

电子行业深度报告

AI 终端变革之散热：性能跃升驱动散热系统升级

增持（维持）

投资要点

- **AI 带来性能需求提升，而散热能力是性能提升的基础：**端侧 AI 带来功能增加、性能要求提升。散热能力作为发挥芯片性能的核心保障，随着芯片计算能力/数据传输和摄像等能力的提升，以及设备空间需求不断提高，功耗的不断提升造成散热问题持续出现。以主芯片为例，A 系列芯片散热设计功率从 A14 的 6W 提升至 A18 Pro 的 8W，带来散热需求持续增加，骁龙也从 2021 年的 5.3W 提升至 8W 以上，联发科芯片功率也大幅提升。整体手机散热需求持续增长
- **散热是从里到外的系统工程：**CPU 等热源产生的热量，需要先采用热拓展装置扩展至更大表面积，该环节一般采用石墨膜。然后经由导热界面材料传导至热管或均热板，再传导至石墨膜后通过机壳等向外界转移。具体到手机上，导热界面材料/热管 or 均热板/石墨散热膜的组合是主要的散热方式。同时 PCB 也可承担一部分散热能力，因 PCB 和元件既需要增加耐热能力，也需要增加其导热能力。通过减少厚度/选择高热导率材料/增加面积有助于增加散热能力。
- **散热材料：**导热界面材料（TIM）用于减少接触热阻，2022 年全球市场规模为 103 亿元，中国市场规模 43 亿元，预计 2022-2029 年 CAGR 分别为 7.4%和 8.5%。下游消费电子占比 47%，通讯占比接近 40%。VC 均热板散热面积大，同时可以实现面散热，正在替代热管成为搭配石墨散热膜成为散热主材的主要方案，同时 VC 均热板在厚度/结构强度/吸液芯结构上需要进一步创新以提高性能，尤其是吸液芯的制造工艺有较大的创新空间。VC 预计成为散热行业高速成长的细分方向，2024 年全球 VC 均热板市场规模 12.4 亿美元，相比 22 年提升 57%，预计 2024-2032 年 CAGR 为 14.2%，2032 年规模达到 36 亿美元。石墨散热膜设计灵活，预计继续在手机散热中发挥重要作用，多层石墨叠加增强散热能力的趋势正在不断提升石墨的需求量。

■ **相关公司：**领益智造、捷邦科技、中石科技、思泉新材、苏州天脉

■ **风险提示：**产品散热需求不及预期；技术发展不及预期；竞争加剧风险

表 1：重点公司估值（2025/3/18）

代码	公司	总市值 (亿元)	收盘价 (元)	EPS (元)			PE			投资评级
				2023A	2024E	2025E	2023A	2024E	2025E	
002600	领益智造	685.40	9.78	0.29	0.28	0.40	33.42	34.93	24.45	买入
300684	中石科技	82.87	27.67	0.25	0.60	0.94	112.36	46.12	29.44	买入

数据来源：Wind，东吴证券研究所

注：以上公司预测值来源于东吴证券研究所

2025 年 03 月 18 日

证券分析师 陈海进

执业证书：S0600525020001

chenhj@dwzq.com.cn

证券分析师 陈妙杨

执业证书：S0600525020002

chenmy@dwzq.com.cn

行业走势



相关研究

《GPGPU 与 ASIC 之争——算力芯片看点系列》

2025-03-12

《北方华创收购芯源微加速平台化进程，看好国产半导体设备并购重组浪潮》

2025-03-11

内容目录

1. 性能提升的基础：散热能力持续提升	4
1.1. AI 功能升级带来新增功能和性能需求	4
1.2. 散热问题随着性能水涨船高	5
2. 散热是从里到外的系统工程	8
3. 散热材料方案选择多样，VC 均热板为核心路径	11
3.1. 热界面材料建立热传导通道，需求稳健增长	11
3.2. VC 均热板：制伏 SoC 发热的核心方案	12
3.2.1. 热管→均热板，点散热→面散热	13
3.2.2. VC 均热板持续进化	13
3.2.1. VC 均热市场规模持续扩大	17
3.3. 石墨：多层堆叠提升用量以提高散热性能	18
4. 风险提示	19

图表目录

图 1: iPhone 16 相机控制按键.....	4
图 2: iPhone 16 系列麦克风升级较大.....	4
图 3: 内存不够将严重影响端侧 AI 模型运行的延迟	4
图 4: 电子设备失效原因分析.....	5
图 5: 智能手机内部散热材料应用示例.....	5
图 6: DRAM 独立封装能改善 PoP 封装的散热性能	5
图 7: 安卓 SoC TDP 要求	7
图 8: 手机热管理装置示意图（部分环节）	8
图 9: 热流从 IC 上下传热.....	9
图 10: 热流从 IC 上下传热.....	10
图 11: 导热界面材料的作用	11
图 12: TIM 材料市场规模（亿元）	12
图 13: TIM 材料下游应用以消费电子为主（2023 年）	12
图 14: 热管示意图.....	13
图 15: 热管工作原理.....	13
图 16: 均热板示意图.....	13
图 17: 均热板工作原理.....	13
图 18: 典型 VC 均热板传热工作原理及结构图	14
图 19: 理论热阻随着蒸汽腔厚度减少至 0.3mm 后急剧增加	14
图 20: 气液异面与气液共面结构超薄均热板传热示意图.....	15
图 21: 0.4mm 厚度气液异面 VC 的尺寸构成（mm）	16
图 22: 气液共面结构在厚度减少时热阻优势越发明显.....	16
图 23: 复合结构吸液芯微观结构复杂限制超薄化.....	16
图 24: 丝网烧结吸液芯微观结构.....	16
图 25: 壳体材料占 VC 均热板厚度比例较大	17
图 26: VC 或热管都需要挖空一部分中框	17
图 27: 领益智造的纯钛/不锈钢/铜的超薄 VC 均热板方案	17
图 28: 苏州天脉 VC 均热板平均售价（元）	18
图 29: VC 均热板市场规模（亿美元）	18
图 30: 石墨晶体结构带来高导热性.....	18
图 31: iPhone 内部大面积覆盖石墨片.....	18
图 32: 石墨散热片产业链.....	19
图 33: 石墨散热下游应用领域（2020 年）	19
表 1: 功能/性能变化对散热的影响	6
表 2: Apple A 系列芯片部分参数	6
表 3: 电子产品主流散热方式.....	8
表 4: 智能手机散热方案.....	9
表 5: 主要热界面材料优缺点.....	12

1. 性能提升的基础：散热能力持续提升

1.1. AI 功能升级带来新增功能和性能需求

端侧 AI 对硬件的改造是全方位的，体现在功能增加、性能要求提升等方面。端侧 AI 有输入端改变人和消费电子终端以及终端与 app 的交互方式，对硬件的改造包含了感知/传输/处理能力的提升，落实到零部件升级上，我们认为可以分为三类。

1) 感知能力提升去加强 AI 输入的便捷性，比如 iPhone 16 系列标配相机控制键以加强视觉 AI 等功能启动的便捷性，大幅提升麦克风的信噪比能改善 AI 语音交互准确性等。

