

中国材料大会 2025

暨新材料科研仪器与设备展

7 月 5-8 日, 2025

福建 厦门

D42-共价有机框架 COF 材料

主办单位

中国材料研究学会

会议网址: <https://cmc2025.scimeeting.cn>



D42. 电磁屏蔽与吸收材料

分会主席：马振辉、马嵩、吴凡、陆伟、孙科

D42-01

电磁波吸收材料的微观机制

车仁超*

复旦大学

随着 5G 通信技术的快速发展，电子设备的电磁干扰（EMI）屏蔽已成为近年来的迫切需求，而开发相应的抗有害电磁辐射的 EMI 屏蔽材料至关重要。同时，新兴屏蔽应用对高柔性和功能完整性的 EMI 屏蔽材料提出了更高要求。迄今为止，研究者已开发出多种兼具轻量化和多功能性的柔性 EMI 屏蔽材料。本文不仅综述了柔性 EMI 屏蔽材料的最新进展，还详细阐述了 EMI 屏蔽机理及“绿色 EMI 屏蔽”性能的评价指标。此外，我们总结了柔性屏蔽材料复杂多功能性的构建策略。最后，针对未来柔性 EMI 屏蔽材料的可能研究方向提出了若干建议，这些方向或将为快速发展的下一代柔性电子设备提供可靠、多用途的 EMI 屏蔽保护，具有重要启示意义。

D42-02

多频谱兼容隐身材料设计

王广胜*

北京航空航天大学化学学院

随着现代探测技术在雷达、太赫兹与红外波段的协同发展，开发宽频谱、全向响应的兼容性隐身材料已成为前沿领域的重大挑战。本报告聚焦仿生分级无序结构与纳米同轴电缆设计两大创新策略，揭示多频谱隐身性能协同优化的物理机制。本报告提出并设计了仿生无序气凝胶结构，该材料通过模拟生物系统的随机多孔网络（孔隙率>99%），实现太赫兹波段（0.3-1.5 THz）的全角度阻抗匹配与宽频吸收（吸收率>90%），突破了传统材料的角度敏感性限制。其分级孔结构通过多重散射与共振耗散机制，将有效带宽扩展至红外波段（8-14 μm ），同时具备超低热导率（0.03294 W/m K）抑制了红外辐射。构建了银纳米线@碳壳同轴纳米电缆气凝胶，该材料创新性地将导电银线（调控雷达波损耗）与介电碳鞘（优化太赫兹/红外响应）集成于单纤维尺度，在雷达波段，银纳米网络形成电导损耗通道，反射损耗 ≤ -40 dB；在 THz 波段，碳壳层介电梯度实现宽频透射衰减。在红外波段，微纳孔隙结构抑制热辐射，红外发射率<0.3。这种“核-鞘”组分空间分离策略，首次在单一材料体系实现三频谱性能解耦调控。

D42-03

基于 HHTP 配体的导电 MOF 电磁参数调控及吸波性能研究

罗驹华*、张文倩、吴玉涵、冯萌娜

盐城工学院

随着电子设备和通信技术的飞速发展，电磁波在现代生活中的作用日益凸显。然而，电磁污染问题也随之加剧。在军事领域，电磁波吸收材料的应用也显得尤为重要。开发兼具“薄、轻、宽、强”特征的高效吸波材料已成为研究热点。导电金属有机框架（MOFs）作为 MOFs 的重要分支，因其独特的 π - π 共轭结构、优异的电导率、高孔隙率以及绿色环保等优势备受关注。2,3,6,7,10,11-六羟基三亚苯水合物（2,3,6,7,10,11-Hexahydroxytriphenylene Hydrate, HHTP）具有独特的 π 共轭结构及丰富的官能团，容易制备高导电性的 MOFs 材料。本研究从组分和形貌出发，以 HHTP 为配体，Cu、Zn、Mn、Co 和 Ni 为金属阳离子，采用水热法制备了一系列导电 MOFs 材料，系统研究了双金属离子的类别、摩尔比和微结构等对材料电磁参数的影响规律。CuZn-HHTP 导电 MOFs 呈棒状结构，平均直径约为 100 nm，长度约为 1 μm 。

随着 Cu^{2+} 和 Zn^{2+} 摩尔比例的增加, CuZn-HHTP 导电 MOFs 的最大有效吸收带宽 (EAB) 值呈现先增加后减小的趋势。当 Cu^{2+} 和 Zn^{2+} 的摩尔比为 1:1, 匹配厚度为 2.29 mm 时, 其 EAB 值达到 6.16 GHz (11.84-18 GHz)。 CuY-HHTP ($\text{Y} = \text{Mn}$ 、 Co 和 Ni) 样品均呈现棒状结构。由于不同金属离子的得失电子能力不同, 与配体的结合能力不同, 导致极化损耗强度出现差异。 CuNi-HHTP 导电 MOFs 在厚度为 1.78 mm 时, EAB 值达到 7.12 GHz (10.88-18.00 GHz); CuCo-HHTP 导电 MOFs 在厚度为 1.76 mm 时, EAB 值为 6.48 GHz (10.96-17.44 GHz); CuMn-HHTP 导电 MOFs 在厚度为 1.83 mm 时, EAB 值为 6.00 GHz (12.00-18.00 GHz)。另外, 采用水热合成法制备了 $\text{Ni(OH)}_2/\text{CuNi-HHTP}$ 导电 MOFs 复合材料。通过改变复合材料中 Ni(OH)_2 的含量调控电磁参数。当 Ni(OH)_2 含量为 25 wt%, 匹配厚度为 2.10 mm 时, 复合材料在 15.04 GHz 处最大损耗值达到 -52.91 dB, EAB 值为 6.00 GHz (11.20-17.20 GHz)。所有样品在薄匹配厚度下均实现了宽带吸收, 均得益于优异的电导损耗、极化损耗和良好的阻抗匹配。该工作为导电 MOFs 材料在吸波领域的应用提供了依据。

D42-04

片状 FeSiAl@MXene 复合吸波材料电磁特性调控研究

邬传健*、李炯明、李启帆、蒋晓娜、兰中文、孙科、余忠

电子科技大学

随着电磁技术的快速发展, 电磁污染问题日益严峻, 开发兼具“薄、轻、宽、强”特性的高性能微波吸收材料已成为研究热点。 FeSiAl 作为典型软磁材料, 因其近乎为零的磁滞伸缩系数和磁晶各向异性常数, 具备高起始磁导率、高饱和磁化强度和优异的磁损耗特性, 在吸波领域具有广泛应用前景。尽管片状化处理能够显著增强材料的形状各向异性和极化损耗机制, 但同时导致厚度减小、涡流损耗降低, 从而在一定程度上抑制吸波性能。为弥补这一不足, 本文引入二维导电材料单少层 MXene , 通过静电自组装技术将其均匀沉积于片状 FeSiAl 表面, 构建 FeSiAl@MXene 复合体系。 MXene 优异的导电性促使材料内部形成多级电流回路, 有效提高电导率并增强涡流损耗; 其表面丰富的极性基团与片状粉体构建大量异质界面, 在电场作用下激发强烈的取向极化与界面极化效应, 显著提升介电损耗。同时, 层状结构使电磁波在多界面间反复反射, 提高能量耗散效率。该复合材料在匹配厚度为 5 mm 时实现最小反射损耗 -58.66 dB, 在 3.5 mm 厚度下的有效吸收带宽达 3.24 GHz, 展现出优异的微波吸收性能与广阔的工程应用潜力。

D42-05

结构功能一体化碳基吸波材料的结构设计及应用

杨旺*

中国石油大学(北京) 化学工程与环境学院 重质油全国重点实验室

电磁波被发现并且大规模应用以来, 在通讯、汽车、消费电子、国防军工等各行业做出了突出贡献, 但随着电子元器件的高功率化、小型化、轻薄化, 电磁干扰也越来越严重, 因此电磁防护材料需求愈发旺盛。碳基材料, 包括多孔碳、碳纳米管、石墨烯等多种同素异形体, 具有质量轻、易加工、化学稳定性好、导电性高且介电可调等一系列优点, 是制备集轻、薄、高性能吸波性能于一体的理想电磁防护材料。通过对碳材料结构及成分的设计, 可以获得不同电磁响应性能的碳材料。针对当前电磁防护领域的应用场景需求不同, 团队基于自主开发的石墨烯、碳纳米管等新型纳米碳材料, 设计并制备了系列结构功能一体化碳基复合电磁功能材料, 包括多功能石墨烯屏蔽材料、结构承载-隐身一体化吸波泡沫复合材料、吸波-导热一体化碳基复合材料等, 推动了碳基材料在电磁防护领域的应用。

