
限域生长构筑磁性合金核@高分子壳实现可调谐低频吸波与高效热管理

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/39850.html>

本文仅供学习交流之用，版权归原作者所有，请勿用于商业用途！

限域生长构筑磁性合金核@高分子壳实现可调谐低频吸波与高效热管理。 导读

卫星通信与雷达探测等关键设备对全球信息交互做出了卓越贡献，其核心工作频段在低频区域S波段（2~4GHz）和C波段（4~8GHz），由此产生的电磁波污染对人类健康、军事安全和高精密电子设备的稳定运行构成严重威胁。微波吸收材料（MAMs）能有效降低雷达散射截面（RCS），成为解决电磁污染问题的关键材料之一。此外，MAMs在将入射电磁波转化为热能耗散的同时，设备运行过程中产生的显著焦耳热会导致局部热积聚，进而引发性能衰减甚至热失效。

为解决上述问题，近日，西北工业大学顾军渭教授团队提出了基于限域生长构筑磁性合金核@高分子壳的核壳结构新策略，开发了兼具可调谐低频吸波性能与优异导热性能的复合材料，能高效应对其电磁污染与热失效协同挑战。

研究结果及结论

研究团队采用去质子化法制备了芳纶纳米纤维（ANFs），通过原位溶剂热还原法在ANFs孔隙中限域生长CoNi磁性颗粒构筑具有磁性核@高分子壳结构的CoNi@ANFs，再采用真空抽滤结合热压工艺制备CoNi@ANFs复合材料。

