

石墨烯导热材料及其应用研究

航天军工解决方案



产品目录

壹

石墨烯泡沫片
1.1 泡沫热界面材料
1.2 相变储热膜

陆

钨基衬垫

贰

石墨烯导热膜
2.1 原膜、模切
2.2 导热索

柒

铝基碳化硅

叁

石墨烯导热板
3.1 金属化石墨烯 焊接
3.2 封装

捌

钼铜

肆

CVD封装石墨烯
导热片

玖

铜金刚石热
沉片

伍

石墨烯导热垫片

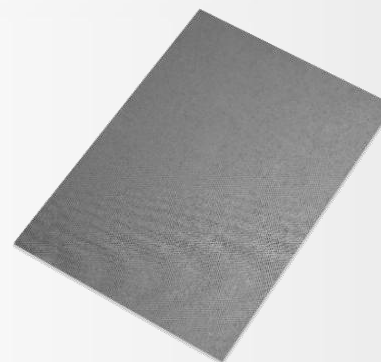
1 石墨烯泡沫片

泡沫状石墨烯导热片是以具有高导热，高导电，耐高温，耐压缩性能良好的石墨烯片层为骨架，其结构为片状层叠，石墨烯片层之间有不规则的片层间距。泡沫状石墨烯导热片的结构和组成决定其具有低密度、缓冲作用、高导热、高导电和电磁屏蔽等优异性能。

参数指标

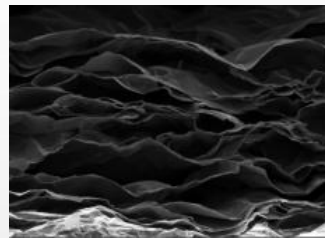
厚度 (mm)	0.1~50
导热系数X-Y (W/(m·K))	100~800
热扩散系数 (参考值) (mm ² /s)	600~700
密度 (参考值) (g/cm ³)	0.1~1.2
比热容 (参考值) (J/(g·K))	0.85
拉伸强度 (MPa)	>2
电导率 (法向) (S/m)	400~600
电导率 (总) (S/m)	$\geq 2 \times 10^5$

- 面内方向导热系数高
- 耐高温
- 良好的电磁屏蔽性能
- 低密度

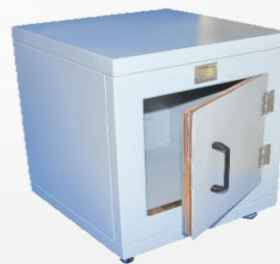


外观

应用场景



相变储热材料导热支架



电磁屏蔽材料

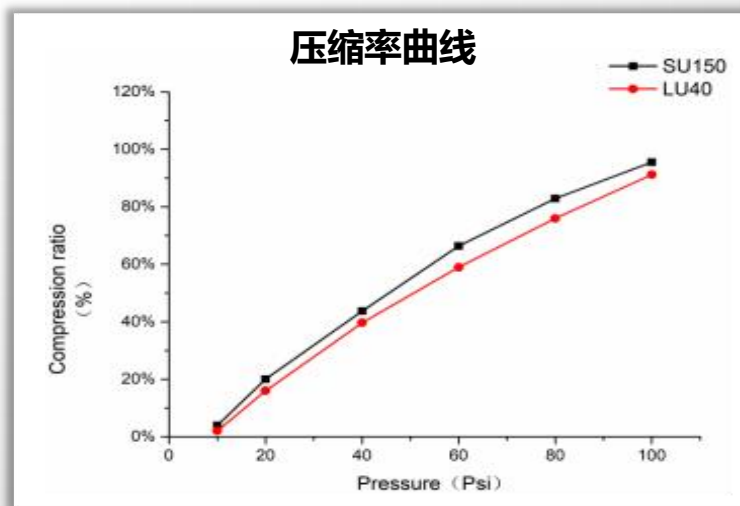
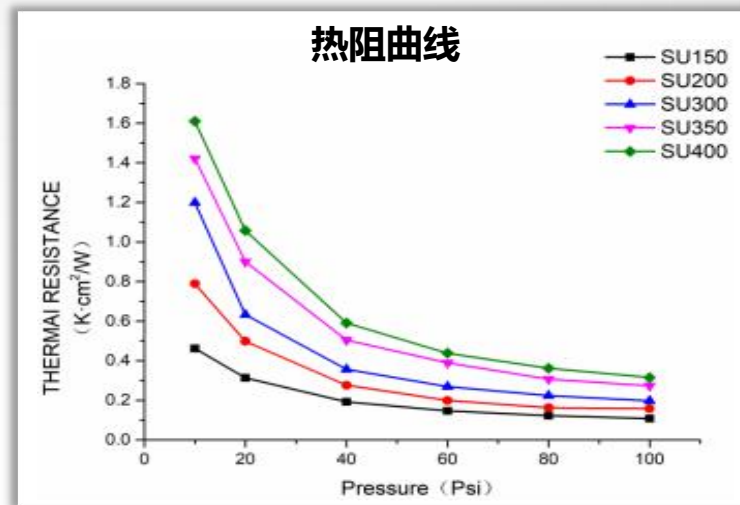