D42-06

从实验表征到人工智能驱动：电磁屏蔽高分子复合材料智能设计与性能预测何成雷^{He¹}、谢兰^{*2}

1. 贵州大学

2. 贵州民族大学

本研究采用化学沉积法在 ZnO 表面构建银修饰的 3D 导电网络 (Ag@F-ZnO)，结合冷冻干燥和预铸工艺成功制备了非对称双层结构的 Ag@F-ZnO/WPU/BF 复合气凝胶。通过调控材料组成和结构，系统制备了 16 种不同配比的样品，并对其电磁屏蔽性能进行了详细研究。结果表明，厚度为 3 mm 的 Ag@F-ZnO4/WPU/BF6 样品在 X 波段表现出最优异的屏蔽性能，平均屏蔽效能 (EMI SET) 高达 78.6 dB，吸收率 (A) 达到 0.96。为进一步优化材料设计，采用多模态数据融合模型对 Ag@F-ZnO/WPU/BF 复合气凝胶的性能进行预测分析。通过全连接神经网络 (FCNN) 和残差网络 (ResNet) 分别提取样品的数值特征和图像特征，构建了包括单模态和多模态融合在内的七种预测模型。研究发现，基于门控融合 (GatedFusion) 算法的 FCNN+ResNet 多模态模型预测效果最佳，对新样品电磁屏蔽性能预测的平均绝对百分比误差 (MAPE) 低于 5%，展现出优异的泛化能力。该研究不仅开发出高性能电磁屏蔽材料，更为功能材料的智能化设计提供了新的研究方法。

D42-07**Effects of Y2O3 on the microstructure evolution and electromagnetic interference shielding mechanism of soft magnetic FeCoSiMoNiBCu alloys by laser cladding**

汪芦婷*

Hong Kong University

Laser cladding is one of the new techniques for additive manufacturing of metal alloy-based electromagnetic shielding materials. However, it is generally difficult to prepare alloys with ideal printability, soft magnetism and electromagnetic interference (EMI) shielding effectiveness (SE) using this technique. To improve the electromagnetic shielding performance of laser clad Fe-Co based soft magnetic alloys, a new FeCoSiMoNiBCu alloy was prepared by laser multilayer cladding using metal powders added with different content of Y2O3. The results show that the FeCoSiMoNiBCu alloys prepared under optimized laser processing parameters exhibit excellent soft magnetism and electromagnetic shielding properties. The microstructure of the prepared alloys is mainly composed of α (bcc) phase, Fe2B, YFe10Mo2 and B6Co21Mo2 phases. The Y2O3 powder has played significant effects on the soft magnetism and electromagnetic shielding properties of the alloys. When added with 1.5 wt% Y2O3, the alloy samples exhibit the highest saturation magnetization (186.2 emu/g) together with a superior EMI shielding effectiveness of 95 dB at 23.5 GHz, which is a 25–58% improvement compared the alloy without adding Y2O3. The mechanisms for the improved EMI shielding performance of the laser clad FeCoSiMoNiBCu alloys depend on a synergistic effect of enhanced dielectric loss and ohmic loss; specifically, the α -Fe mainly promotes the dielectric loss, while the ohmic loss is enhanced by a “fish-bone” shaped phase composed of α (bcc) phase, Fe2B, YFe10Mo2 and B6Co21Mo2. This study provides a new theoretical and technical guidance for the development of high-performance EMI shielding alloys using laser cladding technique.

D42-08**智能可调电磁屏蔽与吸波材料**

黄毅*

南开大学

随着 5G 技术的推广应用,电磁干扰与辐射的防护备受关注。与此同时,高性能电磁屏蔽/吸波材料在航空航天及国防军工等领域获得了广泛应用。碳纳米材料具有优异的物理和化学性质,对宽频电磁波具有很强的响应和吸收特性,在电磁功能复合材料等方面具有重要的应用前景。设计制备了具有不同组成和结构的碳纳米复合材料,详细地研究了其化学组成、微纳米结构和多组分复合等对材料的电磁屏蔽/吸波性能的影响。构建了多种电磁波响应频段和吸收强度可调可控的智能电磁材料,发现该材料对微波及太赫兹波均具有优良的防护性质,进一步研究了其在宽频雷达隐身等领域的应用。

D42-09

新型吸波材料的设计及应用

吴宏景*

西北工业大学

报告将着重阐述吸波材料领域内三个关键科学问题:一是输入阻抗与损耗能力之间的矛盾,导致现有氧化物/铁氧体吸波剂在频段、厚度和密度等方面的局限性;二是微观电磁损耗机制的不清晰,影响了对吸波性能的深入理解;三是吸波材料的多功能耦合设计不足,制约了其在军民科技中的应用。为此,本报告将介绍三方面的基础研究成果:新型吸波体系的构筑、吸波性能及其物理机制的深入探索,以及吸波材料的实际应用进程。目标在于改善传统吸波剂体系的阻抗匹配问题,深入剖析微观电磁损耗机理,从而推动新型整体型吸波材料在民用科技领域的迅速落地与应用。

D42-10

电磁防护材料设计及吸波性能研究

梁小会*、任守玉

杭州电子科技大学

高性能的吸波材料在国防和民用领域有着重要的应用背景。将具有较高介电损耗的材料与具有较高磁损耗的磁性材料复合可以提高阻抗匹配,有望获得优异的吸波性能。由于纯介电材料电导率太高,介电频散较差,不利于阻抗匹配的调节,同时磁损耗型材料在磁性能提升方面还存在不足,阻碍了吸波性能的进一步提高。为了解决这些问题,设计通过在合成过程中引入强磁场,既可以调节电介质的介电特性,还可以提升磁性材料的磁损耗,优化阻抗匹配,提高吸波性能。主要通过设计磁电复合材料(铁氧体、金属合金、MoS₂等),调控复合物的电磁特性,阐明磁电复合材料的微观结构、成分对电磁特性的影响规律,揭示阻抗匹配与吸波性能的调控机制。为设计高性能磁电复合吸波材料提供重要的研究基础。

D42-11

吸波涂层在盐雾环境中的腐蚀机理及防护技术

张林博*

电子科技大学

电磁吸波涂层作为抑制电磁污染和实现装备隐身的核心功能材料,其长效服役性能直接关系到军民领域重大战略需求。然而,吸波涂层的关键填料—铁磁吸收剂,由于其高表面活性特性,在复杂海洋环境(如高盐雾、湿热、酸碱腐蚀等)下易发生严重腐蚀,导致吸波涂层性能退化和结构破坏,严重制约了其工程化应用。因此,本研究基于第一性原理计算,阐释了金属 Fe 表面电子功函数、电子逃逸与迁移及其与腐蚀的关系,并结合腐蚀性介质对羰基铁粉微观特性的影响规律,明晰了羰基铁粉结构和成分演变对电磁特性的衰变机理。在此基础上,提出了基于自分层的吸波涂层结构设计及防腐机制研究。通过表面能模型计算并结合纽曼和塞尔方程以及杨氏方程推导,构建了自分层预测模型,揭示了吸波涂层的自分层机制,并

系统地探究了基材类别对涂层自分层结构的影响规律，建立了分层结构与防腐特性的映射关系。这一研究为吸波涂层的环境适应性与多功能涂层设计提供了新的技术途径与理论支撑。

D42-12

防腐蚀多尺度碳纳米管多功能吸波材料

马林、马嵩*

中国科学院金属研究所

面对电磁装备在恶劣环境中的环境适应性和生存能力的挑战，一种多尺度装饰的三维分层仿生神经网络结构 $\text{Ni}_3\text{Fe}@\text{氮掺杂碳纳米管}$ 复合材料 ($\text{Ni}_3\text{Fe}@\text{NCNT}@\text{C}$) 的创新设计和构造可实现微波吸收和防腐的集成。该材料表现出较强的吸波能力，最小反射损耗为 -51.5 dB ，最大有效吸收带宽为 6.4 GHz 。这是由于三维分级仿生神经网络的优越互连导电通道和磁电匹配造成的。由于惰性 CNT 外壳提供的物理屏蔽，材料在腐蚀性介质中浸泡 30 天后，显示出超低腐蚀电流密度，约为 10^{-8} A/cm^2 。

D42-13

用于较宽温域下的雷达波吸收材料： FeSiAl/PEEK 复合材料

高杰、管振杰*、姜建堂

哈尔滨工业大学

目前，研究人员在微波吸收涂层的设计方面取得了大量进展，但对兼具优异微波吸收性能与机械性能的材料研究仍相对不足。本研究通过球磨-退火工艺制备片状 FeSiAl ，并采用溶胶-凝胶法在其表面构筑 SiO_2 包覆层，随后通过热压烧结工艺制备 FeSiAl/PEEK 复合材料。电磁参数的系统分析表明， FeSiAl 的形貌、填充率及微观结构对材料在宽温区内的电磁损耗具有显著影响，主要通过增强界面极化效应提升介电损耗，而铁磁损耗则由自然共振、交换共振和涡流效应共同主导。在 $20\text{ vol}\%$ 填充量下，片状 $\text{FeSiAl}@\text{SiO}_2/\text{PEEK}$ 复合材料在 X 波段表现出优异的宽温域微波吸收性能：在室温 (298 K) 下，最小反射损耗 (RL_{min}) 达到 -28.6 dB (10.8 GHz)，有效吸收带宽 ($\text{RL} < -10\text{ dB}$) 为 3.26 GHz (厚 1.8 mm)；在高温 (573 K) 下，厚度为 1.3 mm 时 RL_{min} 为 -25.8 dB ，有效带宽为 2.04 GHz 。值得注意的是， SiO_2 界面层的引入不仅优化了复合材料的阻抗匹配，提升了吸波性能，同时显著增强了复合材料的力学强度，其拉伸强度在 298 K 和 573 K 下分别为 84.38 MPa 和 16.33 MPa 。本研究为构建在宽温环境中兼具优异微波吸收性能与良好力学性能的复合材料提供了一种有效策略，具有重要的工程应用潜力。

