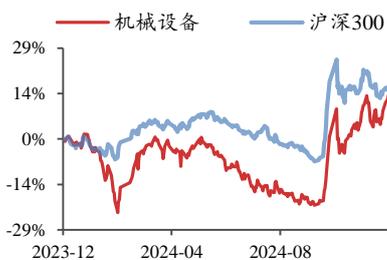


机械设备

2024年12月08日

投资评级：看好（维持）

行业走势图



数据来源：聚源

相关研究报告

《特斯拉机器人灵巧手重大进展：驱控接近定型，量产将近—行业周报》
-2024.12.1

《特斯拉、Open AI、英伟达、华为机器人生态简析—行业点评报告》
-2024.11.26

《看好科技成长主线，重点关注低国产化率的半导体量检测设备板块—行业周报》
-2024.11.17

钻石散热：高算力时代的终极方案，打开 AI 潜力的钥匙

——行业深度报告

孟鹏飞（分析师）

mengpengfei@kysec.cn

证书编号：S0790522060001

罗悦（分析师）

luoyue@kysec.cn

证书编号：S0790524090001

● 钻石：“终极”半导体材料，“六边形战士”

随着半导体遵循着摩尔定律纳米制程进步、TDP（热设计功耗）上升，芯片热流密度变得越来越高，散热革命成为 AI、HPC 时代最大挑战。当芯片表面温度达到 70-80°C 时，温度每增加 1°C，芯片可靠性就会下降 10%；设备故障超过 55% 与过热直接相关。金刚石是已知热导率最高的材料，热导率达硅（Si）13 倍、碳化硅（SiC）4 倍，铜和银 4-5 倍，并具有超宽禁带半导体优异特质，被视为“第四代半导体”或“半导体终极材料”。与 SiC 相比，钻石芯片成本可便宜 30%，所需材料面积仅为 SiC 芯片 1/50，减少 3 倍能量损耗，并将芯片体积缩小 4 倍。

● 钻石散热：高算力时代“终极”方案，打开 AI 潜力的钥匙

钻石散热方案在高效能电子产品应用潜力广阔，未来每台电脑、汽车和手机都有望装上钻石。半导体领域，“钻石冷却”技术可让 GPU、CPU 计算能力提升 3 倍，温度降低 60%，能耗降低 40%，为数据中心节省数百万美元的冷却成本。新能源汽车领域，超薄钻石纳米膜助力电动汽车充电速度提升 5 倍，热负荷降低 10 倍。基于钻石技术的逆变器体积小 6 倍，性能更卓越。太空卫星领域，数据速率提升 5-10 倍，尺寸减小 50%，并在严酷的太空环境中表现更稳定。无人机领域，无人机仅需 1 分钟就能充满电，金刚石吸收产生高密度激光束，解决续航问题。基于独特物理特性，钻石还在量子计算、核处理等方面打开应用潜力。

● 产业化开启“从 0 到 1”阶段，国内培育钻石产业链大放异彩

钻石散热产业链开启“从 0 到 1”临界点，全球各项应用加速落地。美国 Akash Systems 公司获得美国芯片法案支持，体现了对钻石散热前景的充分认可；英伟达率先采用钻石散热 GPU 实验，性能是普通芯片的三倍；华为接连公布钻石散热专利，坚定入局，未来有望在高性能计算、5G 通信、人工智能等领域广泛应用；国内公司化合物积电已具备较为完整的金刚石半导体材料解决方案，并实现规模化生产（未上市，光莆股份有持股）。我们测算钻石散热市场规模有望由 2025 年 0.5 亿美元（渗透率不足 0.1%）增长至 152 亿美元（渗透率约 10%），复合增速 214%，市场前景可观。我国人造钻石产业链具备绝对成本优势，人造金刚石产量占全球总产量的 90% 以上。国内培育钻石企业积极布局“钻石散热”技术，并在半导体衬底、热沉等方面取得突破。2024 年 8 月，商务部、海关总署开始对人造金刚石设备和技术进行出口管制。

● 投资建议

我们认为，钻石散热作为下一代散热技术，在 AI 时代具备划时代意义和产业化潜力。我国具备完整的产业链，同时对上游材料进行出口限制，产业化正处于“从 0 到 1”阶段，开发进度毫不逊于海外。在全球高算力时代，我国有望站在科技制高点。受益标的：力量钻石、沃尔德、国机精工、黄河旋风、四方达、中兵红箭、惠丰钻石、光莆股份。

● 风险提示：钻石散热产业化不及预期；供应链发展不及预期。

目 录

1、 钻石：“终极”半导体材料，“六边形战士”.....	5
1.1、 散热革命成为 AI、HPC 时代的最大挑战.....	5
1.2、 钻石：“终极”半导体材料，“六边形战士”	8
2、 钻石散热：高算力时代的“终极”方案，打开 AI 潜力的钥匙.....	11
2.1、 AI、HPC：钻石芯片性能提升三倍，温度降低 60%	11
2.2、 电动汽车：钻石纳米膜，将电动汽车充电速度提升五倍.....	13
2.3、 太空卫星：增强通讯速度，数据速率提高 5-10 倍	15
2.4、 无人机：解决无人机续航问题，无需大电池也能飞行.....	15
2.5、 量子计算、核处理等领域应用潜力突出.....	16
3、 产业化进入“从 0 到 1”阶段，培育钻石产业链大放异彩.....	17
3.1、 全球加速钻石散热应用落地，产业化进入“从 0 到 1”阶段.....	17
3.1.1、 钻石散热产业化曾受到技术、成本双重挑战.....	17
3.1.2、 应用落地加速，获美国芯片法案支持，华为坚定入局.....	18
3.1.3、 化合积电：钻石散热已实现规模化生产，产业化进入“从 0 到 1”阶段.....	20
3.2、 我们测算未来钻石散热市场空间约 152 亿美元，开启新一代散热革命.....	22
3.3、 培育钻石产业链有望大放异彩	32
3.3.1、 中国人造钻石产能全球第一，极致成本优势助力金刚石散热产业化.....	32
3.3.2、 国内培育钻石企业积极布局“钻石散热”技术，并取得突破.....	35
3.4、 人造金刚石设备和技术已开始出口管制.....	36
4、 投资建议.....	37
5、 风险提示.....	38

图表目录

图 1: NVIDIA GPU 架构演进: 纳米制程进步、TDP 持续上升	5
图 2: 四大芯片制造厂趋势: 芯片尺寸微缩、集成度提升	5
图 3: 芯片功率图和相应芯片温度图上的热点 (红色区域代表最高温度点)	6
图 4: 超过 55%设备故障与过热直接相关	6
图 5: 70°C 以上时芯片寿命会随温度的升高迅速下滑	6
图 6: NVIDIA Blackwell 架构 GPU 采用 4nm 工艺, 拥有 2080 亿个晶体管	7
图 7: 高功耗芯片 TIM 散热路径示意图	7
图 8: 金刚石切片上演“徒手切冰块”(图中分别为铁、玻璃、金刚石的热传导)	9
图 9: 金刚石禁带宽度、电子和空穴迁移率综合表现突出 (圆的面积与材料的热导率成比例)	9
图 10: 金刚石为半导体材料领域“六边形战士”, 被视为“终极半导体”	10
图 11: 金刚石热导率高达 1000-2000W/m.K	10
图 12: SCD、PCD 作为衬底材料热导率优势明显	10
图 13: 金刚石作为半导体衬底具有优异的散热性	11
图 14: 相较于 GaN-on-Sic, 采用 GaN-on-Diamond 制程的晶体管温度降低了 30 多度	11
图 15: 带金刚石 VS 不带金刚石 GPU 性能实测对比	12
图 16: 钻石散热将 GPU 计算提升 2-4 倍, 温度降低 60%	12
图 17: 钻石散热将 AI 计算性能提升 2-3 倍, 芯片温度降低 55%	12
图 18: 英伟达率先采用钻石散热 GPU 测试实验, 性能是普通芯片的三倍	13
图 19: 独立式多晶金刚石纳米膜可将电动汽车充电速度提升 5 倍	13
图 20: DF 研发的新型 Perseus 逆变器比 Tesla 电源逆变器更为小巧	14
图 21: 丰田旗下公司联手 Orbray 开发钻石功率半导体, 专为电动车需求而设计	14
图 22: 日本佐贺大学将金刚石半导体应用于太空通信的微波传输半导体	15
图 23: LakeDiamond 开发的人造钻石具有良好的一致性和平行性, 可以延伸数百米	16
图 24: 金刚石的氮-空位 (NV) 色心, 成为量子比特的理想载体	17
图 25: 2023 年 10 月, DF 公司成功制造出了世界上第一块单晶钻石晶圆	19
图 26: 2023 年 10 月, 华为申请公布金刚石三维集成芯片专利	20
图 27: 2024 年 12 月, 华为申请公布使用金刚石散热层的半导体器件专利	20
图 28: 化合积电专注于金刚石半导体材料解决方案	21
图 29: 化合积电主要产品包括金刚石热沉片、金刚石晶圆及金刚石窗口片等, 产品已较为成熟	22
图 30: 2023 年全球数据中心 343 万座	22
图 31: 2023 年全球数据中心建造规模 2599.7 亿美元	22
图 32: 新建数据中心成本结构中, 热管理占 15%-20% (2024 年)	23
图 33: 2022 年数据中心耗能分布中, 散热占到 43%	23
图 34: 2024 年全球数据中心热管理市场规模为 165.5 亿美元	24
图 35: 数据中心散热主要以液冷及传统风冷为主, 2024 年液冷渗透率约 17%	24
图 36: 2024 年新能源汽车销量有望突破 1600 万台, 渗透率达 19%	25
图 37: 2023 年全球智能手机出货量 11.7 亿台	27
图 38: 2023 年全球平板电脑出货量 1.3 亿台	27
图 39: 2023 年全球电脑出货量 2.5 亿台	27
图 40: 2024 年全球卫星通信设备市场规模为 379.4 亿美元	28
图 41: 2024 年全球无人机动力系统市场规模 61.7 亿美元	29
图 42: 特斯拉人形机器人全景图	30
图 43: 2020 年我国人造金刚石产量超 200 亿克拉	33

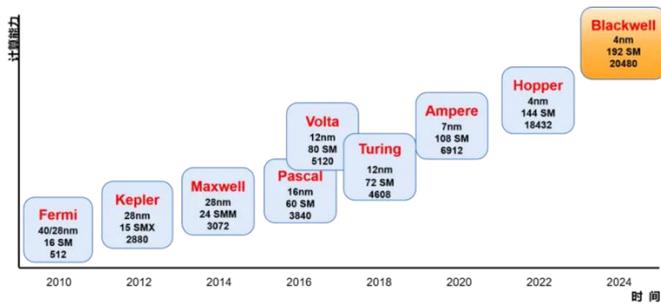
图 44: 2020 年全球金刚石单晶产量市占率中, 中国占 90%以上	33
图 45: 2019 年美国进口金刚石中, 81%来自中国 (单位: 百万克拉)	33
图 46: 2019 年日本进口金刚石中, 55%来自中国 (单位: 百万克拉)	33
图 47: 国内培育钻石产业链及生产商	34
图 48: 2022 年中国培育钻石主要生产企业产能规划 (单位: 万克拉)	35
表 1: 四代半导体材料发展演变之路	8
表 2: 用于芯片的金刚石需要在电子级以上	18
表 3: 金刚石芯片掺杂分别 P 型和 N 型	18
表 4: 数据中心钻石散热: 我们预计 2030 年当渗透率达到 12%时, 市场规模为 48 亿美元	24
表 5: 新能源汽车热管理系统核心产品价值量从 2230 元提升至 6410 元左右	26
表 6: 新能源汽车钻石散热: 我们预计 2030 年当渗透率达到 10%时, 市场规模为 52 亿美元	26
表 7: 消费电子钻石散热: 我们预计 2030 年当渗透率达到 10%时, 市场规模为 38 亿美元	27
表 8: 卫星通信钻石散热: 我们预计 2030 年当渗透率达到 10%时, 市场规模为 11 亿美元	29
表 9: 无人机钻石散热: 我们预计 2030 年当渗透率达到 10%时, 市场规模 2.6 亿美元	30
表 10: 人形机器人钻石散热: 我们预计 2030 年当渗透率达到 10%时, 市场规模为 1 亿美元	31
表 11: 我们测算 2025 年钻石散热市场规模 0.5 亿美元, 2030 年增长至 152.4 亿美元, 复合增速 214%	32
表 12: 按照 5%/10.6%/15%渗透率测算, 钻石散热市场空间分别 72/152/217 亿美元	32
表 13: 2022 年中国培育钻石重点在建项目	35
表 14: 培育钻石企业纷纷布局“钻石散热”技术	36
表 15: 国内钻石散热产业链相关上市公司	37
表 16: 盈利预测估值表	38

1、钻石：“终极”半导体材料，“六边形战士

1.1、散热革命成为 AI、HPC 时代的最大挑战

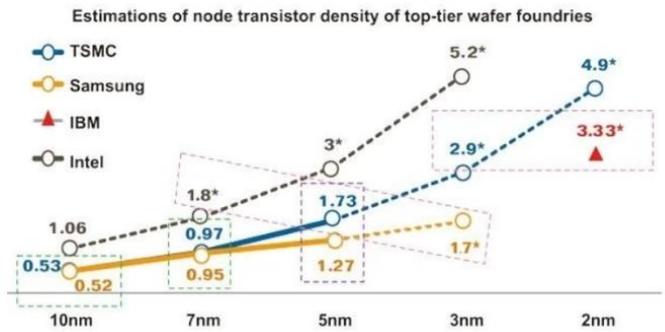
散热革命已成为 AI、HPC 时代的最大挑战。电流通过导体时会生成焦耳热，芯片在运行过程中不可避免地产生大量热量，若无法及时散发，芯片温度将急剧上升，进而影响其性能和可靠性。热流密度（热通量）指的是每单位面积传递的热量，随着半导体产业遵循着摩尔定律逐步迈向 2 纳米、1 纳米甚至是埃米（Angstrom, 1 埃=十亿分之一米）级别迈进，尺寸不断缩小，功率不断增大，带来了前所未有的热管理挑战。同时，云计算、加密计算和人工智能等需求的增长，芯片的 TDP（热设计功耗）持续上升，2023 年已出现接近 1000W 的高功率芯片，未来的芯片热流密度可能达到 1000W/cm²，热流密度越来越高，摩尔定律受到散热挑战。

图1: NVIDIA GPU 架构演进：纳米制程进步、TDP 持续上升



资料来源：英伟达

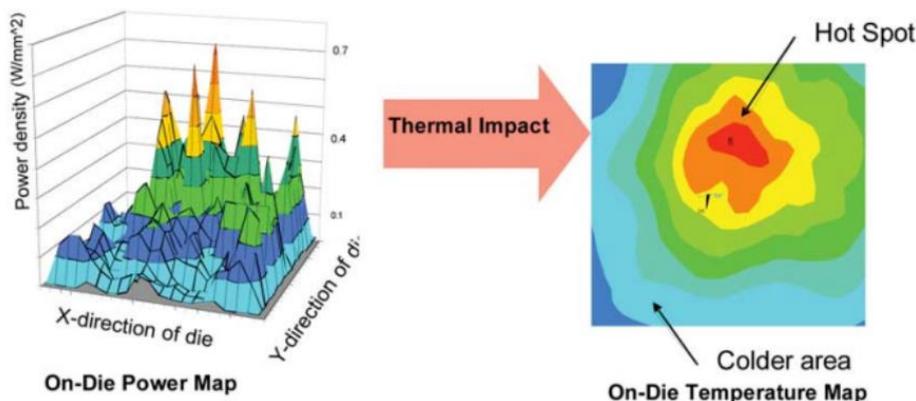
图2: 四大芯片制造厂趋势：芯片尺寸微缩、集成度提升



资料来源：Digitimes

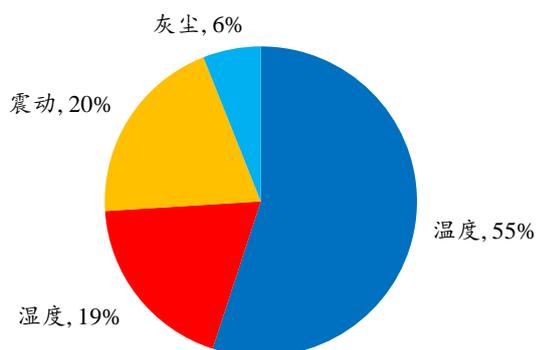
芯片内部热量无法有效散发时，局部区域会形成“热点”，导致性能下降、硬件损坏及成本激增。(1) 性能下降：据《Cabontech Magazine》，当电子设备温度过高时，工作性能会大幅度衰减，当芯片表面温度达到 70-80°C 时，温度每增加 1°C，芯片的可靠性就会下降 10%。AI 硬件的高功率需求下，过热限制了硬件性能的发挥，阻碍了芯片的理论性能实现。(2) 设备失效：芯片温度每升高 10°C，其运行寿命减半，超过 55% 的设备故障与过热直接相关。(3) 成本激增：企业每年需投入数亿美元在散热系统上，包括大量消耗能源和资源的冷却系统（如液冷、风冷等），不仅增加了运营成本，也加剧了能源消耗；(4) 安全隐患：极端情况下，温度过高可能引发火灾等严重事故，给设备和人员安全带来威胁。

