000
多晶热导率 / (瓦 · 米 ⁻¹ · 开尔文 ⁻¹)	约 1200	约 1800	约 2000	约 1200
优点	沉积面积大；设备成本低	大面积覆盖下沉积速率高	通过杂质抑制和晶体取向控制，实现接近单晶的热导率	性价比高，可对复杂几何结构实现高速沉积
缺点	热导率低，灯丝污染，沉积速率慢	电极污染导致热导率下降，薄膜均匀性差	工艺资本投入大，沉积速率低，大面积均匀性不佳	电极溅射污染，热导率低
散热应用场景	中端应用的大面积热管理	工业级散热片应用	大面积晶圆级集成的先进集成电路温度调控	中低功率器件用非标准几何结构散热片

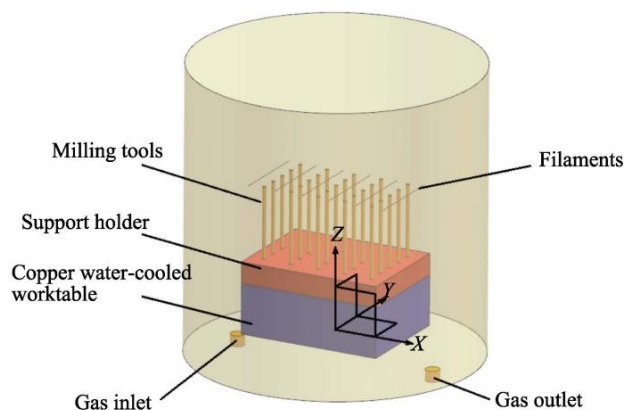
来源：《CVD 多晶金刚石膜的生长技术与热导率优化研究进展》，国金证券研究所

热丝 CVD 技术目前已经实现了广泛的商业应用，设备简单、能耗低、维护成本少，其成本优势、大面积优势和可允许曲面生长优势，帮助热丝 CVD 法在工具涂层等工业领域得到了



广泛普及。热丝法在生长大面积（例如直径超过 12 英寸）多晶金刚石膜片方面具有极强的优势，因此在大面积金刚石散热晶圆、低成本热管理应用上具备较大潜力。此外，热丝法生产的厚膜金刚石也大量应用于机械工具领域。

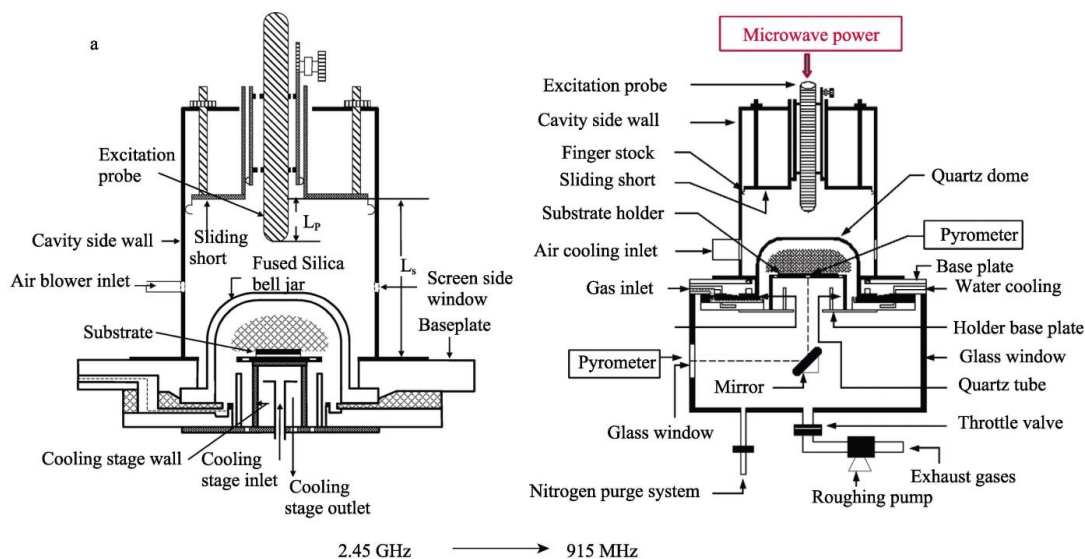
图表23：热丝化学气相沉积反应器的三维模型



来源：《CVD 多晶金刚石膜的生长技术与热导率优化研究进展》，国金证券研究所

其中 MPCVD 法具有等离子体密度高、无放电电极污染、控制好等优点，被认为是制备高质量多晶金刚石的首选方法。但如果要追求制造大尺寸的 MPCVD 金刚石膜，增加微波输入功率和降低微波频率是必要条件，成膜的尺寸主要受到微波发生器功率的限制。

图表24：MPCVD 要扩大成膜尺寸需要更大的微波输入功率或降低微波频率



来源：《CVD 多晶金刚石膜的生长技术与热导率优化研究进展》，国金证券研究所

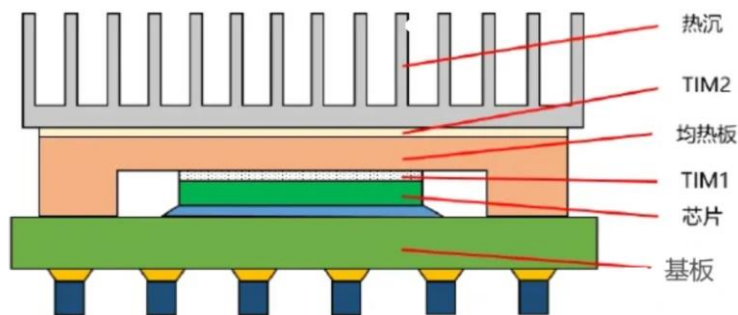
1.3 金刚石可通过独立热沉、键合、外延生长等方式和半导体器件进行结合使用

1.3.1 独立热沉部件：在后道组装中通过粘接、焊接强化散热

热沉是一种用于吸收和散发电子元件产生的热量的装置，通常由高导热性的材料制成，其作用是提供一个热量的传导路径，将电子元件产生的热量快速传递出去，以降低元件的温度，保证其正常工作。



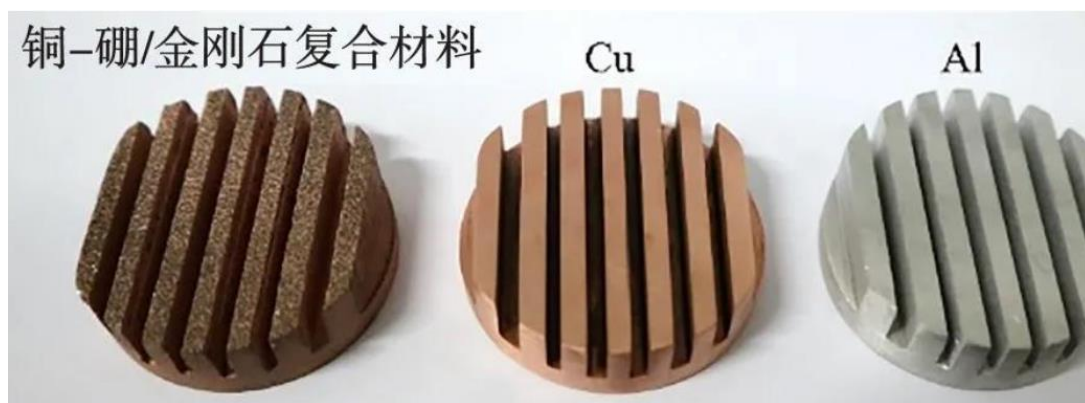
图表25：电子封装的热传导情况



来源：Joy 官网，国金证券研究所

金刚石铜作为复合材料可以直接作为热沉使用，将其加工为翅片结构，通过导热硅脂、导热凝胶、相变材料等导热界面材料 (TIM) 将金刚石直接贴合在器件封装的散热外壳表面，工艺最简单、可拆解更换，是基础的通用性方案。

图表26：金刚石铜可直接加工成热沉使用

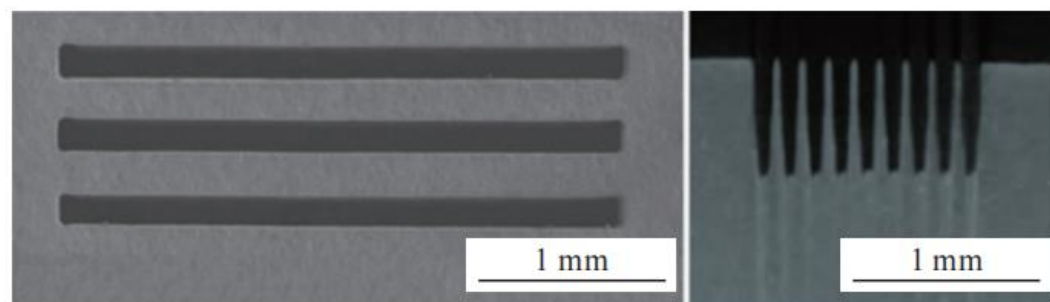


来源：《金刚石/铜复合材料制备工艺及应用研究进展》，国金证券研究所

要进一步提升金刚石铜的散热效率，可在金刚石基材料表面进行微通道加工，提高金刚石和冷却液之间的导热效率，但由于由于金刚石基材料的超硬特性，在其表面加工出具有高深宽比、高垂直度、高重复度的阵列微通道面临着严峻的挑战。激光加工、等离子体刻蚀为代表的加工方法是金刚石基材料表面微通道制备的主要方法：