D42-14

碳纳米簇/Ce-Mn 共掺杂钡铁氧体复合材料的电磁波吸收和耐腐蚀性能

李博、马嵩*

中国科学院金属所

为了实现电磁波吸收 (EWA) 器件在潮湿海洋环境中的应用，具有更好 EWA 性能和防腐性能的双功能 EWA 材料具有重大的探索意义和系统研究要求。通过利用钡铁氧体 ($\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$) 的低成本、优异的磁性和稳定的化学特性，并利用碳纳米簇的高介电损耗和优异的化学惰性，结合浸渍法和高温煅烧策略，设计并合成了一种新型的碳纳米簇包覆 $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ 的纳米复合材料。此外，将 Ce-Mn 离子引入 $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ 晶格，显著提高了 $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ 核心的介电和磁性能，并计算了掺杂晶格的能带结构和 Ce 取代 Fe 位点的顺序。得益于铈锰离子掺杂和碳纳米簇封装，复合材料表现出优异的耐腐蚀性和 EWA 双重功能。当 $\text{BaCe}_{0.2}\text{Mn}_{0.3}\text{Fe}_{11.5}\text{O}_{19}\text{-C}$ (BCM-C) 在 $600\text{ }^\circ\text{C}$ 下煅烧时，在 14.43 GHz 下实现了 -20.1 dB 的最小反射损耗。Ku 波段的有效吸收带宽为 4.25 GHz ，吸收体厚度仅为 1.3 mm 。BCM-C/聚二甲基硅氧烷涂层在模拟海洋

环境（3.5wt% NaCl 溶液）中具有优异的耐腐蚀性。在浸泡 12 天后，BCM-C 的 $|Z|_{0.01\text{Hz}}$ 值保持在 $10^6\Omega$ 。成功制备了 $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ 复合碳纳米簇复合材料，为未来制备多功能吸收材料和制造应用于潮湿海洋环境的吸收装置提供了新的见解。

D42-15

磁性纳米结构的化学设计及其电磁吸波性能研究

侯仰龙*

中山大学材料学院

磁性纳米结构因其独特的物理与化学特性而在信息存储、生物医学、隐身吸波等等诸多领域展现出重要的应用潜力而引起了广泛关注。作为重要应用场景之一，磁性纳米结构已发展成为一类实用的吸波剂，用于隐身及解决电磁干扰等问题。理论和实验研究表明，磁性纳米结构的静态和动态磁特性很大程度上取决于其成分、形状、尺寸和结构，因此实现磁性纳米结构的合理设计和可控合成对于达到预期应用性能尤为重要。在此，将讲述磁性纳米结构的化学设计及其吸波性能研究的最新进展。通过总结磁性纳米结构的普适性合成机制及其合成，进而分析了若干磁性纳米结构的吸波特性与结构的构效关系，特别是核壳、粒子修饰和分级结构，因异质界面、组分耦合或协同而在强化衰减和优化阻抗方面的显著优势，从而实现电磁波的有效耗散机制。据此，展望基于磁性纳米结构的吸波材料发展趋势。

D42-16

多功能电磁波吸收弹性体的设计与制备

祁小四*

贵州大学

电磁波吸收材料的多功能化为其在复杂场景中的应用提供了一条广阔的道路。然而，将多种额外功能有效地集成到电磁波吸收材料中仍然是一个重大挑战。在此，我们通过材料的纤维化设计与复合聚合物，制备了一种新型纳米纤维弹性体。通过控制纤维结构和退火温度，可以有效地调节材料的电磁参数和衰减能力。而经过复合聚合物后，所设计的弹性体不仅在较薄的匹配厚度下能实现超宽有效吸收带宽，还呈现出改善的机械性能、隔热性、疏水性和耐腐蚀性。并且通过设计具有周期性闭环谐振结构的超结构，弹性体还能实现超长带宽的有效吸收。总体而言，本研究为设计具有多功能性的电磁波吸收材料提供了宝贵的见解，并展示了它们在智能设备和具有挑战性的环境中应用的巨大潜力。

D42-17

吸波材料的 ALD 调控制备与多功能设计

王桂振*、吴丽红

海南大学

原子层沉积（ALD）技术凭借其亚纳米级厚度控制精度、原子级均匀包覆能力及优异的工艺可控性，为吸波材料的性能调控和多功能设计提供了创新解决方案。利用 ALD 方法调控 NiO 、 TiO_2 、 ZnO 等无机材料的沉积过程，可优化材料介电损耗与磁损耗的协同效应，实现阻抗匹配与多重反射损耗的协同增强，显著改善电磁波吸收性能的。通过精确调控 ALD 材料种类及包覆厚度，不仅可实现电磁波吸收频率的精准调谐，还能赋予吸波材料多重功能特性，包括优异的海洋环境防腐性能、高效热传导能力、可控电热转换特性及光热响应功能，为海洋工程装备提供兼具防腐保护与智能热管理的复合型防护解决方案。

D42-18

多维度界面工程调控电磁损耗响应特性及多功能应用探索

李雪爱*

燕山大学

吸波材料制备技术的不断发展,形成了体系选择、材料改性、微观结构构建、界面调控等丰富的实验方案,但缺乏面向应用需求的设计指导方案,各种实验手段无法相互结合以形成吸波性能的逐级提升。本研究以降低涂层厚度作为目标,以理论分析指导实验研究,从而提炼出调控手段及电磁参数变化域。进而,利用优化算法整合各种调控手段,形成最优性能的碳吸波材料多尺度调控方案。研究过程以电磁参数为设计核心,通过电磁参数的逐步确定来完成吸波剂及复合涂层的跨尺度构筑。基于实验调控方案完成优化参数的吸波剂及涂层的构筑,阐明各尺度因素对电磁损耗的作用机制。研究拟提供了吸波材料设计的一种新思想和新方向,其研究过程适用于各种性能需求下吸波材料性能的提升,其成果可推进吸波材料在高科技产业的应用。

D42-19

金属有机框架衍生吸波材料的构效关系研究

刘广*、吴琛

浙江大学

金属有机框架(MOF)衍生物在成分、结构、形貌及孔隙等方面具有高度多样性,为调控吸波材料的电磁损耗机制和阻抗匹配特性创造了条件。现有报道关于MOF成分对吸波性能的影响已有较深认识,但MOF结构对电磁吸收的作用机制尚不明确,利用结构参数调控损耗机制与阻抗匹配的手段亦极为有限,材料结构与吸波性能的内在关联仍需深入挖掘。针对上述问题,本文围绕MOF衍生吸波材料的构效关系,设计制备了系列具有宽频强吸收的MOF衍生磁电复合材料,系统研究了形态结构、尺度结构及孔隙结构与吸波性能的内在关联,为吸波材料的结构设计与性能调控提供了新思路。研究首先基于MOF衍生材料的各向异性特征,探讨了形状各向异性对电磁波吸收的影响规律,并构建了基于对称性、尺寸比和排列方式的模型框架以评估复杂结构的各向异性;继而以尺寸比为调控变量,设计了厚度可控且具有强各向异性的超薄MOF阵列,制备了超宽频吸收的MOF衍生复合材料;针对多孔材料衰减能力与阻抗匹配难以兼得的困境,设计了MOF衍生的梯度孔吸波材料,在保持强衰减能力的同时有效改善了阻抗匹配特性,实现了多孔材料吸波性能的帕累托改进。

D42-20

电磁屏蔽高分子复合材料

顾军渭*

西北工业大学

精确制导导弹、高功率微波武器以及高频率电子设备等技术的快速发展,对导弹抗电磁干扰系统、雷达防御系统、信息安全防护和复杂电路电磁兼容等多场景下的电磁屏蔽需求提出了日趋严格的标准。电磁屏蔽高分子复合材料因其轻质、耐腐蚀、易加工等优势,在军用和民用电磁防护领域得到了广泛应用,已成为国家和国防重大工程领域的关键材料之一。但目前电磁屏蔽高分子复合材料仍面临以下三个难题:其一,传统密堆积结构下有效耗散电磁波的界面数量有限,难以满足精密电子元件运行稳定性和信息安全性的需求;其二,高分子基体阻碍导电填料的连续分布与有效搭接,难以实现高效填料嵌入和三维导电网络的构筑;其三,用于电磁波耗散的屏蔽结构缺乏可控性,难以满足电磁屏蔽材料结构可设计、性能可定制的发展趋势。本报告就结构/功能高分子复合材料(SFPC)课题组在多界面调控策略、立体网络预制策略、模板辅助限域策略等方面的研究进展做一介绍。

