

# 石墨作为手机散热材料的应用研究

齐文韶

(中国石油大学, 北京 102249)

**摘要:** 随着5G技术的到来以及纳米材料的蓬勃发展,手机性能得到了迭代更新。散热是手机性能最重要的限制标准之一,而石墨凭借良好的导热、散热性能成为智能手机散热应用最多的材料。石墨的导电性和导热性也胜于大部分金属材料,有极强的可塑性以及化学稳定性。石墨片通过高温高压聚合而成,可沿横向和纵向均匀导热,适用于任何表面。本文主要阐述了不同种类的石墨以及石墨烯在不同类型手机中的应用,分析了目前各类型手机散热方面的优缺点,探讨了石墨与石墨烯在散热领域的发展趋势。

**关键词:** 石墨; 石墨烯; 智能手机; 散热

**中图分类号:** TB383

**文献标识码:** A

**DOI:** 10.12230/j.issn.2095-6657.2022.33.045

手机的温度是衡量手机性能的标准之一,也是限制手机性能的一大重要因素。手机发热原因主要有以下几点。第一,处理器的运作。处理器集成了很多芯片和芯片模块,是一块SOC芯片,包括蓝牙、GPS、射频等一系列芯片模块。其高速运作时,热量会从芯片与芯片模块中产生。第二,充电时电池电阻发热。充电时电路中电流和电阻产生的热功导致手机发热,热量主要集中在电池、PCB板上。第三,在充电的同时处理其他事情。如充电时打电话、打游戏等,都会造成电池电压不稳,损耗了电池的寿命,甚至可能引起电池爆炸。研究表明,电子产品的工作温度每上升 $2^{\circ}\text{C}$ ,可靠性下降10%左右。当温度升高至 $50^{\circ}\text{C}$ 时,手机元件的寿命只有温度升高至 $25^{\circ}\text{C}$ 时的 $1/6^{[1]}$ 。

## 1 结构优势

石墨是碳的同素异形体,颜色为灰黑色、不透明的固体,化学性质稳定、耐腐蚀,不易与酸、碱等药剂发生反应,分子结构如图1所示。

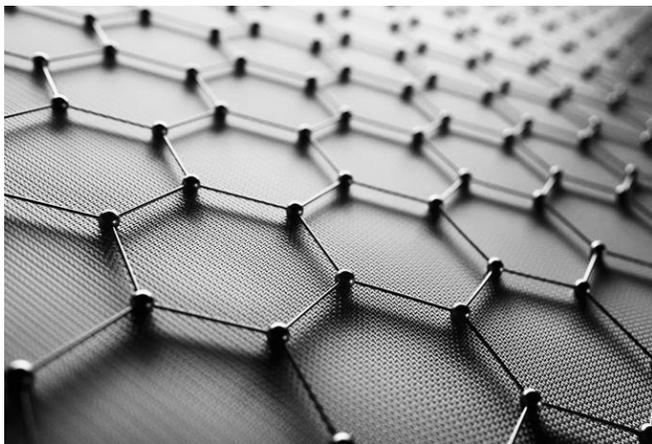


图1 石墨碳原子排列图

石墨是一种过渡型晶体。碳原子在晶体中以 $sp^2$ 杂化形成共价键连接,三个碳原子与每个碳原子相连,伸展形成片层结构。同一平面的碳原子剩一个 $p$ 轨道时互相重叠离域 $\pi$ 键,使电子在晶格中被激发而自由移动,所以石墨有金属光泽,能

导电、传热<sup>[2]</sup>。石墨具有轻、薄的特征,且导热系数很高,是铜的2-5倍,但重量只有铜的 $1/10-1/4$ 。石墨的可塑性极强,可以加工成微粒以及薄片,还可用于屏蔽电磁波,解决了电磁波导热问题。石墨的稳定性高,不随着时间和环境的改变而变质。据统计,铜的导热系数为 $400\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ,而横向石墨片为 $300-1200\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 。石墨烯作为石墨的衍生材料,其导热系数更是达到了惊人的 $4800-5300\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 。这种石墨散热片通常用于手机背板,当手机工作时,大面积热量会通过贴在手机背板的石墨片快速传到手机背部周边以及外侧,从而使热量得以发散,具有极为良好的应用前景。

## 2 石墨手机散热材料简述

石墨散热材料具有独特的晶体结构,能够双向均匀导热。其片状、层状的结构使其热塑性较好,可以适应各种表面,使其在改善产品厚度的同时提供热隔离功能,使手机受热均匀,在高强度使用中温度不会过高。