防火材料

1.1 石墨烯泡沫热界面材料

具有高导热、高导电、耐高温、低密度、耐压缩等优异性能，适用于缓冲、零释放、高温等场景下的界面传热。

参数指标	
厚度 (μm)	40~400
导热系数 ($\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$)	150~700
热阻 (100psi) ($\text{K}\cdot\text{cm}^2/\text{W}$)	0.1~0.4
密度 (参考值) (g/cm^3)	0.3~1.0
比热容 (参考值) ($\text{J}/(\text{g}\cdot\text{K})$)	0.85
电导率 (法向) (S/m)	400 - 600
电导率 (总) (S/m)	$\geq 2 \times 10^5$



1.2 石墨烯相变储热膜

将多孔结构石墨烯泡沫与相变材料进行复合，利用石墨烯泡沫骨架的高导热性能及相变材料的高潜热值，实现石墨烯复合相变材料优异的储热和导热性能，应用于电子产品、通信设备等高功率储能散热等领域。

参数指标

厚度 (μm)	300~1200
导热系数X-Y ($\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$)	≥ 50
相变点 ($^{\circ}\text{C}$)	35~45
体积焓值 (J/cm^3)	≥ 140
密度 (参考值) (g/cm^3)	≥ 0.7
相变焓损失 (85°C , 500h)	$\leq 10\%$

- 厚度可定制
- 可根据客户需求，与不同材料复合、模切加工
- 储热性能好，导热系数高



应用场景



军舰储能装置



激光武器



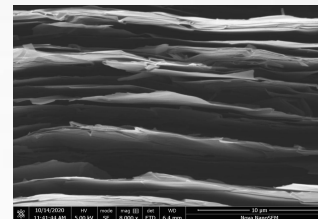
航天、航空

2.1 石墨烯导热膜

石墨烯导热膜具有优异的导热性能，轻薄柔软，厚度可定制，可满足航天器减重及复杂结构热管理使用需求，宽温区服役(80K~1020K)。

参数指标	
厚度 (μm)	20~150
导热系数X-Y (W/(m·K))	1000~1800
热扩散系数 (参考值) (mm ² /s)	620~985
密度 (参考值) (g/cm ³)	1.9~2.15
折弯次数 (R2, 180°)	≥ 2×10 ⁵
比热容 (参考值) (J/(g·K))	0.85
拉伸强度 (MPa)	≥20
电导率 (S/m)	≥5×10 ⁵
耐热温度 (°C)	400或900 (保护气体)

- 厚度可定制
- 良好的柔韧性
- 高导热、高密度
- 可靠性强，组装便捷



产品微观截面状态



外观

应用场景



航天



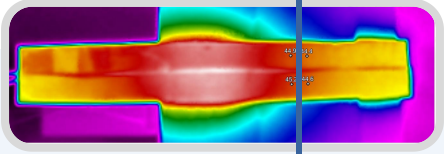
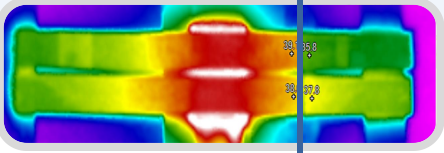
雷达



卫星

2.1 石墨烯导热膜 柔性可折叠

折弯试验 (R2, 180°)