D42-21

杂化氮唑框架电磁材料-微观能量编辑

黄文欢*

陕西科技大学

电磁波吸收材料在国防安全、集成电路、医疗防护等领域，具有重要的研究意义。目前，聚焦超轻多孔电磁波吸收材料的可控合成，提出前驱体分子编辑策略，可控设计纳米、微米、厘米尺度的微观结构，调控电磁能量损耗，构造高性能电磁波吸收材料与器件，为下一代电磁防护材料提供了理论突破和制备范式。

D42-22

陶瓷基电磁波吸收材料的调控

曾小军*

景德镇陶瓷大学

电磁辐射和污染的日益严峻促使电磁波吸收材料的高速发展，开发各种高反射损耗（RL）、宽有效带宽（ $RL < -10$ dB）、薄厚度、低密度和耐高温的优质电磁波吸收材料是目前主要的发展方向。这类吸波材料可以大幅度消耗电磁波，满足高温需求，具有重要的应用和发展前景。其中，陶瓷材料具有结构多样性、高温稳定性、化学与机械稳定性等特点，相继被开发为高效的电磁波吸收材料。然而，陶瓷基材料单一的损耗机制限制了其电磁波吸收性能。此外，陶瓷基材料的密度较高，不利于轻量化发展。本课题组结合刻蚀工艺、剪切工艺和熔盐工艺精准调控 MXene、SiC 等陶瓷材料的形貌，以实现陶瓷基材料的高效电磁波吸收特性。

D42-23

金属硫化物的可控构筑和吸波性能研究

刘骁龙*

西安电子科技大学

过渡金属硫化物因其成本低廉、制备简单、合适的电磁参数和优异的物化性质而广泛应用于电磁污染防治及军事目标的雷达隐身。然而由于很难同时满足良好的阻抗匹配和强的电磁衰减能力，常见的金属硫化物很难在较小的涂层厚度下获得宽频吸收特性，尤其是低/中频。目前国内外对于金属硫化物的研究主要集中在复合策略下的异质电/磁材料的引入，缺乏对材料组分、界面和缺陷水平的系统调控和研究，大大限制了材料电磁参数的调控及其吸波性能的提高。因此如何建立起这些因素与材料电磁参数的对应关系，进而揭示内在的微观电磁物理损耗机制将显得十分重要但充满挑战。针对以上问题，本工作提出了多种离子调控策略（包括选择性离子交换策略、硫化增强策略、金属阳离子竞争反应策略、氟阴离子调控工程和阴离子掺杂诱导的空位工程等）来设计和优化材料的组分、界面、缺陷水平及其吸波性能，为制备高性能、宽频带吸收的金属硫化物吸波材料提供了新的思路。

D42-24

碳化物吸波材料设计及性能

解秀波*

烟台大学

碳化物是构建薄、轻、宽、强高性能吸波材料的重要方向。目前碳化物研究主要集中于原子整数比的化学计量比碳化物，而对于非化学计量比碳化物的制备及吸波特性尚需深入细致的研究。本报告介绍了

非化学计量比碳化物 $\text{Ni}_3\text{ZnCo}_0.7$ 相关吸波剂的改性及性能调控研究进展, 包含 Ni 侧元素改变对物相及电磁参数的影响规律。此外, 通过与多孔钴进行复合制备了 $\text{Co}/\text{Ni}_3\text{ZnCo}_0.7$ 材料, 其最低反射损失值达到 -51.75 dB, 吸波带宽达 5.64 GHz, 通过理论计算确定了材料内部存在内建电场。该类碳化物吸波材料的研究拓宽了碳化物的范围, 为设计新型吸波材料提供了参考。

D42-25

高熵合金@三维碳泡沫的电磁波吸波材料

罗裕波*、刚双福

华中科技大学

本研究采用碳化三聚氰胺泡沫 (CMF) 为基体, 通过水热反应结合退火工艺嵌入 Co-Mn-Ni-Cu-Al 高熵合金 (HEA) 纳米片, 构建了三维网络 CMF/HEA 复合材料。利用矢量网络分析仪和模拟仿真系统研究了其电磁波 (EMW) 吸收性能及作用机制。实验结果表明: CMF/HEA-2 在 12 wt% 填充量下, 厚度 2.8 mm 时实现了最小反射损耗 (RL_{min}) -74.86 dB 和有效吸收带宽 (EAB) 7.94 GHz (覆盖 10.06-18 GHz), 优于同类材料 (如 FeCoNiCuMn 合金 RL_{min} -65.8 dB)。同步获得的疏水性 (水接触角 130°) 和隔热性能 (120 °C 热板表面温差 15 °C) 进一步验证了其环境适应性。机理分析表明, HEA 的晶格畸变效应与 CMF 的三维导电网络协同优化了阻抗匹配 ($Z \approx 1$), 并通过多尺度界面极化和磁电耦合效应实现电磁能多重耗散。

D42-26

电磁兼容材料设计与应用效能评价系统

张雪峰*、赵荣志

杭州电子科技大学

针对传统单相材料损耗机制单一、频带窄的问题, 团队提出核@壳结构异质复合和多离子联合替代的设计思路, 引入多重损耗机制, 获得了系列高性能屏蔽点胶和屏蔽贴片产, 应用于各类集成电路等, 满足电子信息产品中对电磁辐射/干扰的有效抑制需求。进一步, 为了解决现有电磁兼容材料性能指标与终端应用需求之间的不匹配问题, 建立“表面电磁辐射扫描法”, 精准定位辐射源位置与频率特征, 提出材料贴敷前后辐射对比的场景化测试范式, 形成“测试分析-材料设计-整改验证”的全链条技术路径, 实现从实验室参数到实际工况效能的跨尺度评价, 解决传统测试中“材料指标≠产品 EMC 性能”的行业难题, 为电磁兼容材料提供场景适配性设计依据。

D42-27

无机纳米纤维/纳米线基复合材料的制备及电磁性能研究

杨海波*、周洪伟、马永真、蔡志新

陕西科技大学

近年来, 随着通信技术和智能系统的快速发展, 满足宽频、轻质和高效要求的电磁功能材料已成为民用安全和国防隐身的迫切需求。本文采用静电纺丝法制备了系列碳基弹性气凝胶复合材料, 外加压力促使气凝胶中纤维层间距减小, 从而形成三维导电网络, 增强了电磁波的衰减能力。通过外加压力的变化, 可以实现电磁波的宽频吸收, $\text{Fe}@\text{CNFs}@\text{Co}/\text{C}$ 弹性气凝胶的有效吸收带宽为 14.4 GHz (3.36-17.76 GHz), 覆盖了 S/C/X/Ku 波段的 90%; 基于双电容器结构策略, 采用真空抽滤技术, 制备了 MXene 和 SiC 纳米线组成的复合多层膜, 该多层膜的厚度约为 60 μm 时表现出 65.8 dB 的电磁屏蔽性能, 克服了高导电材料应用于高度集成和微型化的电子设备存在固有短路的风险, 为具有高效、智能的电磁功能材料的设计开辟了新路径。

D42-28

多功能高效碳基吸波材料的研究

刘崇波*、彭玉辉

南昌航空大学

随着 5G 通讯技术的迅猛发展，电磁辐射造成的污染已成为继水，大气和噪声污染的第四大污染；电磁波吸收材料，可吸收或者大幅减弱投射到它表面的电磁波能量，从而减少电磁波的干扰的一类材料。吸波材料可有效地减轻电磁波的危害，在军事方面可降低雷达的探测能力，从而提高武器作战能力。多孔碳基复合材料由于优良的稳定性，低密度和可调节的介电性能，特殊的多孔结构使其更加轻质，且可以有效地增强对电磁波的反射和散射及优化阻抗，最终提高吸波性能，使其成为高性能微波吸收材料的最优候选者。结合近 5 年的课题组的研究进展，深刻阐述多孔碳基复合吸波材料的电磁波吸收机制；结合超材料设计和电磁模拟等技术研究其雷达隐身性能，及拓宽电磁波吸收带宽，为其应用奠定基础。

D42-29

过渡金属单原子复合碳材料的构筑及电磁衰减机制研究

梁宏圣^{1,2}、沈浩¹、吴宏景^{*2}

1. 长安大学

2. 西北工业大学

极化损耗作为电磁波的主要吸收机制之一，其原理是通过材料内部的电荷重新分布和弛豫效应实现能量耗散。目前，研究者已开发出多种极化模式来优化吸波性能，主要包括界面极化、偶极子极化和缺陷诱导极化等机制。近年来，单原子材料的研究进展为极化调制提供了新思路——通过原子级精度的电子结构调控，可以产生新型极化模式。然而，单原子材料中配位结构的高度对称性导致中心金属原子与配位原子间的相互作用分布均匀，使得电子云呈现对称分布，这一特性反而会削弱材料的极化响应。针对这一局限性，本研究创新性地在氮掺杂碳基底上构建了高密度 Ni—Cu 双原子耦合吸收剂，实现了 4.74 wt.% 的金属负载量。该设计使电磁波有效吸收带宽（EAB）实现了从 0 到 7.8 GHz 的突破性拓展。结合实验表征和理论计算发现，Ni—Cu 双原子位点的协同效应能够诱导局部电荷的非对称重新分布，从而产生显著的极化损耗，这种独特的非对称极化机制使材料展现出优异的电磁波吸收性能。本研究为原子尺度设计高性能吸波材料提供了新的理论依据和技术路径。