图1: iPhone 16 相机控制按键



数据来源：Apple 官网，东吴证券研究所

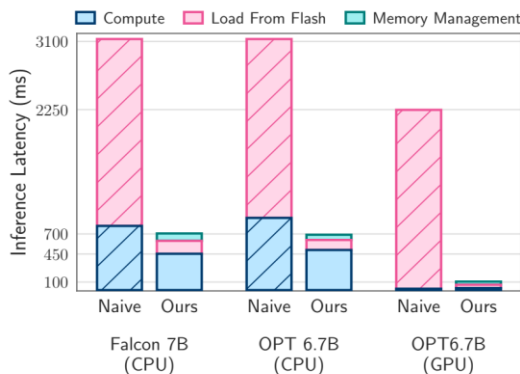
图2: iPhone 16 系列麦克风升级较大

iPhone 16 Pro Max	iPhone 15 Pro Max	iPhone 16
空间音频和立体声录音	立体声录音	空间音频和立体声录音
录音棚级四麦克风阵列	—	—
风噪降低	—	风噪降低
混音	—	混音

数据来源：Apple 官网，东吴证券研究所

2) 处理和信号传输能力增强：如苹果论文《LLM in a flash》就提高针对端侧 AI 运行中内存限制下的解决方式等，我们认为硬件和软件方案需要同步提升以实现 AI 的高效运行。这方面的升级反应至 Apple intelligence 的设备限制上，仅支持 A17 Pro 以及 M 系列芯片以上的设备。即使是云端运行的 Agent 模型，对设备的要求也较高，如智谱的 AutoGLM 中就提及，个人操作轨迹的数据在采集过程中受限于网络连接和最大并行速度而效率较低，非常消耗设备的内存。

图3: 内存不够将严重影响端侧 AI 模型运行的延迟

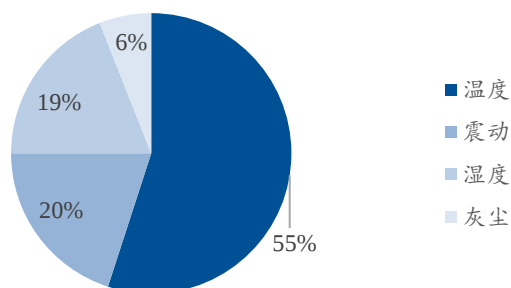


数据来源：《LLM in a flash: Efficient Large Language Model Inference with Limited Memory》，东吴证券研究所

1.2. 散热问题随着性能水涨船高

散热能力是发挥芯片性能的核心保障，散热能力需要根据设计匹配功耗和设计。对于消费者而言，可靠性和稳定性越强，使用体验感就越强。数据表明温度、湿度、灰尘是影响电子电气产品稳定性和可靠性的主要因素。当温度为 70℃-80℃时，每上升 10℃,其可靠性下降 50%，而电子设备的失效有 55%是温度超过允许值而引起的。若没有强大的散热能力，随着功耗的增加，设备将出现降频、发热和闪退等问题，体验将大打折扣。

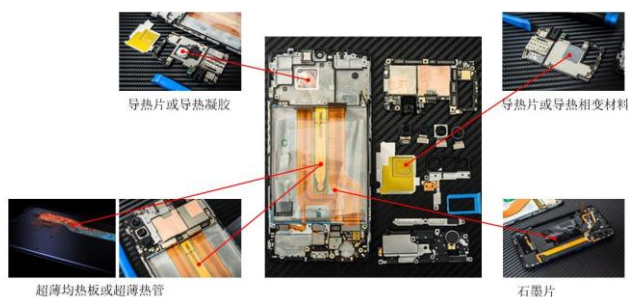
图4：电子设备失效原因分析



数据来源：美国空军航空电子整体研究项目，思泉新材招股书，东吴证券研究所

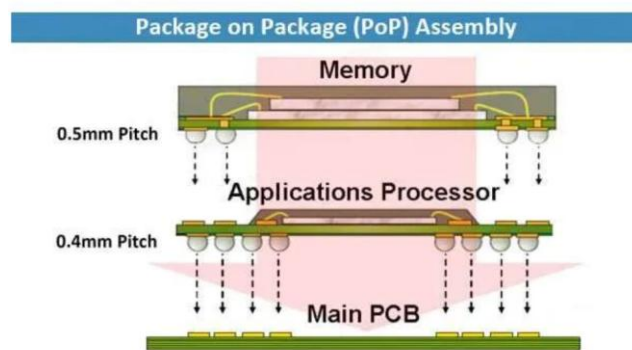
散热也将反过来制约硬件的设计，散热能力的提升将为设计留出空间。智能手机内部，散热材料会占据相当的内部空间。若通过材料升级等方式提升散热效率，腾出的空间将为电池、主板、传感器等留下充足的提升空间。同样，韩媒 The Elec 报道，三星应苹果要求，开始研究新的 LPDDR DRAM 封装方式——独立封装。2010 年起，iPhone 就采用堆叠式封装（PoP）方案，内存直接叠在 SoC 上通过 Pitch 连接以最大限度减少设备体积。但是 PoP 技术由于芯片过于靠近，端侧 AI 负载要求下带宽和散热问题严重。通过分开封装 DRAM 和 SoC，可以增加 I/O 引脚数量，提高数据传输速率和并行数据通道数量，并改善散热性能，显著提高内存带宽并增强 iPhone 的 AI 能力。

图5：智能手机内部散热材料应用示例



数据来源：苏州天脉招股书，东吴证券研究所

图6：DRAM 独立封装能改善 PoP 封装的散热性能



数据来源：IT 之家，东吴证券研究所

散热升级是功能创新的底层能力之一，随着性能和设备空间变化需求不断提高，会是一个持续出现并持续被解决的问题。数据处理过程中频繁的电信号转换和传递导致电流通过内部晶体管和电阻，电阻的存在将电能转化为热能从而产生热量。散热问题的根源是手机越来越高的性能、越来越轻薄的形态和越来越紧凑的设计。功能模块增加挤占空间、性能提升、形态变化都会带来散热需求的大幅增加，也是散热行业需求和格局变化的关键节点。

表1：功能/性能变化对散热的影响

驱动因素	对散热的影响
芯片计算能力提升	功耗增加，发热量增加
速率提升	传输速度更快需要更强的数据处理能力，相应的功耗和发热量增加
摄像能力提升	像素提升，成像过程中处理数据量提升增加发热量
5G	额外的 5G 调制解调器提高功耗，天线数量增加；由于金属会屏蔽信号采用陶瓷/玻璃等散热性能较差的材料，对散热材料性能要求提升
无线充电	金属会消耗无线充电能量采用陶瓷/玻璃等散热性能较差的材料，对散热材料性能要求提升
手机轻薄化/折叠	集成程度提升、零部件分布更加紧凑，热量难以扩散
元器件数量增加	内部集成度更高，堆叠更加紧凑后热量无法扩散

数据来源：康宁官网，思泉新材招股书等，东吴证券研究所

TDP 随着 SoC 性能的提升趋势向上。TDP（散热设计功率）是散热系统设计的核心指标，代表着 SoC 对散热系统散热能力的要求。随着 CPU 和 GPU 等频率和算力提升以及 NPU 的算力快速增长，SoC 对系统散热要求整体提升。2020 年发布的 A14 TDP 为 6W，2024 年发布的 A18 Pro 芯片提升至 8W。