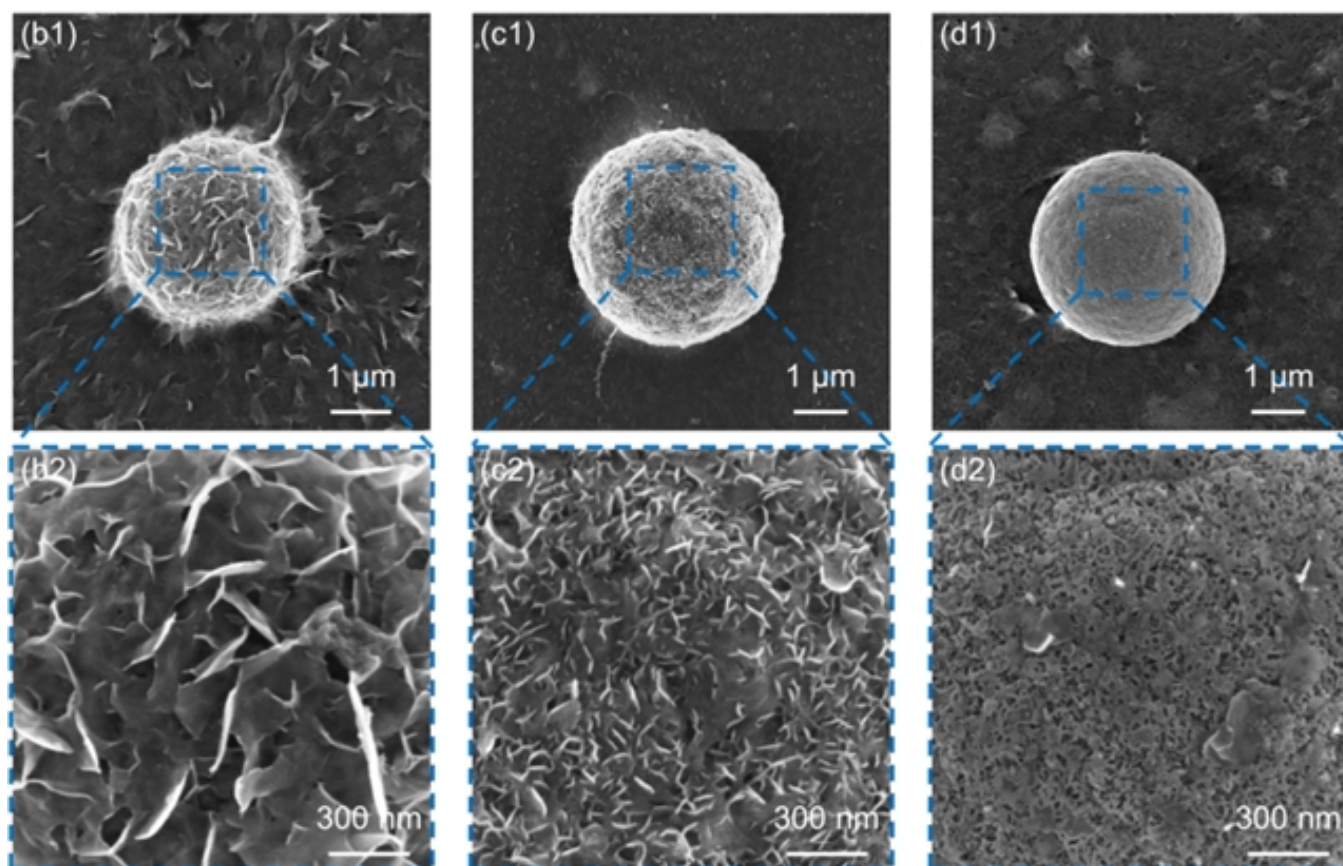
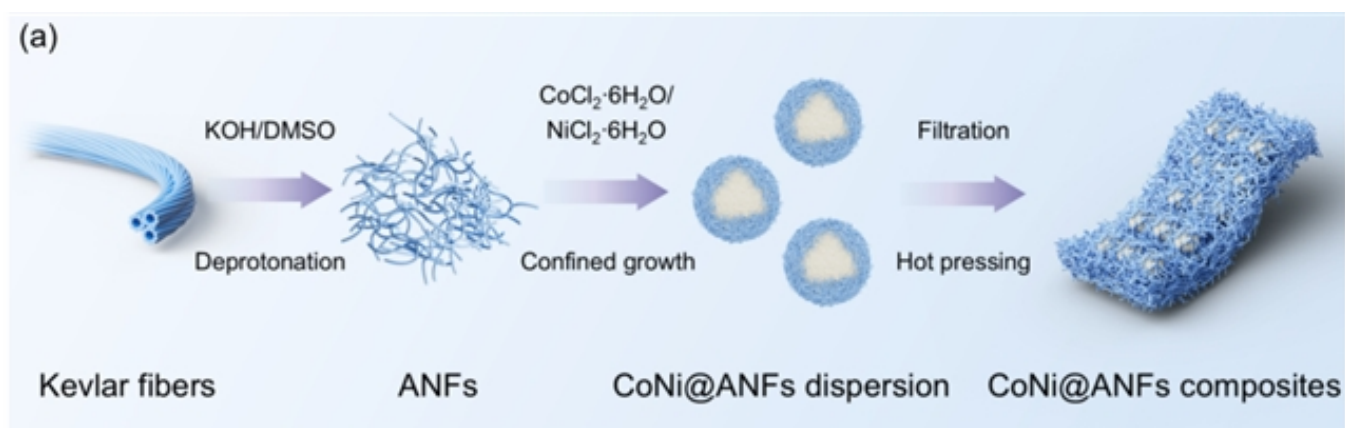


图1.CoNi@ANFs复合材料: (a)制备示意图, (b-d)CoNi@ANFs分散液的SEM照片。

CoNi@ANFs表现为典型的S型磁滞回线，属软磁性材料，其饱和磁化强度（ M_s ）高于80 emu/g、矫顽力（ H_c ）低于205 Oe。较高的 M_s 和较低的 H_c 有利于突破Snoek限制，与电磁波的固有频率相匹配产生自然共振，显著提升其低频电磁波吸收能力。