D42-30

基于电子运动调控的层状吸波材料设计及介电损耗性能研究

李达*

宁波大学

智能设备的广泛应用和通信技术的快速发展带来了不可避免的电磁辐射污染，对电磁波吸收材料的设计提出了更高要求。介电损耗（主要包括电导损耗、偶极极化、界面极化等）是电磁波损耗机制中的重要形式。通过调节材料局域电子的运动行为，有望实现增强的介电损耗性能，但目前鲜有明确研究。本文基于电子迁移理念，通过构建具有不同电负性的双相层状吸波材料，使面间与面内电子转移/累积同步增强，从而增加多尺度界面极化损耗能力。进一步，采用负载磁性纳米颗粒的氮掺杂石墨烯结构为模型，利用合金化方法，提高了纳米颗粒的电子云密度，从而加强了其给电子能力，有效提高了电导损耗、偶极极化和界面极化等介电损耗性能，最终实现了对电磁波的宽频强吸收。

D42-31

美拉德反应构筑铁氧体复合材料中缓冲效应对其电磁损耗调控机制研究

秦明¹、蔡金明¹、管洪涛²、吴宏景^{*3}

1. 昆明理工大学

2. 云南大学

3. 西北工业大学

通过铁氧体复合材料的设计可通过引入界面极化、缺陷诱导极化等损耗机制改善铁氧体吸波材料有效吸收频带窄的问题。然而，在复合铁氧体材料设计过程中，同样的合成工艺条件下往往无法实现同一主体材料/不同客体材料的高性能复合吸波材料普适性构筑，这一问题源于不同客体材料在摩尔质量上的差异及相同合成条件下所引起的介电损耗能力的差异。分析化学领域中存在缓冲溶液这一概念，其具有两个特点，即以弱酸、弱碱及其盐作为溶质和在一定范围内抵消、减轻外加强酸或强碱对溶液酸碱度的影响，从而能保持溶液的 pH 值相对稳定。针对上述问题，本研究创新性地模仿分析化学中缓冲效应的特点，以损耗能力适宜的 NiCo_2O_4 铁氧体为主体材料，通过美拉德反应中具有非挥发性的酸根阴离子/基团的引入及后续退火过程在一定范围内实现客体材料种类及含量的原位调控。该设计实现了五种宽频 NiCo_2O_4 基复合铁氧体材料的构筑，其有效吸收带宽均分布于 5.76 GHz-6.48 GHz 之间。结合实验表征和理论计算发现，“缓冲效应”其本质是通过复合材料中第二相原位调控完成介电损耗和电导损耗的连续调节，从而实现其从损耗主导态-平衡态-临界态-透波主导态的变化过程，最终在平衡态下实现阻抗匹配特性和电磁衰减特性之间的平衡而达到最佳吸收行为。本研究为宽频铁氧体复合吸波材料的普适性构筑提供了新的技术路径。

D42-32

衍生碳纸@rGO/Co/C 复合材料的可调控电磁屏蔽性能

刘智¹、侯鹏翔¹、刘畅^{*1}、高学平²

1. 中国科学院金属研究所

2. 山东大学

碳纤维纸基复合材料因其轻质、高导电性、优异的力学性能和可设计性，在电磁屏蔽领域的需求快速增长，尤其在高端电子、航空航天、国防及新兴科技领域具有广泛应用。然而，导电性与屏蔽性能的可调控技术和单一功能局限性仍然是制约其发展的关键因素。因此，我们通过湿法成型制备碳纤维纸，在微观尺度上构筑多组分、多界面、磁介电协同结构进一步提升碳纤维纸的电磁屏蔽性能；进而在碳纤维纸表面接枝氧化石墨烯(GO)后生长 ZIF-67 颗粒，以不同热处理温度探究碳纤维纸对电磁屏蔽性能的影响。最后通过 L-B-L 组装技术实现多层次、多界面结构碳纤维纸结构，研究叠层结构对电磁屏蔽性能的影响规律。研究表明，在优化的 3 wt%GO 接枝碳纤维表面条件下，经进一步表面原位聚合 ZIF-67、1000 °C 热处理，可使 0.12 mm 厚度碳纤维纸电导率达到 2475.86 S/m，较碳纤维纸提高了 3.5 倍。所制备复合纤维纸在 X 波段的平均电磁屏蔽性能达 38.46 dB，比电磁屏蔽性能 EMI SSE/t 达到 14388.56 dB cm²g⁻¹。对碳纤维纸进行 7 层铺层粘结处理，得到厚度 1 mm 的碳纤维纸的 EMI SE 性能达到了 85.83 dB。经过极端环境测试（强酸、强碱、有机试剂、超声、燃烧、极低温）后，碳纤维纸依旧可以保持 90%以上的电磁屏蔽性能。本研究提出了一种磁介电协同、性能可调控的碳纤维纸基屏蔽材料，在未来可穿戴、国防、航空航天领域具有重大的应用潜力。

D42-33

异质界面吸波陶瓷材料电磁与防护特性研究

李享成*、陈平安、陈 浮、朱颖丽、乔梦珂、吴江

武汉科技大学

吸波与防护陶瓷具有可调控的界面，从而赋予其优良的电磁性能和环境功能适应性，在极端条件下具有广阔的应用前景。研究团队设计和构建了吸波与防护陶瓷复合材料，通过渐进式空心工程、包覆以及后续热工艺联合的策略获得具有缺陷、界面和物相组成同步调节的吸波与防护陶瓷复合材料。高温下 X 波段介电损耗达到 4 以上，高温吸波性能具有宽频带和强吸收特性，同时其在风洞条件下具有零烧蚀性能。具有异质界面的吸波与防护陶瓷研究，为高温电磁辐射抑制和热防护提供了新材料支撑。

D42-34

电磁吸波材料的设计与工程化应用

钟博*

哈尔滨工业大学（威海）

材料的吸波性能由电磁参数决定，而电磁参数由材料的微观机制决定，建立材料微观机制与吸波性能的关系是吸波材料设计的根本问题。本文以电损耗材料为研究对象，基于德拜弛豫理论，建立材料静态介电常数、光频介电常数、弛豫时间、电导率等参量与吸波反射率的关系，并基于该关系对吸波材料进行设计，开展了石墨烯、碳纳米管、MOF、MXene、SiO₂、C₃N₄、BN 等多个体系的研究，阐明了 SiO₂、BN 等透波陶瓷对材料吸波性能的影响机理，揭示了不同类型碳材料吸波性能存在差异的微观机制，获得了一系列性能良好的吸波材料，并在相关应用场景开展应用验证，取得良好效果。

D42-35

SiC 基高温吸波材料的研究

杨涛*、王智骁

北京科技大学

近年来，高超音速装备发展与高温电磁防护需求对吸波材料耐高温性能提出严峻挑战。针对磁性材料受居里温度限制及现有材料高温性能衰减的问题，我们聚焦以介电损耗为主导的碳化硅（SiC）陶瓷体系，研究了 SiC 材料的高温原位介电性能变化机制，并依此通过碳热还原联合浸渍包裹法制备一维 SiC@C@BN 核壳短纤维。结果表明：调控 C 层与 BN 层厚可优化阻抗匹配，材料在 1.92 mm 厚度时反射损耗达 -53.82 dB，1.5 mm 厚度下有效吸收带宽拓宽至 5.81 GHz（13.86-19.67 GHz）。特别值得注意的是，所制备的复合陶瓷块体在 30-1000℃ 的宽温域范围内均展现出稳定的吸波性能。深入机理分析揭示了异质界面协同作用对增强界面极化和多重散射效应的关键作用。该研究为高温环境下的吸波材料设计提供了重要的理论指导和技术支撑。

D42-36

基于跨尺度微结构的多频谱兼容电磁超表面设计与应用

刘世钜、陈平*

南京大学电子科学与工程学院

随着电子设备集成度的不断提升和多频谱探测技术的发展，面向多频谱电磁波调控的新型功能材料引起了广泛关注和高度重视。超表面作为一种利用亚波长尺度的微纳结构精确调控不同物理场的新型人工材料，能够超越天然材料内禀物性的限制，实现很多新异的物理特性。特别是基于麦克斯韦方程的线性可缩放特征，可以通过对超表面单元结构的跨尺度协同设计，在同一电磁超表面上实现从射频到光波段的电磁波全频谱调控。因此，超表面在多频谱兼容电磁功能材料中的应用研究具有重要的科学意义和实际价值。本报告将介绍最近几年我们从跨尺度微纳结构的表征与设计出发，围绕着多频谱电磁波调控的多功能超表面工作机理、设计方法和典型应用开展的一些探索性工作。在这些工作中，我们首先从材料的经典色散模型出发，结合等效电路方法，建立了超表面电磁散射特性的跨尺度表征模型。在此基础上，发展了面向多