表2：Apple A 系列芯片部分参数

	A14	A15	A16	A17 Pro	A18 Pro
发布时间	2020 年	2021 年	2022 年	2023 年	2024 年
制程工艺	5nm	5nm	4nm	3nm	3nm
晶体管数量	11.8B	15B	16B	19B	-
CPU 规格	3.1 GHz×2 1.8 GHz×4	3.23 GHz×2 2.02 GHz×4	3.46 GHz×2 2.02 GHz×4	3.78 GHz×2 2.11 GHz×4	4.04 GHz×2 2.2 GHz×4
GPU 频率	1278 MHZ	1338 MHz	1398 MHz	1398 MHz	1450 MHz
GPU 算力 (GFLOps)	654	1713	1789	2147	2227
NPU 算力 (TOPS)	11	15.8	17	35	35
内存类型	LPDDR4X-4266	LPDDR4X-4266	LPDDR5X-6400	LPDDR5X-6400	LPDDR5X-7500
TDP	6W	6W	8W	8W	8W

数据来源：NANOREVIEW，Hubweb 等，东吴证券研究所

图7：安卓 SoC TDP 要求

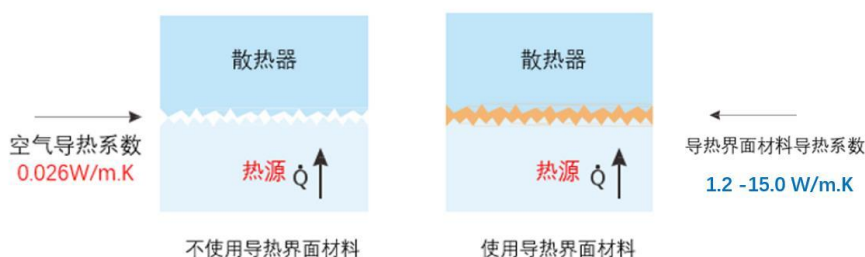
	骁龙8 Gen 1	骁龙8 Gen 2	骁龙8 Gen 3	骁龙8 Gen 4
发布时间	2021年	2022年	2023年	2024年
TDP	5.3W	6.3W	6.3W	8.2W
	天玑9000	天玑9200	天玑9300	
发布时间	2021年	2022年	2023年	
TDP	4W	7W	7W	

数据来源：NANOREVIEW，东吴证券研究所

2. 散热是从里到外的系统工程

由内到外需要多环节进行热量传导。CPU 或传感器等热源产生的热量，首先采用热拓展装置将局部热点产生的热量快速扩展至更大的表面积进行散热，以防局部过热的问题，这一环节多采用石墨膜。然后经过导热界面材料传导到热管或均温板，热管或均温板再将热量快速传导至石墨膜后再均匀散开，石墨膜在手机平面方向把热量传导到金属支架及手机机壳，最终实现热量向外界环境的转移。

图8：手机热管理装置示意图（部分环节）



数据来源：洞察化学，东吴证券研究所

目前电子产品主流的散热方式包括人工合成石墨散热膜、导热凝胶、热管、均热板、散热片、风扇、液冷等。各类电子产品可以根据内部空间、散热需求和成本预算等选择不同的散热方式组合。

表3：电子产品主流散热方式

散热方式	优点	缺点
人工合成石墨散热膜	导热系数高、比热容大、占用空间小、可塑性强。	生产工艺要求较高，且需要根据设备情况进行模切。
导热凝胶	优异导热性和电绝缘性，同时具备低游离度、耐高低温、耐水、耐气候老化等性能特点；不需要模切，填充好，产品适应性强。	多用于 CPU、内存模块
热管	具有极高的导热性、优良的均温性、热流密度可变性、热流方向可逆性、环境的适应性等特点，可以满足散热装置紧凑、可靠控制灵活、高散热效率、不需要维修等要求。	价格一般比较高，技术有待提高，仍然需要配合其他冷却方式带走热量，产品耐老化及耐振动性能仍有待提升。
均热板	热扩散系数高，内部热阻极低、热通量高、重量轻	结构相对复杂，工艺难度大
散热片	一般以铜制和铝制为主，产品成熟可靠，导热性能较好	体积较大
风扇	结构简单，技术成熟，安全性和稳定性高，且成本相对较低。	可靠性较低，风扇可能会将空气中存在的尘土吹进电子设备当中，需要经常维护，噪音大，占用空间相对较大。
液冷	散热效率较高，降温速度快，无振动，噪音小。	外围“支持系统”较庞大，易结露，成本太高，一旦散热设备出现漏液现象，可能会导致漏电。

数据来源：思泉新材招股书，东吴证券研究所

具体到手机上，导热界面材料/热管 or 均热板/石墨散热膜的组合是主要的散热方式。由于手机对轻薄化、高性能、功能集成的要求高，一般不采用风扇和液冷方案。同时单一的散热材料逐渐被多种散热组件构成的散热模组替代。传统的智能手机通常采用“导热界面材料+石墨膜”散热方案，近年来导热界面材料+石墨膜+均热板的方案已经成为中高端智能手机的主流选择。

表4: 智能手机散热方案

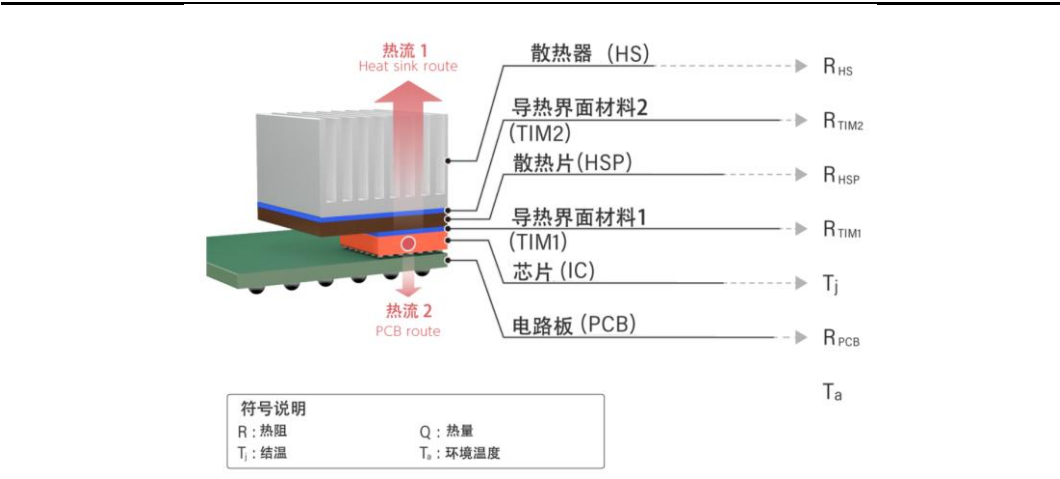
项目	散热方案
高端智能手机	热界面材料+均热板+人工合成石墨散热膜
中低端智能手机	热界面材料+热管+多层人工合成散热膜

数据来源：思泉新材招股书、苏州天脉招股书，东吴证券研究所

热阻值是散热设计的核心参数。芯片安装在 PCB 上，IC 产生的热量会流向散热材料和 PCB。根据基尔霍夫定律可以估算流向散热器和 PCB 的热量：流过每一侧的热量和热阻值的倒数成正比。也就是说，通过使带散热器的一侧热阻尽可能低，流向散热器的热量比例就会增加；同样的，若 PCB 的散热能力有所增强，也可以通过降低热阻以提高流向其的热量比例。