激光加工：激光加工具有非接触、无机械应力、无工具磨损、无加工材料类型限制等特点，是金刚石基材料表面微通道加工的理想方法

图表27：通过超快激光可实现金刚石基材料表面微通道加工

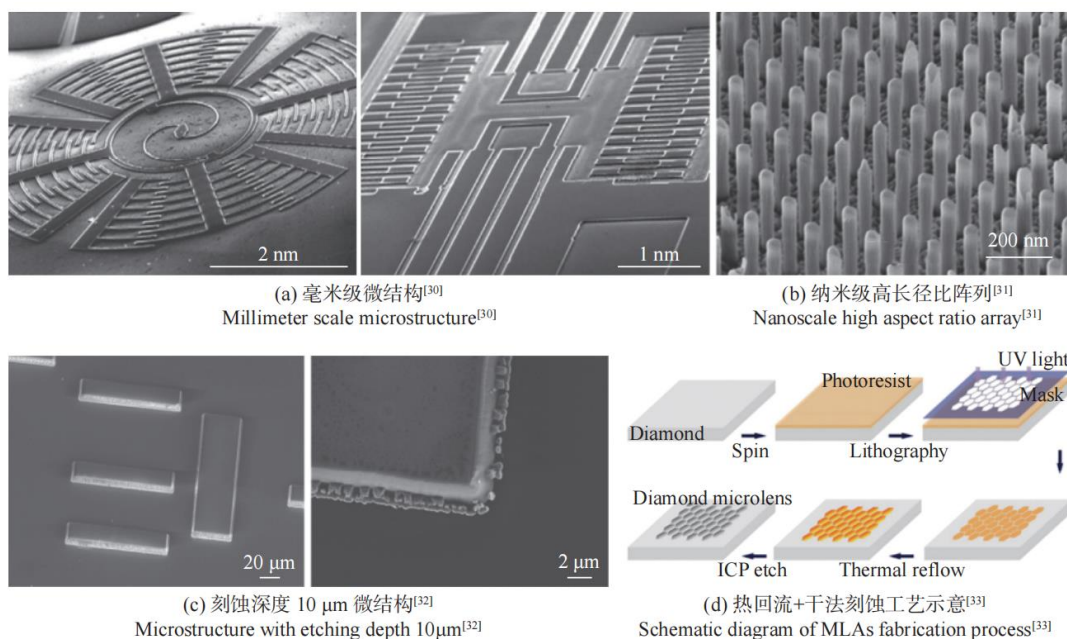


来源：《金刚石基材料及其表面微通道制备技术在高效散热中的应用》，国金证券研究所

等离子体刻蚀：等离子体刻蚀也是金刚石材料表面微结构加工的重要方法，在等离子体的轰击下，金刚石材料表面原子通过化学反应挥发，从而完成微结构的加工。



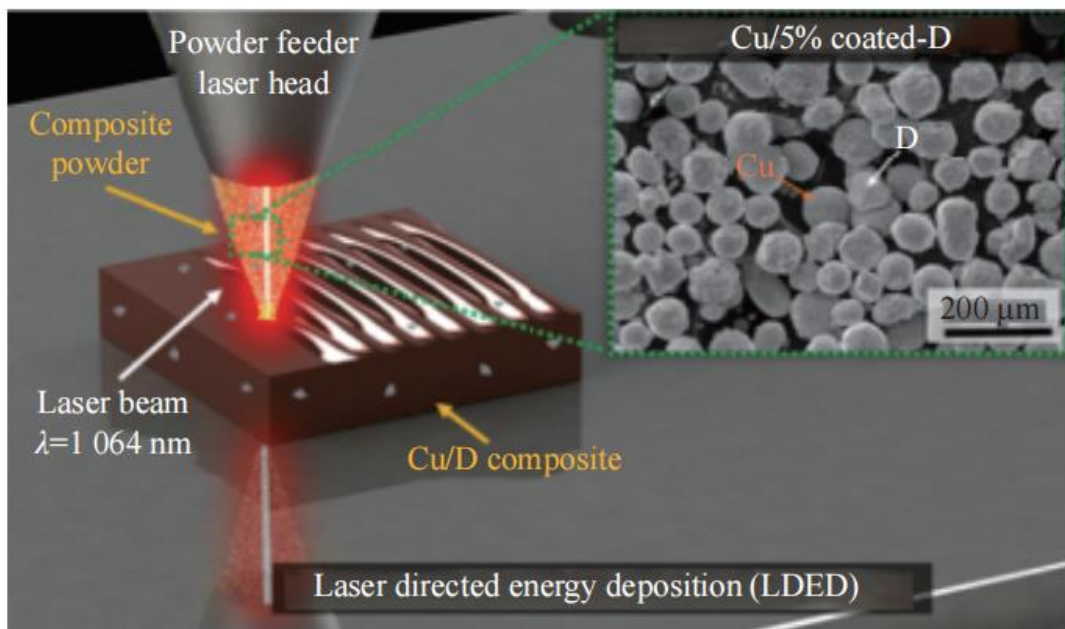
图表28：等离子体蚀刻加工后的微结构阵列



来源：《金刚石基材料及其表面微通道制备技术在高效散热中的应用》，国金证券研究所

同时目前也有直接通过激光定向能量沉积（LDED）技术，以金属增材制造的方法直接打印出铜基金刚石复合材料微通道热沉的研究，为金刚石增强金属基复合材料微通道散热器器件制备提供了新的思路。

图表29：LDED 增材制造金刚石铜复合材料微通道



来源：《金刚石基材料及其表面微通道制备技术在高效散热中的应用》，国金证券研究所

1.3.2 键合：封装阶段与芯片进行键合进行间接连接

要实现金刚石和半导体器件有更好的散热效果，通常需要将金刚石和半导体界面进行直接或间接（通过中间层）进行连接。



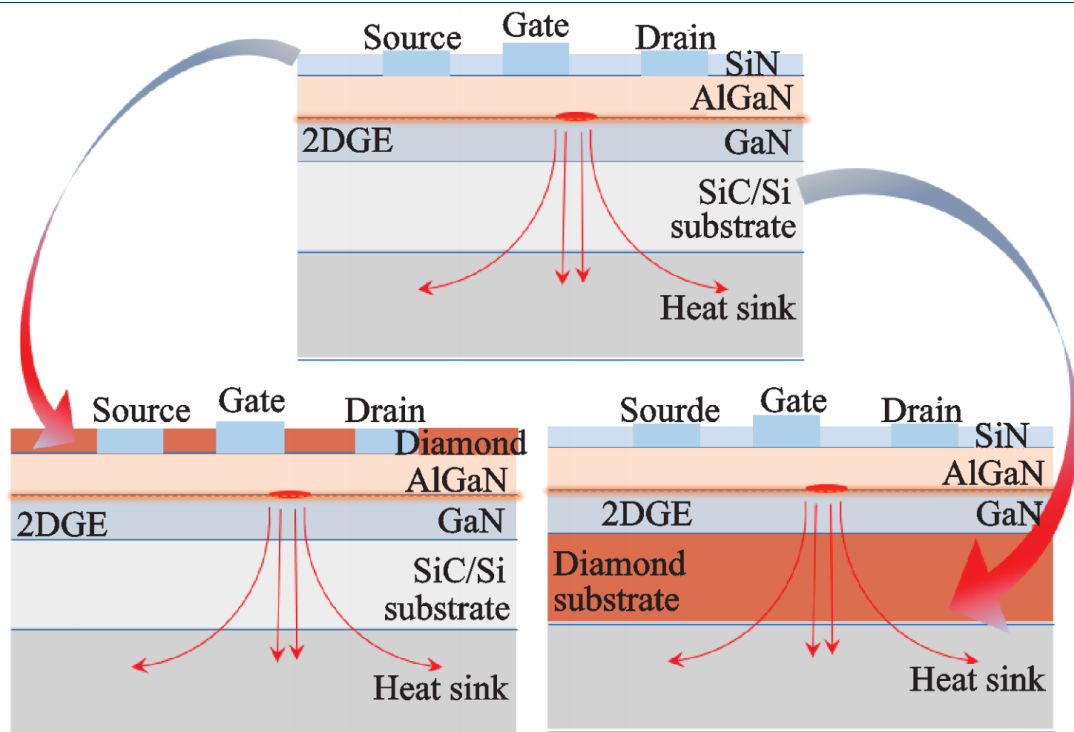
图表30：现有金刚石与半导体器件连接工艺的技术路线



来源：《金刚石热沉与半导体器件连接技术研究现状与发展趋势》，国金证券研究所

以目前研究更成熟的 GaN 器件金刚石散热作为参考，一般是将金刚石替换传统 GaN 器件的 SiC 或 Si 衬底，或者是替换传统 GaN 器件的 SiN 钝化层，进而将高导热材料集成到 GaN 器件热源区附近，通过金刚石材料的高导热特性提升 GaN 器件内部传热能力，解决热源区热量不断积累问题。