频谱兼容电磁超表面按需设计的智能设计方法。利用智能设计方法，我们分别基于透明导电氧化物及其与金属的多层膜等材料体系，设计了兼容红外的宽带微波吸收电磁超表面、可见光-红外-微波兼容的电磁超表面等原型，并进行了实验验证。

D42-37

高效柔性电磁屏蔽材料的开发与可控制备

黄凯*

北京邮电大学

报告聚焦电磁屏蔽材料规模化应用中的关键瓶颈问题，系统构建了基于卷对卷（R2R）连续制造技术的创新解决方案体系。针对柔性穿戴领域，通过 R2R 工艺制备银纳米线/PVB 三聚氰胺海绵（AgPMS），其三维网状结构在 X 波段实现 60 dB 屏蔽效能，经千次弯折后性能稳定；面向透明场景需求，开发室温 R2R 成型的银纳米纤维薄膜（AgNF），10 μm 厚度下透光率 75%、屏蔽效能突破 50 dB，可适配建筑玻璃等异形表面。在轻量化方向，采用 R2R 集成喷涂-焦耳热工艺制备 Fe_3O_4 /碳纤维毡复合材料，以 64.76 g/m^2 超低面密度实现 X/Ku 双波段高效屏蔽。同时基于 R2R 兼容浸渍法制备的银纳米线/PVB 纺织品，在 1.4 mm 厚度下具备 59dB 屏蔽效能及优异耐水洗特性。针对二次电磁污染难题，创新提出镍网吸收增强策略：通过电化学微结构重构与湿法硫化处理构建多孔磁性 Ni_3S_2 -PNM 材料，将电磁波吸收率从不足 1%提升至 60%，在 4-40 GHz 宽频范围内平均屏蔽效能达 59.6 dB。这一连续化制造体系成功突破传统材料在规模生产、异形适配及反射控制等方面的技术瓶颈，为军事装备、智能建筑及可穿戴设备提供了涵盖柔性、透明、轻量化与吸收增强的全方位解决方案。

D42-38

低维磁性金属及其取向结构调控对吸波性能的影响机制研究

何娜、胡锦涛、钟喜春、余红雅、巨文博、王宜、刘仲武*

华南理工大学

应用于关键频段（如 P-S 波段）的吸波材料常面临“厚、重、弱”等问题。吸波剂亟需在微纳尺度的结构设计，以及宏观尺度的取向结构调控方面，实现理论与方法的创新，为新一代电磁各向异性吸波材料的研究提供理论依据。本团队聚焦低维磁性金属材料，研究其形状各向异性和取向结构对其电磁参数调节的作用机制。首先，基于片状 FeSiAl 的空间取向研究，揭示了取向结构调控可实现片状 FeSiAl 的介电常数和磁导率单独调控的事实。其次，采用化学法合成的针状 FeCo 基磁性填料沿电磁波电场(E)和磁场(H)方向排布，其微波下的介电常数差异明显；其中，沿 H 方向排布能有效提升 S 波段的阻抗匹配。进一步结合理论推导与模拟仿真，分析电磁各向异性材料在低频的损耗机制。研究表明，调控低维磁性金属的空间群体取向，是实现特定频段电磁波宽频强吸收的有效途径。最后，基于上述研究结论提出了一系列提升磁性金属材料选择性吸收特定频段电磁波的优化方案。相关工作作为优化磁性金属的吸波性能提供了实验验证和理论依据。

D42-39

多层级 PMI/PVA 双网络气凝胶的电磁屏蔽机制与多功能一体化研究

刘云兰、李洁*、穆勇昌、董艺玮

中北大学

近年来，电磁屏蔽材料在电子设备防护、军事隐身和航空航天等领域需求日益增长。针对传统吸波材料存在密度高、高效吸收频段窄、功能单一等问题，本研究通过多层级结构设计，将氨基化 ZIF-67 (NH_2 -ZIF-67)和多壁羧基化碳纳米管(MWCNTs-COOH)作为吸波填料引入到聚甲基丙烯酰亚胺/聚乙烯醇

(PMI/PVA) 双网络气凝胶基体中, 构建了一种兼具高效吸波与隔热性能的轻质复合材料。该材料通过下层纳米银涂层的反射增强与上层吸波填料的二次吸收协同作用, 结合气凝胶多孔结构对电磁波的散射损耗, 实现了宽频电磁波高效衰减; 同时, PVA 网络的引入显著提升了 PMI 气凝胶的力学强度。此外, 材料的多孔结构赋予其优异的隔热性能。这种多层级设计策略为新一代轻质多功能电磁屏蔽材料的开发提供了新思路。

D42-40

聚合物转化陶瓷吸波超结构设计制备研究

孔杰*, 屈宁

西北工业大学

吸波超材料具有低厚度下宽频电磁波吸收特性, 陶瓷材料具有优异的耐高温、抗氧化性能, 将吸波超材料与陶瓷材料结合可极大地拓展吸波材料电磁性能及服役性能设计的自由度。本研究从聚合物陶瓷前驱体分子结构设计出发, 合成具有可紫外光固化特性的超支化硅硼氧碳陶瓷前驱体, 采用数字光处理技术 (DLP) 3D 打印制备出耐高温、抗氧化 SiBOC 陶瓷吸波超材料, 以 SiBOC 陶瓷本征复介电常数为基础, 设计出分别在 C、X、Ku 波段实现电磁波完全吸收的中空 98 面体型陶瓷超材料, 超材料测试性能与设计性能高度相符, 其在 C 波段、X 波段和 Ku 波段均展现出了优异的宽频吸波性能, 500-600 °C 时 X 波段的 EAB 仍能保持 2.98-3.32 GHz, 为能在高温环境服役的高性能陶瓷吸波材料和结构的设计和精准制备提供了有效途径。

D42-41

高性能碳基吸波复合材料

何芳*, 丁佳威

天津大学

为应对日益复杂的电磁污染环境, 开发高性能电磁波吸收材料迫在眉睫。碳基吸波复合材料以其轻质、良好的导电导热以及薄的匹配厚度而被广泛研究。但其阻抗匹配差、吸收频段窄、损耗机制不明确等问题依然是领域内面临的巨大挑战。研究团队基于吸波材料的极化工程设计取得了如下创新成果: (1) 基于电磁模拟计算, 提出了超薄吸收器设计的普适性策略, 实现了碳基半导体复合吸收剂的超薄匹配厚度; (2) 系统研究了异质界面工程和偶极子工程的损耗机制, 创制了缺陷工程激活肖特基异质界面的复合体系, 阐明了界面极化和偶极子极化的协同调控机制以及在不同体系中贡献作用的普适性规律; (3) 开发了系列碳基吸波复合材料, 在宽频、超薄、柔性、隔热、耐腐蚀以及红外兼容隐身等多功能方面取得了丰硕的成果。

D42-42

双金属离子取代改性钽铁氧体及其毫米波高效吸收性能

崔接武*, 杨智慧、魏浩山、吴玉程

合肥工业大学

电磁波吸收材料因其在军事和民用上的巨大应用潜力, 成为近年来的研究热点, 吸波材料不仅可以实现战斗机的隐身功能, 还能防止电磁波辐射对人体健康的威胁以及对通信系统工作的干扰[1]。随着 5G 时代的快速发展, 更高频段的毫米波吸波材料需求快速增长, 在兼具高损耗吸波性能的同时实现宽频带电磁波吸收、良好的可加工性和低成本方面, 新型吸波材料的设计面临着巨大挑战[2]。本工作聚焦于钽铁氧体作为吸波材料时面临的两个主要问题: 严重的阻抗不匹配和较窄的有效吸收带宽, 通过引入稀土元素离子和过渡金属离子, 对钽铁氧体进行双位离子取代改性, 期望开发出具有优异性能的钽铁氧体吸波材料。本

研究以双位离子取代的钽铁氧体为研究对象,采用高温固相反应和溶胶-凝胶工艺,制备了一系列具有不同价态离子取代以及不同取代比例的钽铁氧体吸波粉末材料。通过对钽铁氧体的物相结构和电磁性能的系统评估,探究了离子取代位置、离子半径、离子价态对钽铁氧体物相结构以及吸波性能的影响。通过调节稀土离子和过渡金属离子的相对比例,研究了双位离子取代对钽铁氧体的吸波性能影响机制。本工作制备的 Nd-Nb 和 Nd-Ta 双离子取代的钽铁氧体材料在 Ka 波段范围内均能实现全频段的电磁波有效吸收; La-Zr 双离子取代钽铁氧体在匹配厚度 0.6 mm 时,在 Ka 波段范围内带宽可以达到 12.15 GHz。