PCB 和元件散热既需要增加耐热能力，也需要增加其导热能力。元件端如一体成型功率电感不仅能助力小型化，还能适合高功率大电流的场景。而 PCB 也正在通过提高层压精度，埋铜增加散热能力等方式提高其散热能力。

图9: 热流从 IC 上下传热

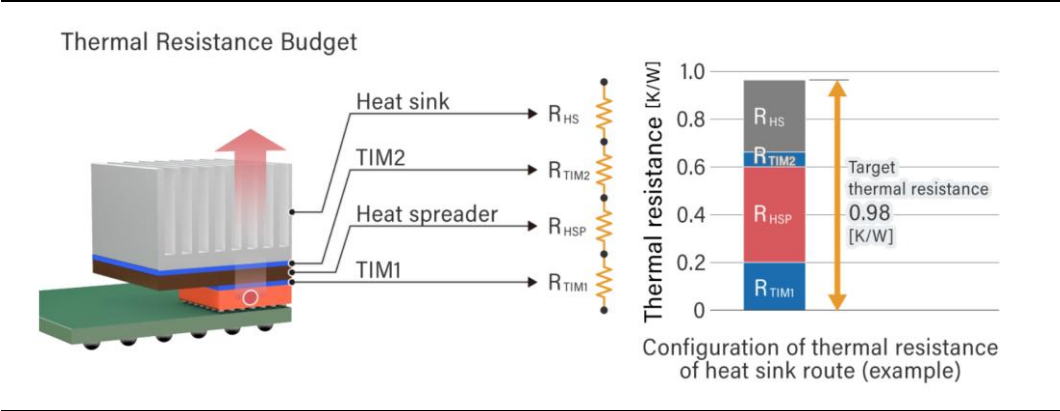


数据来源：傲川科技，东吴证券研究所

根据热预算进行热阻匹配设计，再进行各元件散热设计，减小厚度/选择高热导率材料/增加面积有助于减少热阻。热阻值的定义是物体两端温度差和热源功率的比值 $R = (T_2 - T_1) / P$ ， T_1 和 T_2 分别为物体两端的温度， P 为发热源的功率。参照 A18 Pro 8W 的 TDP，假设 80% 流向散热片，芯片温度和最高环境温度分别是 85/45℃，则散热片一侧的目标热阻是 6.25K/W。而由于热阻 $= L / kA$ (L 为材料厚度、 k 为材料的热导率， A 为平板垂直于热流方向的截面积)，也就是说厚度越小、材料热导率越大、散热面积越大，热阻越小。确定好目标热阻后，需要为各个元件设计散热目标，使得散热元件

热阻的总和低于目标热阻。

图10：热流从 IC 上传热



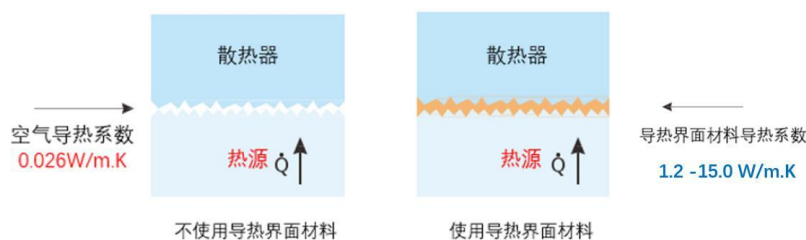
数据来源：傲川科技，东吴证券研究所

3. 散热材料方案选择多样，VC 均热板为核心路径

3.1. 热界面材料建立热传导通道，需求稳健增长

导热界面材料（TIM）通过降低接触热阻，在元器件和散热器之间建立高效热传导通道。由于微电子材料表面和导热散热器之间存在极细微的凹凸不平的空隙，如果将它们直接安装在一起，则它们之间的有效接触面积较小，其余均为空气间隙，而空气为热的不良导体，导热系数极低，将使得电子元件与导热散热器件的接触热阻非常大，严重阻碍了热量的传导，最终造成导热散热器件效能低下。使用具有高导热性的导热界面材料填充满这些间隙，排除其中的空气，在电子元件和散热器间建立有效的热传导通道，可以大幅度降低接触热阻，提高导热系数，使散热器的作用得到充分地发挥，其中导热系数是核心参数（单位为 W/m.K）。

图11：导热界面材料的作用



数据来源：苏州天脉招股说明书，东吴证券研究所

导热界面材料（TIM）需要综合考虑导热/绝缘/密封/稳定性等属性，同时需要不断提高导热系数。首先需要根据设备的使用场景、稳定性和寿命等因素选择合适热界面材料种类。相同种类同等厚度下的导热材料热导率越大越好，但是一般热导率越高越好，但是一般热导率越高的材料成本也越贵。

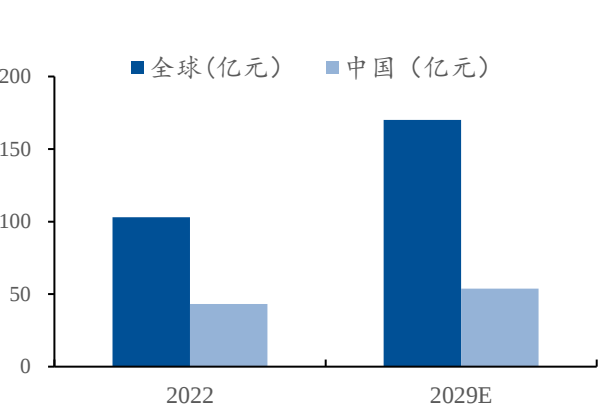
表5：主要热界面材料优缺点

材料类型	优点	缺点
导热硅脂	1、导热性能好、耐高温、耐老化效果较好 2、液态形式存在，具有良好的湿润性； 3、成本低廉	1、始终液态、操作不便；大面积涂抹效果不佳 2、长时间稳定性不好，连续热循环后引起液体迁移最终导致失效
导热垫片	1、导热性能稳定、耐高温 2、预成型的导热材料，具备安装测试和可重复使用的便捷性 3、柔软有弹性，压缩性好，能覆盖不平整的表面； 4、低压下具有缓冲、减震吸声的效果	1、相比硅脂成本相对较高，0.5mm 以下的硅胶片工艺复杂，厚度较高 2、相比导热硅脂，热阻相对较大 3、需要较大应力
导热凝胶	1、柔软性质和压缩性质出众 2、固化后具有良好的导热、散热能力； 3、固化后有弹性，抗冲击、抗震动； 4、使用寿命长	1、不可重复使用 2、粘接性能差
灌封胶	1、未固化前属于液态，具备流动性；固化后可以有导热、密封效果 2、优秀的电气性能和绝缘性能	1、导热效果一般 2、工艺较为复杂 3、粘接性能差 4、清洁度一般