手机主板芯片使用的主要材料是无机材料硅。硅的导热率较高,发热后自身体积膨胀使界面不稳定,空气进入后热量无法散发导致电子元件性能降低。但是石墨以及石墨烯的应用改善了这一状况。实验表明,在电子元件和金属散热器之间嵌入高度取向的二维纳米石墨膜,根据热量传导方向进行排列,降低了元件与底部之间的热阻,进而减少了电子器件的整体热量,提高了散热效率。

热力学中石墨散热器包括传导、对流、辐射等三种形式。石墨片属于热传导,其强大的热塑性可以适应热胀冷缩,避免空气进入导致热性能降低。石墨散热膜不仅可以快速导热,还能适应局部过热等环境。其优秀的再加工性可以根据不同用途与各种薄膜类材料复合,体现出了高亲和性。石墨散热膜优异的综合性能不仅能在有限区域内为大功率器材散热,更为电子产品薄化发展打下了坚实的基础。

## 3 文献综述

近年来的研究成果表明石墨因其高导热性将热源产生的热

量平均分散开,增大了热源与空气的接触面积,从而增大了与空气的热对流量,对电子器件散热起到了重要的作用。常州大学石油工程学院曾使用石墨散热片、纳米散热片和无散热片进行对照实验,在20℃室温内,设定10W的热源功率进行2h的测定。将金属铝片加热到一定温度后,分别在上述三种情况下测定散热片温度最高点。实验结果表明,石墨散热片在10分钟内的温度高于纳米散热片,10分钟后的温度比纳米片低,最终处于95℃左右。由此可见,石墨散热片可以使热量更加快速地传递到被其覆盖的表面,并且散热片与周围空气有较大的对流传热温差,让热量更有效地扩散到空气中。纳米散热器主要利用热对流和热辐射来散热,当热量巨大时无法快速有效地降温,后期散热效果不够理想<sup>[3]</sup>。小米10Pro就使用了7块石墨板,使得散热效果超越其他手机。

石墨烯具有极强的亲和性,可以与各种物质进行结合散热,制作成表面功能化热界面材料,如iQOO手机就使用了石墨烯涂料覆盖在热管上。中科院宁波材料技术与工程研究所表面功能碳材料团队与合作者研制出了高性能石墨烯纸基热界面材料,这种材料具有碳化硅-石墨烯复合的石墨烯杂化纸(GHP)结构。石墨烯层间结处碳化硅纳米线形成纵向导热通路,首先GHP的纵向导热系数 $10.9\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 相对常规石墨烯纸的导热系数 $6.8\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 增加了60%。其次,GHP纵向热导率在 $0.52\text{MPa}$ 的压缩状态下进一步提高到 $17.6\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ,明显优于传统石墨烯纸和大多数商业热界面材料,也优于导热硅胶垫、导热硅脂和导热凝胶等传统热界面材料。在实际热界面性能评估实验中,GHP作为热界面材料的系统温降高达 $18.3^\circ\text{C}$ ,是商用热界面材料( $8.9^\circ\text{C}$ )温降的两倍多,散热效率提高了27.3%。最后,GHP不仅有较高的纵向热导率,与其他商业导热垫相比,其接触热阻更低<sup>[4]</sup>。

#### 4 石墨在新型手机散热中的应用和与传统手机对比

石墨凭借其优异的导热性成为当前新型手机应用最多的材料。水平方向上石墨的导热率为 $300\text{--}1900\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ,而同样性能优异的金属铜和铝的导热率仅为 $200\text{--}400\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 。石墨的纳米薄膜石墨烯的性能更加优秀,理论导热系数达到 $5300\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ,远超同类材料。早期的手机CPU功耗较低,在芯片处涂抹硅脂即可。传统的手机使用铜箔进行散热,或者通过均热板、石墨贴将热量传导至外壳,效果却不尽如人意。目前较为传统的手机普遍使用VC液冷散热,而新型智能手机发展建立了液冷加硅脂加石墨烯以及金属机框的散热结构。随着技术不断地发展,石墨散热可以与更多传统散热方式相结合,进一步提高热导性。

##### 4.1 石墨在传统手机散热中的功效性能

传统手机应用最广泛的散热技术为VC散热板和热管液冷技术。VC散热板的全称是真空腔均热板散热技术,与热管类似。热管通过管内液体不断流动,液体吸收热量变成气体,气体经过低温区域时再变回液体,回流到发热区域,经过不断循环使