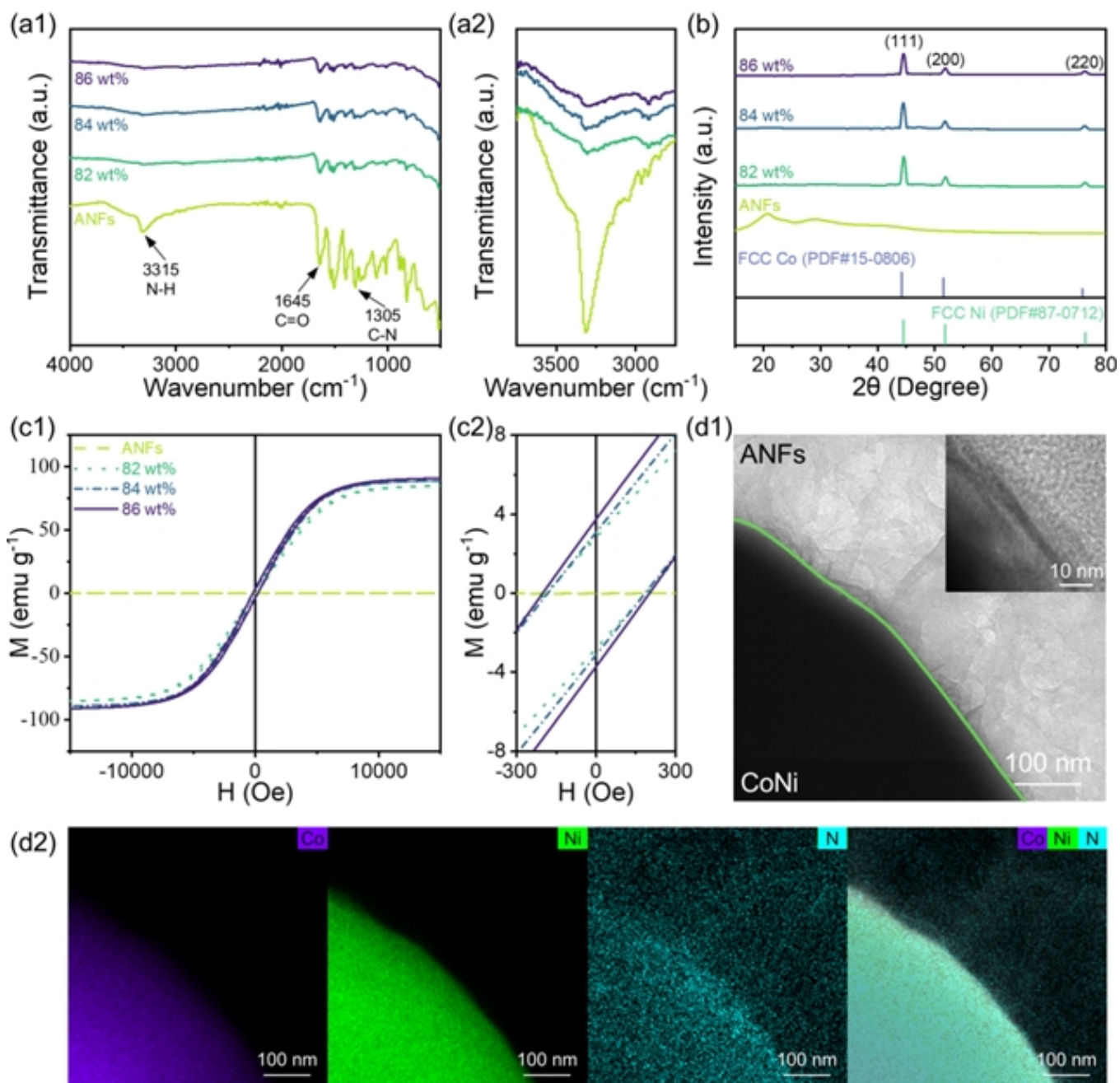


图2. CoNi@ANFs组成、磁性及元素分布: (a) FT-IR谱图, (b) XRD谱图, (c) 磁滞回线, (d) TEM照片及其能谱图。

研究团队选取羰基铁 (CIP)、铁硅合金 (FeSi)、钕坡莫合金 (FeNiMo)、铁钴钒合金 (FeCoV)、纳米晶软磁合金 (NP) 以及非晶软磁合金 (AP) 六种常见的商用磁性吸波剂作为对照样品, 分别与ANFs直接共混制备商用磁性吸波剂/ANFs复合材料。结果表明, 高填充量下, 磁性吸波剂固有高表面能及磁耦合相互作用易导致填料在聚合物基体中发生严重团聚, 引发显著的阻抗失配, 进而严重削弱对入射电磁波的吸收能力。