数据来源：傲川科技，霍尼韦尔等，东吴证券研究所

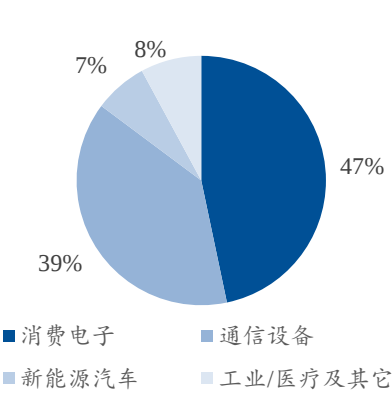
热界面材料市场稳步增长，规模超百亿，下游以消费电子为主。根据 QY Research，2022 年全球导热界面材料市场规模约 103 亿元，预计 2029 年接近 170 亿元，CAGR 为 7.4%。2022 年中国导热界面材料市场规模约为 43 亿元，预计 2029 年约为 54 亿元，CAGR 为 8.45%。2023 年，我国热界面材料下游主要应用领域为消费电子、新能源汽车、通信技术、医疗等领域。其中消费电子领域占比最重，占比为 46.70%，通信设备领域占比为 38.50%，是主要的下游应用。

图12：TIM 材料市场规模（亿元）



数据来源：QY Reacarch，东吴证券研究所

图13：TIM 材料下游应用以消费电子为主（2023 年）



数据来源：恒州诚思，东吴证券研究所

当时市场以美日德等企业为主。从行业竞争格局看，日本信越、美国道康宁、德国汉高、杜邦、富士高分子、莱尔德等是主要供应商，同时由于热界面材料应用广泛，供应相对分散。国内主要企业包括苏州天脉、中石科技、傲川科技、阿莱德等。

3.2. VC 均热板：制伏 SoC 发热的核心方案

3.2.1. 热管→均热板，点散热→面散热

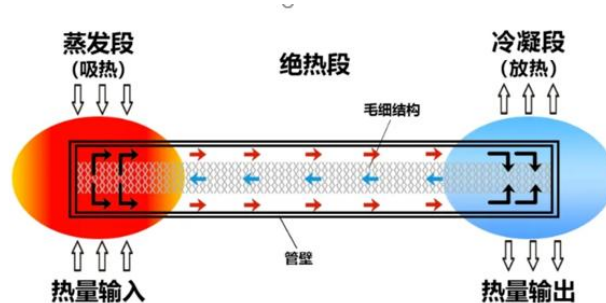
热管利用工作介质在真空条件下低沸点的原理，实现常温下急速将热量从加热端传导到冷凝端，然后液体通过腔体内的毛细结构（吸液芯）再回流到发热区域，适用于需要将热量快速传导的场景，尤其适用于热量需要远端转移的场景。

图14：热管示意图



数据来源：苏州天脉招股书，东吴证券研究所

图15：热管工作原理



数据来源：模切之家，东吴证券研究所

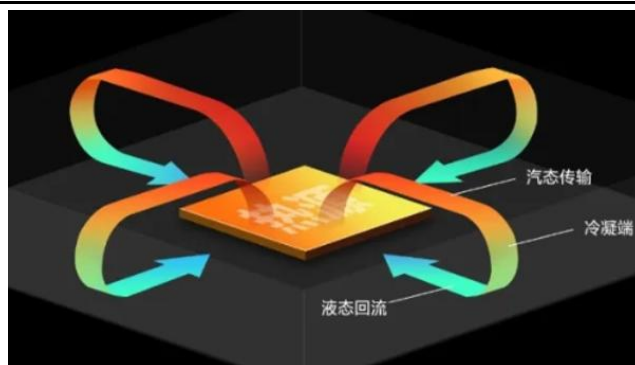
VC 相比均热板。VC（真空腔均热板散热技术），其散热的基本原理与热管类似，同样是利用水的相变进行循环散热，热管只有单一方向的“线性”有效导热能力，而 VC 相当于从“线”到“面”的升级，可以将热量向四面八方传递，有效增强散热效率。根据 PConline 资料，热导管散热的导热系数为 $5000 \sim 8000W/(m \times k)$ ，而 VC 导热系数则可以达到 $20000W/(m \times k)$ 以上。

图16：均热板示意图



数据来源：苏州天脉招股书，东吴证券研究所

图17：均热板工作原理



数据来源：模切之家，东吴证券研究所

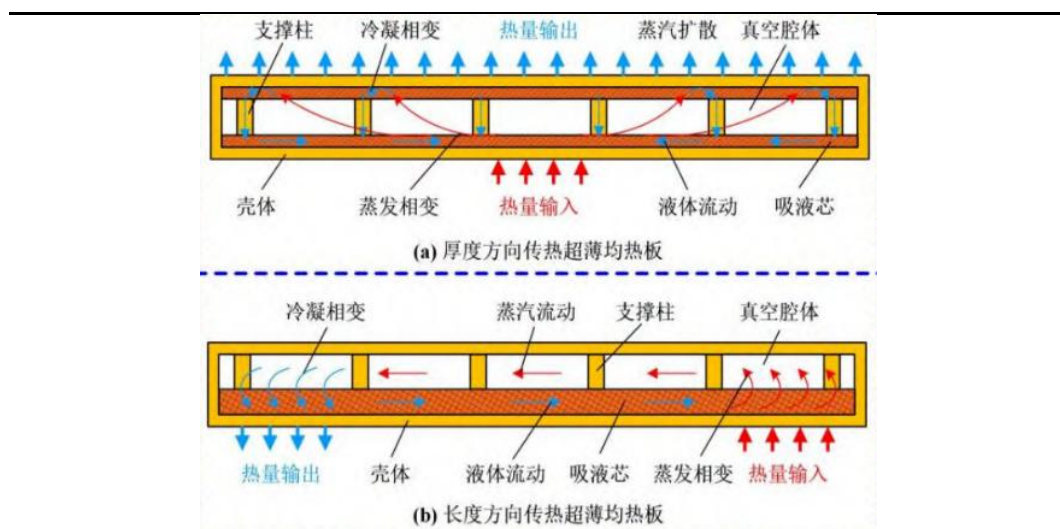
由于 VC 散热面积更大，可以覆盖更多热源区域达到整体散热，设计上也更加灵活，且 VC 更加轻薄，符合目前手机轻薄化、空间利用最大化的发展趋势。因此 VC 均热板替代热管，成为搭配石墨散热膜作为散热主材的主要方案。

3.2.2. VC 均热板持续进化

VC 均热板由上下金属壳板、支撑柱、真空腔体（蒸汽腔）、吸液芯和其中的液体（工质）组成。随着 AI 终端往高性能、高集成和轻薄化的方向发展，除了满足散热要求外，VC 均热板进一步轻薄化、减重、可折叠是核心研发方向。

VC 均热板由两种典型的传热路径，手机一般沿着长度方向传热。两种典型超薄均热板传热不同之处在于，蒸发端和冷凝端位置，传热方向、蒸汽和液体流动方向不同，一种是沿着厚度方向传热，可以通过大面积冷凝带走更多热量；一种是沿着长度方向传热，可以传递较远距离并且保持优异的均温性能。而移动电子设备由于狭小空间散热需求，超薄均热板沿着长度方向传热具有更优的均温性，能够有效保证芯片热量快速传递至电子设备壳体，散热效率更高。