图表31：金刚石/GaN 器件散热结构设计

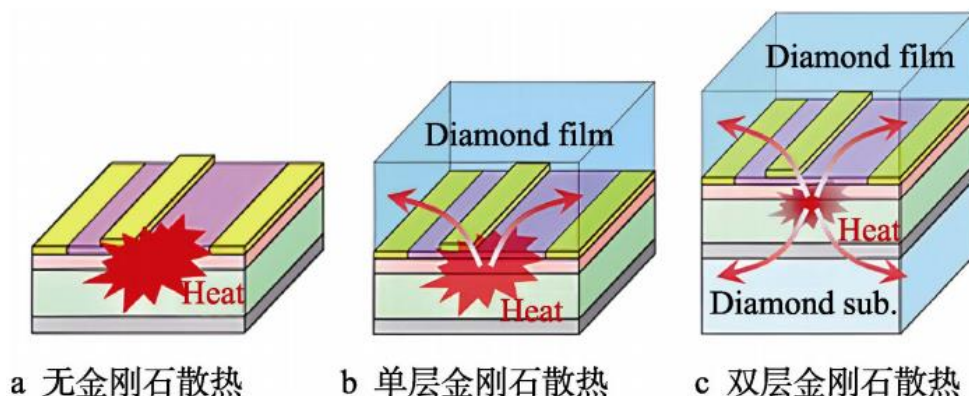


来源：《GaN 器件金刚石近结集成热管理技术研究进展》，国金证券研究所

例如 2019 年，日本富士通公司报道了一种金刚石-GaN-金刚石的双层金刚石散热结构结合了金刚石钝化散热技术与金刚石衬底，散热技术，经测试，该结构具有优异的散热性能，热点温度较无金刚石的结构下降了 77%。



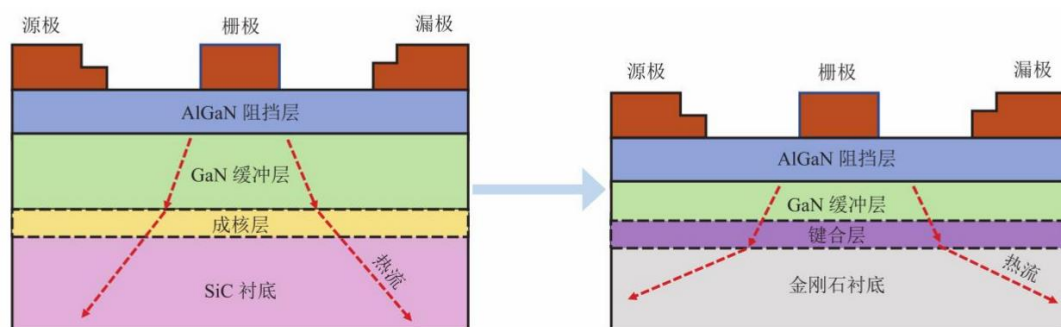
图表32：金刚石主要通过键合或外延的技术帮助芯片进行散热



来源：《金刚石/GaN 异质外延与键合技术研究进展》，国金证券研究所

键合工艺作为一种间接连接方式，通常先采用外延生长工艺在衬底上沉积金刚石，再去除衬底，将金刚石与半导体器件进行键合，避免了让半导体器件接触外延生长的高温，同时降低了热膨胀失配导致的高密度位错，同时也不会让沉积金刚石的氢等离子体环境影响了半导体器件本征性能。

图表33：将金刚石作为衬底进行半导体器件的键合

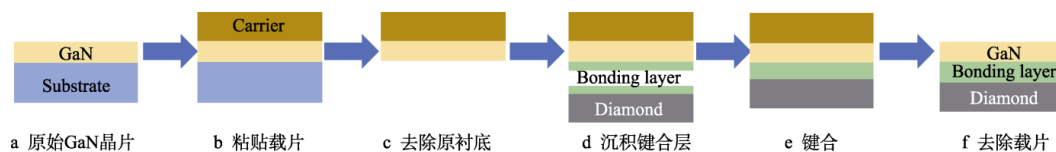


来源：《金刚石热沉与半导体器件连接技术研究现状与发展趋势》，国金证券研究所

以金刚石/GaN 键合作为参考，目前的金刚石/GaN 键合技术的技术路线通常是将 GaN 外延层的原始衬底通过机械研磨、化学蚀刻等方法去除，然后在 GaN 暴露的底面通过磁控溅射、金属有机化学气相沉积（MOCVD）等方法沉积中间层，之后与金刚石结合。技术存在的难点是对金刚石的表面粗糙度、弯曲度要求极高，还存在键合强度低，键合层热阻高等问题。

首先通过粘片工艺将 GaN 固定到载片上，之后去除原始衬底，在待键合面沉积键合层或使用离子束活化待键合表面，最后将键合表面贴合并加压完成键合。由于需要保持待键合表面活性，避免氧化或污染，沉积键合层或离子束活化表面步骤与键合步骤需要在高真空度环境中进行，对设备条件要求很高。

图表34：金刚石/GaN 表面活化键合的基本流程

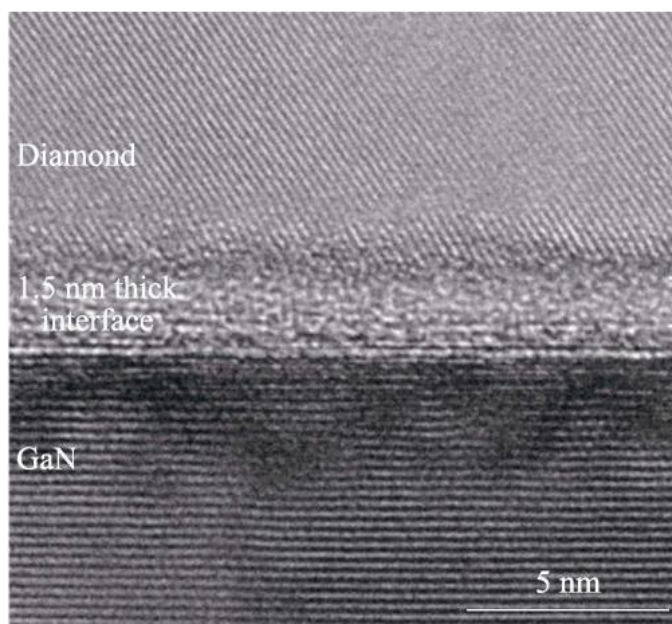


来源：《金刚石/GaN 异质外延与键合技术研究进展》，国金证券研究所

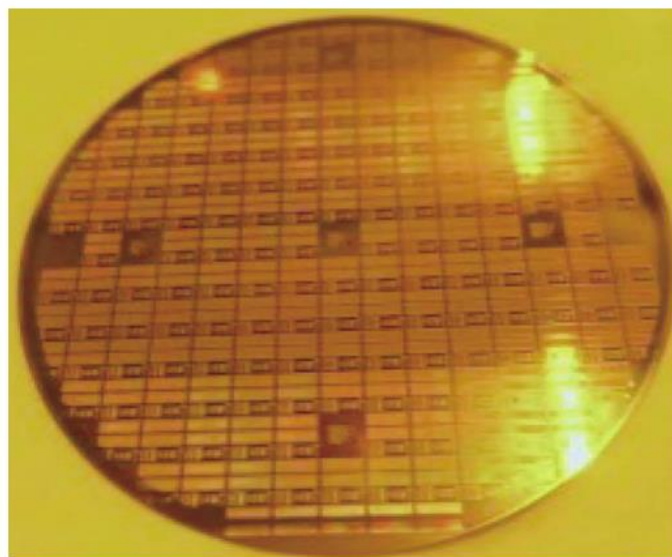
如何减少键合层厚度、提高金刚石表面粗糙度控制对最终的热导率、键合成功率均会产生较大影响。



图表35：含 1.5nm 中间层的金刚石/GaN



图表36：4 英寸金刚石衬底 GaN 晶圆

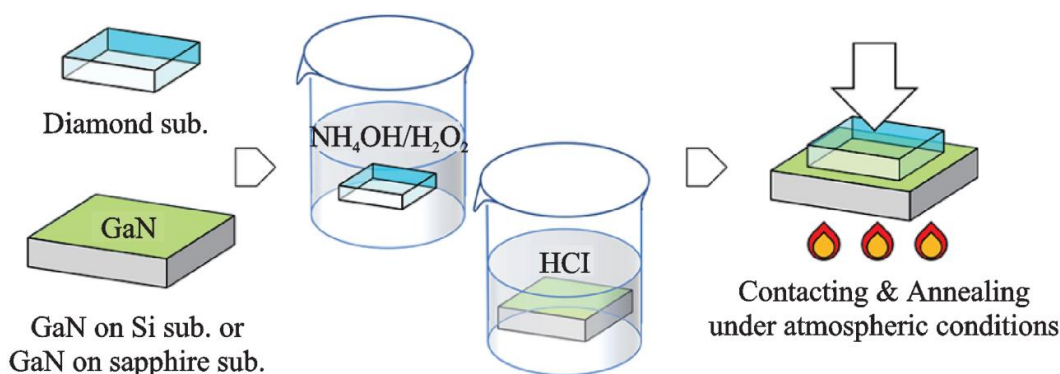


来源：《金刚石/GaN 异质外延与键合技术研究进展》，国金证券研究所

来源：《金刚石/GaN 异质外延与键合技术研究进展》，国金证券研究所

2023 年首次报道了基于亲水键合实现的金刚石与 GaN 集成，其原理是通过化学溶液处理在金刚石和 GaN 键合面生成 OH 端，通过在一定压力和温度下的 OH 端之间反应实现金刚石与 GaN 的集成。