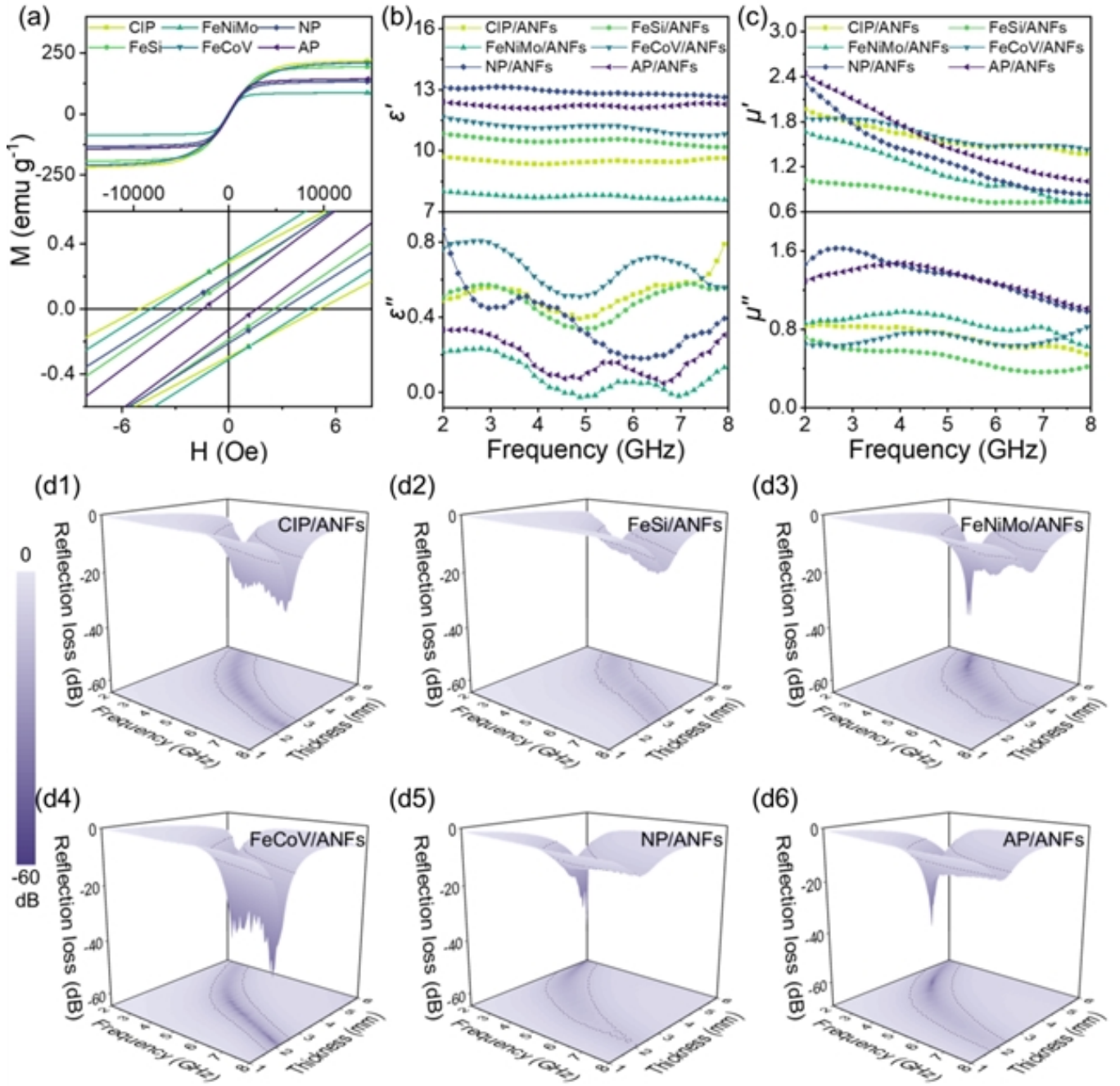


图3.商用磁性吸波剂/ANFs复合材料磁性和低频吸波性能: (a)磁滞回线, (b)介电常数, (c)磁导率, (d)反射损耗值的3D图

相比之下，在ANFs中原位合成磁性颗粒可有效抑制颗粒间因高表面能与磁耦合作用导致的团聚倾向，显著改善其分散均匀性。随着CoNi相对用量的增加，CoNi@ANFs复合材料的介电常数逐渐升高，磁导率虚部（ μ'' ）曲线上的自然共振峰向低频移动，反射损耗（RL）和有效吸收带宽（EAB）亦向低频迁移，阻抗匹配特性同步优化。良好的阻抗匹配特性可以实现电磁波畅通无阻地进入其内部，再通过以磁损耗为主导的多重损耗机制高效衰减，赋予CoNi@ANFs复合材料可调谐的低频吸波性能。