图3：芯片功率图和相应芯片温度图上的热点（红色区域代表最高温度点）



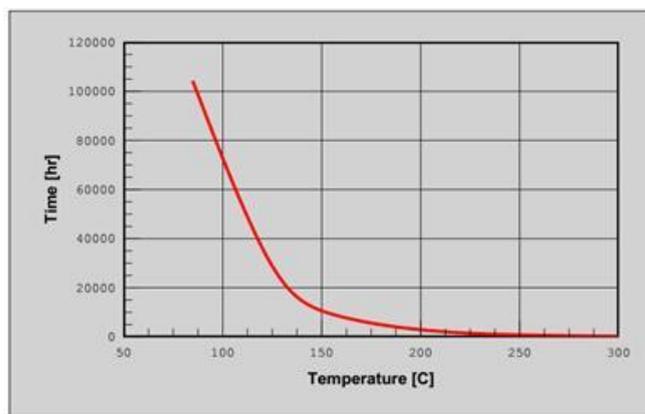
资料来源：《Recent Advances in Thermal Modeling of Micro-Evaporators for Cooling of Microprocessors》

图4：超过 55%设备故障与过热直接相关



数据来源：DT 新材料、开源证券研究所

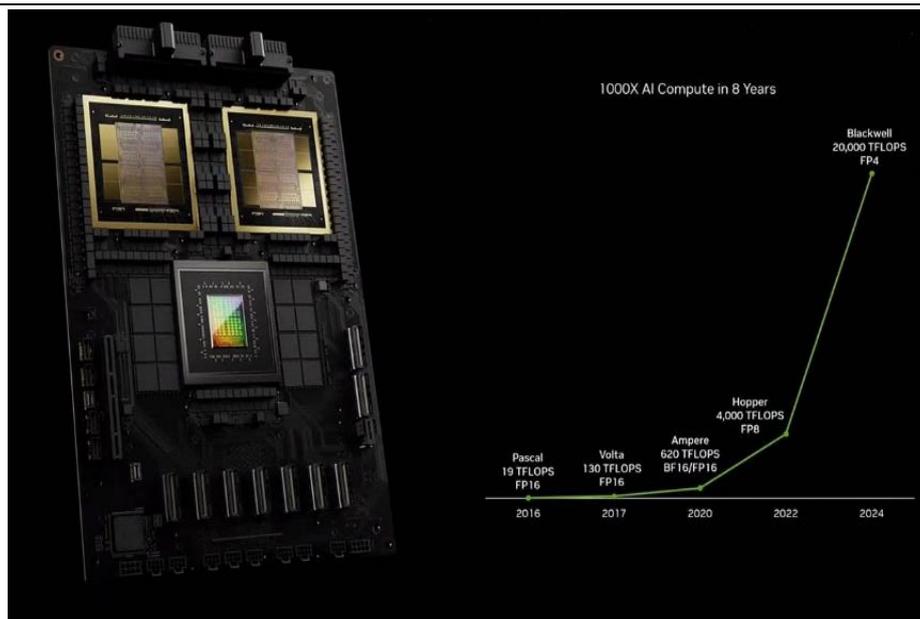
图5：70°C以上时芯片寿命会随温度的升高迅速下滑



资料来源：热设计网

英伟达 Blackwell 处理器面临的热挑战。2024 年 11 月 18 日,《The Information》报道称,英伟达新一代 Blackwell 处理器在高容量服务器机架中存在严重的过热问题,导致设计调整和项目延期,引发了谷歌、Meta 和微软等主要客户的担忧。Blackwell GPU 专为人工智能 (AI) 和高性能计算 (HPC) 设计,配备 72 颗处理器的服务器中,过热限制了性能,并可能损坏硬件。每个机架的功耗高达 120 千瓦,给散热带来了巨大挑战,迫使英伟达多次重新评估服务器机架设计,以确保 GPU 性能和组件的稳定性。除了 GPU 和服务器机架的过热问题,英伟达还曾遇到 HBM 内存的过热问题。三星的 HBM3 和 HBM3E 内存面临过热和功耗问题,未能通过英伟达的测试,过热问题直到几个月后才解决。

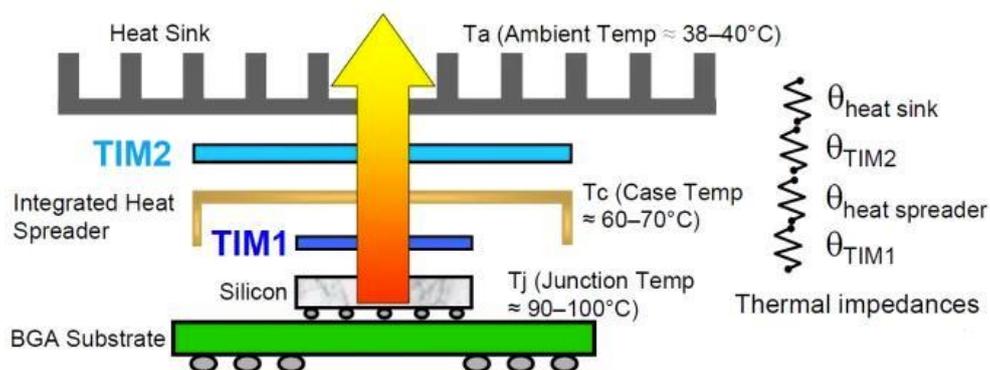
图6: NVIDIA Blackwell 架构 GPU 采用 4nm 工艺, 拥有 2080 亿个晶体管



资料来源: 英伟达

发展新一代散热材料, 减少散热风险、解决全生命周期散热成本, 成为未来关键突破点。现有的散热材料、导热界面材料 (TIM)、热管和均热板等具有一定的导热性能, 但其热导率仍难以满足高功率器件的需求。发展新散热材料迫在眉睫, 让芯片运行效率更快而没有过热的风险, 并减少全生命周期的散热成本, 已成为解决高算力设备散热问题的关键。

图7: 高功耗芯片 TIM 散热路径示意图



资料来源: 半导体行业观察

1.2、钻石：“终极”半导体材料，“六边形战士”

半导体材料发展演变之路：从“沙子”到“钻石”。自 20 世纪 50 年代以来，半导体行业经历了多个技术阶段，从第一代半导体材料硅（Si），逐步向第三代半导体金刚石（又称“第四代半导体”）、碳化硅（SiC）及氮化镓（GaN）等演化。

第一代半导体材料（1950s-至今）：自 1959 年硅晶片问世以来，硅和锗（Ge）成为了半导体材料的主力，广泛应用于集成电路和电子器件中。尽管硅材料为半导体技术的发展做出了巨大贡献，但其物理特性（如较低的带隙）限制了其在高频和高功率领域的应用。

第二代半导体材料（20 世纪末）：随着技术需求的升级，第二代半导体材料开始出现，代表材料包括砷化镓（GaAs）和磷化铟（InP）。这些材料具备较高的电子迁移率和更宽的带隙，使得其在高频、高速和光电应用中具有优势。然而，GaAs 和 InP 的高成本和毒性问题限制了它们的广泛应用。

第三代半导体材料（21 世纪初至今）：进入 21 世纪后，半导体行业的研究焦点逐渐转向了第三代宽禁带半导体材料，这些材料具有更宽的带隙、更高的热导率和更强的抗电压击穿能力，以金刚石、碳化硅（SiC）、氮化镓（GaN）等为主第三代半导体材料成为热点。

尽管部分分类中金刚石属于第三代半导体，但拥有比第三代半导体材料更卓越的特性，包括更宽的禁带宽度（5.5 eV）以及更卓越的电学和热学性能，因此又被视为“第四代半导体”、“超宽禁带半导体”或“终极半导体材料”。

表1：四代半导体材料发展演变之路

材料	第一代		第二代		第三代			
	Si	Ge	GaAs	InP	GaN	4H-SiC	AlN	金刚石
禁带宽度 (eV)	1.12	0.67	1.43	1.35	3.37	3.26	6.2	5.5
击穿场强 (MV/cm)	0.3	0.1	0.4	0.5	5	3	14	10
电子迁移率 (cm ² /Vs)	1350	3900	8500	4600	1250	800	300	3800
空穴迁移率 (cm ² /Vs)	480	1900	400	150	<200	115	14	4500
热导率 (W/cm*K)	1.3	0.58	0.55	0.7	2	4.9	2.85	22
饱和电子漂移速率 (10 ⁷ cm/s)	1	/	2	1	2.2	2.5	1.4	1.5~2.7

数据来源：DT 新材料、开源证券研究所

金刚石作为一种超宽禁带半导体，基于优异的导热性、载流子迁移率、击穿电场强度等关键特性，被视为半导体材料“六边形战士”及“终极半导体”。

1. 导热性: 金刚石的热导率是已知最高的材料之一, 达到 2000 W/m·K, 是硅(Si)、碳化硅(SiC)和砷化镓(GaAs)的 13 倍、4 倍和 43 倍, 铜和银 4-5 倍。在热导率要求为 10~200 W/(m·K)之间时, 金刚石是唯一可选的热沉材料。作为芯片基板时, 金刚石也能更有效地将热量从处理器中带走, 让器件拥有更高的性能, 并实现轻量化和小型化。

2. 禁带宽度与击穿电场: 金刚石的禁带宽度达到 5.47 eV, 其击穿电场强度为 10^9 V/m, 是砷化镓的 17 倍、氮化镓的 2 倍、碳化硅的 2.5 倍。宽禁带特性使金刚石在高温、高压、高频等极端环境下具有优异的耐电强度, 能够承受更高的电压, 广泛应用于高压电力设备、射频器件等高性能领域。

3. 载流子迁移率: 金刚石具有极高的载流子迁移率, 电子迁移率为 4500 $\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$, 空穴迁移率为 3800 $\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$, 显著优于硅、砷化镓和氮化镓等常见半导体材料。其强大的共价键和稳定的晶格结构, 使电子在金刚石中能够以极高的速度运动, 大幅降低电阻和损耗, 提升高频电子器件的性能, 适用于高频通信、雷达系统等需要高速信号处理的应用。

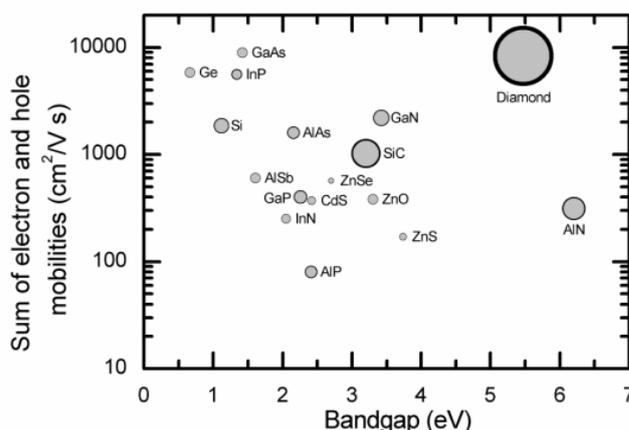
4. 绝缘性: 金刚石具有宽广的能带间隙, 具备出色的绝缘性能, 能够有效防止电子跃迁, 保证设备在高压、高温等极端环境下的稳定工作。作为一种优秀的绝缘体, 金刚石能够使器件在较低温度下以更高功率运行, 实现了更高的热效率, 成为理想的高效半导体材料。

图8: 金刚石切片上演“徒手切冰块”(图中分别为铁、玻璃、金刚石的热传导)



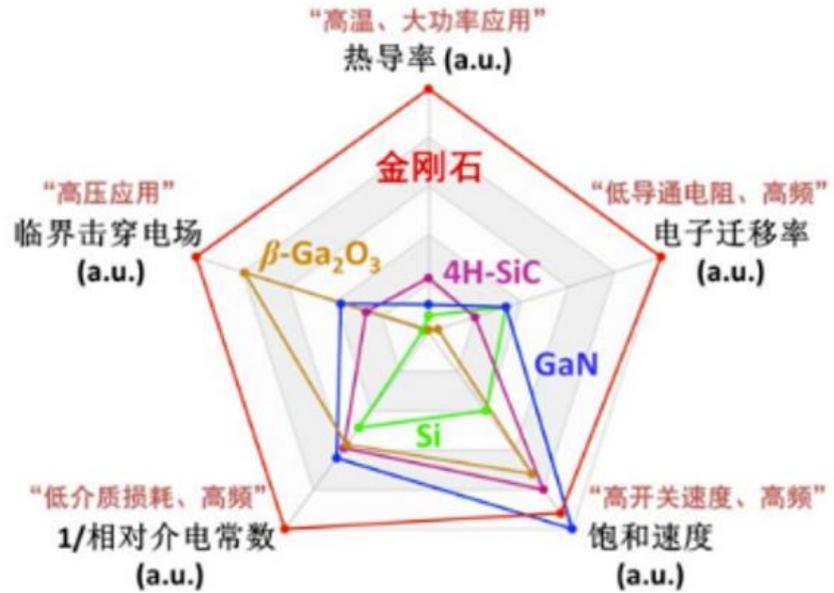
资料来源: 日本 NIMS 材料科学研究所

图9: 金刚石禁带宽度、电子和空穴迁移率综合表现突出(圆的面积与材料的热导率成比例)



资料来源: Balmer, R.S., et al.《Chemical Vapour Deposition Synthetic Diamond: Materials, Technology and Applications》

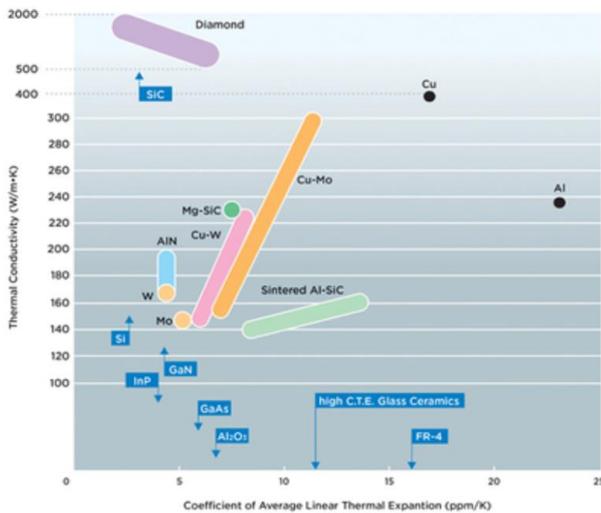
图10: 金刚石为半导体材料领域“六边形战士”，被视为“终极半导体”