图表37：GaN/金刚石集成亲水键合技术



来源：《GaN 器件金刚石近结集成热管理技术研究进展》，国金证券研究所

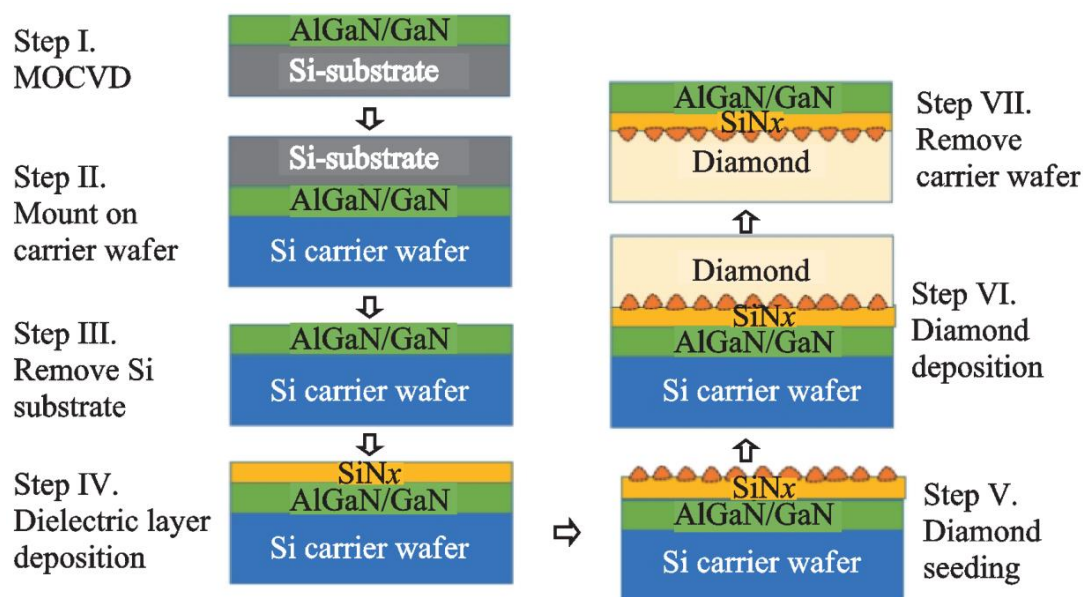
后续考虑金刚石会向 GPU 晶圆等领域推广应用，可能产业化方案以原子扩散键合技术为主流，使用 Au、Mo、Ag、Cu 等金属材料作为键合层，利用金属原子在温度和压力下的扩散实现键合，已经应用于金刚石与 Si、GaN 的键合。

1.3.3 外延：通过直接外延生长直接连接达到最优散热效率

另一种更理想的技术路线就是直接在器件表面进行金刚石的生长，或基于金刚石衬底实现外延片生长。例如可将 GaN 外延片的 Si 或 SiC 衬底去除，在 GaN 背面采用微波等离子体技术进行金刚石衬底的生长，实现金刚石衬底 GaN 外延片的自支撑制备，最后再基于金刚石衬底 GaN 外延片开展 GaN 功率器件制备。



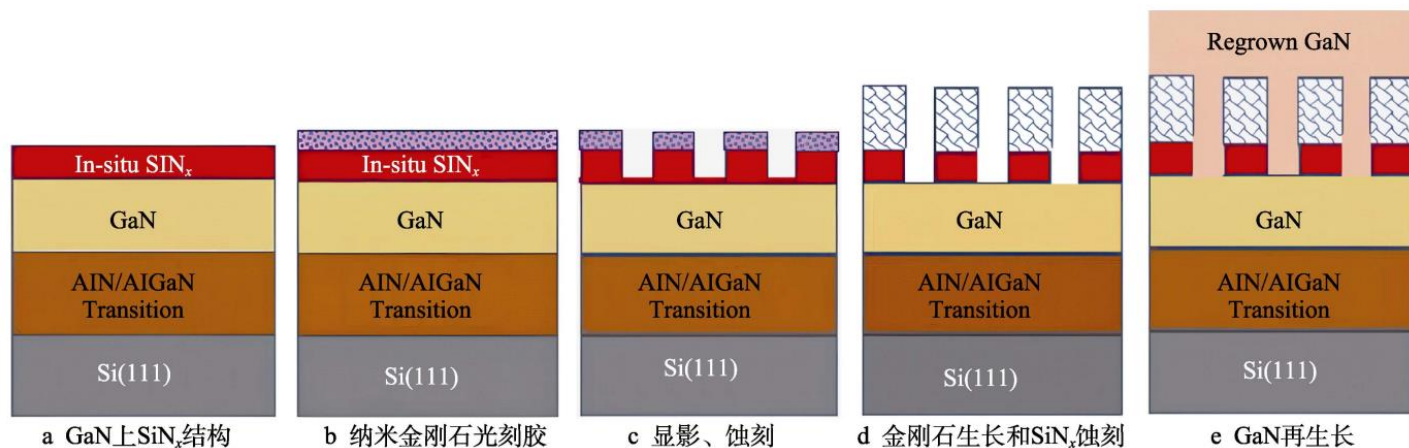
图表38: GaN 异质外延金刚石基本流程



来源:《GaN 器件金刚石近结集成热管理技术研究进展》, 国金证券研究所

还可以采用金刚石衬底外延技术, 在 GaN 表面使用 PECVD 沉积一层 SiN_x 保护层, 而后使用纳米金刚石颗粒和光刻工艺相结合的方法, 经过纳米金刚石加光刻胶旋涂、UV 曝光、显影、干燥和刻蚀过程, 在 SiN_x 保护层上选择性地沉积多晶金刚石层, 刻蚀掉未被金刚石覆盖的 SiN_x 保护层部分, 暴露出 GaN 层, 之后在暴露的 GaN 和金刚石上层使用优化的 MOCVD 工艺横向外延过生长 GaN 层。

图表39: 在多晶金刚石上生长晶体 GaN 的工艺步骤

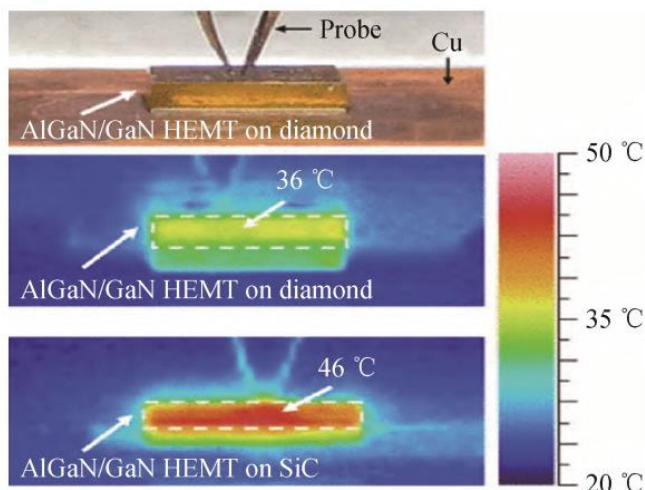


来源:《金刚石/GaN 异质外延与键合技术研究进展》, 国金证券研究所

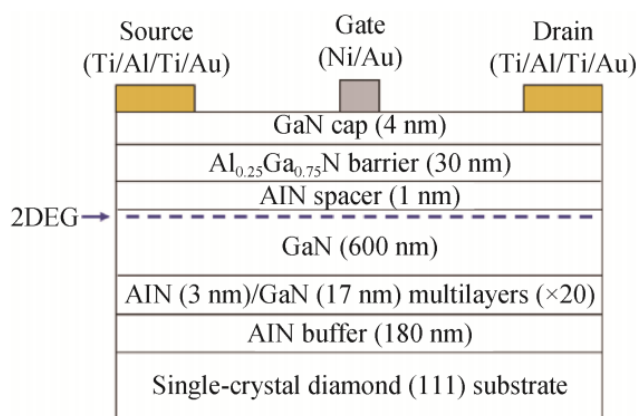
通过在单晶/多晶金刚石衬底上外延 GaN, 可以实现温度大幅下降。



图表40：金刚石衬底外延器件可实现温度大幅下降



图表41：金刚石生长 AlGaIn/GaN HEMT



来源：《微波等离子体化学气相沉积法合成高导热金刚石材料及器件应用进展》，
国金证券研究所

来源：《微波等离子体化学气相沉积法合成高导热金刚石材料及器件应用进展》，
国金证券研究所

2. 金刚石散热具备成为 AI 芯片散热终极解决方案潜力，产业化进展加速

2.1 AI 算力功耗指数增长，传统散热方案面临物理极限，金刚石散热有望成终极解决方案

AI 算力的持续扩张正从两个维度同时突破传统散热方案的物理极限：整体功耗的急剧攀升使系统级散热压力倍增，局部热流密度的剧烈集中则要求从芯片内部实现精准均热，两者共同推动散热技术路线从“宏观风液冷”向“微尺度高导热材料集成”的根本性转变。

AI 芯片功耗的指数级增长已超越传统散热方案的物理极限，散热正在成为定义算力天花板的核心变量。英伟达 GPU 单芯片功耗从 2020 年 A100 的 400W 跨越至 2024 年 Blackwell 的 1000W，风冷时代由此终结，液冷成为标配；2026 年 Rubin/VeraRubin 架构功耗进一步提升至 1200W 以上；2028 年规划中的 Feynman 架构单芯片功耗预计突破 2000W，已超越传统液冷的极限区间。