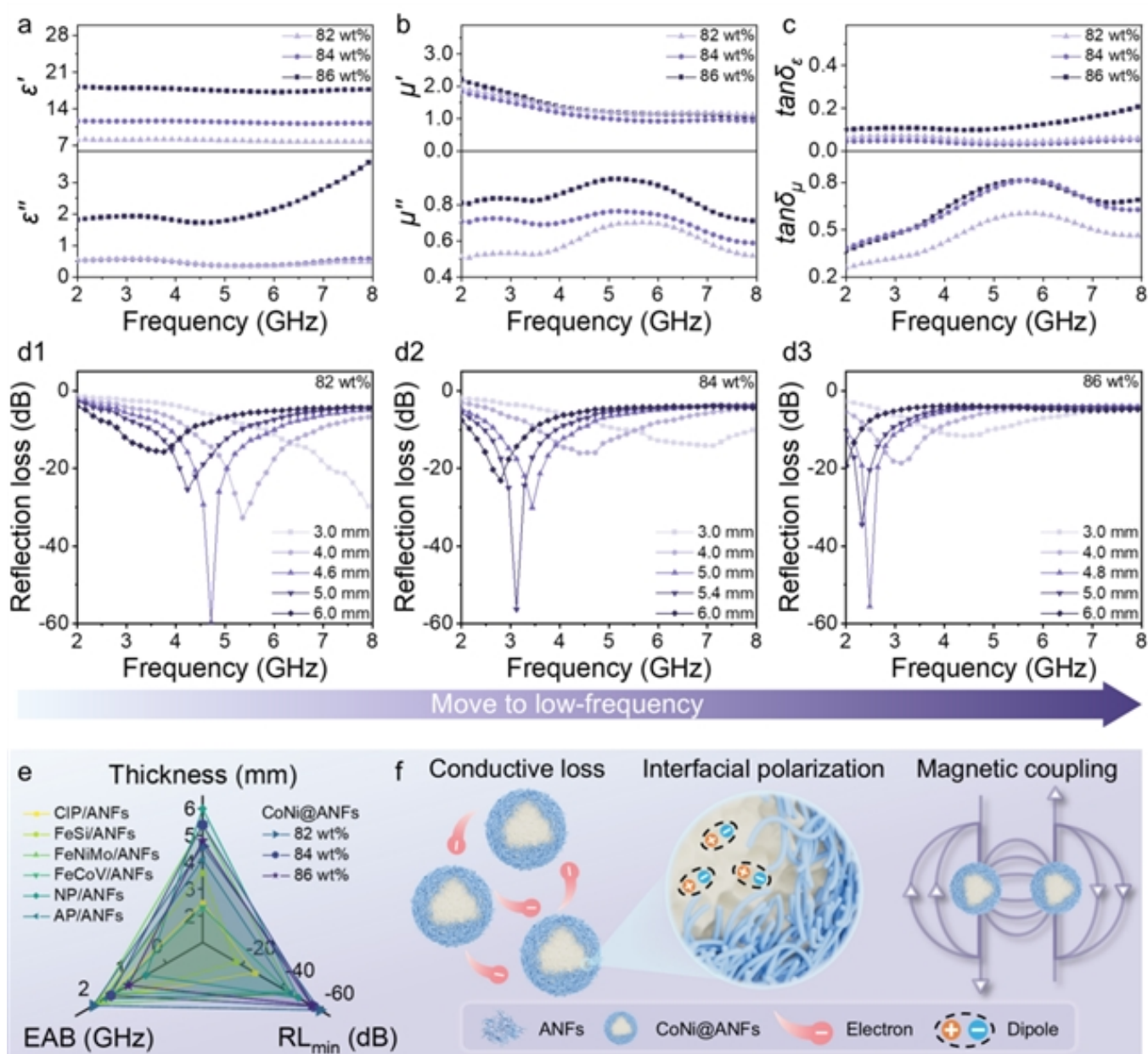


图4.CoNi@ANFs复合材料可调谐低频吸波性能及机理: (a-b)电磁参数, (c)损耗角正切值, (d)反射损耗值, (e)性能对比图, (f)吸波机理图

与理想电导体(PEC)相比, CoNi@ANFs复合材料在4.80GHz、3.12GHz和2.48GHz频率下均显著抑制了电磁波散射, 表现出极低的散射信号, 其RCS减小值超过40dBm², 进一步证实了CoNi@ANFs复合材料对低频电磁波具有可调谐的吸收损耗能力。