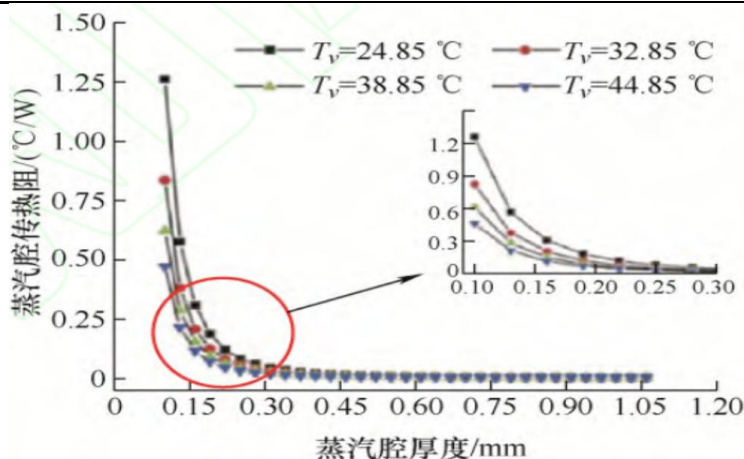
图18：典型 VC 均热板传热工作原理及结构图



数据来源：《超薄均热板的研究现状及发展趋势》，东吴证券研究所

蒸汽腔厚度减小到 0.3mm 以后蒸汽阻力急剧增大，不改变结构的情况下达到超薄化瓶颈。当蒸汽腔厚度减小至 0.3mm 以后，超薄均热板热阻急剧增加，并且随着蒸汽腔厚度进一步减小，蒸汽流动产生的热阻占总热阻的比重也越来越大。相比常规厚度下主要考虑液体流动，在极端超薄厚度条件下，蒸汽在真空腔体内的流动阻力随着蒸汽腔厚度减小而急剧增大，成为制约轻薄化的关键。此外，蒸汽腔厚度极小时，由于尺寸效应会导致蒸汽通道内液塞形成，阻碍蒸汽流动，还会抑制液体发生相变过程，导致传热性能急剧下降甚至失效。因此要实现极端厚度条件下超薄均热板的气液运行，需要综合考虑液芯结构和蒸汽腔空间设计。

图19：理论热阻随着蒸汽腔厚度减少至 0.3mm 后急剧增加



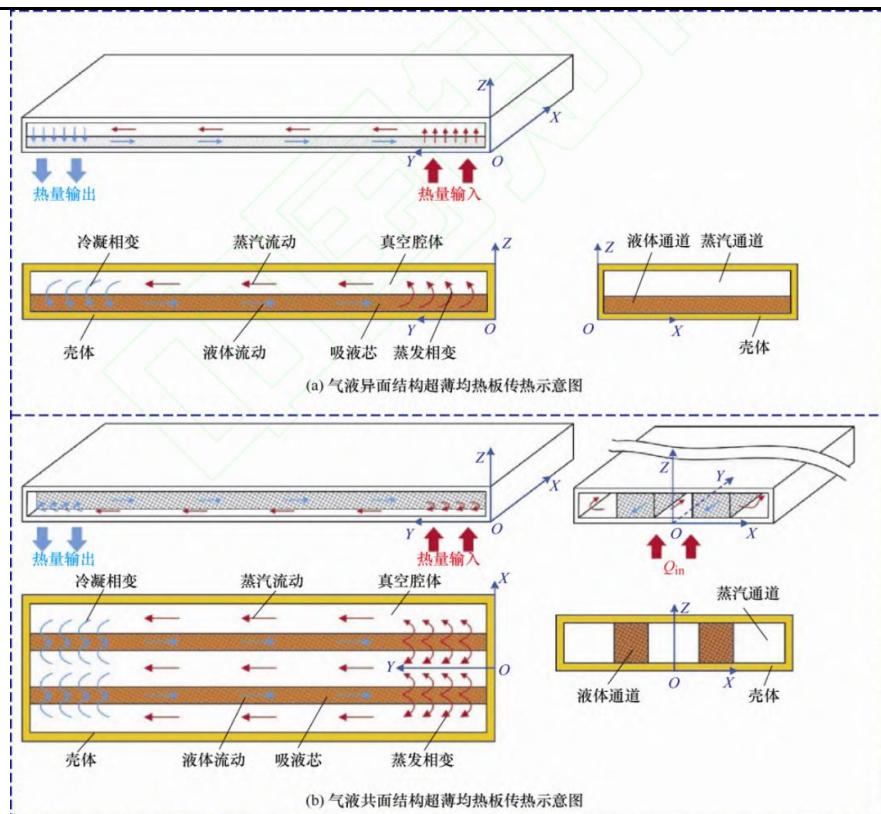
数据来源：《超薄均热板的研究现状及发展趋势》，东吴证券研究所

根据超薄均热板的工作原理，需要液体顺利回流至蒸发段实现气液循环，内部要满足压强平衡，即吸液芯驱动液体流动的毛细压力 > 蒸发段到冷凝段蒸汽流动阻力 + 冷凝段到蒸发段液体流动阻力 + 液体重力压降。主要通过优化气液通道降低蒸汽流动阻力，同时也需要设计吸液芯结构以提高吸液芯毛细压力并降低液体流动阻力。

1、气液共面是优化气液通道的核心方向

根据 VC 的气液通道排布方式可以分为气液异面和气液共面结构，气液异面方式的相变方向与厚度方向一致，共面方式与宽度方向一致。

图20：气液异面与气液共面结构超薄均热板传热示意图

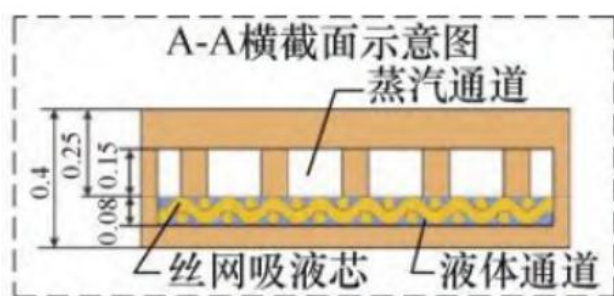


数据来源：《超薄均热板的研究现状及发展趋势》，东吴证券研究所

传统 VC 基本是气液异面结构设计，气液运动在不同平面进行，相互干扰较少。但是气液异面 VC 始终需要计算吸液芯和蒸汽腔厚度之和，过于减少蒸汽腔厚度会导致蒸汽阻力急剧增大和形成液膜，难以实现 0.4mm 以下厚度的超薄化。

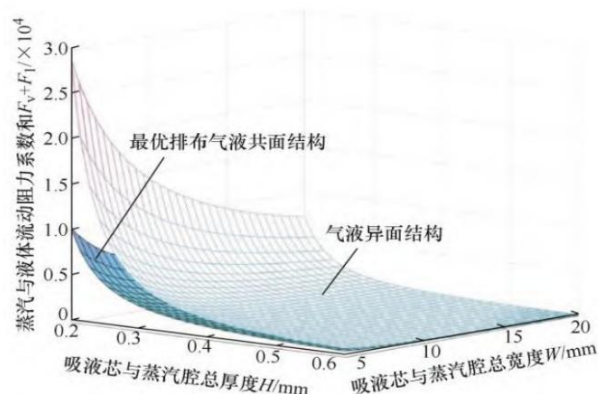
气液共面结构通过将蒸汽通道和液体通道排布在厚度方向上的同一平面，总体厚度可以进一步下降。另外通过合理的气液通道交替设置，气液共面均热板在宽度方向上也可以实现较好的拓展，特别适用于散热面积较大的场景。