资料来源：化合积电

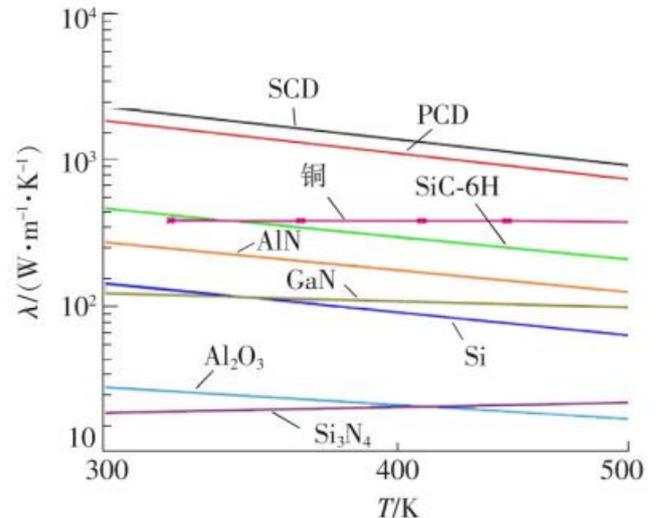
相较于第三代半导体，单晶金刚石（SCD）和多晶金刚石（PCD）材料优势更为显著。金刚石衬底能够有效解决 GaN 功率器件面临的散热难题，从而在相同尺寸下，制造出具有更高功率密度的 GaN 基功率器件，显著提升器件的性能和稳定性。与硅（Si）相比，金刚石芯片可以使转换器轻 5 倍，体积更小；与碳化硅（SiC）相比：成本可以便宜 30%，所需的材料面积仅为 SiC 芯片的 1/50，减少 3 倍的能量损耗，并将芯片体积缩小 4 倍，从而大幅降低能耗。在注重系统体积和重量时，通过提升开关频率，金刚石器件能够使无源元件的体积减少 4 倍，同时配合更小的散热器。

图11: 金刚石热导率高达 1000-2000W/m.K



资料来源：化合积电

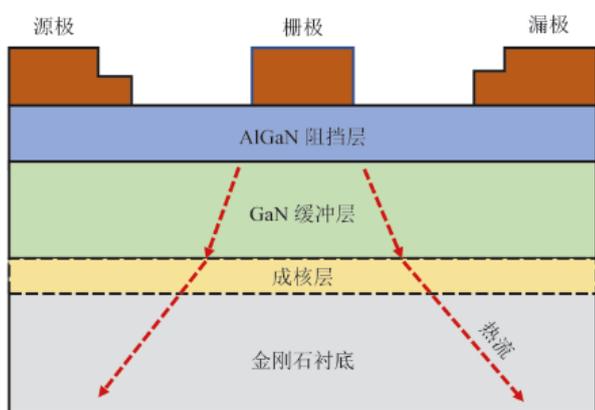
图12: SCD、PCD 作为衬底材料热导率优势明显



资料来源：DT 新材料

金刚石作为散热材料主要有三种方式：作为金刚石衬底、作为热沉片、以及通过在金刚石结构中引入微通道散热。随着芯片集成度的提高和封装空间的紧缩，金刚石基板凭借其卓越的导热性能、高硬度和强度，能够在有限空间内为芯片提供支撑和保护，同时通过其低热膨胀系数，确保高密度组装环境下芯片之间的连接稳定性不受温度波动影响。相比传统 SiC 衬底，金刚石基板将器件热阻降低至 4.1 K·mm/W，在 2W 功率下可使芯片温度下降 10°C，为芯片构建了高效稳定的散热基础。Akash Systems 推出的 GaN-on-diamond 射频功率放大器，相较于 GaN-on-Sic，采用 GaN-on-diamond 制程的晶体管温度降低了 30 多度。

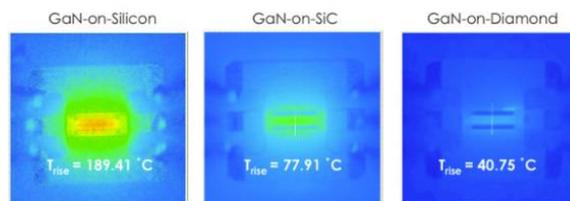
图13：金刚石作为半导体衬底具有优异的散热性



金刚石衬底 GaN-HEMT 器件热传输示意图

资料来源：化合积电

图14：相较于 GaN-on-Sic，采用 GaN-on-Diamond 制程的晶体管温度降低了 30 多度



不同衬底上运行的GaN晶体管耗散相同功率的红外图像

资料来源：Akash Systems

2、 钻石散热：高算力时代的“终极”方案，打开 AI 潜力的钥匙

钻石基于独特电学和热导的优势，散热前景非常广阔。钻石散热方案有望在高效能电子产品、量子计算中发挥重要作用，未来每台电脑、汽车和手机都有望装上钻石。

2.1、 AI、 HPC： 钻石芯片性能提升三倍， 温度降低 60%

钻石散热技术可让 GPU 计算能力提升三倍，温度降低 60%。随着芯片性能的提升，功率增加导致的积热问题成为制约 CPU、GPU 性能的瓶颈，钻石冷却技术被视为有效的解决方案。钻石基板具有超高的热导性，可以大幅提升芯片散热效果。根据 DF 公司描述，钻石晶圆通过在芯片内提供超高速的热量通道，有助于将热量更快速地从活跃硅层传递到铜层，提升人工智能和云计算领域的芯片速度 3 倍。Akash Systems 提出的“钻石冷却 GPU”技术可以有效降低 GPU 热点温度 10-20 摄氏度，

风扇速度减少 50%，超频能力提升 25%，并延长服务器寿命一倍，预计可为数据中心节省数百万美元的冷却成本，同时温度降低高达 60%，能耗降低 40%。

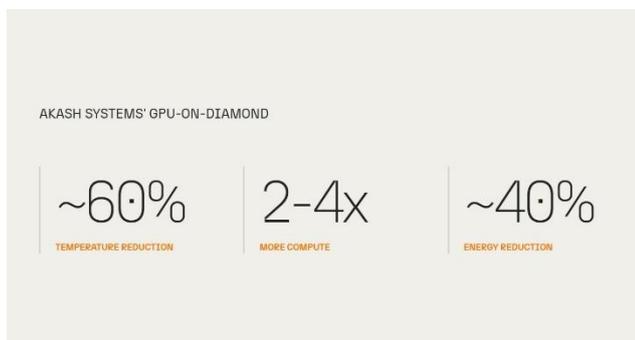
图15：带金刚石 VS 不带金刚石 GPU 性能实测对比



资料来源：Akash Systems

图16：钻石散热将 GPU 计算提升 2-4 倍，温度降低 60%

图17：钻石散热将 AI 计算性能提升 2-3 倍，芯片温度降低 55%



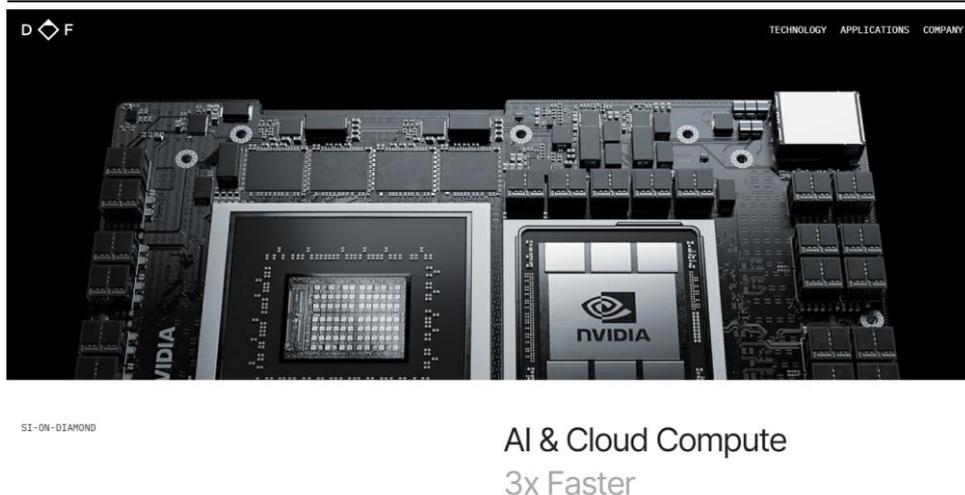
资料来源：Akash Systems



资料来源：Akash Systems

英伟达率先采用钻石散热 GPU 进行测试实验，性能是普通芯片的三倍。据 Diamond Foundry 官网，图中显示英伟达钻石散热 GPU，可使 AI 及云计算性能提升三倍。据报道，英伟达率先在未发布的高端 GPU 进行采用金刚石散热方案的测试实验，其性能是基于标准制造材料的普通芯片的三倍。

图18: 英伟达率先采用钻石散热 GPU 测试实验, 性能是普通芯片的三倍

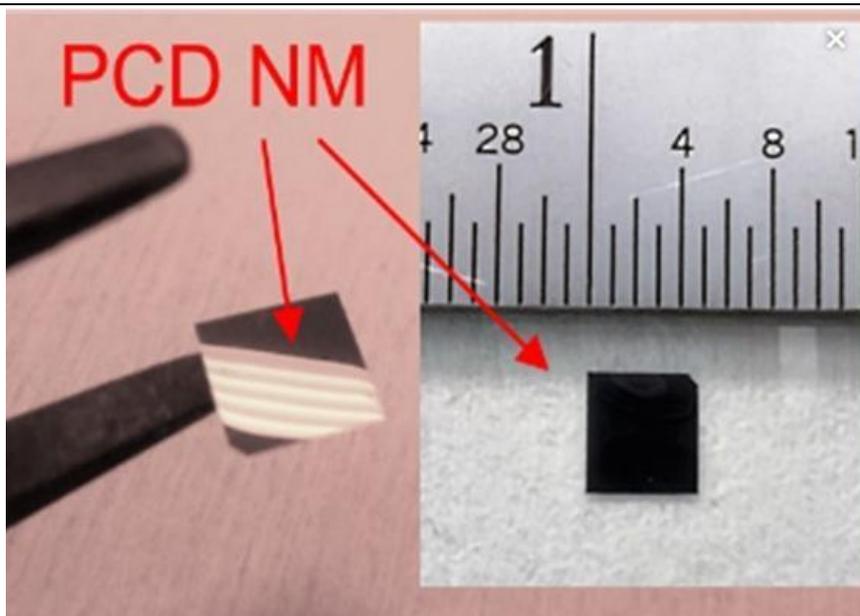


资料来源: Diamond Foundry

2.2、电动汽车: 钻石纳米膜, 将电动汽车充电速度提升五倍

超薄钻石纳米膜助力电动汽车充电速度提升 5 倍, 热负荷降低 10 倍。2024 年 3 月, 弗劳恩霍夫研究所的工程师开发了一种超薄钻石纳米膜, 用于冷却电子元件, 从而显著提升电动汽车的充电速度。钻石因其卓越的导热性和电绝缘性, 可以替代传统散热器中的中间层。该钻石纳米膜仅 1 微米厚, 能够轻松粘合到电子元件上。研究人员估计, 钻石纳米膜可以将电子元件的热负荷降低 10 倍, 这当然会提高这些元件和整个设备的能源效率和使用寿命。研究小组表示, 如果将这种薄膜整合到充电系统中, 可以将电动汽车的充电速度提高五倍。由于金刚石纳米膜可以在硅晶片上制造, 因此其生产过程具有较强的规模化潜力, 适合工业应用。该团队已为该技术申请了专利, 并计划未来在电动汽车和电信领域的逆变器及变压器上进行测试。

图19: 独立式多晶金刚石纳米膜可将电动汽车充电速度提升 5 倍



资料来源: 弗劳恩霍夫协会

基于钻石技术的逆变器体积小六倍，性能更卓越。在电动汽车领域，逆变器是关键组件之一。目前，特斯拉的 Model 3 逆变器被认为是业界最小型的逆变器。然而，基于钻石晶圆的卓越导热性和电绝缘性，创新的逆变器架构能够显著提升小型化、效率和稳定性。据 DF 公司称，他们所开发的新型逆变器比特斯拉 Model 3 的逆变器小了六倍，同时在性能和效率上也有所超越。DF Perseus 原型的第一批样品已在主要汽车 OEM 实验室中成功测试。

图20: DF 研发的新型 Perseus 逆变器比 Tesla 电源逆变器更为小巧

The next-level miniaturization in power electronics



Tesla Power Inverter

POWER (KW): 250
SIC CHIPS: 96
VOLUME (L): 28
DENSITY (KW/L): 9



DF Perseus Power Inverter

POWER (KW): 250
SIC CHIPS: 18
VOLUME (L): 0.46
DENSITY (KW/L): 500

资料来源: Diamond Foundry

Orbray 与丰田旗下车载半导体研发企业 Mirise Technologies 签订协议，共同研发钻石功率半导体。日本 Orbray 宣布与丰田旗下的 Mirise Technologies 签订三年合作协议，共同研发基于金刚石的功率半导体，专为电动车需求而设计。根据协议，Orbray 将负责开发 P 型导电性金刚石晶圆基板，而 Mirise 将专注于功率元件中的持续耐电压结构。作为合作的一部分，Orbray 将投资 100 亿日元（约 5 亿元人民币）建设新的工厂，生产金刚石晶圆基板等电动汽车零部件。此外，Diamfab 公司也致力于推广金刚石在电动汽车中的应用，近期为电动汽车研发了全金刚石电容器，并预计在未来十年所有电动汽车都会出现钻石。

图21: 丰田旗下公司联手 Orbray 开发钻石功率半导体，专为电动车需求而设计

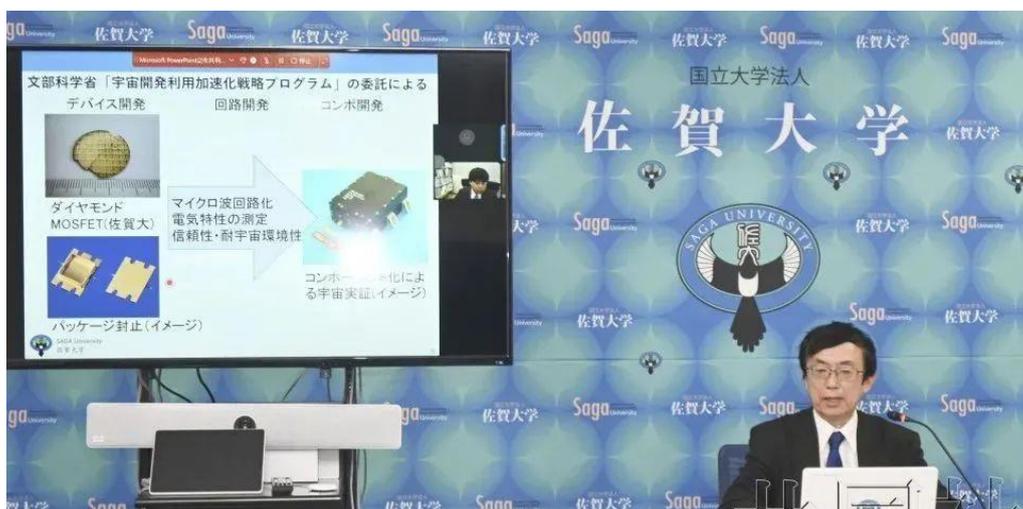


资料来源: Orbray

2.3、太空卫星：增强通讯速度，数据速率提高 5-10 倍

钻石冷却增强太空卫星通讯速度，数据速率提高 5-10 倍。Akash Systems 通过钻石冷却卫星无线电彻底改变了卫星通信技术，在卫星无线电和功率放大器的生产中发挥关键作用，带来以下优势：数据速率提升 5 到 10 倍，显著增强卫星通信速度；可靠性提升，可在严酷的太空环境中保持稳定表现；尺寸减小 50%，降低了成本并提升了部署的灵活性。印度太空科技初创公司 Pixxel 的联合创始人兼 CEO Awais Ahmed 称，将 Akash 的 GaN-on-Diamond 无线电集成到自家卫星中是一次革命性进展，金刚石冷却技术能够确保即使在恶劣的太空条件下，卫星有效载荷也能保持最佳性能。这一技术突破有望提供前所未有的高分辨率、高光谱图像。此外，日本佐贺大学于 2023 年 12 月宣布，将金刚石半导体技术应用于太空通信的微波传输领域，进一步推动了这一技术在航天领域的应用。