热量逐渐散发出去。这两种技术不同之处在于热管只存在单一方向的运输,而VC受热均匀、面积大,可以从各个方向进行传播,改善了热量传导。

除了面积巨大的传统VC和热管散热,手机机身其他位置使用了高达7层的石墨片以及1层石墨烯辅助散热。其中CPU区域使用1层石墨烯,扬声器使用1层石墨片,电池盖手机背板使用4层石墨片,手机中框使用2层石墨片。在主要热源CPU处,部分手机通过一面使用铜和凝胶与VC接触,第二面则覆盖一层石墨烯,使热量散发更加迅速。有数据表明,面积 $600\text{mm}^2$ 左右的石墨烯可以令表面温度降低 $3^\circ\text{C}$ ,CPU核心温度下降 $15^\circ\text{C}$ 左右,面积巨大的VC石墨烯结构上下包夹,构成了立体散热体系。电池背板的石墨片散热是一种经典的外部冷却装置。智能手机主板PCB上的热量经过石墨片均匀扩散到金属钢托以及框架,同时把CPU以及主板上各个装置的热量迅速平均到石墨片表面,使芯片处在合适的温度范围内,性能得到最大发挥。手机内的热量经过石墨片的重新分布,通过手机外壳进行有效散热,使热量均匀传递到手机外部,石墨膜的均温性解决了长时间高温造成的不适,防止电池局部温度过高引起死机的状况。

与目前比较主流的手机散热方案相比,石墨烯多层堆叠成导热膜,其机械性能高、导热率高、质量较轻、厚度较薄、塑性好。石墨烯薄膜的优点很多,缺点也显而易见。一是石墨烯质地柔软,在进行制造和切割时容易出现藕断丝连和毛刺倒挂的现象。二是能支持商用的良品率较低,成本高昂。但是将石墨烯薄膜利用在其他方面,与其他散热材料进行结合集成的使用方法则开了先河。石墨烯薄膜的广泛应用仍面临很多技术挑战,石墨烯的应用也是一次大胆尝试。

##### 4.2 新型手机散热与传统手机散热对比

回收宝曾选取小米10Pro、黑鲨游戏手机3s、华为p40Pro、联想拯救者电竞手机Pro、努比亚红魔5s游戏手机、华硕ROG游戏手机等六种型号的新型智能手机进行温度和帧率测评。在同一室温内,手机以最高画质和帧率运行游戏《和平精英》15分钟后的机身最高温度,如图2所示。

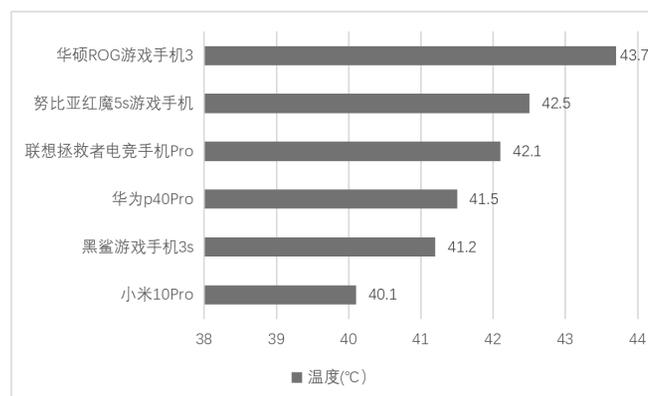


图2 不同手机以最高画质和帧率运行《和平精英》15分钟后的机身最高温度

可以看出,在游戏运行相同时间的情况下,小米10Pro,黑鲨游戏手机3s和华为p40Pro等机身温度最低,占据前三名。

为保证散热效果,小米 10Pro 采用双层导热石墨且内部多处添加石墨;不仅主板之间加入石墨,提升了散热速率,在闪光灯等热量集中且不稳出的部件处还加装了专有石墨片。

黑鲨游戏手机 3s 使用液冷循环散热技术,两块正反液冷管对关键部位散热;华为 p40Pro 同样使用了石墨烯散热。华为 mate20X 首次使用石墨烯薄膜并成功后,华为在 p40Pro 中使用了 3D 石墨烯散热膜和 VC 液冷,散热能力得到了飞跃提升。华为平板 MatePadPro5 同样搭载了厚度为 400 $\mu\text{m}$  的 3D 石墨烯,散热效果显而易见。联想拯救者电竞手机 Pro 使用的是双液冷以及 14 颗矩阵式温度传感器;努比亚红魔 5s 则使用特质 1 型 5 热管与填涂纳米散热材料,同时配有面积高达 400 $\text{mm}^2$  的内置通风管道和内置涡轮风扇;华硕 ROG 手机使用外置风扇进行散热,机体直吹气流使真空腔散热板主动散热。

通过对比可以看出,搭载了大量石墨、石墨烯的小米 10Pro 和华为 p40Pro 在运行条件相同的情况下温度最低、散热效果最好,远超其他游戏手机。石墨和石墨烯的功能不容小觑,其强大的散热功能保证了用户处于舒适温度区间,为用户带来了更好的游戏体验。