图表42：NVIDIA GPU 功耗演进趋势与散热材料热导率对比

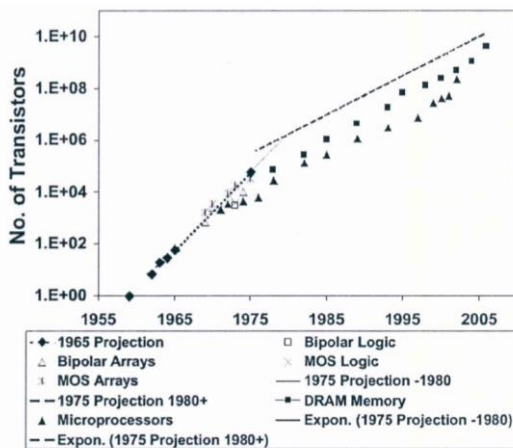


来源：半导体产业研究，国金证券研究所

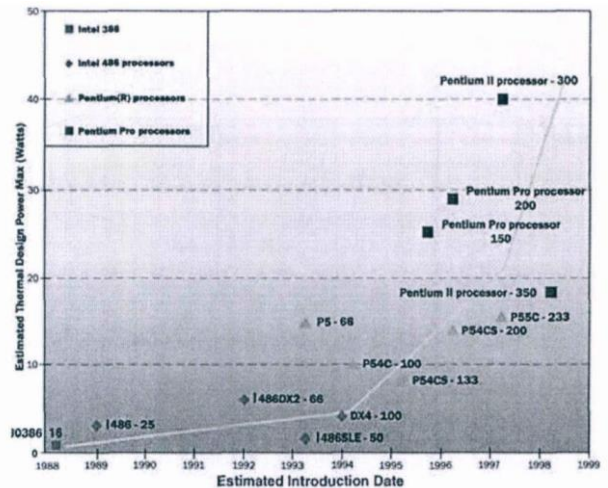
这一趋势的深层根源在于登纳德缩放定律的失效。摩尔定律驱动的晶体管密度持续提升，但传统意义上“晶体管缩小、功耗密度不变”的登纳德缩放定律在 2000 年代中期便已失效，晶体管数量的持续增加与功耗密度无法同步降低的矛盾，使芯片总功耗随算力提升而急剧攀升，且这一趋势在可预见的未来内不存在逆转的可能。



图表43：集成电路芯片上晶体管数目变化



图表44：Intel 公司半导体器件预计最大热设计功耗

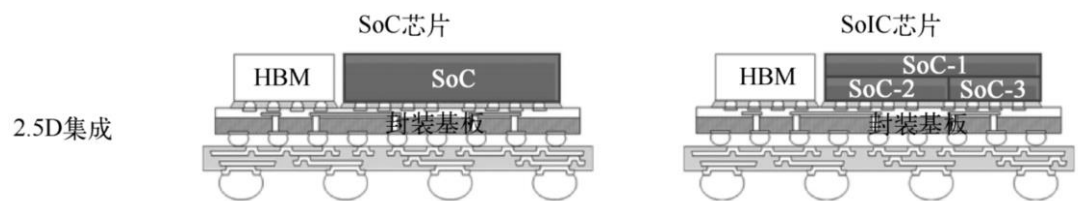


来源：《金刚石增强铝基复合材料界面形成机理及导热性能》，国金证券研究所

来源：《Thermal power dissipation》，国金证券研究所

与此同时，AI 芯片封装向 CoWoS、SoIC 等 2.5D/3D 堆叠方向演进，进一步加剧了系统级散热压力。每增加一层堆叠，热路径随之延长，热阻随之叠加。先进封装中广泛采用的 Low-k 介电材料热导率通常为 0.2~0.4W/(m·K)，是当前芯片内部散热的最主要瓶颈；TIM1 (4~80W/(m·K))、铜封装盖 (约 400W/(m·K))、TIM2 (约 2~7W/(m·K)) 等各层界面热阻依次叠加，在 3D 堆叠结构中累积效应随堆叠高度呈指数级增长，材料体系的根本性升级势在必行。

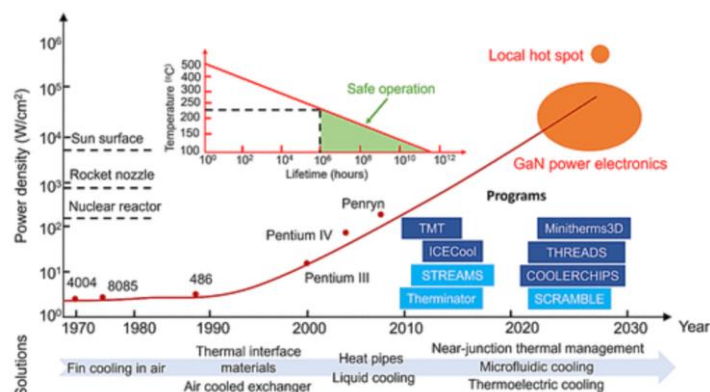
图表45：台积电 CoWoS 结构



来源：《三维集成电路制造技术》，国金证券研究所

真正决定散热难度的并非总功耗，而是局部热流密度——AI 芯片热点处的热流密度已从核反应堆能级跨越至太阳表面能级，传统散热方案在芯片近结界面已彻底失效。随着多芯粒与 3D 堆叠设计发展，未来 AI 芯片局部热点热流密度可能达到或超过 1000W/cm²，对传统风冷和常规冷板形成严峻挑战。这种量级的跃迁意味着散热瓶颈已从传统的系统级换热彻底转移至芯片近结界面，仅靠封装外围的散热优化已远远不够，必须在芯片内部实现精准均热。

图表46：热流密度与散热技术演进





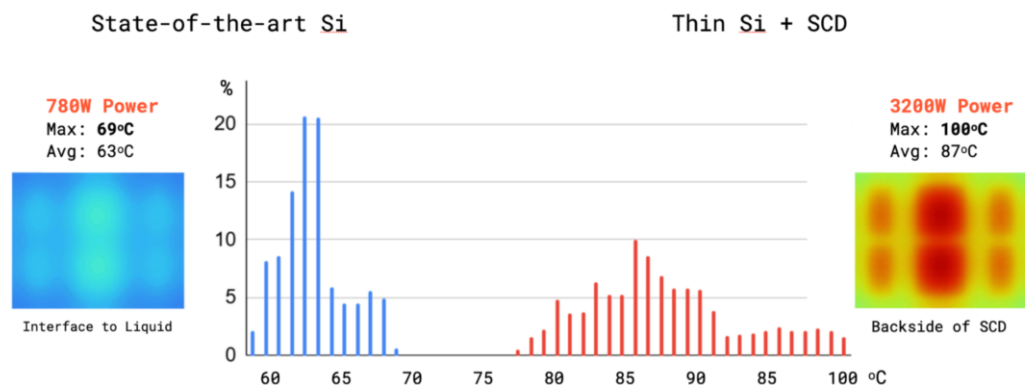
来源：《Advancing Thermal Management Technology for Power Semiconductors through Materials and Interface Engineering》，国金证券研究所

金刚石散热在热导率、热膨胀系数、电学特性等方面均有很强的适配性

1) 极高的热导率

金刚石热导率在所有已知材料中处于绝对领先地位，是解决 AI 芯片局部热流密度过高问题的可行材料选择。单晶金刚石室温热导率达 2000~2200W/(m·K)，是铜的 5~6 倍、SiC 的 4~6 倍。金刚石的高热导率使热量能够以更快的速率从芯片突然至液冷界面，显著降低芯片的工作温度。采用薄硅+单晶金刚石（ThinSi+SCD）方案后，在 780W 功率下芯片最高温度仅为平均温度 63℃，而传统硅方案在 3200W 功率下最高温度已达到 100℃、平均温度 87℃。

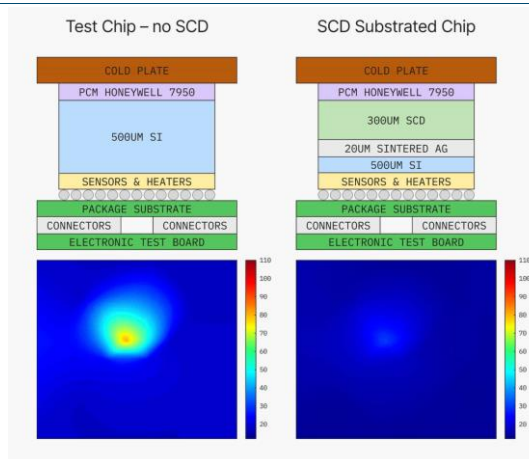
图表47：单晶金刚石实现芯片功耗承载力 4 倍量级跃迁



来源：Diamond Foundry，国金证券研究所

在 AI 芯片局部热点热流密度已达 1000~2500W/cm² 的场景下，传统铜基散热材料的热导率已无法在芯片近结界面实现足够快速的横向热扩散，导致热量在局部热点处急剧积聚；而金刚石的极高热导率可在芯片近结界面实现高效的横向均热，将局部热点温度显著拉平后再传导至外部冷却系统，从根本上解决传统材料无法应对的近结界面散热瓶颈。

图表48：单晶金刚石解决芯片“局部热点”问题



来源：Diamond Foundry，国金证券研究所

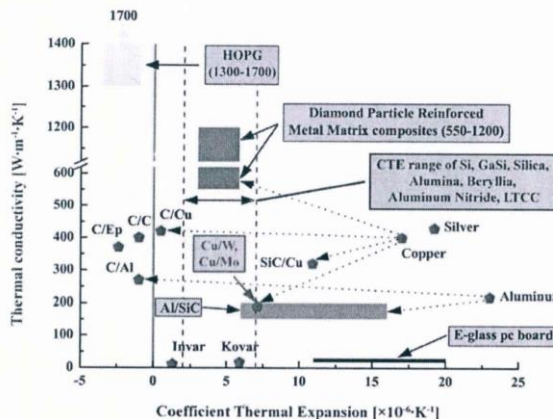
2) 低热膨胀系数与优异的热膨胀匹配性

金刚石的低 CTE 与 AI 芯片主流半导体材料高度匹配，在 AI 芯片频繁经历开关机热循环的使用场景下，从根本上消除了传统铜热沉因热失配导致的长期可靠性隐患。金刚石 CTE 约为 $1.0 \sim 1.2 \times 10^{-6}/K$ ，与硅、GaN、SiC 的差异远优于传统铜热沉（ $CTE \approx 17.6 \times 10^{-6}/K$ ）与硅芯片之间高达 $13.5 \times 10^{-6}/K$ 的失配差异。在 AI 数据中心场景下，GPU 服务器每日经历多次开关机热循环，封装层间的 CTE 失配会在焊点、铜柱与介电层中持续积累热疲劳损伤