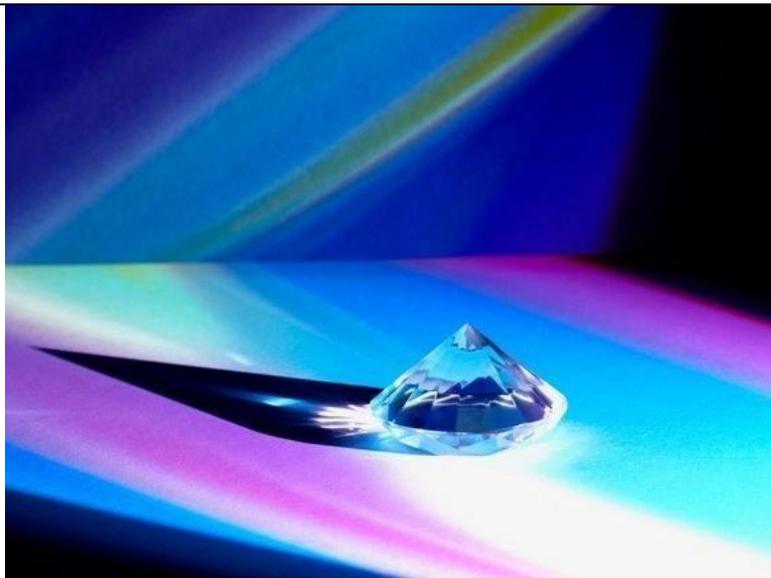
图22：日本佐贺大学将金刚石半导体应用于太空通信的微波传输半导体



资料来源：DT 新材料

2.4、无人机：解决无人机续航问题，无需大电池也能飞行

人造钻石解决无人机续航问题，无需大电池也能飞行。2018 年 11 月，瑞士公司 LakeDiamond 利用自制的人造钻石和激光发生器相结合，成功实现了无人机的远程无线充电。通过激光激发钻石，产生的光束能够在远距离内保持高质量的照射效果。该技术使得电源地面供电网络增强，避免了无人机携带大电池所带来的能量浪费，从而实现更远的飞行距离。如果激光充电技术按此效果运行，无人机将在不依赖重型电池的情况下飞行数百英里。LakeDiamond 表示，一架手掌大小、耗电 2 到 3 瓦、飞行时间为 30 分钟的无人机，仅需 1 分钟就能充满电。

图23: LakeDiamond 开发的人造钻石具有良好的一致性和平行性,可以延伸数百米


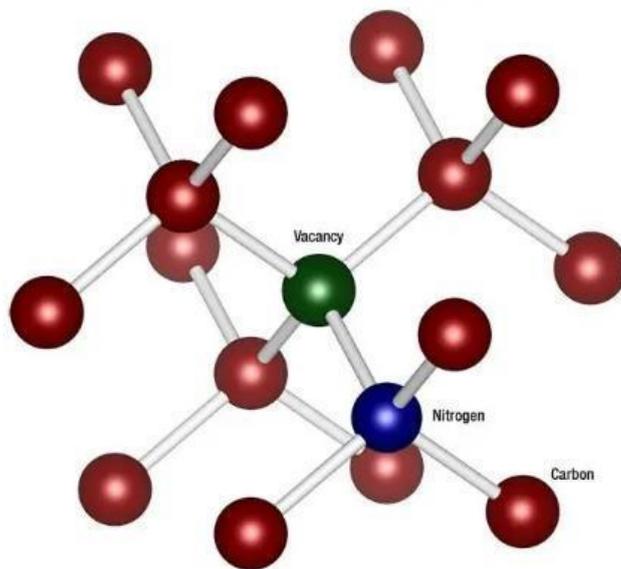
资料来源: LakeDiamond

2.5、量子计算、核处理等领域应用潜力突出

除了半导体和电动汽车外,钻石散热还在量子计算、核处理等方面打开应用潜力。

1、量子计算: 金刚石正在成为量子信息设备的核心材料。金刚石的独特物理特性,尤其是其氮-空位(NV)色心,使其成为量子比特的理想载体。NV色心包含六个电子,其中两个来自氮原子,三个来自与空位相邻的碳原子,剩余的一个则是来自施主杂质的俘获电子。NV色心的电子自旋状态可以表示量子比特的0和1,具有卓越的量子相干性和稳定性。通过金刚石的特殊结构,科学家们实现了量子互联的突破,显著提高了数据传输速率和安全性。金刚石在量子计算、量子通信和量子精密测量等领域发挥关键作用。此外,印度也看到了量子计算领域的重要性,并计划投资42亿卢比建立“国家培育钻石中心”,旨在通过培育钻石的生产和设备技术开发,推动量子计算领域的研究。

图24：金刚石的氮-空位（NV）色心，成为量子比特的理想载体



资料来源：化合积电

2、核处理：金刚石具有强大抗辐射能力，助力核废料清除。由北海道大学和国立产业技术综合研究所（AIST）孵化的初创公司 Ookuma Diamond Device，正在福岛县大隈市建设一座大型量产工厂。该工厂预计将在 2026 财年（2026 年 4 月至 2027 年 3 月）投入使用，专门为福岛第一核电站的核废料清除提供设备。这些核废料源自 2011 年福岛核泄漏事故中反应堆结构和核燃料融化产生的高放射性物质，只有具有强大抗辐射能力的金刚石半导体设备才能有效处理这些危险废料。

3、产业化进入“从 0 到 1”阶段，培育钻石产业链大放异彩

3.1、全球加速钻石散热应用落地，产业化进入“从 0 到 1”阶段

3.1.1、钻石散热产业化曾受到技术、成本双重挑战

金刚石芯片产业化曾受制于技术、成本两方面的挑战：

(1) 并非所有类型的金刚石都适合用于制造芯片。金刚石分为不同的等级，如量子级、电子级、光学级、热学级和力学级，主要依据位错密度和含氮量等参数来区分。用于芯片的金刚石必须达到电子级以上的纯度要求，这对材料的选择和提纯工艺提出了较高的要求。

(2) 金刚石芯片的掺杂技术仍存在瓶颈。纯净的金刚石本身是绝缘体，必须通过掺杂来实现半导体性质。尽管 p 型掺杂技术已经相对成熟，主要采用硼（B）作为掺杂元素，但 n 型掺杂仍是难以突破的产业化难题。由于 n 型掺杂元素在金刚石中的电离能较高，且合适的施主元素尚未找到，这使得 n 型掺杂的技术进展缓慢，阻碍了金刚石芯片的进一步发展。

(3) 在成本方面，人造金刚石的价格依然高昂，成为制约金刚石芯片产业化面临的主要难题。相比之下，碳化硅（SiC）和氮化镓（GaN）的价格虽然高于硅材料，但在大规模应用中能够通过提升效率来弥补其材料成本的差距。然而，金刚石芯片的材料成本几乎是硅的 10000 倍，导致其成本高于现有的半导体材料，这使得金刚石芯片在产业应用中面临较大挑战。

表2：用于芯片的金刚石需要在电子级以上

缺陷要求	量子级	电子级	光学级	热学级	力学级
位错密度/cm ²	≤3	≤10 ³	≤10 ⁸	10 ⁸ -10 ¹¹	≥10 ⁸
含氮量	≤0.1×10 ⁻⁹	≤5×10 ⁻⁹	≤5×10 ⁻⁶	≤100×10 ⁻⁶	≥200×10 ⁻⁶

资料来源：电子工程世界、开源证券研究所

表3：金刚石芯片掺杂分别 P 型和 N 型

掺杂类型	p 型掺杂	n 型掺杂
掺杂元素现状	硼（B）等受主元素	I 族元素（Li、Na） V 族元素（N、P、As、Sb） VI 族元素（O、S、Se、Te）等施主元素
现状	在高掺杂低阻和厚层外延两方面实现了关键技术突破并趋于成熟	是金刚石半导体难题 目前掺杂浓度可达 10 ²⁰ cm ⁻³
掺杂方法	CVD 法、离子注入法	CVD 法、离子注入法

资料来源：电子工程世界、开源证券研究所

3.1.2、应用落地加速，获美国芯片法案支持，华为坚定入局

Akash Systems 已获得美国芯片法案支持，体现了对钻石散热前景的充分认可。2024 年 11 月，Akash Systems 公司与美国商务部，签署了一份不具约束力的初步条款备忘录（PMT），根据《芯片与科学法案》提供 1820 万美元的直接资助和 5000 万美元的联邦和州税收抵免。Akash Systems 钻石冷却技术将 GPU 温度降低 20 度，超频潜力提升 25%，并计划生产人造钻石晶圆。CHIPS 法案为美国半导体行业大规模投资，小公司和初创公司常不在资助名单上，体现了对钻石散热前景的充分认可。

全球首款碳-14 钻石电池有望供电数年，全球产业应用落地加速。2024 年 12 月 4 日，据英国布里斯托大学官网，该校和英国原子能管理局的研究团队研制出全球首款碳-14 钻石电池，这款电池有望为设备供电数年。碳-14 钻石电池的工作原理十分巧妙。它利用半衰期为 5700 年的碳-14 的放射性衰变，来产生低水平的能量，从钻石结构中捕获快速移动的电子。团队表示，钻石电池不仅安全可靠，而且可持续提供微瓦级电力。未来应用领域包括医疗设备（眼部植入物、助听器和起搏器等，最大限度地减少更换电池的频率）、太空和地球上的极端环境中。

图25：2023年10月，DF公司成功制造出了世界上第一块单晶钻石晶圆


资料来源：Diamond Foundry

华为接连申请公布“钻石散热”相关专利，坚定入局。2024年12月，华为申请公布使用金刚石散热层的半导体器件专利。在本申请的半导体器件中，钝化层位于第一外延层和金刚石散热层之间，钝化层朝向金刚石散热层的一侧表面设置有凹槽，该结构不仅可以增加金刚石散热层与钝化层的接触面积，从而增加金刚石散热层与钝化层之间的结合力，并且还可以减小栅极与金刚石散热层之间沿半导体器件的厚度方向的热扩散距离，大幅提高半导体器件的散热效率。2023年10月，华为与哈尔滨工业大学联合申请公布一项专利《一种基于硅和金刚石的三维集成芯片的混合键合方法》。通过采用混合键合方法，可以实现硅和金刚石的高效集成，将芯片产生的热量快速地导出，并减少热阻，从而提高芯片的散热效率，提高芯片的性能和可靠性。我们认为，华为布局钻石散热相关技术，体现了对技术产业潜力的充分认可，并有望在未来的高性能计算、5G通信、人工智能等领域有着广泛的应用。

图26：2023年10月，华为申请公布金刚石三维集成芯片专利

(19) 国家知识产权局

(12) 发明专利申请

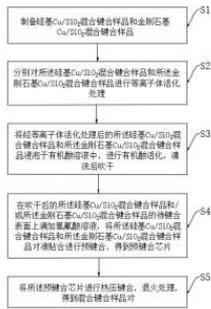
(10) 申请公布号 CN 116960057 A
(43) 申请公布日 2023.10.27

(21) 申请号 202310933530.0
(22) 申请日 2023.07.27
(71) 申请人 哈尔滨工业大学
地址 150000 黑龙江省哈尔滨市南岗区西大直街92号
申请人 华为技术有限公司
(72) 发明人 王晨曦 牛帆帆 魏潇赞 王敏才 邓抄军
(74) 专利代理机构 北京隆源天恒知识产权代理有限公司 11473
专利代理人 闵业冰
(51) Int. Cl.
H01L 21/768 (2006.01)
H01L 21/603 (2006.01)

权利要求书2页 说明书6页 附图3页

(54) 发明名称
一种基于硅和金刚石的三维集成芯片的混合键合方法

(57) 摘要
本发明涉及芯片制造技术领域，具体而言，涉及一种基于硅和金刚石的三维集成芯片的混合键合方法。该方法包括：制备硅基Cu/SiO₂混合键合样品和金刚石基Cu/SiO₂混合键合样品后进行等离子体活化处理；将经等离子体活化处理后Cu/SiO₂混合键合样品浸泡于有机酸溶液中，清洗后吹干；在吹干后的硅基和/或金刚石基Cu/SiO₂混合键合样品的待键合表面上滴加氢氟酸溶液，将硅基和金刚石基Cu/SiO₂混合键合样品对准贴合进行预键合，得到预键合芯片；将预键合芯片进行热压键合，退火处理，得到混合键合样品对。本发明实现了以Cu/SiO₂混合键合为基础的硅/金刚石三维异质集成。



资料来源：国家知识产权局

图27：2024年12月，华为申请公布使用金刚石散热层的半导体器件专利

(19) 国家知识产权局

(12) 发明专利申请

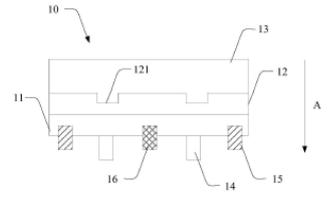
(10) 申请公布号 CN 119069436 A
(43) 申请公布日 2024.12.03

(21) 申请号 202310639233.5
(22) 申请日 2023.05.31
(71) 申请人 华为技术有限公司
地址 518129 广东省深圳市龙岗区坂田华为总部办公楼
(72) 发明人 吴的海 崔浩 王晓蔚 甄家华 苏喜林 李玉衡
(74) 专利代理机构 北京同达信恒知识产权代理有限公司 11291
专利代理人 朱琳琳
(51) Int. Cl.
H01L 23/373 (2006.01)

权利要求书2页 说明书11页 附图13页

(54) 发明名称
一种半导体器件及其制作方法、集成电路、电子设备

(57) 摘要
本申请提供一种半导体器件及其制作方法、集成电路、电子设备。半导体器件包括第一外延层、钝化层和金刚石散热层。其中，钝化层位于第一外延层和金刚石散热层之间。第一外延层背离钝化层的一侧设置有栅极。钝化层朝向金刚石散热层的一侧表面设置有凹槽。沿半导体器件的厚度方向，凹槽在第一外延层上的投影覆盖栅极的至少部分。金刚石散热层覆盖钝化层并且填充凹槽。在本申请的半导体器件中，钝化层的凹槽结构不仅可以增加金刚石散热层与钝化层的接触面积，从而增加金刚石散热层与钝化层之间的结合力，并且还可以减小栅极与金刚石散热层之间沿半导体器件的厚度方向的热扩散距离，进一步提高半导体器件的散热效率。



资料来源：国家知识产权局

3.1.3、化合积电：钻石散热已实现规模化生产，产业化进入“从0到1”阶段

化合积电：专注于金刚石半导体材料的公司。化合积电（厦门）半导体科技有限公司成立于2020年，主要产品包括多晶金刚石（晶圆级金刚石、金刚石热沉片、金刚石窗口片、金刚石基异质集成复合衬底）、单晶金刚石（热学级、光学级、电子级）、GaN on Diamond、Diamond on GaN、硅基氮化铝、蓝宝石基氮化铝、金刚石基氮化铝等，广泛应用于航空航天、电力电子、光通讯、新能源光伏、新能源汽车、传感器、AI、IGBT等领域。公司在厦门和首尔设有两大研发中心，研发基地近1000平方米，配备全球领先的设备，并与中国集美大学和韩国亚洲大学进行国际技术合作，已建立独立的知识产权体系，目前累计申请20多项专利。2024年3月，化合积电获得贺利氏集团的战略投资，用于大尺寸多晶金刚石量产线建设及新产品研发。此外，化合积电还申请了名为“金刚石/单晶硅复合立体基板、其制备方法与应用”的专利，旨在改善GPU等高发热率器件的散热性能，提升运算性能与寿命，并降低单位算力成本。目前，化合积电未上市，国内上市公司光莆股份有持股。