D42-43

新型电磁波屏蔽吸收材料研究

庄启昕*、左沛元

East China University of Science and Technology

随着电磁污染问题日益严峻,现代社会对高性能电磁波吸收材料的需求愈发迫切。研究聚焦于高性能吸波剂与多功能吸波材料的开发,旨在突破吸收频段窄、功能集成弱的瓶颈。通过组分复合与结构设计,如核壳结构与异质界面的构筑、多维结构组装,实现宽频强吸收纳米吸波剂的制备(Co@NDC 吸波剂在 1.9 mm 处反射损耗-57.36 dB,最大有效吸收带宽 7.36 GHz)。在低频吸波与多功能兼容方面,通过多元或高熵合金提升低频吸收性能(五元高熵碳化物在 2.89 mm, 8 GHz 处反射损耗-51.32 dB),利用同轴静电纺丝工艺实现吸波、导热、柔性兼容复合材料的制备。针对传统反射型电磁屏蔽材料带来二次污染的问题,开发吸收型电磁屏蔽材料(PMG 有机水凝胶在 X 波段的屏蔽性能为 42.34 dB,在太赫兹波段吸收率可达 99.9%,同时兼具运动传感及红外隐身功能)。这些成果为开发电磁防护材料、解决电磁污染问题提供了思路,推动了电磁波吸收材料与电磁屏蔽材料在国防军事、电子通信等领域的应用发展,也为后续相关研究提供了重要参考。

D42-44

电磁超材料吸波体的智能优化设计方法研究

陶诗飞*、刘思行

南京理工大学

随着现代电子信息技术的快速发展,电磁吸收材料在军事隐身、电磁屏蔽及电子设备抗干扰等领域展现出重大应用价值。然而,传统吸波材料受限于 Snoek 极限与阻抗失配效应,存在吸波频带窄、厚度大等瓶颈,难以满足宽频带、低剖面及轻量化需求。电磁超材料吸波体通过人工微结构设计突破材料本征限制,为高性能吸波器件开发提供了新范式。针对超材料吸波体设计中低剖面特性与宽带吸波相互制约的问题,提出了一系列的超材料吸波体的智能优化设计方法:(1)针对超材料吸波体低剖面与宽带吸波性能的制约问题,提出了一种基于多目标智能优化的设计方法。将智能编码技术引入宽带设计,设计了单层和双层编码超材料吸波体,并提出降维-再编码策略,有效降低了计算复杂度。优化后的编码超材料吸波体实现了 7.24-43.28 GHz 的超宽带吸收,相对厚度仅为最小波长的 0.196 倍,兼具极化不敏感与斜入射稳定性,加工测试结果验证了方法的有效性与可靠性。(2)针对元启发式智能算法 Pareto 解集收敛慢、分布不均匀的问题,提出了基于代理模型多目标优化框架的设计方法。采用 Kriging 代理模型近似目标函数响应,减少电磁仿真计算次数,并提出三阶段动态采样策略,促使解集快速收敛且分布均匀。对单层编码吸波体优化后,相对吸波带宽提升至 116.7%,总体厚度减少 15.3%,展现了该算法的优越性。(3)针对超材料吸波体离散-连续混合参数优化难题及计算成本高导致的效率问题,提出了融合混合编码与代理模型辅助进化算法的设计方法。将随机森林模型与元启发式智能算法相结合,加速了算法收敛。设计制备的三频带吸波体在 C、Ku 频段实现三频吸收,厚度仅为 1.27mm,较深度学习方法 REACTIVE 减少 42.65% 计算成本,验证了其优越性。综上所述,针对超材料吸波体设计中的不同问题,提出的一系列智能优化设计方

法，有效解决了低剖面与宽带吸波的制约、解集收敛与分布、混合参数优化及计算成本高等问题，为高性能超材料吸波体的设计提供了高效、可靠的途径，推动了电磁超材料吸波体在实际中的应用。

D42-45

石墨烯基吸波材料的电磁损耗行为与机理

黄小萧*

哈尔滨工业大学

薄厚度、低密度、宽频带、强吸收的碳基吸波材料在电子设备、医疗卫生、国防安全等方面发挥着极其重要的作用。石墨烯因其低密度、高比表面积、高导电性和化学稳定性等特点，为设计轻质高效的吸波材料注入了新的生机。然而，目前对于石墨烯电子结构、电学性能、电磁响应特性、损耗机制和吸波性能间的内在联系尚不明确。针对上述问题，以实现宽频有效吸收条件下的理想复介电参数分布范围为目标，采用第一性原理计算结合实验验证研究方法，对石墨烯表界面进行体系设计，从原子掺杂、异质界面、电磁耦合方面探究电子结构对石墨烯电磁参数和吸波性能的影响规律，阐明石墨烯电学特性与极化损耗、电导损耗、磁损耗等电磁响应之间的内在关联性，实现石墨烯基材料轻量化宽频吸收。

D42-46

有机固废增值转化制备轻质高效碳基吸波材料研究

曹祺*

东南大学

废弃塑料、生物质秸秆等大宗有机固废存在回收利用率低和污染严重等问题，亟需开发一条绿色可持续的增值转化路线以实现资源化利用。本工作以废弃聚烯烃塑料、木质纤维素等有机固废为碳源，通过热化学解聚耦合界面组装、静电纺丝、原位重整等手段将其转化为一类碳基复合吸波材料；通过系统的电磁参数测试、RCS 仿真等手段验证其电磁波吸收行为，结合第一性原理计算、COMSOL 多物理场耦合仿真等手段揭示了其在原子-颗粒-宏观等多尺度电磁波响应与损耗增强机制；结合反应器内部结构仿真设计优化，提高传热传质效率，降低反应器体积，提高反应速率，降低反应能耗，形成了有机固废增值转化规模化制备碳基复合吸波材料的成套技术方案。

D42-47

基于稀土调控与表面功能化设计的磁性吸波材料研究

张玉晶*

南京理工大学

磁性合金的吸波性能主要来源于其本征的磁自然共振吸收，而磁自然共振频率 f_r 与其磁各向异性 H_a 直接相关，由于稀土元素提供了局域巡游的内层不饱和电子，因此，稀土过渡族合金常常具有较强的磁各向异性，通过具有更高 H_a 的磁性第二相调控，可以实现磁自然共振频率的定向设计与调控。通过稀土元素 Nd/La 诱导沉淀/缺陷工程，成功制备了具有弥散分布的微纳米稀土磁性析出相的多相磁性合金。研究发现，稀土第二相的引入显著提升了材料的磁晶各向异性和电性，在 S 波段实现了 -76 dB 的最低反射损耗，X/Ku 波段有效吸收带宽达 7.34 GHz。针对磁性合金实际服役环境稳定性的问题，进一步聚焦过渡族磁性合金的磁-结构异质结设计，通过构建软磁/介电核壳结构，在 S/C 波段获得 4.1 GHz 有效吸收带宽的同时，将腐蚀电流密度降低一个数量级。表明，稀土调控可优化磁-介电匹配特性，表面功能化设计则通过界面电荷重排实现阻抗匹配优化与耐蚀性提升。这种协同策略为开发兼具高效电磁吸收与环境适应性的新一代磁性吸波材料提供了理论依据与技术路径。

D42-48

氮化硼基纳米吸波材料的可控合成及其功能应用

刘峰^{*1}、李来时¹、吴玉胜¹、孙旭东²

1. 沈阳工业大学

2. 东北大学

低维纳米材料的尺寸效应赋予了其独特的光学、电学、热学和力学性能。在众多的低维纳米材料中，二维六方氮化硼（h-BN）作为一种新型功能材料，具有耐酸碱腐蚀、高机械强度、优异的热稳定性和抗氧化性等特性，在电磁屏蔽与吸收、环境修复和复合材料等领域具有广阔的应用前景。h-BN 自身作为一种透波陶瓷材料，通过掺碳进行改性或构筑复合吸波材料展现出高微波吸收性能。然而，h-BN 层间的相互作用力较强，导致在热解合成低维 h-BN 纳米材料过程中，产物往往向小尺寸块体转化，降低了 h-BN 的实际应用性能。因此，探索 h-BN 纳米材料热解合成的新路径，以及通过改性方法实现对 h-BN 性能的调控，对于 h-BN 的性能提升和功能化应用的扩展具有重要意义。以低维 h-BN 纳米材料为研究对象，根据 h-BN 材料的结构和性质特点，在保留其优异的本征理化性能的基础上，通过前驱体结构和组成的控制，并结合独特的热解方法调控氮化硼的结构与性能，实现了 h-BN 在不同领域的多功能应用。