样品名称	厚度	50,000次	100,000次	200,000次	实验结果
石墨烯导热膜	40 μ m	OK	OK	OK	 <p>折弯后$\Delta T=0.5^{\circ}\text{C}$ 44.9$^{\circ}\text{C}$ 44.4$^{\circ}\text{C}$</p> <p>45.2$^{\circ}\text{C}$ 44.6$^{\circ}\text{C}$ 折弯前$\Delta T=0.6^{\circ}\text{C}$</p>
	100 μ m	OK	OK	OK	
	150 μ m	OK	OK	OK	
人工石墨导热膜	40 μ m	NG	-	-	 <p>折弯后$\Delta T=3.3^{\circ}\text{C}$ 39.1$^{\circ}\text{C}$ 35.8$^{\circ}\text{C}$</p> <p>38.6$^{\circ}\text{C}$ 37.8$^{\circ}\text{C}$ 折弯前$\Delta T=0.8^{\circ}\text{C}$</p>
	40+40 μ m	NG	-	-	
	40+40+40 μ m	NG	-	-	



石墨烯导热膜经过200,000次折弯未出现断裂现象，且不影响导热性能

2.2 石墨烯导热索

采用多层石墨烯导热膜异质结构钎焊连接而成，充分利用石墨烯导热膜优异的柔韧性、高导热，实现高柔性、高通量散热。适用于有一定活动位移，需冷热端传热的应用场景。

- 突破石墨烯薄膜与Al、Cu等异质结构钎焊连接难题
- 连接结构平面热导 $> 1200\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$, 宽温区服(80K~1020K), 可在极低温使用
- 优异的柔韧性
- 高导热
- 高通量散热
- 可靠性强, 组装便捷

石墨烯可与铝、铜端头焊接



应用场景



航天



卫星光学成像的雷达



导弹

3 石墨烯导热板

通过高定向自组装工艺制备的超厚度大尺寸的石墨烯导热板，具有优异的导热性能，可以应用于大功率、高热量的散热场景。

参数指标

厚度(mm)	0.3~10
导热系数X-Y(W/(m·K))	1000~1300
热扩散系数 (参考值) (mm ² /s)	620~730
密度 (参考值) (g/cm ³)	1.9~2.1
比热容 (参考值) (J/(g·K))	0.85
拉伸强度(MPa)	≥20
电导率(S/m)	≥5×10 ⁵
耐热温度(°C)	空气气氛: 400 惰性气体气氛: 2800以上 真空环境: 1000
抗弯曲模量 (MPa)	≥ 800

- 面内方向导热系数高
- 轻质
- 可靠性强，易组装



外观

应用场景



航天



雷达



卫星

3.1 金属化石墨烯

对石墨烯进行精细化结构加工和表面金属化，石墨烯和金属结合的界面热阻进行调控，实现石墨烯金属复合散热模组更优的热性能和力学性能。

参数指标	
厚度 (mm)	0.2~2
导热系数X-Y (W/(m·K))	1000~1500
金属层厚度 (μm)	0.5-20
密度 (参考值) (g/cm ³)	≥2.1
比热容 (参考值) (J/(g·K))	0.85
金属层拉拔强度 (MPa)	≥10
抗弯曲模量 (MPa)	≥ 800