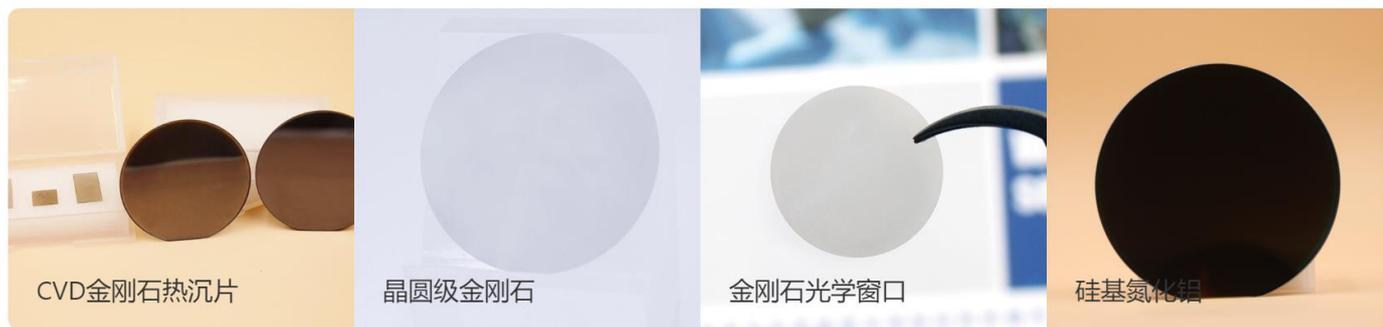
图28：化合积电专注于金刚石半导体材料解决方案



资料来源：化合积电、开源证券研究所

化合积电的金刚石等核心产品已实现批量化生产，公司在厦门建设了超过 3000 平方米的生产基地，掌握了大尺寸、低成本、高质量金刚石和氮化铝相关产品的制备与加工核心工艺，持续扩展生产规模，产能迅速提升。据公司官网，化合积电是国内首家实现 MPCVD 技术规模化量产多晶金刚石的厂家，主要生产设备包括 MPCVD、PVD、MOCVD 等。目前，公司已经拥有一系列成熟产品，如金刚石热沉片、金刚石晶圆、金刚石窗口片、金刚石异质集成复合衬底等，金刚石热沉片的热导率为 100-220W/(m)，晶圆级金刚石的表面粗糙度 Ra<1nm。这些产品已广泛应用于航空航天、高功率半导体激光器、光通信、芯片散热和核聚变等领域。我们认为，化合积电具备较为完整的金刚石半导体材料解决方案，并能够实现规模化生产和批量供应，标志着钻石散热产业链“从 0 到 1”逐步走向成熟。

图29：化合积电主要产品包括金刚石热沉片、金刚石晶圆及金刚石窗口片等，产品已较为成熟



资料来源：化合积电

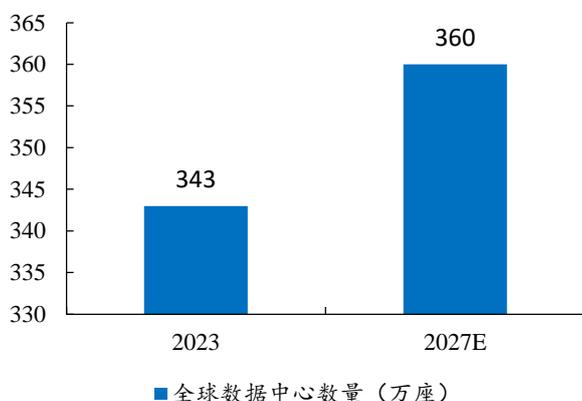
3.2、我们测算未来钻石散热市场空间约 152 亿美元，开启新一代散热革命

我们测算 2025 年钻石散热市场规模 0.5 亿美元，2030 年增长至 152.4 亿美元，复合增速 214%，主要行业包括数据中心、电动汽车、太空卫星、无人机以及未来人形机器人。此外，钻石散热在芯片基板、量子计算等领域拥有突出潜力。我们的具体测算如下：

(1) 我们预计钻石散热在数据中心市场规模由 2025 年的 0.2 亿美元（渗透率 0.1%），增长至 2030 年的 48 亿美元（渗透率 12%），年复合增速 202%。数据中心运算量大，散热需求比较靠前，我们对钻石散热在数据中心领域的市场测算分析如下：

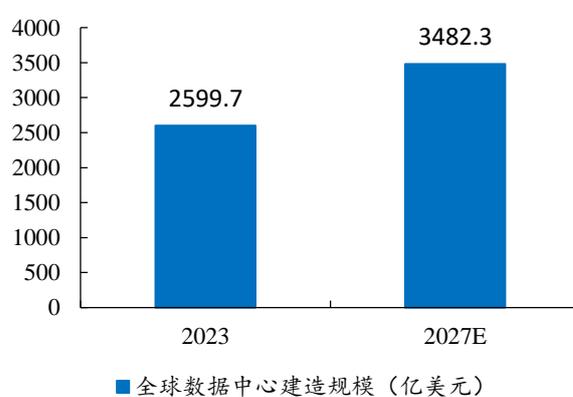
2023 年全球数据中心 343 万座，建造规模 2600 亿美元。据 Fortune Business Insights 数据,2023 年全球数据中心数量为 343 万,预计到 2027 年增长到约 360 万,2023-2027 年复合增长率约为 1.2%。从建造规模看,2023 年全球数据中心建造市场 2599.7 亿美元,预计 2028 年增长至 3482.3 亿美元,2023-2028 年复合增速为 7.6%。

图30：2023 年全球数据中心 343 万座



数据来源：Fortune Business Insights、开源证券研究所

图31：2023 年全球数据中心建造规模 2599.7 亿美元

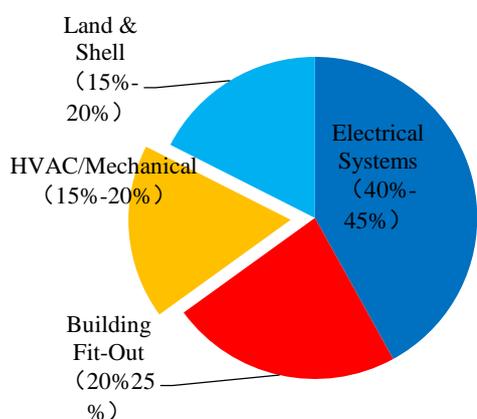


数据来源：Fortune Business Insights、开源证券研究所

在数据中心的建造成本中，冷却系统（热管理）占比 15%-20%，随着算力的发展，冷却系统的价值量还有望持续提升。温控系统的能耗占数据中心非 IT 能耗的 80%，是其运营成本中的主要组成部分。随着双碳目标的推进，PUE（电能使用效率）的要求逐步趋严。

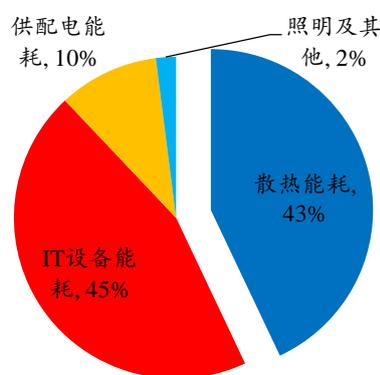
钻石散热技术有望实现 PUE 目标，Akash Systems“钻石冷却”技术提升 GPU、CPU 的计算能力 3 倍，降低温度 60%，减少能耗 40%，为数据中心节省数百万美元的冷却成本，基于性能及成本的卓越优势，渗透率有望逐步提升。

图32：新建数据中心成本结构中，热管理占 15%-20%（2024 年）



数据来源：Dgtl Infra、开源证券研究所

图33：2022 年数据中心耗能分布中，散热占到 43%

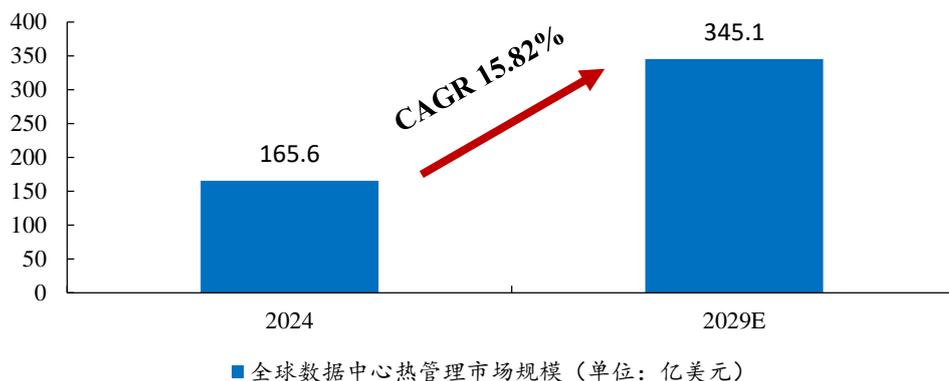


数据来源：《绿色高效数据中心散热冷却技术研究现状及发展趋势》、开源证券研究所

2024 年全球数据中心热管理市场规模 166 亿美元，液冷技术渗透率约 17%。根据 R&M 数据，2024 年全球数据中心热管理市场规模为 165.6 亿美元，到 2029 年预计将增长至 345.1 亿美元，2024-2029 年 CAGR 为 15.8%。从技术渗透率来看，Omdia 预计 2023 年数据中心风冷和液冷市场规模为 76.7 亿美元，其中液冷的渗透率约为 17%。

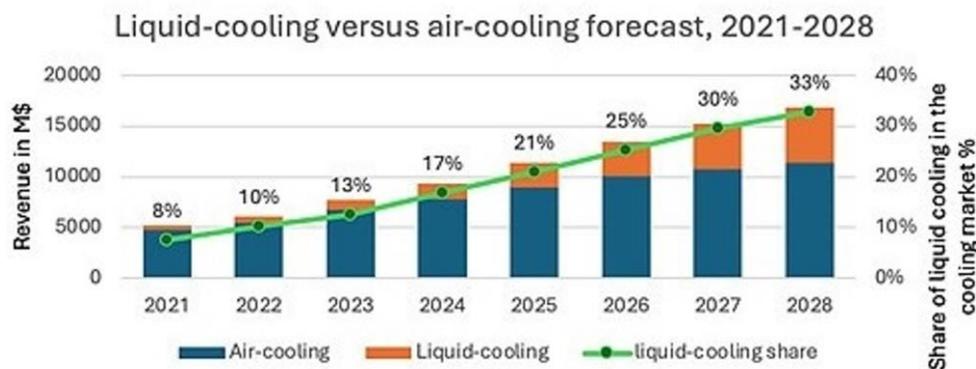
散热技术越来越贴近核心发热源，从房间级、机柜级、服务器级向芯片级演进。作为新型热管理方案，我们认为钻石散热技术能够从根本上解决热量问题，降低能耗、提升性能，并有效减少全生命周期的散热成本。与传统的液冷和风冷系统相比，钻石散热兼容两种，具有显著的优势。

图34：2024 年全球数据中心热管理市场规模为 165.5 亿美元



数据来源：R&M、开源证券研究所

图35：数据中心散热主要以液冷及传统风冷为主，2024 年液冷渗透率约 17%



数据来源：Omdia

我们预计钻石散热在数据中心市场规模由 2025 年的 0.2 亿美元(渗透率 0.1%)，增长至 2030 年的 48 亿美元(渗透率 12%)。钻石散热作为下一代散热技术，一旦成熟有望大规模铺开。根据前文对全球数据中心数量、建造规模及热管理市场规模的预计，结合我们对钻石散热在全球数据中心热管理市场渗透率，由 2025 年 0.1% 提升至 2030 年 12%，我们预计钻石散热在数据中心市场规模由 2025 年的 0.2 亿美元，增长至 2030 年的 48 亿美元。

表4：数据中心钻石散热：我们预计 2030 年当渗透率达到 12%时，市场规模为 48 亿美元

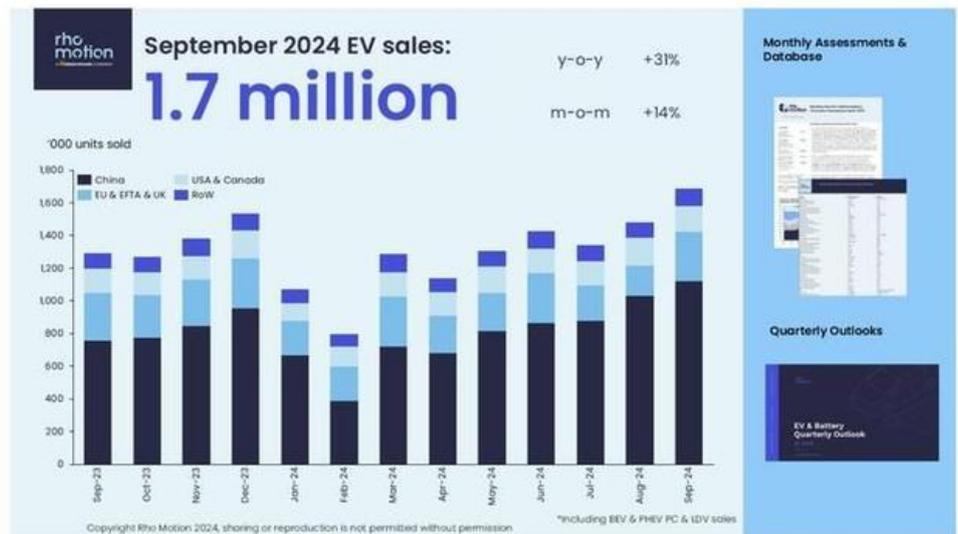
	2023	2024E	2025E	2026E	2027E	2028E	2029E	2030E
全球数据中心数量 (万座)	343	343	347	351	360	364	369	373
建造成本 (万美元)	8	8	9	9	10	10	11	12
全球数据中心建造规模 (亿美元)	2599.7	2797	3010	3239	3482	3747	4031	4338
全球数据中心热管理市场 (亿美元)	143.0	165.6	191.8	222.1	257.3	298.0	345.1	399.7
钻石散热技术渗透率			0.1%	0.5%	1.0%	3.0%	7.0%	12.0%
钻石散热在数据中心市场规模 (亿美元)			0.2	1.1	2.6	8.9	24.2	48.0

数据来源：Fortune Business Insights、R&M、开源证券研究所

(2) 新能源汽车：我们预计钻石散热在新能源市场规模由 2025 年的 0.1 亿美元(渗透率 0.05%)，增长至 2030 年的 52 亿美元(渗透率 10%)，年复合增速 241%。

钻石芯片凭借卓越的热导性，新能源汽车热管理应用前景广阔。电动汽车需要散热以有效管理电池、逆变器和功率电子器件等关键部件产生的热量，确保系统高效运行和延长使用寿命。据乘联分会，2024 年 1-10 月份世界汽车销量达到 7421 万台，新能源汽车达到 1407 万台，全年销量有望超 1600 万台，新能源车渗透率达到 19%，预计 2030 年全球新能源汽车渗透率预计达到 50% 左右。钻石芯片凭借其卓越的热导性，可广泛应用于新能源汽车的逆变器、电池管理系统 (BMS)、功率电子器件和充电系统等热管理领域，提升散热效率并确保系统稳定性。据弗劳恩霍夫研究所，超薄钻石纳米膜助力电动汽车充电速度提升 5 倍，热负荷降低 10 倍。基于钻石技术的逆变器体积小六倍，性能更卓越。

图36：2024 年新能源汽车销量有望突破 1600 万台，渗透率达 19%



资料来源：Rho Motion

新能源汽车热管理 ASP 量显著高于传统燃油车，约为 7000 元左右。据华经产业研究院，由于新能源汽车热管理系统较传统汽车新增冷却板、电池冷却器、电子水泵、电子膨胀阀、PTC 加热器或热泵系统等，传统汽车热管理核心组件单车价值量约为 2,300 元，新能源汽车提升热管理单车价值量至 7000 元左右，新能源汽车热管理系统单车价值量约是传统燃油车的 3 倍左右。