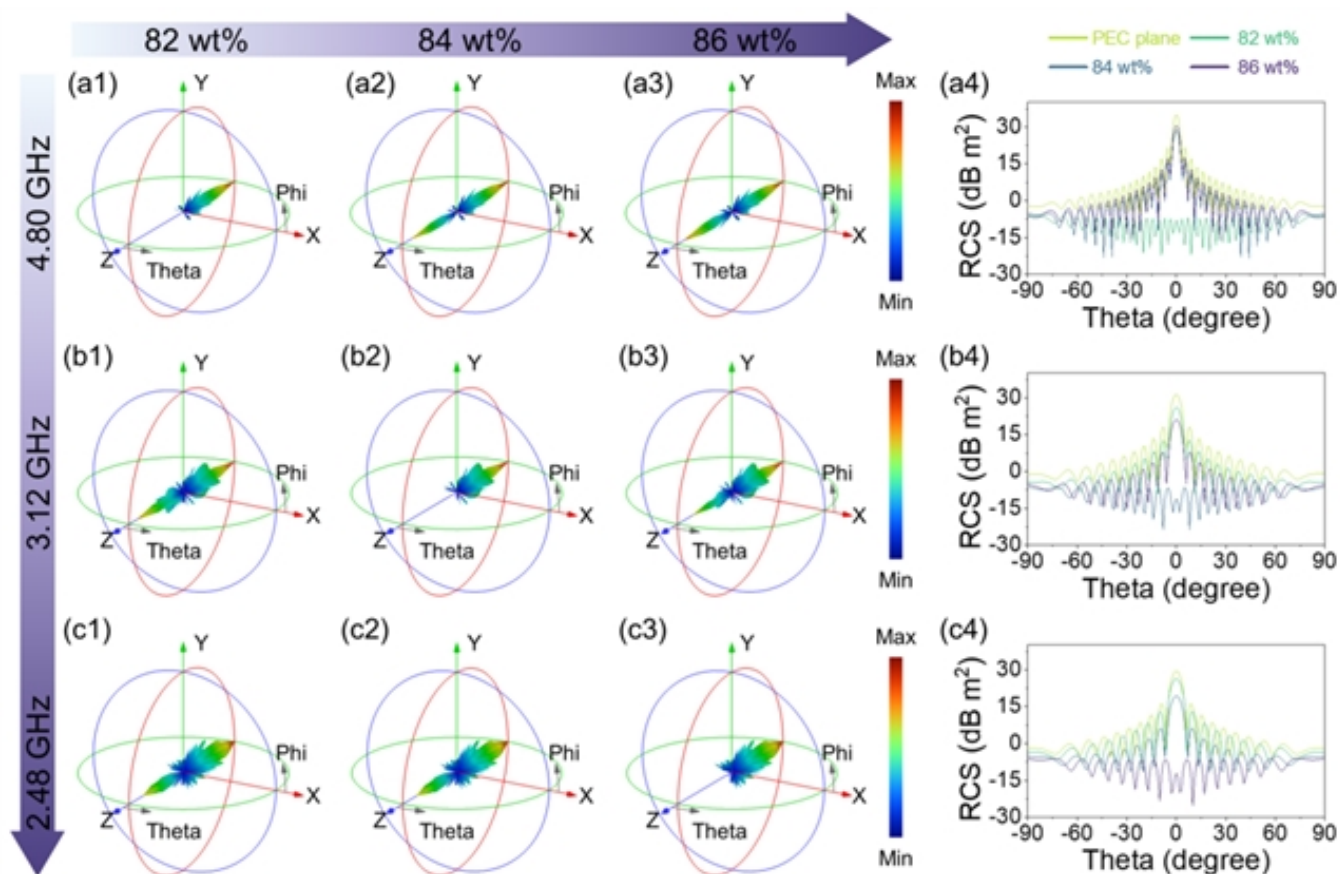


图5.CoNi@ANFs复合材料雷达散射截面模拟: (a)4.80 GHz、(b)3.12 GHz和(c)2.48 GHz下模拟的RCS 3D图和入射角-90 °至90 °的RCS曲线

CoNi@ANFs复合材料吸收电磁波后，能将电磁波能量高效地转化为热能。在卫星通信与雷达监测等应用场景中，设备运行时产生的显著焦耳热极易导致局部热量积聚引发器件性能衰减甚至失效。得益于Co和Ni金属的本征高导热特性，CoNi@ANFs复合材料兼具优异的导热性能，能实现了对热量的快速扩散与有效管理。值得注意的是，随着环境温度的升高，CoNi@ANFs复合材料的导热系数呈上升趋势，这种自增强导热机制对于维持星载通信设备在轨长期可靠运行至关重要，尤其适用于高吞吐量通信任务或突发高负载工况。