- 可焊接
- 轻质
- 高导热
- 高机械性能
- 金属层厚度与种类可调节



金属化石墨烯-局部

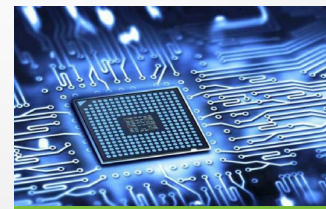


金属化石墨烯-整体

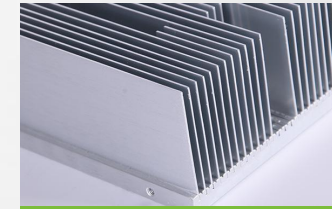
应用场景



军用计算机



大功率芯片

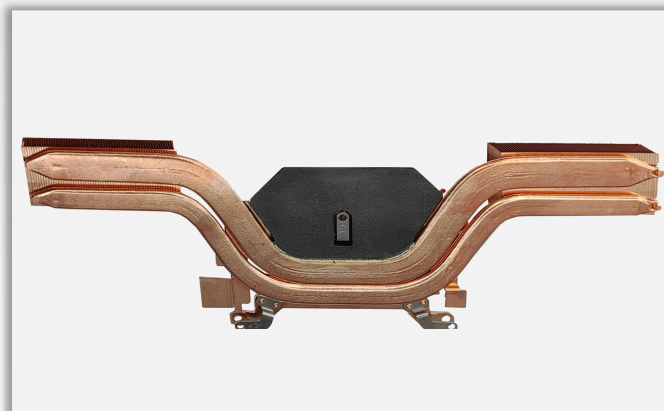


散热器

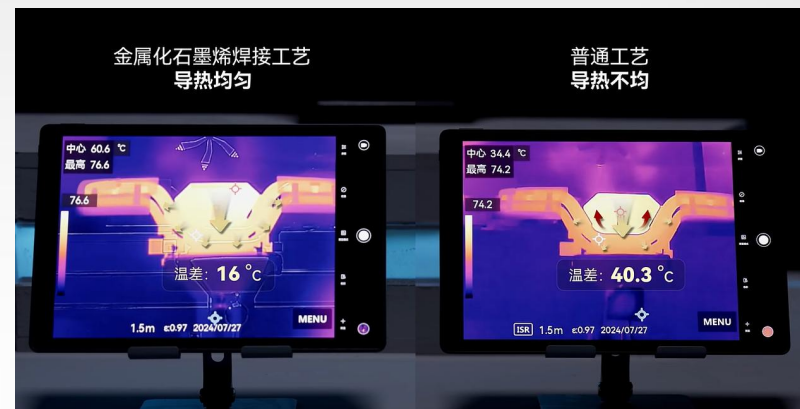
3.1 金属化石墨烯 焊接

可复合材料

- 热管
- 均热板
- 金属材料
- 陶瓷



金属化石墨烯-热管

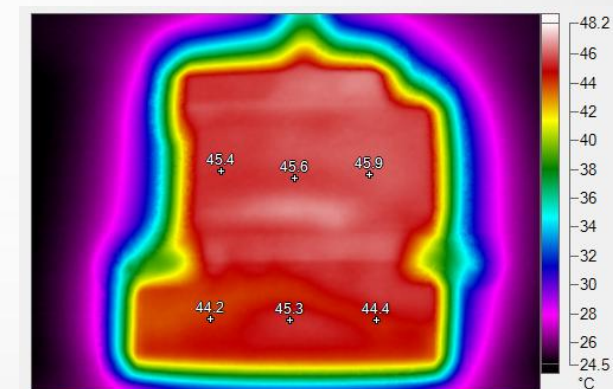


金属化石墨烯散热模组优势

- 更高导热
- 轻质
- 性价比更优



金属化石墨烯-铜结构件

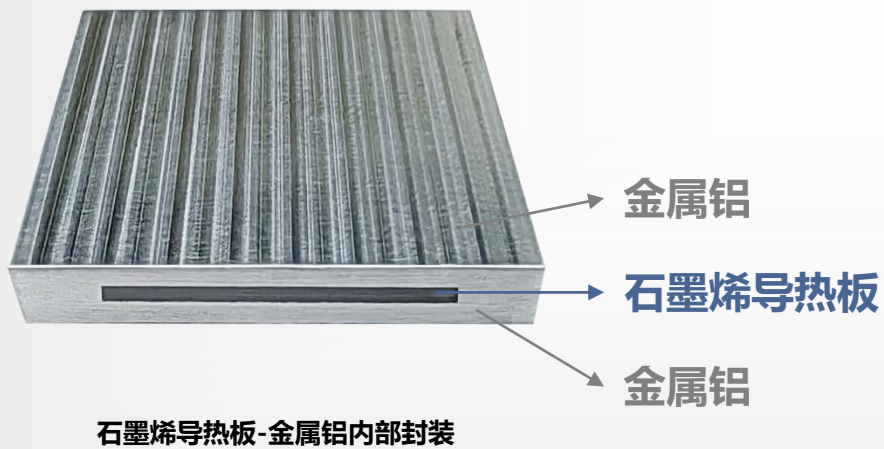
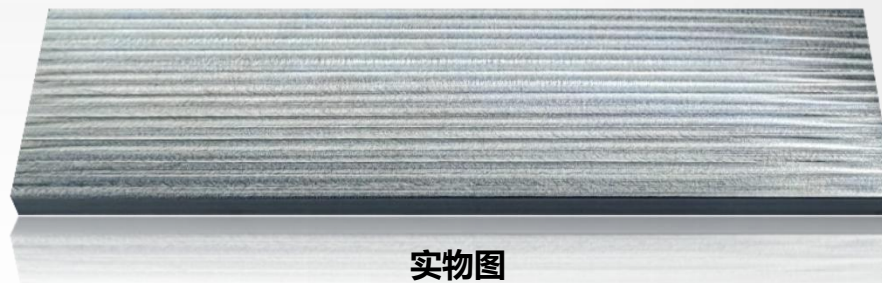