表5：新能源汽车热管理系统核心产品价值量从 2230 元提升至 6410 元左右

传统热管理核心组件	结算价格（元）	新能源汽车热管理核心组件	结算价格（元）
散热器	450	电池冷却器	600
蒸发器	180	蒸发器	720
冷凝器	100	冷凝器	200
油冷器	300	热泵系统	1,500
水泵	100	电子系统	840
空调压缩机	500	电动压缩机	1,500
中冷器	200	电子膨胀阀	500
其他	400	其他	550
合计	2,230	合计	6,410

数据来源：华经产业研究院、开源证券研究所

我们预计钻石散热在新能源市场规模由 2025 年的 0.1 亿美元(渗透率 0.05%)，增长至 2030 年的 52 亿美元(渗透率 10%)。根据前文全球新能源汽车渗透率及热管理 ASP 的预计，结合我们对钻石散热在新能源汽车市场渗透率，由 2025 年 0.05% 提升至 2030 年 10%，我们预计钻石散热在新能源汽车市场规模由 2025 年的 0.11 亿美元，增长至 2030 年的 52 亿美元。

表6：新能源汽车钻石散热：我们预计 2030 年当渗透率达到 10%时，市场规模为 52 亿美元

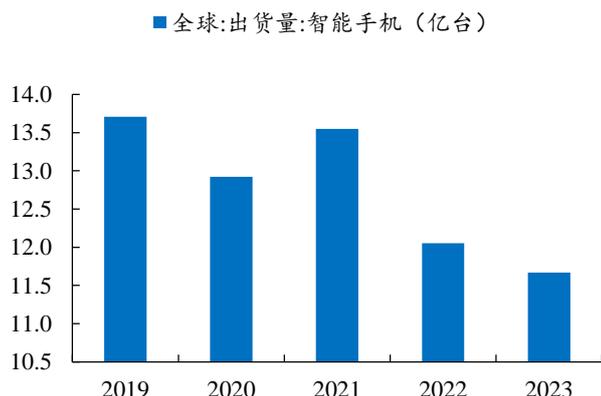
	2023	2024E	2025E	2026E	2027E	2028E	2029E	2030E
全球汽车销量（万辆）	8901	8684	8945	9213	9489	9774	10067	10369
全球新能源汽车销量（万辆）	1465	1650	2236	2764	3321	3910	4530	5185
新能源汽车渗透率	16%	19%	25%	30%	35%	40%	45%	50%
热管理 ASP（美元）	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
全球新能源汽车热管理市场规模（亿美元）	147	165	224	276	332	391	453	518
钻石散热技术渗透率			0.05%	0.5%	1.0%	3.0%	6.0%	10.0%
钻石散热-新能源汽车市场规模（亿美元）			0.11	1.38	3.32	11.73	27.18	51.85

数据来源：乘联分会、华经产业研究院、开源证券研究所

(3) 消费电子：我们预计钻石散热在消费电子市场规模由 2025 年的 0.16 亿美元(渗透率 0.05%)，增长至 2030 年的 38 亿美元(渗透率 10%)，年复合增速 197%。

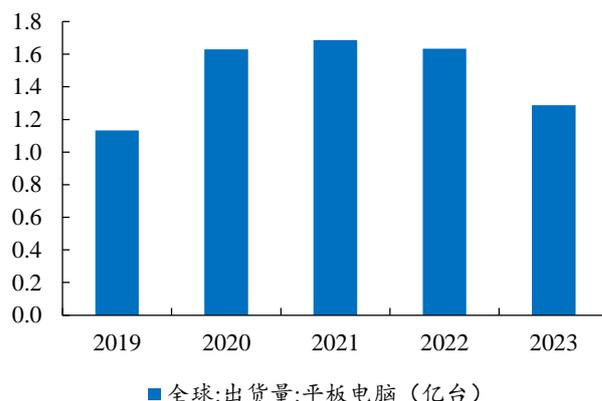
AI 技术推动消费电子散热需求的增长。随着 AI 技术的加入，消费电子的算力需求不断增加，相应的散热需求也显著提升。2023 年，全球智能手机出货量达到了 11.7 亿台，平板电脑为 1.3 亿台，电脑出货量为 2.5 亿台。根据 Counterpoint Research 的数据显示，预计到 2027 年，AI 手机的市场占比将达到 43%。目前，PC 散热器的价值约为 100-200 元（包括 VC+风扇），高于早期 PC 散热器的价值（约 30-60 元，热管+风扇）。我们认为，随着 AI 带来热功耗的增加，散热面积的扩大，消费电子散热器 ASP 仍有望继续增长。

图37：2023 年全球智能手机出货量 11.7 亿台



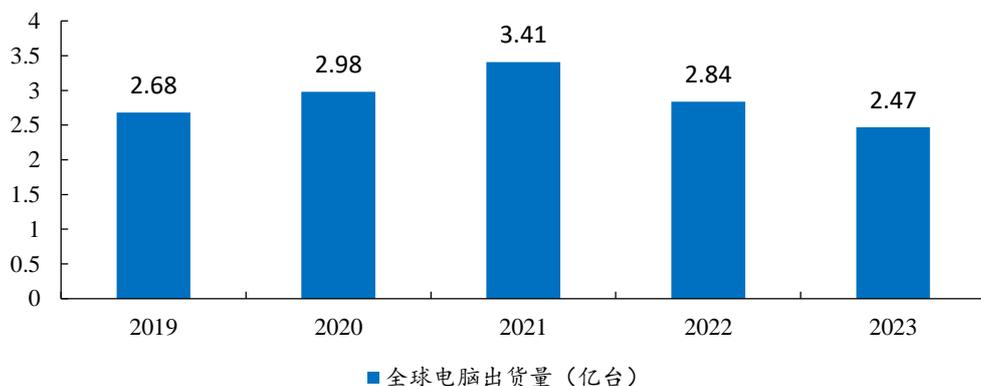
数据来源：Wind、开源证券研究所

图38：2023 年全球平板电脑出货量 1.3 亿台



数据来源：Wind、开源证券研究所

图39：2023 年全球电脑出货量 2.5 亿台



数据来源：Canalys、开源证券研究所

我们预计钻石散热在消费电子市场规模由 2025 年的 0.16 亿美元(渗透率 0.05%)，增长至 2030 年的 38 亿美元(渗透率 10%)。根据前文全球消费电子出货量及热管理 ASP 的预计，按照未来消费电子销量 CAGR 3%，结合我们对钻石散热在消费电子市场渗透率，由 2025 年 0.05%提升至 2030 年 10%，我们预计钻石散热在消费电子市场规模由 2025 年的 0.16 亿美元，增长至 2030 年的 38 亿美元。

表7：消费电子钻石散热：我们预计 2030 年当渗透率达到 10%时，市场规模为 38 亿美元

	2023	2024E	2025E	2026E	2027E	2028E	2029E	2030E
全球手机出货量 (亿台)	11.7	12.0	12.4	12.8	13.1	13.5	13.9	14.4
全球平板电脑出货量 (亿台)	1.3	1.3	1.4	1.4	1.4	1.5	1.5	1.6
全球 PC 电脑出货量 (亿台)	2.5	2.6	2.7	2.7	2.8	2.9	3.0	3.1
热管理 ASP (美元)	20	20	20	20	20	20	20	20
全球消费电子热管理市场规模 (亿美元)	309	318	328	338	348	358	369	380
钻石散热技术渗透率			0.05%	0.5%	1.0%	3.0%	6.0%	10.0%
钻石散热-消费电子市场规模 (亿美元)			0.16	1.69	3.48	10.75	22.15	38.02

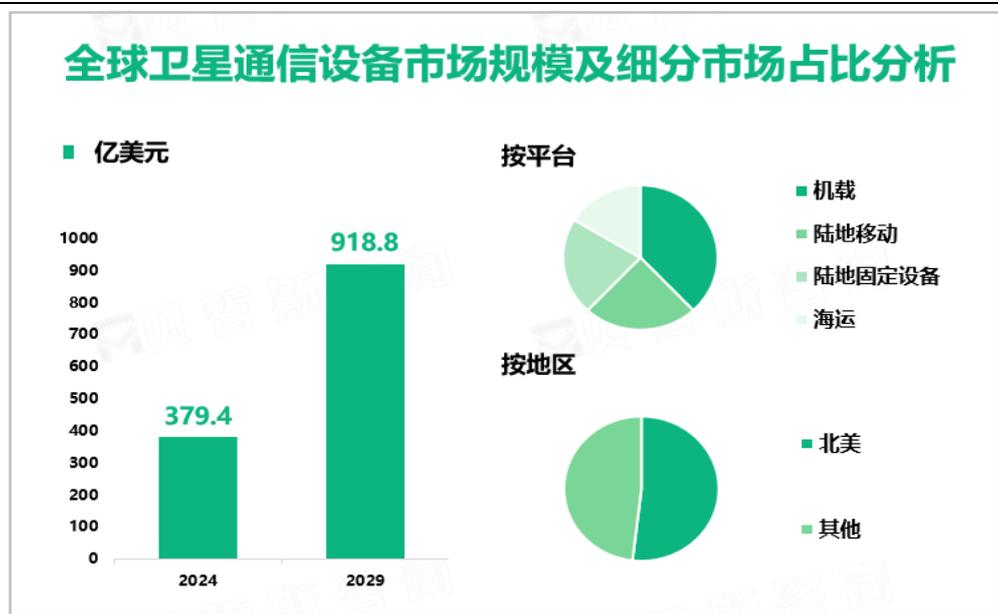
数据来源：Wind、Canalys、开源证券研究所

(4) 卫星通讯：我们预计钻石散热在卫星通信市场规模由 2025 年的 0.02 亿美元(渗透率 0.05%)，增长至 2030 年的 11 亿美元(渗透率 10%)，年复合增速 265%。

2024 年全球卫星通信设备市场规模为 379.4 亿美元。卫星通信设备的应用领域广泛，涵盖了军事、航空、航天、海洋、交通、能源和通信等多个行业。据贝哲斯咨询的数据，2024 年全球卫星通信 (SATCOM) 设备市场的规模预计为 379.4 亿美元，并预计到 2029 年将增长至 918.8 亿美元。

钻石散热技术在卫星通信领域展现出显著优势。Akash Systems 通过钻石冷却技术，彻底改变了卫星无线电的散热方式，实现了数据速率提升了 5 到 10 倍、增强了卫星设备的可靠性、尺寸缩了 50%，有望为卫星提供前所未有的高分辨率和高光谱图像。基于钻石散热的优异特性，我们认为未来该技术有望在卫星通信领域的渗透率持续提升。

图40：2024 年全球卫星通信设备市场规模为 379.4 亿美元



资料来源：贝哲斯咨询

我们预计钻石散热在卫星通信市场规模由 2025 年的 0.02 亿美元(渗透率 0.05%)，增长至 2030 年的 11 亿美元 (渗透率 10%)，年复合增速 265%。根据全球全球卫星通信设备市场规模及预计，参考数据中心热管理比例，结合我们对钻石散热在全球卫星通讯市场渗透率，由 2025 年 0.05%提升至 2030 年 10%，我们预计钻石散热在消费电子市场规模由 2025 年的 0.02 亿美元，增长至 2030 年的 11 亿美元。

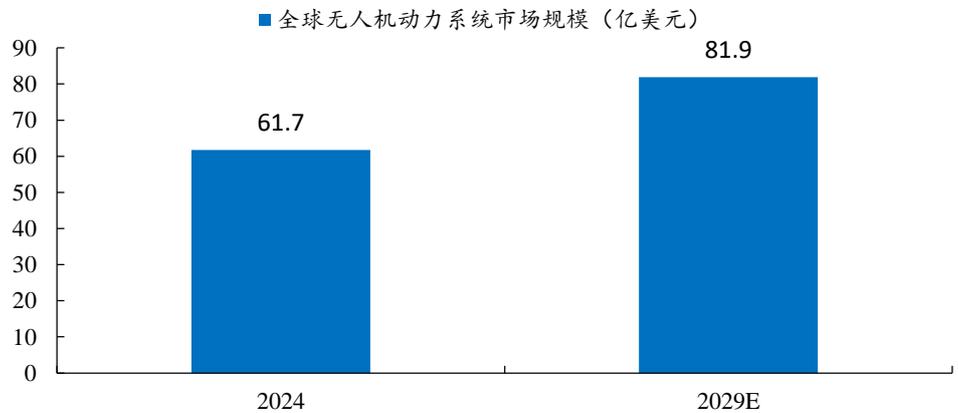
表8: 卫星通信钻石散热: 我们预计 2030 年当渗透率达到 10%时, 市场规模为 11 亿美元

	2024E	2025E	2026E	2027E	2028E	2029E	2030E
全球卫星通信设备市场规模 (亿美元)	379	453	540	645	770	919	1097
热管理占比	7%	7.5%	8.0%	8.5%	9.0%	9.5%	10.0%
全球卫星通信设备热管理市场规模 (亿美元)	27	34	43	55	69	87	110
钻石散热技术渗透率		0.05%	0.5%	1.0%	3.0%	6.0%	10.0%
钻石散热-卫星通信市场规模 (亿美元)		0.02	0.2	0.5	2.1	5.2	11.0

数据来源: 贝哲斯咨询、开源证券研究所

(5) 无人机: 我们预计钻石散热在无人机市场规模由 2025 年的 0.01 亿美元(渗透率 0.1%), 增长至 2030 年的 2.6 亿美元(渗透率 10%), 年复合增速 184%

2024 年全球无人机动力系统市场规模 61.7 亿美元。据 Mordor Intelligence 数据, 2024 年无人机动力系统市场预计将在 61.7 亿美元, 预计 2029 年增至 81.9 亿美元, 2024-2029 年复合年增长率为 5.8%。无人机动力系统续航能力提升一直在业界关注焦点。金刚石是极好的热导体并且对光透明, 可以吸收产生大量热量的高密度激光束, 无人机仅需 1 分钟就能充满电, 解决续航问题。

图41: 2024 年全球无人机动力系统市场规模 61.7 亿美元


数据来源: Mordor Intelligence、开源证券研究所

我们预计钻石散热在无人机市场规模由 2025 年的 0.01 亿美元(渗透率 0.1%), 增长至 2030 年的 2.6 亿美元(渗透率 10%), 年复合增速 184%。参考 R&M 对无人机动力系统市场的预计, 结合热管理系统占数据中心投入 20%左右, 考虑到钻石技术有望解决无人机核心的续航问题, 技术成熟后有望大规模使用, 热管理比重在无人机中比例有望提升。结合我们对钻石散热在无人机市场渗透率, 由 2025 年 0.1% 提升至 2030 年 10%, 我们预计钻石散热在无人机市场规模由 2025 年的 0.01 亿美元, 增长至 2030 年的 2.6 亿美元。