伤，最终导致分层失效；金刚石的低 CTE 可将封装层间的热应力降低至传统铜热沉方案的数分之一，显著延长 AI 芯片在高强度使用场景下的服役寿命。通过调控金刚石/铜复合材料中金刚石的体积分数，还可将 CTE 进一步精准调控至 $5\sim 7\times 10^{-6}/\text{K}$ ，实现对不同 AI 芯片封装需求的定制化匹配。

图表49：部分电子封装散热材料的热导率和热膨胀系数



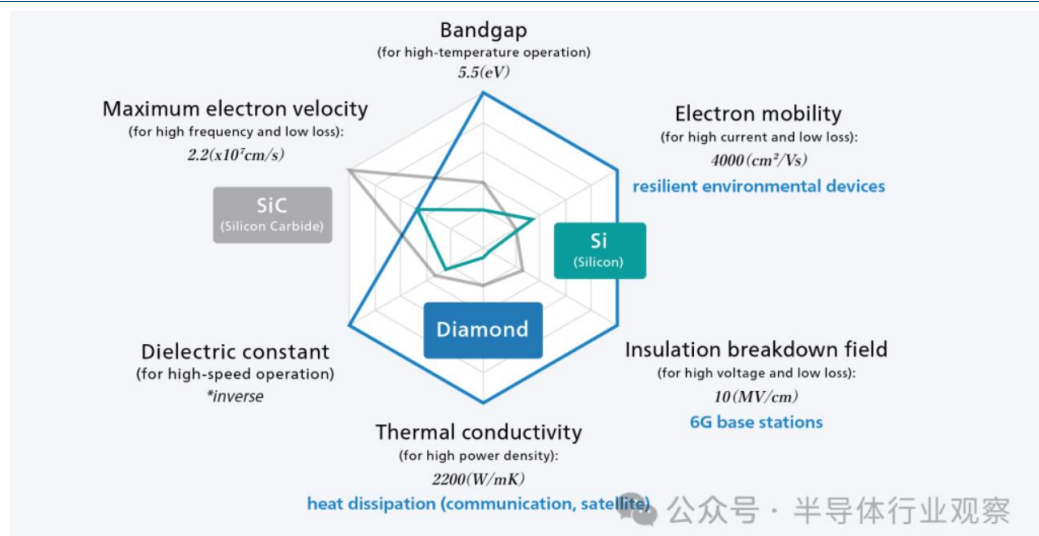
来源：《Ultrahigh-thermal-conductivity packaging materials Semiconduct or Thermal Measurement and Management IEEE Twenty First Annual IEEE Symposium》，国金证券研究所

3) 优异电学特性：兼容 AI 芯片高压应用需求

金刚石在电绝缘性、禁带宽度与击穿场强等电学方面均在已知材料的极限水平上，设置在 AI 芯片高压场景中具备传统材料无法实现的独特优势。

金刚石禁带宽度达到 5.47eV，远高于 SiC (3.26eV)、GaN (3.4eV) 与硅 (1.12eV)，是目前禁带宽度最宽的超宽禁带半导体材料之一，赋予其在极端温度与辐射环境下的本征稳定性。击场强约 10MV/cm，是 SiC (3MV/cm) 的 3 倍以上、硅 (0.3MV/cm) 的 30 倍以上，意味着在相同的器件尺寸下可承受更高的工作电压，为 AI 芯片向更高的功率密度演进提供了材料层面的根本支撑。电阻率可达 $10^{13}\sim 10^{16}$ ，介电常数 5.7，远低于硅 (11.7) 和 GaN (8.9)，可直接与芯片接触而损耗额外的电气隔离层，消除在隔离层附加热阻的同时，低介电常数亦有效降低高频信号传输的寄生电容与介电隔离层，信号不造成不良影响。

图表50：主流半导体材料性能维度的雷达图对比



来源：半导体行业观察，国金证券研究所

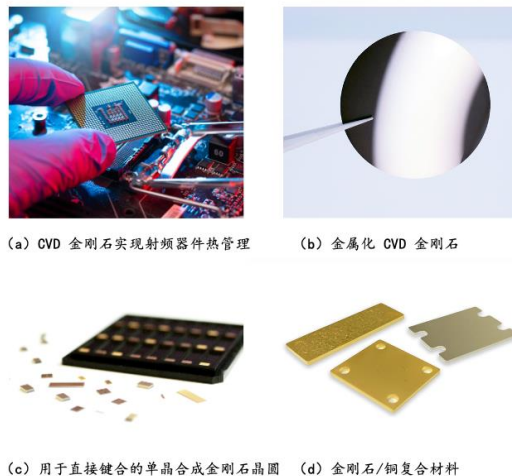
2.2 产业化进展加速，应用端开始验证切入，供应端积极扩产布局

Element Six (De Beers 集团旗下) 是全球合成金刚石材料龙头，也是第一家建立 CVD 平台实现大面积均匀多晶金刚石生长 (直径可达 150 毫米) 的企业，并率先开发和生产电子



级单晶金刚石产品。2025 年 1 月，Element Six 发布铜-金刚石复合材料，热导率约 800W/(m·K)，主要面向 AI、HPC 和 GaN RF 器件等高端应用，已斩获较多订单；其在俄勒冈州格雷舍姆开设的 CVD 工厂已实现高品质单晶合成金刚石的可持续规模化生产。

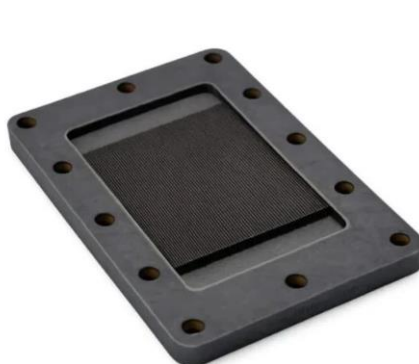
图表51: Element Six 公司主要产品



来源: Element Six 官网, 国金证券研究所

Coherent Corp 于 2026 年 3 月发布 Thermadite 800 液冷板, 作为 Diamond-SiC 复合材料的商用巅峰形态, 热导率达 800W/(m·K), 将液冷材料从金属时代推向复合陶瓷时代, 成为高功率 AI 芯片液冷散热的标杆产品; 其 CVD 金刚石基板直径已达 145mm。

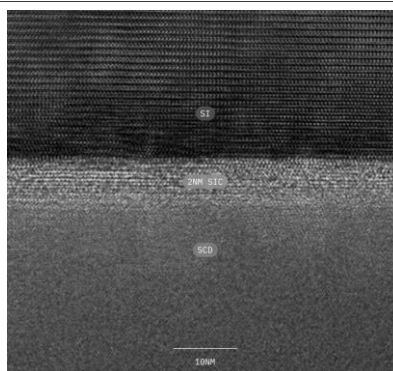
图表52: Coherent Corp Thermadite 800 产品



来源: Coherent 官网, 国金证券研究所

Diamond Foundry 专注于实验室培育金刚石技术与晶圆级金刚石键合, 于 2023 年制造出世界首块 4 英寸单晶金刚石晶圆, 开发芯片级金刚石直接键合技术, 使得 AI 芯片最高可实现 10 倍速度提升, 以及 AI 数据中心单位机架空间最高承载 5 倍功率。

图表53: Diamond Foundry 首款 100nm 单晶金刚石晶圆

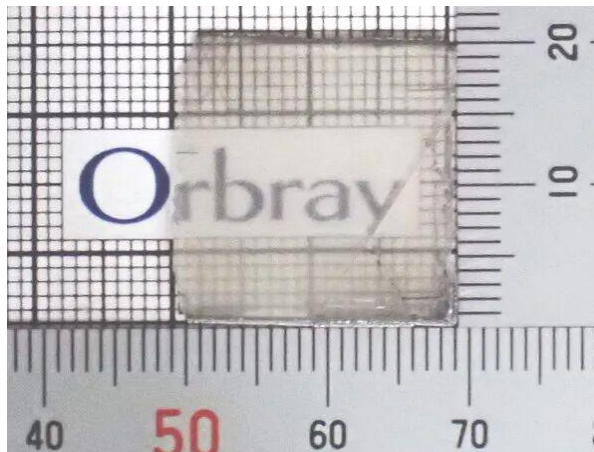




来源：Diamond Foundry 官网，国金证券研究所

2024 年 6 月，Element Six 与日本 Orbray 建立战略合作，共同推动晶圆级单晶合成金刚石制造；2025 年 3 月，Orbray 已实现 2 厘米见方金刚石衬底的突破，计划 2026 年内实现大尺寸(111)金刚石衬底的商业化，并向 4 英寸衬底晶圆目标持续推进，大幅降低单个 GPU 使用金刚石材料的成本。