焊接样品导热效果

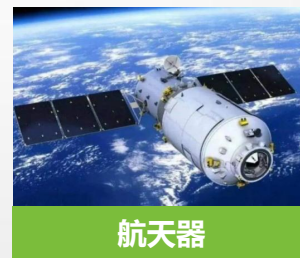
3.2 石墨烯导热板 封装

根据应用工艺不同，可选择石墨烯导热板或金属化石墨烯，分别和金属材料（铝、铜等）进行封装。

- 导热系数大于 $700\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$
- 厚度和形状尺寸可以定制
- 轻质，密度低于铝、铜等金属
- 机械加工性能好



应用场景



4 CVD封装石墨烯导热片

应用高分子聚合物通过CVD技术将石墨烯导热材料封装制备而成，具有良好的导热、轻质、绝缘性好、可靠性高等优异性能，应用在电子、通信设备中，可替代部分超薄均热板的应用。

参数指标	
厚度 (μm)	200~800
导热系数X-Y (W/(m·K))	1000~1500
热扩散系数 (mm ² /s)	620~820
密度 (g/cm ³)	1.9~2.15
比热容 (J/(g·K))	0.85
拉伸强度 (MPa)	≥20
耐压性能	AC 400V > 30s
耐热温度 (°C)	125 / 150

- 包边窄，有效散热面积大
- 绝缘耐压，可靠性高
- 轻质
- 满足狭小空间散热需求



外观

应用场景



手机



平板



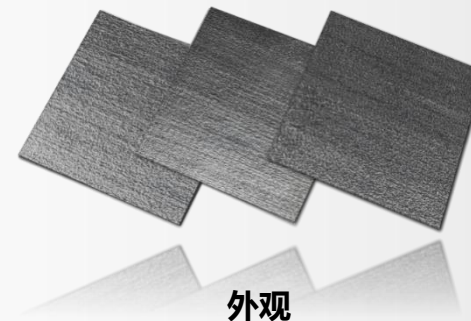
AR/VR眼镜

5 石墨烯导热垫片

石墨烯导热垫片是通过石墨烯在厚度方向上高度取向，形成连续高效的导热网络。并具有良好的回弹性，在相对较低的压力下即可实现低界面热阻。应用于功率器件与散热器或机器外壳间，有效填充缝隙排除空气，达到良好的填充效果。

参数指标	GTH090	GTH130
厚度 (mm)	0.2~2	0.2~0.5
热阻 (K·cm ² /W)	≤0.06 (0.3mm@40PSI)	≤0.042 (0.3mm@40PSI)
导热系数Z-Y (W/(m·K))	≥90	≥130
密度 (g/cm ³)	0.8±0.2	
尺寸 (mm×mm,Max)	80×80	
压缩量 (%)	15~40 (40PSI)	15~40 (40PSI)
横向拉伸强度 (MPa)	X方向≥0.05, Y方向≥1.5	
可持续工作温度 (°C)	-55~150, 适用于270°C焊接封装工艺	
阻燃等级	V-0	
腐蚀性	与Cu/Ni/Ag/Al等兼容	

- 高导热系数
- 低热阻
- 具有一定的压缩回弹性
- 长期可靠性



应用场景



相控阵雷达T/R组件



军事/宇航固态存储



大功率芯片散热

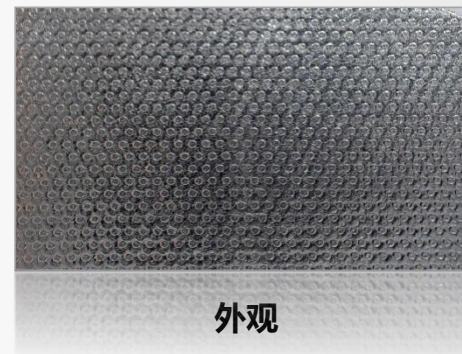
6 钢基衬垫

钢基衬垫产品是由铝箔主材与银胶膜复合而成，其中铝箔表面整齐排列有点状凸起的网纹，胶膜为银灰色的导电膜。产品具有优异的界面传热性能，适用于大功率、高热量的散热场景，如：封装导热片、LED/激光器等光学器件、雷达TR组件、服务器/数据中心液冷散热、IGBT 模组。