表9：无人机钻石散热：我们预计 2030 年当渗透率达到 10%时，市场规模 2.6 亿美元

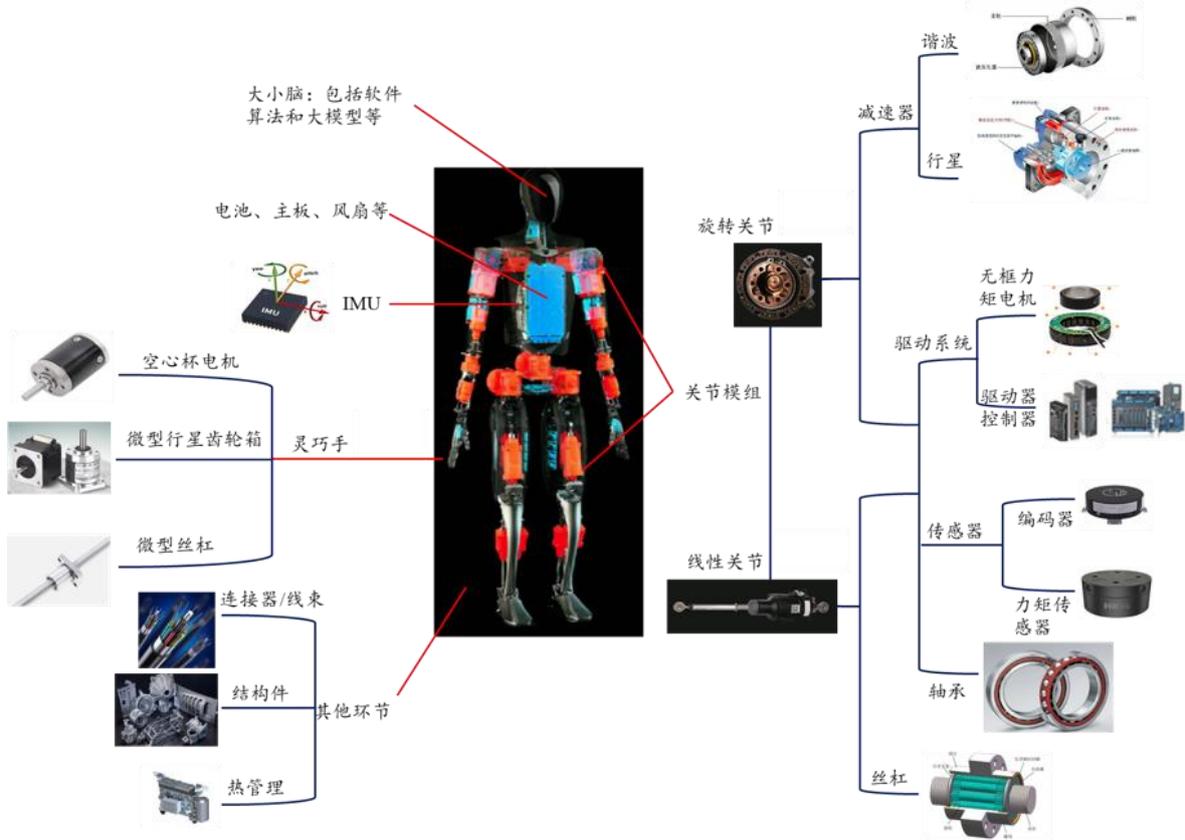
	2024E	2025E	2026E	2027E	2028E	2029E	2030E
全球无人机动力系统市场规模（亿美元）	61.7	65.3	69.1	73.2	77.4	81.9	86.7
热管理占比	20%	21.5%	23.0%	24.5%	26.0%	27.5%	30.0%
全球无人机热管理市场（亿美元）	12.3	14.0	15.9	17.9	20.1	22.5	26.0
钻石散热技术渗透率		0.10%	0.5%	1.0%	3.0%	5.0%	10.0%
钻石散热-无人机电子市场规模（亿美元）		0.01	0.08	0.18	0.60	1.13	2.60

数据来源：R&M、开源证券研究所

（6）人形机器人：我们预计钻石散热在人形机器人市场规模由 2025 年的 3 万美元，增长至 2030 年 1 亿美元，年复合增速 425%

人形机器人由于其复杂的结构、强大的计算能力和高密度的传感及执行系统，对散热提出了更高的要求。特别是在高性能计算和高功率消耗的组件中，散热的效果直接影响机器人的效率和可靠性。由于其复杂的结构和高功率需求，人形机器人多个关键部件如中央处理单元（CPU）、电池管理系统、AI 处理单元和通讯模块等都会产生大量热量。钻石散热技术凭借其卓越的热导性，能够有效将这些组件产生的热量导出，确保机器人在高负荷、高计算量的运行环境中保持稳定性能，防止过热导致系统不稳定。特别是在高功率计算、精密运动控制和长时间工作的需求下，钻石散热提供了高效的热管理解决方案，提升机器人的运行效率、可靠性和寿命。

图42：特斯拉人形机器人全景图



资料来源：特斯拉、开源证券研究所

我们预计钻石散热在人形机器人市场规模 2030 年约 1 亿美元。相对于新能源汽车，人形机器人对续航有着更高的要求，钻石散热不仅有助于提高续航，对于性能提升也十分关键。参考新能源车热管理 ASP 7000 元人民币，我们预计人形机器人热管理价值量与车相近，ASP 约 7000 元人民币，参考人形机器人量产后售价 2 万美金，热管理约占人形机器人成本 5%。据特斯拉预计 2025 年 Optimus 人形机器人将超过 1000 个，结合 GGII 预测 2030 年全球人形机器人市场规模 200 亿美元，按照 2 万美金一台计算，则 2030 年人形机器人销量预计为 100 万台。我们按照 2025-2030 年全球人形机器人销量分别为 0.1/5/10/30/60/100 万台测算，结合我们对钻石散热在人形机器人市场渗透率，我们预计钻石散热在人形机器人市场规模 2030 年约 1 亿美元（渗透率 10%）。尽管这一数值相对较小，但考虑到人形机器人的应用前景，人形机器人钻石散热市场有望随量产指数级增长。

表10：人形机器人钻石散热：我们预计 2030 年当渗透率达到 10%时，市场规模为 1 亿美元

	2025E	2026E	2027E	2028E	2029E	2030E
全球人形机器人出货量（万台）	0.1	5	10	30	60	100
热管理 ASP（美元）	1000	1000	1000	1000	1000	1000
全球人形机器人热管理市场规模（万美元）	500	5000	10000	30000	60000	100000
钻石散热技术渗透率	0.50%	0.5%	1.0%	3.0%	6.0%	10.0%
钻石散热-人形机器人市场规模（万美元）	1	25	100	900	3600	10000

数据来源：特斯拉、GGII、华经产业研究院、开源证券研究所

综合以上分析，我们测算 2025 年钻石散热市场规模 0.5 亿美元（渗透率不足 0.1%），2030 年增长至 152.4 亿美元（渗透率 10.6%），复合增速 214%。随着高功率处理能力的需求急剧增加，越来越多的设备需要处理和管理更高的功率负荷和能量密度。钻石散热具有从源头解决散热问题、提升运算速度、节省能源和运营成本、兼容风冷和液冷技术等诸多优势，成为新一代散热解决方案。我们认为随着钻石散热产业链逐步成熟，渗透率有望呈现非线性增长。按渗透率 5%/10.6%/15%测算，钻石散热市场空间分别为 72/152/217 亿美元。

表11：我们测算 2025 年钻石散热市场规模 0.5 亿美元，2030 年增长至 152.4 亿美元，复合增速 214%

	2025E	2026E	2027E	2028E	2029E	2030E
1、全球数据中心热管理市场（亿美元）	191.8	222.1	257.3	298.0	345.1	399.7
钻石散热技术渗透率	0.1%	0.5%	1.0%	3.0%	7.0%	12.0%
钻石散热-数据中心市场规模（亿美元）	0.19	1.11	2.57	8.94	24.16	47.96
2、全球新能源汽车热管理市场规模（亿美元）	223.6	276.4	332.1	391.0	453.0	518.5
钻石散热技术渗透率	0.1%	0.5%	1.0%	3.0%	6.0%	10.0%
钻石散热-新能源汽车市场规模（亿美元）	0.11	1.38	3.32	11.73	27.18	51.85
3、全球消费电子热管理市场规模（亿美元）	327.9	337.8	347.9	358.4	369.1	380.2
钻石散热技术渗透率	0.1%	0.5%	1.0%	3.0%	6.0%	10.0%
钻石散热-消费电子市场规模（亿美元）	0.16	1.69	3.48	10.75	22.15	38.02
4、全球卫星通信设备热管理市场规模（亿美元）	34	43	55	69	87	110
钻石散热技术渗透率	0.1%	0.5%	1.0%	3.0%	6.0%	10.0%
钻石散热-卫星通信市场规模（亿美元）	0.02	0.22	0.55	2.08	5.24	10.97
5、全球无人机热管理市场（亿美元）	14.0	15.9	17.9	20.1	22.5	26.0
钻石散热技术渗透率	0.1%	0.5%	1.0%	3.0%	5.0%	10.0%
钻石散热-无人机电子市场规模（亿美元）	0.01	0.08	0.2	0.6	1.1	2.6
6、全球人形机器人热管理市场规模（亿美元）	0.01	0.5	1	3	6	10
钻石散热技术渗透率	0.5%	0.5%	1.0%	3.0%	6.0%	10.0%
钻石散热-人形机器人市场规模（亿美元）	0.0001	0.003	0.01	0.09	0.36	1
合计：热管理市场规模（亿美元）	791	896	1011	1140	1283	1444
钻石散热渗透率	0.06%	0.50%	1.00%	3.00%	6.25%	10.55%
合计：钻石散热市场规模（亿美元）	0.50	4.48	10.11	34.19	80.21	152.40

数据来源：Fortune Business Insights、R&M、乘联分会、华经产业研究院、Wind、Canalys、贝哲斯咨询、特斯拉、GGII、开源证券研究所

表12：按照 5%/10.6%/15%渗透率测算，钻石散热市场空间分别 72/152/217 亿美元

	悲观	中性	乐观
热管理市场规模（亿美元）	1444	1444	1444
钻石散热渗透率	5%	10.6%	15%
钻石散热市场规模（亿美元）	72	152	217

资料来源：Fortune Business Insights、R&M、乘联分会、华经产业研究院、Wind、Canalys、贝哲斯咨询、特斯拉、GGII、开源证券研究所

3.3、培育钻石产业链有望大放异彩

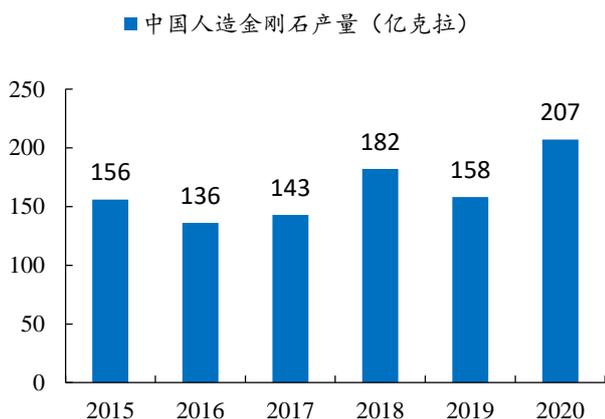
3.3.1、中国人造钻石产能全球第一，极致成本优势助力金刚石散热产业化

中国人造钻石产能全球第一，极致成本优势助力金刚石散热产业化。2020 年，我国人造金刚石的产量突破 200 亿克拉，占全球总产量的 90%以上。其上游专用制造设备中的六面顶压机几乎全部由我国生产，专用 MPCVD 设备的全球市场份额约为 50%；立方氮化硼的产量约为 6 亿克拉，占全球产量的 75%；大尺寸人造金刚石

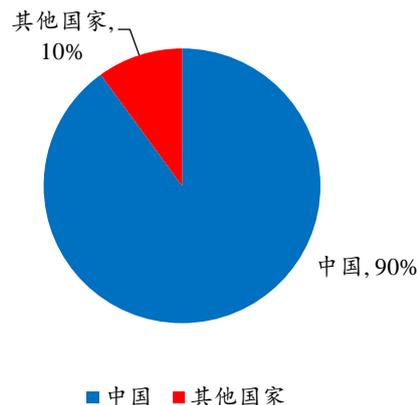
单晶的产量超过 1500 万克拉，全球占比接近 50%；复合超硬材料的全球份额也超过 50%。在下游应用方面，金刚石线锯的市场份额达到 95%以上，石材和陶瓷领域使用的金刚石切磨抛制品占比超过 60%。当下，金刚石散热大规模产业化一大难点在于低成本金刚石制造方法，在我国自主研发的六面顶压机技术的加持下，国产人造钻石的成本做到了世界最低，助力金刚石散热产业化。

图43：2020 年我国人造金刚石产量超 200 亿克拉

图44：2020 年全球金刚石单晶产量市占率中，中国占 90%以上



数据来源：观研天下、开源证券研究所

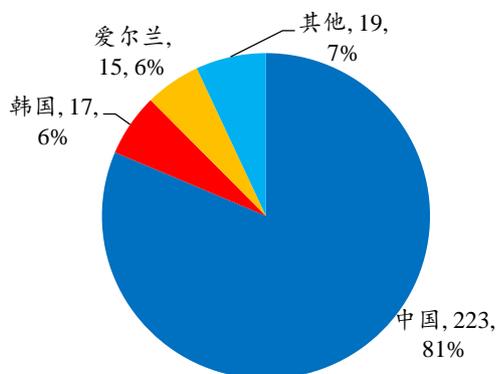


数据来源：观研天下、开源证券研究所

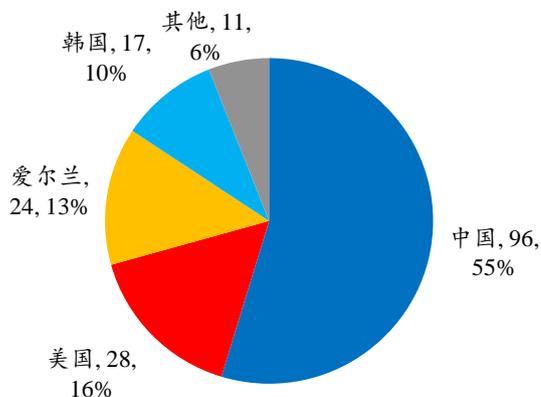
美日钻石散热技术领先全球，但对中国金刚石进口依赖较大。根据超硬材料协会数据，2019 年美国进口的金刚石中，中国占比 81%，美国进口镀衣金刚石，中国占比 99%，美国进口进口细金刚石，中国占比 91%，美国进口粗金刚石，中国占比 50%。美国进口金刚石砂轮，中国占比 34%，美国进口金刚石节块磨轮，中国占比 32%；美国进口各种金刚石工具中，中国占比约 26%。此外，2019 年日本进口金刚石中，55%来自中国。

图45：2019 年美国进口金刚石中，81%来自中国 (单位：百万克拉)

图46：2019 年日本进口金刚石中，55%来自中国 (单位：百万克拉)



数据来源：超硬材料协会、开源证券研究所



数据来源：超硬材料协会、开源证券研究所

培育钻石产业链包括“设备制造+毛坯生产”两大环节。

1、设备制造端主要公司：国机精工、辽宁鑫源等。培育钻石 HTHP 法（高温高压法）的核心设备是六面顶压机，中国在该领域的技术水平居全球领先地位，但由于设备厂商扩产意愿受限，压机的供应量相对稳定。CVD 法（化学气相沉积法）主要采用 MPCVD 流派（日本 SEKI 技术较为先进），全球设备数量增长迅速，国产设备技术水平也显著提升。

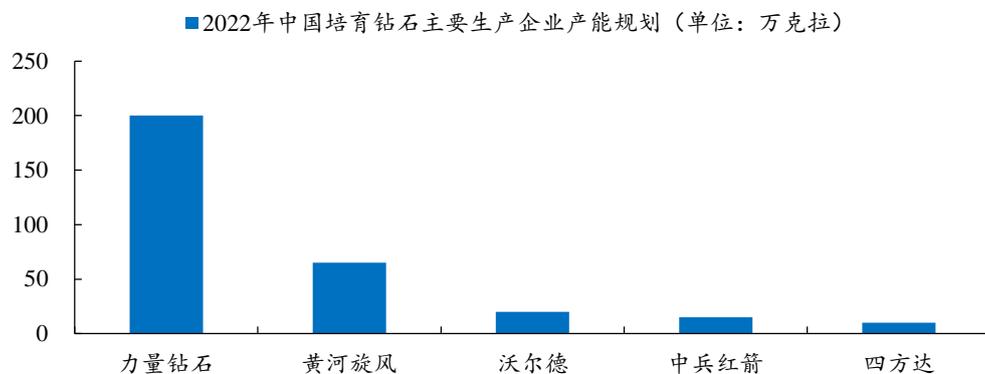
2、毛坯生产端主要公司：力量钻石、中兵红箭、黄河旋风、四方达、惠丰钻石、沃尔德等。全球 HTHP 法与 CVD 法的产能比例约为 6:4，其中 HTHP 法的产能主要集中在国内，且在生产小克拉钻石方面具备成本与效率优势；而 CVD 法的产能则较为分散，中国、印度、美国等国都有一定份额，且在生产大钻石、彩钻和异形钻石方面具有技术优势。