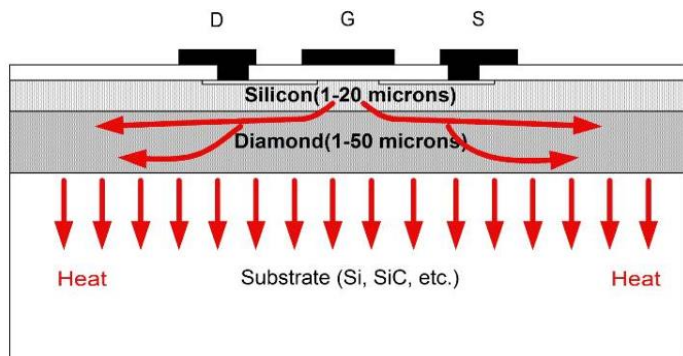
图表54: Orbray20 毫米方形单晶 (111) 金刚石基板



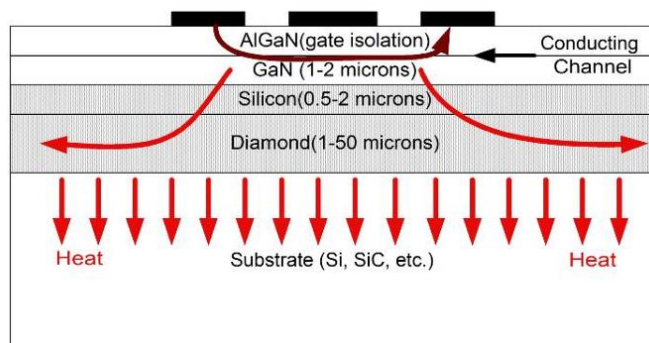
来源：Orbray 官网，国金证券研究所

SP3 Diamond 推出了金刚石上硅（silicon on diamond, SOD）技术，将衬底直接用于硅/锗硅工艺，或外延生长氮化镓外延层制备化合物半导体器件，目前已经实现了 100mm 直径量产，未来有望进一步放大至 300mm 规格，其科研人员已在该类衬底上成功外延沉积氮化镓薄膜，并制备出有源功能器件，验证了这项技术的可行性，同时证明其在大尺寸晶圆上有实现可观量产良率的潜力。

图表55: SP3 推出的 SOD 技术



图表56: 基于 SOD 打造氮化镓器件



来源：《Advances and Challenges in Large Diameter Silicon on Diamond Substrates》，国金证券研究所

来源：《Advances and Challenges in Large Diameter Silicon on Diamond Substrates》，国金证券研究所

Akash Systems 是商业化先行者。2026 年 2 月，Akash Systems 完成全球首批搭载 Diamond Cooling 技术的英伟达 H200 GPU 服务器交付，客户为印度主权云服务商 NxtGen AI，该技术使 GPU 热点温度降低 55~60℃，GPU 全程满频运行，性能提升 15%。

同年 3 月，Akash Systems 进一步推出搭载 AMD Instinct MI350X GPU 的金刚石冷却 AI 服务器，获得 3 亿美元订单，由 MiTAC Computing 制造，标志着金刚石散热技术首次同时覆盖英伟达与 AMD 两大主流 AI 算力平台。



图表57: Akash Systems 交付全球首台钻石冷却 NVIDIA GPU 服务器



**AKASH SYSTEMS
DELIVERS WORLD'S FIRST
DIAMOND COOLED NVIDIA
GPU SERVERS TO NXTGEN
AI PVT LTD**

Akash Diamond Cooling® solution is a new innovation in cooling technology that is additive to existing air and liquid cooli...

February 23, 2026

图表58: Akash Systems 推进 AMD Instinct MI350X GPU 服务器



**AKASH SYSTEMS ANNOUNCES WORLD'S
FIRST DIAMOND COOLED AI SERVERS WITH
AMD INSTINCT™ MI350X GPUS AND MITAC
COMPUTING**

Akash Systems announces the world's first Diamond Cooled AI servers powered by AMD Instinct™ MI350X GPUs and manufactured by MITAC, delivering up to 22% greater efficiency, eliminating thermal throttling,...

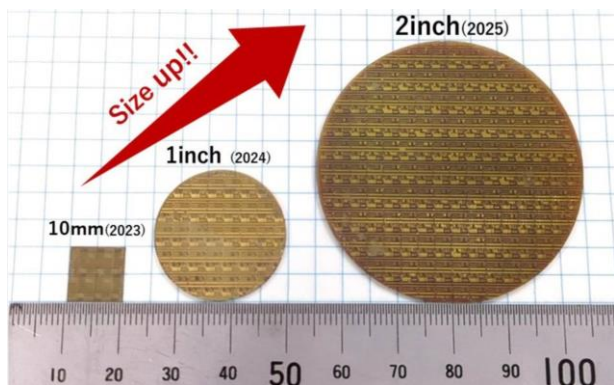
March 3, 2026

来源: Akash Systems, 国金证券研究所

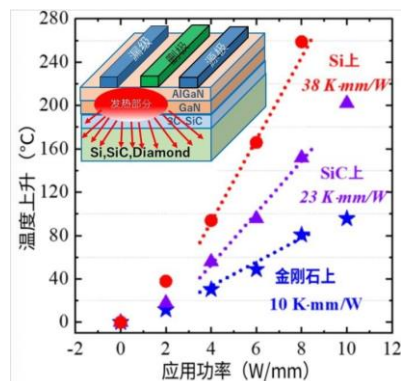
来源: Akash Systems, 国金证券研究所

住友电工于 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, 同时持续推进 Cu-Diamond 复合材料与 GaN on Diamond 技术。

图表59: 在直径为 2 英寸的多晶金刚石衬底上实现 GaN-HEMT 结构



图表60: 在 Si、SiC 和金刚石制造的 GaN-HEMT 的散热比较



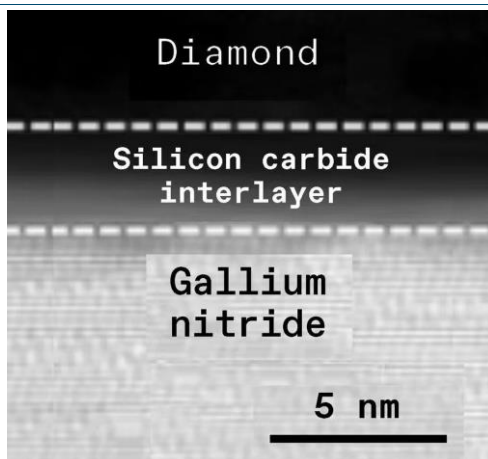
来源: 住友电工, 国金证券研究所

来源: 住友电工, 国金证券研究所

斯坦福大学 Srabanti Chowdhury 教授团队实现了在 400℃ 条件下直接在半导体器件上生长大晶粒多晶金刚石的突破性工艺, 通过在生长气氛中引入更高浓度的氧气原位蚀刻非金刚石碳沉积物, 在 CMOS 可承受温度范围内制备出高导热金刚石涂层。研究中还发现, 金刚石与氮化硅界面处的互混会自然形成碳化硅, 充当声子桥梁, 使实测热边界热阻远低于预期值。该涂层厚度仅几微米, 可直接包裹芯片及 3D 结构器件侧面, 兼容现有产线, 已与台积电、应用材料、三星等建立合作, 为金刚石散热向标准化产线迁移奠定基础。



图表61：半导体器件生长金刚石



来源：《Diamond Blankets Will Chill Future Chips: A Micrometers-Thick Integrated Layer Spreads Out the Heat》，国金证券研究所

国内金刚石散热产业化在 2025~2026 年间明显提速，材料端产能扩张率先突破，设备端国产化初步解决装备依赖，应用端验证同步推进。

黄河旋风于 2026 年 2 月建成国内首条 8 英寸金刚石热沉片生产线，热导率达 2000~2200 W/(m·K)，一期投资 3.6 亿元，年产能 2 万片。

图表62：风优创（黄河旋风子公司）产品展示

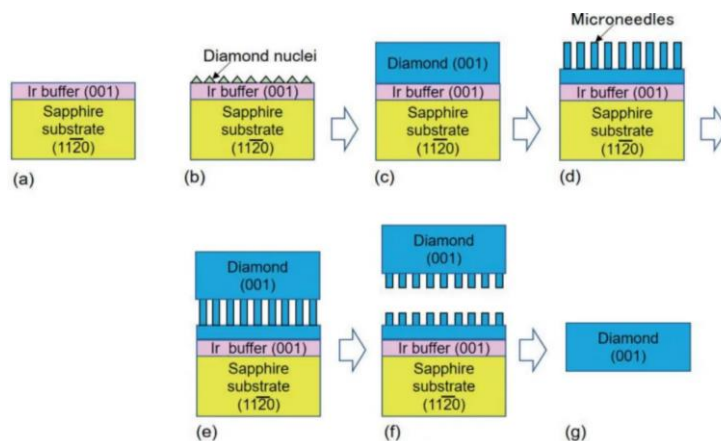


来源：黄河旋风，国金证券研究所

化合积电于 2025 年攻克高质量大尺寸多晶金刚石制备技术，10 月呼和浩特量产基地投产，并联合北京大学在 GaN on Diamond(111) 直接异质外延取得重大突破，室温电子迁移率达 1640 cm²/(V·s)，较此前最高报道值提升超两倍。



图表63: 异质外延金刚石的生产工艺



来源：化合积电，国金证券研究所

力量钻石于 2025 年 1 月正式建成投产半导体高功率散热片项目，该项目与台湾捷斯奥企业强强联合，用于研发制造大尺寸半导体高功率金刚石散热片，2026 年公司披露的二期金刚石功能材料采购计划为 300 台 MPCVD 设备、100 台激光切割机及 20 台制氢和纯化设备。

图表64: 力量钻石金刚石半导体研发中心



来源：粉体网，国金证券研究所

此外，四方达于 2025 年 12 月宣布具备制备大英寸金刚石衬底与薄膜的能力，在衬底尺寸方面处于国内领先地位。中兵红箭旗下中南钻石具备 HPHT 和 CVD 双技术路线，正加大多晶金刚石热沉领域研发投入；桦茂科技采用 MPCVD 法生长金刚石，可低成本产出单晶热沉片和多晶热沉片，2025 年 12 月二期产线陆续投产，已展开送样测试，金刚石散热片目前仍处测试验证阶段。