## 5 对石墨在新型智能手机散热中的应用发展预测

### 5.1 石墨烯涂料

石墨烯是通过碳原子  $\text{sp}^2$  杂化形成单层二维蜂窝晶格结构的新材料,与传统的碳材料相比,石墨烯较大的  $\pi$  共轭体系和单个原子层的厚度具有优异的光学、电学和机械性能。数据表明,石墨烯的电子迁移率高达  $2 \times 10^5 \text{cm}^2 / (\text{V} \cdot \text{s})$ ,优异的导电性、热稳定性、强疏水性等特性使其在涂料领域也有很好的应用前景。这种涂料以热辐射的方法散热,具有良好的自洁性、耐腐蚀性、绝缘性、防火性、耐酸性、可塑性等,已广泛应用于基板散热、管道散热。伴随着芯片、电子器件的不断缩小、轻量化,可以尝试将石墨烯涂料应用于手机芯片散热、电池散热等领域,可根据涂层的具体应用场景和使用要求进行调整优化,使不同涂层的散热效率最大化。例如,将芯片上的散热硅与石墨烯涂料相结合,或者用石墨烯取代硅涂抹在芯片上,不仅增加了整个散热器的表面发射率,从而增加散热效率,还可以延长芯片使用寿命、提高手机整体可靠性、减少散热尺寸、优化结构设计、降低散热器的生产成本。

### 5.2 石墨烯电池

石墨烯不仅可以用作涂料进行外部散热,也可以作为石墨烯电池作用于产热本身。有实验结果表明:新型以石墨烯为基体的锂离子电池利用石墨烯的导电性可使电池温度上限提高约 10 $^{\circ}\text{C}$ ,寿命是普通锂离子电池的两倍。新型石墨烯材料使锂离子电池散热更加高效,并且提高电池寿命。与传统材料相比,石墨烯极高的导电性有助于保持高功率密度,其强力的亲和性可以与不同导热率高的金属填料相结合,如金、铜、铝等。新型石墨烯电池不仅散热更加迅速,用于手机涂料时,手机的运行速度也更快、电池寿命也可以延长,是目前最有希望取代硅

制造高性能手机以及超级计算机的材料。近年来的研究表明,石墨烯表面功能化加强了两项界面相互作用,是降低热阻最高效的方式之一。

## 6 石墨烯散热片制备问题

2004 年以来,石墨烯一直处于科学研究的前沿。经过 10 多年的不断发展,目前石墨烯的制造方法主要有机械剥离法、碳化硅外延法、氧化还原法和化学气相沉积法(CVD)等。机械剥离法和碳化硅外延法并不适合大规模量产;氧化还原法可以作为石墨烯大规模生产的来源,由于其价格较为低廉,是最具成本效益的方法,也是目前最常用的方法。但是这种方法有很大的缺点,氧化的石墨不一定被完全还原并且会失去一些性能,例如透光率、导电性、导热性等,所以并不适合于石墨烯散热片的制备。

化学气相沉积法目前最为高效,1000 $^{\circ}\text{C}$ 高温下,以氢气为还原气体的碳质气体在真空环境中通入 CVD 管式炉中,在金属基材表面形成石墨烯沉积物。CVD 生产石墨烯需要具备衬底、前驱体和生长三个条件,前驱体即所需的含碳气体。在石墨烯的生产过程中,需要将衬底的石墨烯转移到目标基板上,而在运输过程中会引发石墨烯污染、破裂等,大大降低石墨烯的产能和质量。所以在量产的电器元件中,石墨烯由于高昂的制备成本,并不能得到广泛应用。

## 7 结语

综上所述,从目前的手机行情和研究进展来看,石墨烯散热膜技术已经十分成熟,石墨与石墨烯的强大散热性能为手机散热技术带来了质的飞跃,正在成为研究热点。尤其是石墨与其他的金属结合形成复合材料,有望提高手机以及其他电子产品的散热性能,提升用户整体的游玩体验,为未来手机散热技术的应用打下了坚实的基础。

### 参考文献:

- [1] 张小彤,赵三军.石墨烯在电子产品热界面材料中的研究进展[C]//第三十六届中国(天津)2022'IT、网络、信息技术、电子、仪器仪表创新学术会议论文集.2022:166-169.
- [2] 赵智泉,刘庆雷,黄大成,等.锂离子电池负极用硅/碳纳米复合材料制备方法和性能的研究进展[J].机械材料,2012,36(09):1-7.
- [3] 王利军,史万涛,任向南.石墨烯散热片与纳米散热片的传热特性对比试验研究[J].节能,2014,33(10):23-26,2.
- [4] 宁波材料所制备出高性能石墨烯热界面材料[J].炭素技术,2019,38(01):68.

作者简介:齐文韶(2002-),男,辽宁大连人,大学本科,主要从事新能源材料研究。