图47：国内培育钻石产业链及生产商



资料来源：黄河旋风、中兵红箭、SEKI 等公司官网、贝恩咨询、De Beers、开源证券研究所

我国培育钻石生产企业积极布局培育钻石产能。从我国培育钻石主要企业产能规划看，目前我国培育钻石产能规划最多的公司为力量钻石，2022 年规划产能超 200 万克拉。此外，国内多家培育钻石企业推进新产能项目，力量钻石、中晶公司、沃尔德、国机精工、富耐克等公司积极布局培育钻石新增产能项目。中晶公司、沃尔德、国机精工、富耐克等公司也纷纷扩产培育钻石生产领域。其中沃尔德计划投资 3.3 亿元，重点建设一条年产 20 万克拉的培育钻石生产线。力量钻石在 2022 年发布的股票募投项目中，计划利用募集资金采购 1800 台六面顶压机（生产金刚石的核心设备），投入培育钻石生产制造，旨在加快提高产量。

图48：2022年中国培育钻石主要生产企业产能规划（单位：万克拉）


数据来源：前瞻产业研究院、开源证券研究所

表13：2022年中国培育钻石重点在建项目

项目名称	总投资（万元）
力量钻石商丘培育钻石智能工厂建设项目	219148
力量钻石二期金刚石和培育钻石智能化工厂建设项目	172020
中晶公司培育钻石、超硬材料系列制成项目	307600
河南省年产120万克拉首饰级培育钻石项目	255000
中南钻石高级工业钻石宝石级钻石建设项目	115000
国机精工新型高功率MPCVD法大单晶金刚石项目（二期）	26304
美钻钻石培育二期项目	25000

数据来源：智研产业信息网、公司公告、开源证券研究所

3.3.2、国内培育钻石企业积极布局“钻石散热”技术，并取得突破

国内培育钻石企业积极布局“钻石散热”技术，在半导体衬底、薄膜及热沉方面取得突破。国内培育钻石企业在散热领域加速布局，依托CVD和HTHP技术，广泛应用于半导体芯片、5G射频、AI等高端领域的散热材料开发。力量钻石、沃尔德、国机精工、中兵红箭、黄河旋风、惠丰钻石及四方达等公司，依托金刚石优异的特性，在人造钻石用于半导体衬底、薄膜及热沉方面的应用取得突破。

表14：培育钻石企业纷纷布局“钻石散热”技术

公司	钻石散热相关布局
力量钻石	1、公司全资子公司商丘力量钻石科技中心有限公司与台湾捷斯奥企业有限公司签订，项目主要致力于研究半导体散热功能性金刚石材料开发、应用和推广，提前布局金刚石新应用领域（2024年10月9日） 2、公司IC芯片加工用八面体金刚石主要在半导体CMP工艺加工制程中应用（2024年9月3日） 3、2022年9月公司定增募集资金39.12亿元，用于商丘力量钻石科技产能及研发中心建设等项目，截至2024年半年报募集资金剩余23.83亿元，产能、资金规模及产业资源优势显著。
沃尔德	1、金刚石功能材料可用于半导体器件散热用的热沉（2024年10月21日） 2、单晶金刚石热沉产品用于5G微波射频功率放大器的散热，已完成客户两轮测试（2023年11月22日）
国机精工	1、公司金刚石散热片广泛应用于半导体芯片散热部件，尤其在GaN半导体芯片领域。（2024年9月6日） 2、投资新型高功率MPCVD法大单晶金刚石项目（二期），总投资2.6亿元，建设年产5万片超高导热单晶/多晶金刚石材料生产线和年产60万片高品级大单晶金刚石生产线各一条，项目设计总产能为65万片/年（2022年9月5日）
中兵红箭	公司目前已开发出适用于高校院所进行金刚石半导体器件研究的衬底材料（2024年5月17日）
黄河旋风	1、黄河旋风与厦门大学萨本栋微米纳米科学技术研究院成立集成电路热控联合实验室，针对5G/6G、AI以及相控阵雷达领域芯片散热难题（2024年11月11日） 2、公司成功开发出了CVD多晶金刚石热沉片，直径为2英寸，厚度范围在0.3至1毫米之间，热导率超过2000 W/m·K，达到了金刚石的理论热导率值（2024年5月） 3、启动“面向高端应用场景的CVD多晶金刚石薄膜开发”项目（2023年5月）
惠丰钻石	公司在粤港澳大湾区设立全资子公司深圳惠丰半导体材料有限公司，基于新材料尤其是加工半导体材料等业务（2023年半年报）
四方达	四方达天璇功能性金刚石超级工厂投产，为国内最大的CVD金刚石生产基地，主要产品是培育钻石、光学级金刚石、半导体散热用金刚石等（2024年5月18日）

资料来源：公司公告、开源证券研究所

3.4、人造金刚石设备和技术已开始出口管制

2024年8月，我国对人造金刚石设备和技术进行出口管制。2024年8月15日，商务部、海关总署决定对锑、超硬材料相关物项实施出口管制。超硬材料相关物项包括：（1）六面顶压机设备；（2）六面顶压机专用关键零部件，包括铰链梁、顶锤、合成压力大于5千兆帕的高压控制系统；（3）微波等离子体化学气相沉积法(MPCVD)设备；（4）金刚石窗口材料；（5）用六面顶压机合成人造金刚石单晶或立方氮化硼单晶工艺技术；（6）用于制造已列管的六面顶压机设备的技术。超硬材料又被称为最硬最锋利的“工业牙齿”或“材料之王”，通常是指金刚石和立方氮化硼，立方氮化硼的硬度仅次于金刚石（硬度分别为9.5、10）。

4、投资建议

我们认为，钻石散热作为下一代散热技术，在 AI 时代具有划时代意义和产业化潜力。我国具备完整的产业链，同时对上游材料进行出口限制，产业化正处于“从 0 到 1”阶段，开发进度毫不逊于海外。在全球高算力时代，我国有望站在科技制高点。受益标的：力量钻石、沃尔德、国机精工、黄河旋风、四方达、中兵红箭、惠丰钻石、光莆股份。

表15：国内钻石散热产业链相关上市公司

公司	主营业务	2023 年总收入 (金刚石相关业务占比)	钻石散热相关布局
力量钻石	钻石成品、大单晶金刚石、金刚石微粉	7.52 亿 (100%)	1、公司全资子公司商丘力量钻石科技中心有限公司与台湾捷斯奥企业有限公司签订，项目主要致力于研究半导体散热功能性金刚石材料开发、应用和推广，提前布局金刚石新应用领域（2024 年 10 月 9 日） 2、公司 IC 芯片加工用八面体金刚石主要在半导体 CMP 工艺加工制程中应用（2024 年 9 月 3 日） 3、2022 年 9 月公司定增募集资金 39.12 亿元，用于商丘力量钻石科技产能及研发中心建设等项目，截至 2024 年半年报募集资金剩余 23.83 亿元，产能、资金规模及产业资源优势显著。
沃尔德	超硬刀具、硬质合金刀具、超硬材料、超硬复合材料	0.4 亿 (7%)	1、金刚石功能材料可用于半导体器件散热用的热沉（2024 年 10 月 21 日） 2、单晶金刚石热沉产品用于 5G 微波射频功率放大器的散热，已完成客户两轮测试（2023 年 11 月 22 日）
国机精工	轴承、超硬材料、机床	27.84 亿 (超硬材料占比 36%)	1、公司金刚石散热片广泛应用于半导体芯片散热部件，尤其在 GaN 半导体芯片领域。（2024 年 9 月 6 日） 2、投资新型高功率 MPCVD 法大单晶金刚石项目（二期），总投资 2.6 亿元，建设年产 5 万片超高导热单晶/多晶金刚石材料生产线和年产 60 万片高级大单晶金刚石生产线各一条，项目设计总产能为 65 万片/年（2022 年 9 月 5 日）
中兵红箭	特种装备、超硬材料、专用车及汽车零部件	61.16 亿 (超硬材料占比 38%)	公司目前已开发出适用于高校院所进行金刚石半导体器件研究的衬底材料（2024 年 5 月 17 日）
黄河旋风	金刚石研磨工具、金刚石修整工具、金刚石钻进工具、金刚石锯切工具、金刚石超硬材料刀具	15.75 亿 (超硬材料及工具占比约 100%)	1、黄河旋风与厦门大学萨本栋微米纳米科学技术研究院成立集成电路热控联合实验室，针对 5G/6G、AI 以及相控阵雷达领域芯片散热难题（2024 年 11 月 11 日） 2、公司成功开发出了 CVD 多晶金刚石热沉片，直径为 2 英寸，厚度范围在 0.3 至 1 毫米之间，热导率超过 2000 W/m·K，达到了金刚石的理论热导率值（2024 年 5 月）（2024 年 5 月） 3、启动“面向高端应用场景的 CVD 多晶金刚石薄膜开发”项目（2023 年 5 月）
惠丰钻石	金刚石微粉、金刚石破碎整形料	4.96 亿 (100%)	公司在粤港澳大湾区设立全资子公司深圳惠丰半导体材料有限公司，基于新材料尤其是加工半导体材料等业务（2023 年半年报）
四方达	聚晶金刚石及其相关制品、CVD 培育钻石	3.45 亿 (100%)	四方达天璇功能性金刚石超级工厂投产，为国内最大的 CVD 金刚石生产基地，主要产品是培育钻石、光学级金刚石、半导体散热用金刚石等（2024 年 5 月 18 日）
光莆股份	半导体光电传感器等	8.94 亿	公司持股国内钻石散热化合积电（非上市），化合积电已具备较为完整的金刚石半导体材料解决方案，并实现规模化生产

数据来源：Wind、公司公告、开源证券研究所

请务必参阅正文后面的信息披露和法律声明

表16: 盈利预测估值表

代码	公司	2024/12/7		归母净利润 (亿元)			PE			评级
		收盘价 (元)	市值 (亿元)	2023	2024E	2025E	2023	2024E	2025E	
301071.SZ	力量钻石	33.200	86	3.64	2.85	3.39	23.76	30.32	25.49	买入
688028.SH	沃尔德	24.000	36	0.97	1.29	1.75	37.46	28.18	20.85	未评级
002046.SZ	国机精工	16.570	88	2.59	/	/	33.87	/	/	未评级
000519.SZ	中兵红箭	16.790	234	8.28	/	/	28.23	/	/	未评级
600172.SH	黄河旋风	5.560	80	-7.98	/	/	-10.04	/	/	未评级
839725.BJ	惠丰钻石	40.180	37	0.70	/	/	52.48	/	/	未评级
300179.SZ	四方达	13.070	64	1.38	1.41	1.62	46.16	45.04	39.20	未评级
300632.SZ	光莆股份	13.120	40	0.89	/	/	44.84	/	/	未评级

数据来源: Wind、开源证券研究所 (注: 力量钻石、沃尔德、四方达为 Wind 一致预测, 其余暂无市场预测)

5、风险提示

(1) 钻石散热产业化不及预期。金刚石的当前价格较高, 且散热技术的大规模产业化仍面临诸多挑战, 如低成本金刚石生产方法的突破、低温高质量键合技术的实现, 以及三维集成兼容工艺的优化等。若相关技术进展不及预期, 可能影响钻石散热技术的产业化进程。

(2) 供应链发展不及预期。钻石散热技术依赖于上游高质量金刚石材料的供应。如果上游材料降本进程缓慢或无法有效扩产, 将可能导致国内供应链的发展滞后, 进而影响整体产业的成熟与发展。

特别声明

《证券期货投资者适当性管理办法》、《证券经营机构投资者适当性管理实施指引（试行）》已于2017年7月1日起正式实施。根据上述规定，开源证券评定此研报的风险等级为R4（中高风险），因此通过公共平台推送的研报其适用的投资者类别仅限定为专业投资者及风险承受能力为C4、C5的普通投资者。若您并非专业投资者及风险承受能力为C4、C5的普通投资者，请取消阅读，请勿收藏、接收或使用本研报中的任何信息。因此受限于访问权限的设置，若给您造成不便，烦请见谅！感谢您给予的理解与配合。

分析师承诺

负责准备本报告以及撰写本报告的所有研究分析师或工作人员在此保证，本研究报告中关于任何发行商或证券所发表的观点均如实反映分析人员的个人观点。负责准备本报告的分析师获取报酬的评判因素包括研究的质量和准确性、客户的反馈、竞争性因素以及开源证券股份有限公司的整体收益。所有研究分析师或工作人员保证他们报酬的任何一部分不曾与，不与，也将不会与本报告中具体的推荐意见或观点有直接或间接的联系。

股票投资评级说明

	评级	说明
证券评级	买入（Buy）	预计相对强于市场表现 20%以上；
	增持（outperform）	预计相对强于市场表现 5%~20%；
	中性（Neutral）	预计相对市场表现在-5%~+5%之间波动；
	减持（underperform）	预计相对弱于市场表现 5%以下。
行业评级	看好（overweight）	预计行业超越整体市场表现；
	中性（Neutral）	预计行业与整体市场表现基本持平；
	看淡（underperform）	预计行业弱于整体市场表现。

备注：评级标准为以报告日后的 6~12 个月内，证券相对于市场基准指数的涨跌幅表现，其中 A 股基准指数为沪深 300 指数、港股基准指数为恒生指数、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）、美股基准指数为标普 500 或纳斯达克综合指数。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。

分析、估值方法的局限性说明

本报告所包含的分析基于各种假设，不同假设可能导致分析结果出现重大不同。本报告采用的各种估值方法及模型均有其局限性，估值结果不保证所涉及证券能够在该价格交易。

法律声明

开源证券股份有限公司是经中国证监会批准设立的证券经营机构，已具备证券投资咨询业务资格。

本报告仅供开源证券股份有限公司（以下简称“本公司”）的机构或个人客户（以下简称“客户”）使用。本公司不会因接收人收到本报告而视其为客户。本报告是发送给开源证券客户的，属于商业秘密材料，只有开源证券客户才能参考或使用，如接收人并非开源证券客户，请及时退回并删除。

本报告是基于本公司认为可靠的已公开信息，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金融工具的邀请或向人做出邀请。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。客户应当考虑到本公司可能存在可能影响本报告客观性的利益冲突，不应视本报告为做出投资决策的唯一因素。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。本公司未确保本报告充分考虑到个别客户特殊的投资目标、财务状况或需要。本公司建议客户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。在任何情况下，本报告中的信息或所表述的意见并不构成对任何人的投资建议。在任何情况下，本公司不对任何人因使用本报告中的任何内容所引致的任何损失负任何责任。若本报告的接收人非本公司的客户，应在基于本报告做出任何投资决定或就本报告要求任何解释前咨询独立投资顾问。

本报告可能附带其它网站的地址或超级链接，对于可能涉及的开源证券网站以外的地址或超级链接，开源证券不对其内容负责。本报告提供这些地址或超级链接的目的纯粹是为了客户使用方便，链接网站的内容不构成本报告的任何部分，客户需自行承担浏览这些网站的费用或风险。

开源证券在法律允许的情况下可参与、投资或持有本报告涉及的证券或进行证券交易，或向本报告涉及的公司提供或争取提供包括投资银行业务在内的服务或业务支持。开源证券可能与本报告涉及的公司之间存在业务关系，并无需事先或在获得业务关系后通知客户。

本报告的版权归本公司所有。本公司对本报告保留一切权利。除非另有书面显示，否则本报告中的所有材料的版权均属本公司。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制作任何形式的拷贝、复印件或复制品，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。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。

开源证券研究所

上海

地址：上海市浦东新区世纪大道1788号陆家嘴金控广场1号楼3层
邮编：200120
邮箱：research@kysec.cn

北京

地址：北京市西城区西直门外大街18号金贸大厦C2座9层
邮编：100044
邮箱：research@kysec.cn

深圳

地址：深圳市福田区金田路2030号卓越世纪中心1号楼45层
邮编：518000
邮箱：research@kysec.cn

西安

地址：西安市高新区锦业路1号都市之门B座5层
邮编：710065
邮箱：research@kysec.cn