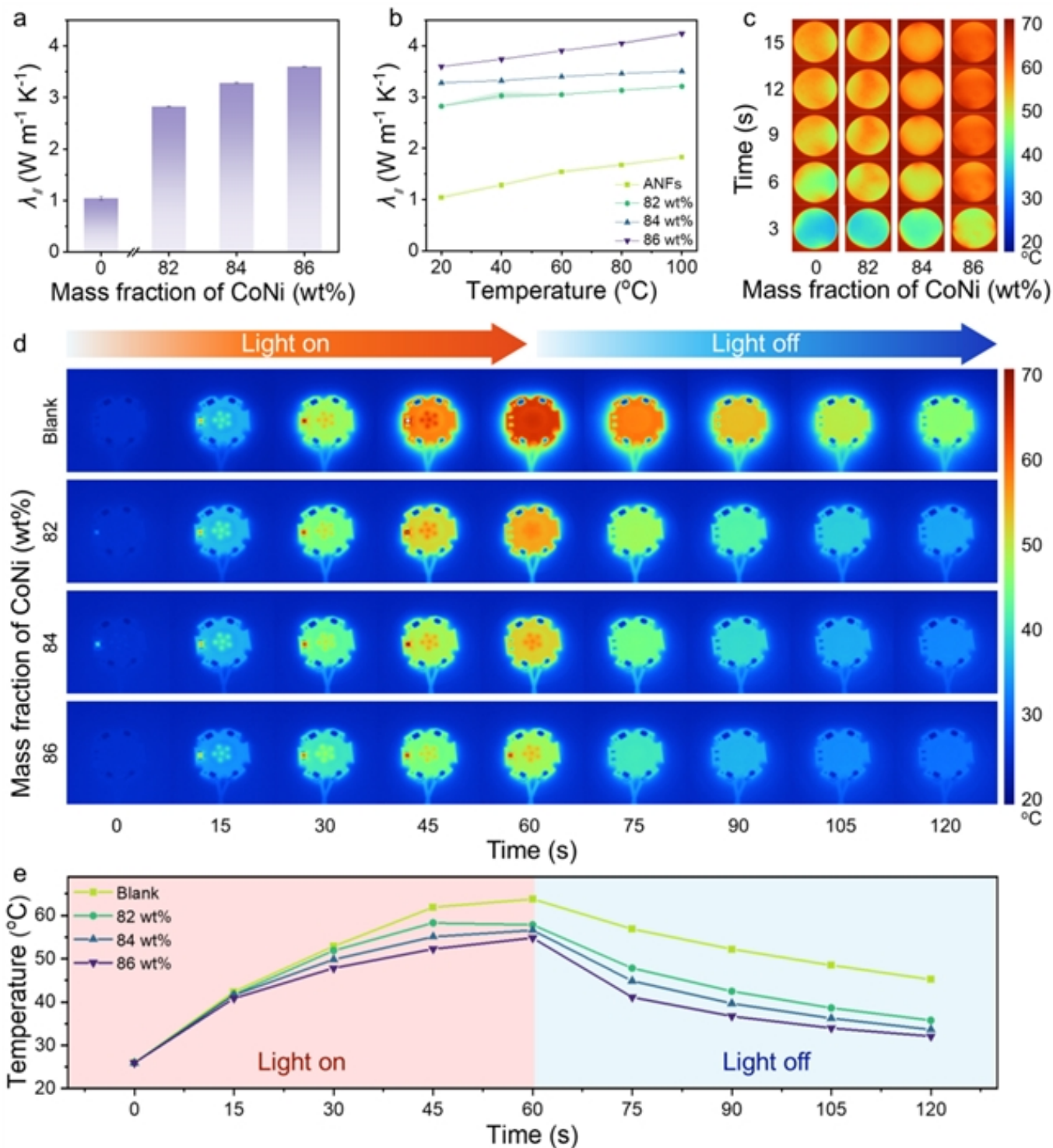


图6.CoNi@ANFs复合材料热管理能力: (a)导热系数, (b)不同温度工况下的导热系数, (c)红外热成像照片, (d-e)LCD灯加热和冷却过程和温度-时间变化曲线

本研究通过限域生长策略，成功设计并构筑了磁性合金核@高分子壳复合材料，系统阐明了其可调谐的低频电磁波吸收机制，研究了复合材料在不同温度工况下的导热性能和热管理能力。此工作为可调谐低频吸波/导热一体化复合材料的设计构筑，及其在卫星通信与雷达探测等领域电磁波设备中的应用提供了新思路。（来源：EngineeringJournals微信公众号）

相关论文信息：<https://journal.hep.com.cn/etm/EN/10.2738/ENGTM.2026.0001>

特别声明：本文转载仅仅是出于传播信息的需要，并不意味着代表本网站观点或证实其内容的真实性；如其他媒体、网站或个人从本网站转载使用，须保留本网站注明的“来源”，并自负版权等法律责任；作者如果不希望被转载或者联系转载稿费事宜，请与我们联系。

作者：顾军渭等 来源：《工程·变革性材料》

更多 科学进展 请访问 <https://www.iikx.com/news/progress/>

本文版权归原作者所有，请勿用于商业用途，[爱科学iikx.com](https://www.iikx.com)转发