惠丰钻石拟在包头设立全资子公司，计划 10 亿元投资建设 CVD 金刚石项目，重点布局金刚石散热场景应用，一期投资约 5 亿元，500 台 MPCVD 设备，预计 4 至 5 年内完成投产。多家企业亦在积极布局，国内材料端供给体系正逐步完善。



图表65: 惠丰钻石 CVD 金刚石散热项目在包头启动开工



来源: 惠丰钻石, 国金证券研究所

国机精工具备从六面顶压机到 MPCVD 设备的全链能力, 2025 年金刚石散热散热和光学窗口收入超千万, 主要供应国防工业领域。2025 年 1 月, 作为主要起草单位之一, 参与编制国内首个团体标准《热沉用金刚石片》。目前, 公司民用金刚石散热产品已向国内客户送样测试。

图表66: 国机精工超高导热 CVD 金刚石散热片



尺寸	1-6英寸, 可定制
厚度	0.25-1mm, 可定制
粗糙度	< 10nm
厚度偏差	±0.03 mm
热导率	1000-2200W/(m·K)@25℃
热膨胀系数	1±0.1ppm/K@25℃

图表67: 国机精工金刚石/铜复合材料



产品类型	铜/金刚石	铝/金刚石
最大尺寸	Φ120mm	Φ120mm
密度	5.4-6.2g/cm ³	2.8-3.2g/cm ³

来源: 国机金刚石, 国金证券研究所

来源: 国机金刚石, 国金证券研究所

沃尔德是国内少数掌握 CVD 法三大工艺 (MPCVD、热丝、直流电弧) 的企业, 2026 年 3 月, 公司披露拟募集不超过 3 亿元, 其中约 1.67 亿元拟用于金刚石功能材料产业化及研发中心项目。

图表68: 沃尔德募集资金说明 (2026 年 3 月)

序号	项目名称	拟投资总额	拟使用募集资金投资额
1	金刚石微钻产业化项目 (一期)	13,383.02	13,300.00
2	金刚石功能材料产业化项目 (一期)	13,157.83	13,100.00



序号	项目名称	拟投资总额	拟使用募集资金投资额
3	金刚石功能材料研发中心项目	3,888.32	3,600.00
合计		30,429.17	30,000.00

来源：沃尔德，国金证券研究所

在应用端，中科院宁波材料所联合宁波赛墨科技（中科院+华为战略投资）研发的金刚石/铜散热模组，已应用于曙光数创 C8000 V3.0 兆瓦级相变浸没液冷整机柜方案，使芯片模组传热能力提升 80%，同步供货华为、寒武纪等国产 AI 厂商。

图69：曙光数创 C8000 V3.0 兆瓦级相变浸没液冷整机柜方案



来源：曙光数创，国金证券研究所

中京烽火自主研发的金刚石铜复合材料热管理解决方案，已成功在国家电网旗下智芯微电子的 AI 服务器中实现批量部署，标志着国产尖端散热技术在国内首次实现了对高功率 GPU 热管理的规模化应用。

图70：京烽火“寒穹”方案

性能指标	传统散热方案	中京烽火“寒穹”方案	提升效果
芯片结温	峰值易触及 90°C+	稳定在 80°C 以下	↓10°C+
风扇负载率	95%	60%	↓35%
系统噪音	>70dB	≈50dB	显著降低

来源：融中财经，国金证券研究所

3.投资建议

金刚石散热具备成为 AI 芯片散热终极解决方案潜力，未来潜在成长空间巨大，建议关注积极布局金刚石散热领域的沃尔德、黄河旋风、国机精工、四方达、中兵红箭、力量钻石等。

图71：建议关注公司

证券代码	股票名称	市值	归母净利润（亿元）						PE				
		（亿元）	2024A	2025A	2026E	2027E	2028E	2024A	2025A	2026E	2027E	2028E	
688028.SH	沃尔德	134	0.99	0.95	1.43	1.78	2.46	135	142	94	75	54	
600172.SH	黄河旋风	180	-9.83	-9.50				N/A	N/A				
002046.SZ	国机精工	256	2.80	2.60	3.21	4.13	4.81	91	98	80	62	53	
300179.SZ	四方达	178	1.18	0.93	1.69	2.92	4.17	151	191	105	61	43	
000519.SZ	中兵红箭	207	-3.27	0.42	4.79	6.90	9.09	N/A	498	43	30	23	
301071.SZ	力量钻石	154	2.01	1.09	2.37	4.26	6.92	77	141	65	36	22	

来源：Ifind，国金证券研究所；注：盈利预测取自 Ifind2026 年 8 月 12 日一致预期



4.风险提示

大规模商用进展不及预期风险：当前金刚石晶圆与 GPU 直接固晶键合、大尺寸 CVD 单晶制备工艺仍处于客户送样与小批量验证阶段，若良率提升、产能爬坡、客户验证进度慢于市场预期，将延缓金刚石在高端 AI 服务器的渗透节奏。

下游需求不及预期风险：需求端高度依赖 AI 资本开支与高功耗 GPU 迭代节奏，若全球算力建设投入放缓、高端 GPU 出货不及预期，将直接削弱金刚石散热增量需求。



行业投资评级的说明：

买入：预期未来 3—6 个月内该行业上涨幅度超过大盘在 15%以上；

增持：预期未来 3—6 个月内该行业上涨幅度超过大盘在 5%—15%；

中性：预期未来 3—6 个月内该行业变动幅度相对大盘在 -5%—5%；

减持：预期未来 3—6 个月内该行业下跌幅度超过大盘在 5%以上。

**特别声明：**

国金证券股份有限公司经中国证券监督管理委员会批准，已具备证券投资咨询业务资格。

本报告版权归“国金证券股份有限公司”（以下简称“国金证券”）所有，未经事先书面授权，任何机构和个人均不得以任何方式对本报告的任何部分制作任何形式的复制、转发、转载、引用、修改、仿制、刊发，或以任何侵犯本公司版权的其他方式使用。经过书面授权的引用、刊发，需注明出处为“国金证券股份有限公司”，且不得对本报告进行任何有悖原意的删节和修改。

本报告的产生基于国金证券及其研究人员认为可信的公开资料或实地调研资料，但国金证券及其研究人员对这些信息的准确性和完整性不作任何保证。本报告反映撰写研究人员的不同设想、见解及分析方法，故本报告所载观点可能与其他类似研究报告的观点及市场实际情况不一致，国金证券不对使用本报告所包含的材料产生的任何直接或间接损失或与此有关的其他任何损失承担任何责任。且本报告中的资料、意见、预测均反映报告初次公开发布时的判断，在不作事先通知的情况下，可能会随时调整，亦可因使用不同假设和标准、采用不同观点和分析方法而与国金证券其它业务部门、单位或附属机构在制作类似的其他材料时所给出的意见不同或者相反。

本报告仅为参考之用，在任何地区均不应被视为买卖任何证券、金融工具的要约或要约邀请。本报告提及的任何证券或金融工具均可能含有重大的风险，可能不易变卖以及不适合所有投资者。本报告所提及的证券或金融工具的价格、价值及收益可能会受汇率影响而波动。过往的业绩并不能代表未来的表现。

客户应当考虑到国金证券存在可能影响本报告客观性的利益冲突，而不应视本报告为作出投资决策的唯一因素。证券研究报告是用于服务具备专业知识的投资者和投资顾问的专业产品，使用时必须经专业人士进行解读。国金证券建议获取报告人员应考虑本报告的任何意见或建议是否符合其特定状况，以及（若有必要）咨询独立投资顾问。报告本身、报告中的信息或所表达意见也不构成投资、法律、会计或税务的最终操作建议，国金证券不就报告中的内容对最终操作建议做出任何担保，在任何时候均不构成对任何人的个人推荐。

在法律允许的情况下，国金证券的关联机构可能会持有报告中涉及的公司所发行的证券并进行交易，并可能为这些公司正在提供或争取提供多种金融服务。

本报告并非意图发送、发布给在当地法律或监管规则下不允许向其发送、发布该研究报告的人员。国金证券并不因收件人收到本报告而视其为国金证券的客户。本报告对于收件人而言属高度机密，只有符合条件的收件人才能使用。根据《证券期货投资者适当性管理办法》，本报告仅供国金证券股份有限公司客户中风险评级高于 C3 级（含 C3 级）的投资者使用；本报告所包含的观点及建议并未考虑个别客户的特殊状况、目标或需要，不应被视为对特定客户关于特定证券或金融工具的建议或策略。对于本报告中提及的任何证券或金融工具，本报告的收件人须保持自身的独立判断。使用国金证券研究报告进行投资，遭受任何损失，国金证券不承担相关法律责任。

若国金证券以外的任何机构或个人发送本报告，则由该机构或个人为此发送行为承担全部责任。本报告不构成国金证券向发送本报告机构或个人的收件人提供投资建议，国金证券不为此承担任何责任。

此报告仅限于中国境内使用。国金证券版权所有，保留一切权利。

上海

电话：021-80234211

邮箱：researchsh@gjzq.com.cn

邮编：201204

地址：上海浦东新区芳甸路 1088 号

紫竹国际大厦 5 楼

北京

电话：010-85950438

邮箱：researchbj@gjzq.com.cn

邮编：100005

地址：北京市东城区建国门内大街 26 号

新闻大厦 8 层南侧

深圳

电话：0755-86695353

邮箱：researchsz@gjzq.com.cn

邮编：518000

地址：深圳市福田区金田路 2028 号皇岗商务中心

18 楼 1806



【小程序】
国金证券研究服务



【公众号】
国金证券研究