图21: 0.4mm 厚度气液异面 VC 的尺寸构成 (mm)



数据来源：《超薄均热板的研究现状及发展趋势》，东吴证券研究所

图22: 气液共面结构在厚度减少时热阻优势越发明显



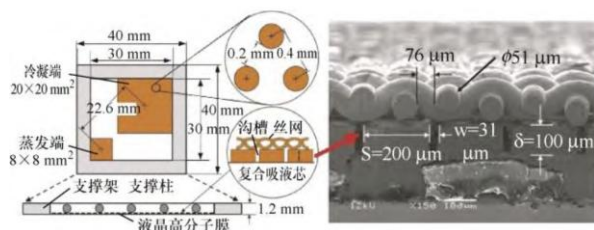
数据来源：《超薄均热板的研究现状及发展趋势》，东吴证券研究所

2、吸液芯结构设计和加工难度复杂

吸液芯是驱动液体回流，提供液体流动通道，完成气液循环的重要部件。根据结构的不同，可分为微沟槽型、粉末烧结型、泡沫金属型、丝网烧结型和复合结构型。此外，随着微纳加工技术的兴起，微纳复合尺度吸液芯也受到高度关注。其中丝网烧结具有孔隙率大、厚度薄、结构规则、柔性好等优点，非常适合目前均热板的超薄化需求。

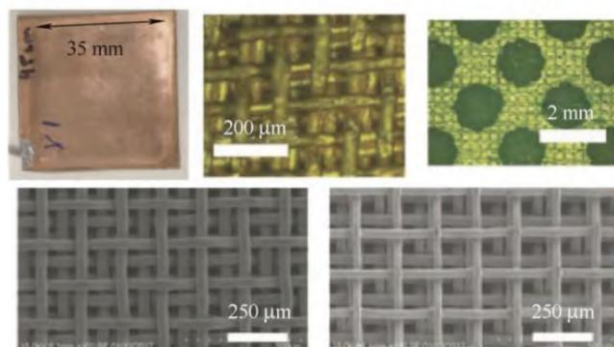
吸液芯精密度较高，加工工艺多样，可综合运用冲压、激光加工、蚀刻和微纳加工工艺提升吸液芯的性能。

图23: 复合结构吸液芯微观结构复杂限制超薄化



数据来源：《超薄均热板的研究现状及发展趋势》，东吴证券研究所

图24: 丝网烧结吸液芯微观结构



数据来源：《超薄均热板的研究现状及发展趋势》，东吴证券研究所

3、封装材料选择影响厚度和机械强度

由 VC 均热板原理可知道，散热主要通过内部气液相变过程，而与壳体材料关系不大。壳体材料的选择更多考虑强度、可加工性能等因素。如壳体若强度不够发生塌陷，容易导致 VC 均热板蒸汽通道变形，增大蒸汽阻力。

材料强度对 VC 厚度/整机强度影响大。上下壳体厚度达到 0.2mm，减少壳体厚度是轻薄化的重要突破点。同时由于 VC 在手机中都需要挖空一部分中框，对中框的结构强度也有一定影响。以不锈钢和铜的对比为例，由于不锈钢比铜强度更高，甚至可以替代部分中框实现整机减薄，其次在保证同等中框强度的前提下可以让 VC 覆盖更多的部件，进一步增强整机的散热效率。

图25：壳体材料占 VC 均热板厚度比例较大



数据来源：《超薄均热板的研究现状及发展趋势》，东吴证券研究所

图26：VC 或热管都需要挖空一部分中框



数据来源：模切之家，东吴证券研究所

根据具体的需求场景，铜、不锈钢和钛等金属材料是 VC 均热板壳体材料的主流选择，随着柔性化要求提升，聚合物也成为壳体材料选择之一。

图27：领益智造的纯钛/不锈钢/铜的超薄 VC 均热板方案



数据来源：领益智造公众号，东吴证券研究所

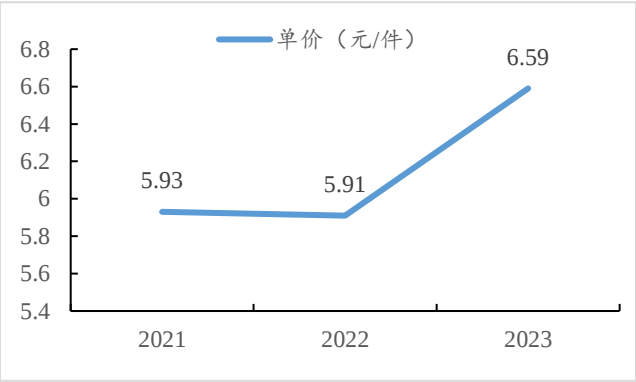
3.2.1. VC 均热市场规模持续扩大

随着 VC 均热板尺寸增大，新材料的放量，单价整体呈现向上趋势。根据苏州天脉

招股书，2023 年 VC 均热板单价来到 6.6 元，明显高于 2021 年和 2022 年。

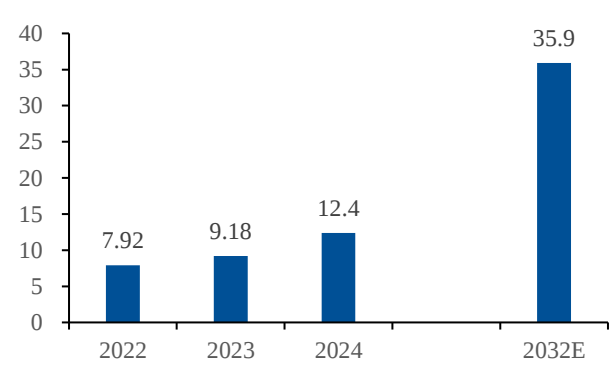
根据 Research and Markets 等，2024 全球 VC 均热板市场规模为 12.4 亿美元，相比 2022 年提升 57%，预测 2032 年全球市场规模将达到 36 亿美元，2024-2032 年 CAGR 为 14.2%。

图28：苏州天脉 VC 均热板平均售价（元）



数据来源：苏州天脉招股书，东吴证券研究所

图29：VC 均热板市场规模（亿美元）

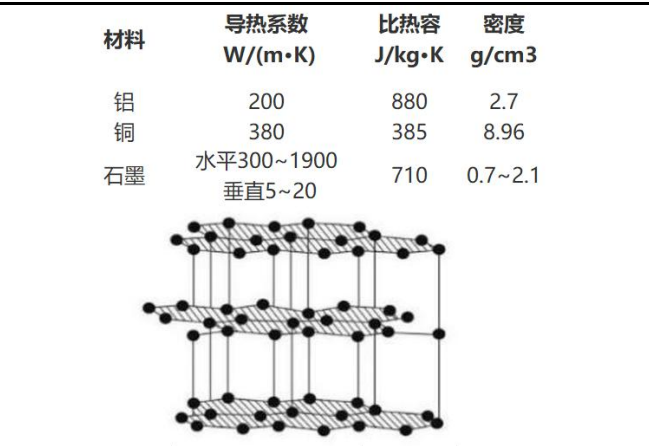


数据来源：Research and Markets, Business Research 等，东吴证券研究所

3.3. 石墨：多层堆叠提升用量以提高散热性能

性能优异，在手机散热中大规模应用。石墨晶体具有独特的六角平面网状结构，具有耐高温、热膨胀系数小、比热容大、可塑性强、占用空间小等特点。同时石墨的晶体结构决定了在 X-Y 轴上导热系数高达 300-1900W/(m.K)，人工石墨一般热导率在 1000~1500W/(m.K)，而铜和铝一般在 200~400W/(m.K)，因此石墨可以更快的将热量传导出去。同时石墨在 Z 轴热导率极低，几乎起到了隔热的效果，因此石墨具有良好的均热效果，可以有效防止电子产品局部过热。石墨散热片大规模应用在手机散热中。