参数指标

厚度 (μm)	150±30
重量(g/mm ²)	0.06-0.08
热阻 (°C·cm ² /W)	≤0.6 (40psi)
压缩率 (%)	10-35 (40psi)
体积电阻率 (Ω·m)	≤0.1
拉伸强度 (MPa)	≥1
铝箔中钢含量 (%)	≥99
工作温度 (°C)	-55~85
银胶膜热导率 (W/m·K)	≥5
银胶膜剪切强度 (MPa)	≥10

- 热导率高
- 润湿性好，粘接性好
- 稳定性高
- 沸点高，不易挥发，无腐蚀



外观

应用场景



相控阵雷达T/R组件



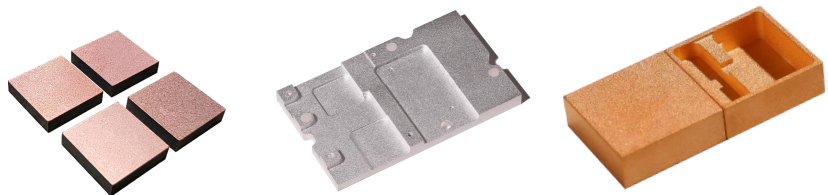
军事/宇航固态存储



大功率芯片散热

7 铝基碳化硅

参数指标



Spacer

基板

壳体

体积分数 (Vol %)	55~65	65~70	65
热导率(W/(m·K))		200±20	
热膨胀系数 ($\times 10^{-6}/K$)	9~11	6.5~9	6.5~9
电导率 (MS/m)	≥ 3.5	≥ 6	≥ 300
密度 (g/cm ³)	2.93±0.03	2.97~3.1	2.93~3.1
气密性 (Pa·m ³ /s)	/	/	$\leq 10^{-9}$
镀镍 (μm)		8~12	
镀银 (μm)		4~8	
表面处理	镀金、镀银、镀镍、镀钛、镀铜		

铝基碳化硅 (AlSiC) 被称为金属化的陶瓷材料，是一种颗粒增强铝基复合材料，采用铝合金作为基体，碳化硅作为增强体，充分结合了金属铝和陶瓷的不同优势，是目前高功率IGBT封装模块最佳的选择。

- 高热导率
- 高比刚度
- 良好的可焊性
- 低膨胀
- 抗震性
- 密度小
- 耐热循环
- 高导电率
- 气密性良好
- 耐高功率
- 镀层结合力强
- 尺寸稳定性高

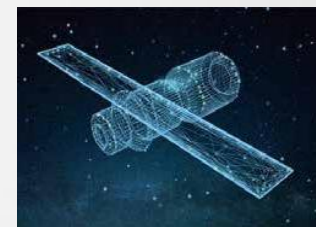
应用场景



相控阵雷达



航天航空



卫星通讯

8 钼铜

钼铜是一种由高导热金属铜(Cu)和低热膨胀金属钼(Mo)组成的复合材料。热膨胀系数可调，具有接近硅(Si)芯片的低热膨胀和优越的机械性能，具有高热传导率、无磁性、低气体含量、良好的真空性能、良好的机加工性及特殊的高温性能等特点，在真空开关电触头材料、电子封装热沉材料、航空航天、武器制造等领域广泛应用。

参数指标

体积分数 (Vol %)	40~70
热导率 (W/(m·K))	200~320
热膨胀系数 ($\times 10^{-6}/K$)	7.5~12.5
电导率 (MS/m)	> 25
密度 (g/cm ³)	9.3~9.8
镀镍 (μm)	3~7
镀银 (μm)	4~8

- 高导热率
- 低膨胀
- 高导电率
- 镀层结合力强
- 良好的可焊性



外观

应用场景



相控阵雷达T/R组件



星链



商用航天

9 铜金刚石热沉片

铜金刚石热沉是采用铜和金刚石两种粉体复合制成，其热膨胀系数与芯片更匹配，是目前导热性能最优的散热材料之一，可快速导出高功率器件产生的热量，确保系统高效稳定运行。

参数指标

金刚石体积分数 (Vol %)	50~60
热导率 R.T. (W/(m·K))	500~600
热膨胀系数 ($\times 10^{-6}/K$)	5~7
密度 (g/cm ³)	6.2 \pm 0.3
镀金 (μ m)	≥ 1.3
厚度 (mm)	≥ 0.5
长宽 (mm)	可定制

- 超高导热率
- 低密度
- 低热膨胀
- 良好的可焊性



外观

应用场景



相控阵雷达



军事/宇航固态存储



航空航天

TKS.
未来可期...