图30：石墨晶体结构带来高导热性



数据来源：思泉新材/碳元科技招股书，东吴证券研究所

图31：iPhone 内部大面积覆盖石墨片

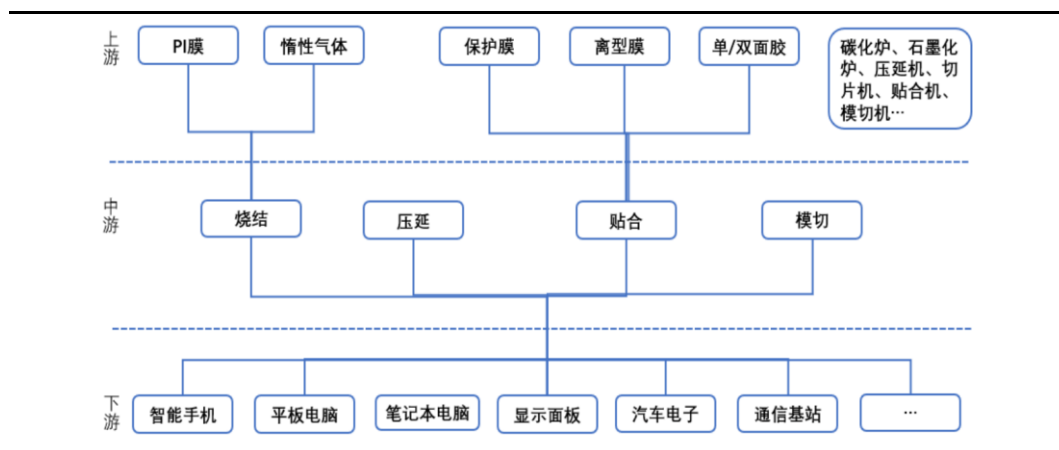


数据来源：电子工程专辑，东吴证券研究所

石墨片层数不断增加，模切难度日益提升。石墨散热片是石墨散热膜经过模切后的产品。模切工艺是实现各类功能膜材料层层堆叠的重要途径，通过模切工艺可以在

石墨膜基础上堆叠其它功能膜材料，实现散热导热功能外的其它功能，主要包括保护膜、离型膜和胶带等。多层石墨叠加可以增加热传导的路径(对比单层石墨)，热量能更快速更均匀的传递，同时能够针对终端内部结构的高低落差能起到更好的贴和作用。而层数的增加带来工序的大幅增加，对每一步产品良率要求提升，考验厂商对复杂结构的设计、材料特性的掌握和工艺技术的优化。

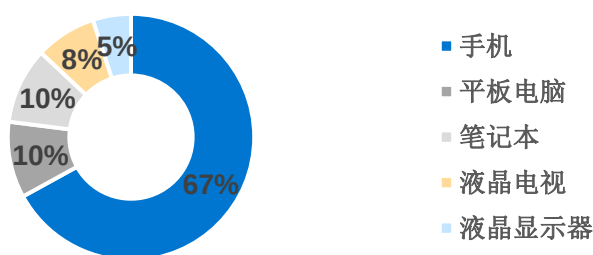
图32: 石墨散热片产业链



数据来源：思泉新材招股书，东吴证券研究所

从下游细分市场看，石墨散热膜主要应用在手机、平板电脑和笔记本电脑等消费电子上，其中手机占比约为 2/3，是最主要的下游应用。根据华经产业研究院，2020 年单台手机的石墨膜价格在 2-5 元；根据苏州天脉招股书，估算其覆盖的手机/平板和笔电市场的石墨膜需求就超过 70 亿元。

图33: 石墨散热下游应用领域（2020 年）



数据来源：华经产业研究院，东吴证券研究所

4. 风险提示

产品散热需求不及预期：手机设计上若对散热容忍度提升，对整体散热产业链的需求将会降低。

技术发展不及预期：散热方案新的制造技术发展不及预期，产品成本或过高无法普及。

竞争加剧风险：如果供应商进一步增加，供应格局恶化风险。

免责声明

东吴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。

本研究报告仅供东吴证券股份有限公司（以下简称“本公司”）的客户使用。本公司不会因接收人收到本报告而视其为客户。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，本公司及作者不对任何人因使用本报告中的内容所导致的任何后果负任何责任。任何形式的分享证券投资收益或者分担证券投资损失的书面或口头承诺均为无效。

在法律许可的情况下，东吴证券及其所属关联机构可能会持有报告中提到的公司所发行的证券并进行交易，还可能为这些公司提供投资银行服务或其他服务。

市场有风险，投资需谨慎。本报告是基于本公司分析师认为可靠且已公开的信息，本公司力求但不保证这些信息的准确性和完整性，也不保证文中观点或陈述不会发生任何变更，在不同时期，本公司可发出与本报告所载资料、意见及推测不一致的报告。

本报告的版权归本公司所有，未经书面许可，任何机构和个人不得以任何形式翻版、复制和发布。经授权刊载、转发本报告或者摘要的，应当注明出处为东吴证券研究所，并注明本报告发布人和发布日期，提示使用本报告的风险，且不得对本报告进行有悖原意的引用、删节和修改。未经授权或未按要求刊载、转发本报告的，应当承担相应的法律责任。本公司将保留向其追究法律责任的权利。

东吴证券投资评级标准

投资评级基于分析师对报告发布日后 6 至 12 个月内行业或公司回报潜力相对基准表现的预期（A 股市场基准为沪深 300 指数，香港市场基准为恒生指数，美国市场基准为标普 500 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），北交所基准指数为北证 50 指数），具体如下：

公司投资评级：

买入：预期未来 6 个月个股涨跌幅相对基准在 15%以上；

增持：预期未来 6 个月个股涨跌幅相对基准介于 5%与 15%之间；

中性：预期未来 6 个月个股涨跌幅相对基准介于-5%与 5%之间；

减持：预期未来 6 个月个股涨跌幅相对基准介于-15%与-5%之间；

卖出：预期未来 6 个月个股涨跌幅相对基准在-15%以下。

行业投资评级：

增持：预期未来 6 个月内，行业指数相对强于基准 5%以上；

中性：预期未来 6 个月内，行业指数相对基准-5%与 5%；

减持：预期未来 6 个月内，行业指数相对弱于基准 5%以上。

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应当充分考虑自身特定状况，如具体投资目的、财务状况以及特定需求等，并完整理解和使用本报告内容，不应视本报告为做出投资决策的唯一因素。

东吴证券研究所
苏州工业园区星阳街 5 号
邮政编码：215021
传真：（0512）62938527