D42-49

一维过渡金属/碳材料的设计与电磁衰减性能

张敏^{*}

北京工商大学

多功能电磁纳米纤维在可穿戴无线设备中具有潜在应用价值。调控材料的电磁响应是开发多样化电磁功能设备的基本前提。采用静电纺丝和原位自组装方法制备了一维过渡金属/碳异质材料。过渡金属纳米颗粒表面原子台阶的诱导作用以及外层电子轨道与石墨化结构不饱和 sp^2 杂化轨道相互作用，促使了碳原子键合，实现了石墨化纳米带自组装。自组装进程可以定制电子长程传输通道和异质界面，协同调节导电和极化弛豫性能。这种双重调节策略使一维过渡金属/碳异质材料的电磁吸收和屏蔽性能能够相互转换。本研究中，一维过渡金属/碳复合材料的最大电磁吸收性能超过 -50 dB，最大屏蔽效能超过 30 dB。

D42-50

双稀土 Sm-Ce 掺杂钡铁氧体&导电 MOF 制备及其多功能设计研究

吕守杭、朱明伟^{*}

沈阳航空航天大学材料科学与工程学院

随着 5G 通信和电子设备的快速发展，电磁污染治理、工业染料废水净化及病原菌感染防控已成为亟待解决的全球性问题。然而，传统单一功能材料难以满足多元化应用场景的需求。将导电金属有机框架 Cu_3HHTP_2 与 $\text{Ba}_{0.94}(\text{Sm,Ce})_{0.03}\text{Fe}_{12}\text{O}_{19}$ 铁氧体复合，设计了一种兼具高效微波吸收、光催化和抗菌性能的多功能材料。 Cu_3HHTP_2 均匀包覆于铁氧体表面形成异质结。复合材料在 2-18 GHz 频段内反射损耗 ≤ -10 dB 的有效带宽达 5.5 GHz，较单一铁氧体提升显著；在可见光下对甲基橙染料的降解效率达 90% 以上，且对铜绿的抑菌率超过 95%。异质结界面处的 Type-II 能带匹配促使光生电子从 Cu_3HHTP_2 导带向铁氧体价带迁移，而铁氧体中 Sm/Ce 掺杂诱导的氧空位可捕获电子，协同优化电荷分离效率与界面极化损耗。此外，电荷分离过程中会析出 Cu^{2+} ，同步增强光催化和抗菌性能。该研究为开发“一材多用”型功能材料提供了新策略。

7 月 8 日下午（主持人：李达，马林）

D42-51

多功能吸波材料进展与前沿

马嵩*

中国科学院金属研究所

在电子信息与通讯技术高速发展的当下，复杂电磁环境带来的干扰问题日益严峻，多功能吸波材料成为解决这一难题的关键。这类材料通过特殊的结构与成分调控，融合了高效的电磁波吸收性能与多种实用功能。在吸波性能上，借助异质结构构建、杂原子掺杂等手段，增强极化弛豫效应，实现宽频强吸收；同时，兼具超疏水、耐高温、力学增强、光热转换、阻燃等特性，可适应不同场景需求。从消费电子设备的电磁兼容，到航空航天隐身防护，再到可穿戴智能装备的集成应用，多功能吸波材料均展现出巨大的潜力，为电磁干扰抑制与多领域技术革新提供了创新路径与解决方案。

D42-52

电磁防护材料技术

王东红*

中国电子科技集团公司第三十三研究所

以高功率微波电磁脉冲为代表的强电磁环境使得电磁防护材料的使用环境发生变化，对用频装备电磁防护能力提出极大挑战。报告介绍了电磁防护技术特点、电磁超材料物理原理、电磁防护材料应用需求及行业发展趋势，综述了团队在电磁超材料、先进碳基材料方面的研究进展及主要研究成果，如宽频吸波超材料、透明吸波超材料、防弹吸波超材料、碳纤维电磁屏蔽复合材料、石墨烯导热材料、石墨烯透明吸波材料、导热吸波材料等等。最后结合强电磁环境效应研究现状，围绕“多功能一体化”、“耐极端环境适应性”等团队研究重点，系统总结了电磁超材料、先进碳基材料领域存在的关键科学技术问题及关键技术攻关要点，提出了极端服役环境下用频装备综合防护能力提升的发展展望。

D42-53

导电 MOF 基吸波材料

陈聪杰，单震，董月霞，张根*

南京理工大学

通信技术的快速发展，特别是 5G 技术的出现，标志着人类社会开始进入万物互联时代，以千兆赫 (GHz) 频率为代表的智能设备广泛应用于人们的日常生活中。因此，具有高吸收、宽频率、薄厚度、低填充和柔性可控的电磁波吸收材料越来越受到关注。传统的电磁波 (EMW) 吸收材料，虽然表现出优异的吸收效率，但可控性有限。此外，限制传统微波吸收材料 (MAM) 发展的关键因素是缺乏精确可控的原子分辨晶体结构，这阻碍了对其机理的理解和进一步的后合成改性。开发能够解决上述问题的新型电磁波吸收材料仍然是一个巨大的难题。鉴于此，我们通过简单水热法合成了 2D cMOF, $M_3(\text{HITP})_2$ ($M = \text{Co}, \text{Ni}, \text{Cu}$)，并通过双金属合金化策略合成了一系列双金属 MOF， $M_xM_{3-x}(\text{HITP})_2$ ，在该团队的调控之下， $\text{Cu}_{1.3}\text{Ni}_{1.7}(\text{HITP})_2$ 在厚度仅为 2.1 mm 时的最小反射损耗 (RL) 值高达 -71.5 dB，有效吸收带宽 (EAB) 为 6.16 GHz (11.84–18 GHz)，覆盖了整个 Ku 波段 (12–18 GHz)。与 MOFs 衍生物甚至常规吸收材料相比， $\text{Cu}_{1.3}\text{Ni}_{1.7}(\text{HITP})_2$ 的综合性能名列前茅。令人鼓舞的是，可以通过金属比来实现对 $\text{Cu}_x\text{Ni}_{3-x}(\text{HITP})_2$ 的电磁参数和吸收峰位的精细控制。这些发现证明了本征双金属 MOF 从组成、微观结构、介电性能到 EMW 吸收性能的全面可控性，为本征导电 2D MOFs 作为高效调谐电磁波吸收器的优秀候选者的潜力提供了新的见解。

D42-54

聚醚醚酮基复合材料在中低温域下的电磁波吸收性能调控研究

胡晨曦*、赵靛、郑子凡

中国民航大学

随着信息技术的飞速发展,开发高效、轻量化、宽温域的电磁波吸收材料成为研究热点,而热塑性复合材料凭借力学性能优异、可设计性强、加工灵活、环境友好等特性,在中低温应用场景中展现出独特优势。然而,当前基于热塑性聚醚醚酮基复合材料的研究主要集中在其力学及高温力学性能,如何通过组分与结构调控实现复合材料介电/磁损耗的协同优化、并结合温度效应研究复合材料整体吸波性能的调控规律仍未收到重视。本研究以聚醚醚酮树脂为基体,通过引入多尺度磁性碳纳米多元异质结构,系统研究了室温~300°C温域下材料设计对复合材料微观结构及电磁参数的影响,综合评价材料的吸波性能与环境适应性,揭示了中低温环境中磁性碳纳米增强相网络重构对复合材料电磁损耗的调控规律,获得了高损耗兼具优良热稳定性的聚醚醚酮基复合吸波材料。该研究为热塑性复合吸波材料的应用提供了坚实理论支持,也为新型航空航天轻量化吸波复合材料的设计提供了潜在解决方案。

D42-55

结构-隐身一体化复合材料的设计及连续化制备研究

朱明伟*

沈阳航空航天大学

新一代飞机作为制空作战系统的核心装备,其高隐身性、轻量化和低成本化要求对制造端提出了更高的技术需求。传统的涂层材料在亚声速飞行时容易开裂、脱落,使整机隐身性能随之下落,同时存在维护成本高、隐身带宽窄等问题。本报告针对上述问题进行了结构-隐身一体化复合材料的设计及连续化制备研究。以磁性粉体为基础,引入超低含量的单壁纳米碳管,改善吸波剂的低频阻抗匹配获得低含量的低频吸波剂,进而与高频吸波剂进行层状复合,获得密度和反射率满足要求的预浸料,并实现了批量化连续制备。结合自研的分散设备,实现碳纳米管的稳定单分散,进而与炭黑结合研发轻质碳基涂料,完成吸波蜂窝喷涂/浸镀,获得可批量制备的吸波蜂窝,所得预浸料和蜂窝夹层结构可应用于进气道和飞机翼前缘结构,达到轻量化、隐身和承载一体化的多元目标。

D42-56

光学透明电磁吸波高分子凝胶材料在雷达隐身中的应用

李发铃、王海成*

北京有色金属研究总院

随着电磁波在现代军事领域的应用,基于电磁吸波材料的雷达隐身技术在实现战机隐身、提高战机生存率中发挥着关键的作用,因此对“宽、强、轻、薄”电磁吸波材料的需求越发迫切,特别是可应用于驾驶舱窗户、仪器表盘等光学窗口的光学透明电磁吸波材料。高分子凝胶是一种准固态材料,可以溶胀和保留大量液相,对入射电磁波具有良好的介电损耗能力。通过对高分子凝胶的组成及结构进行调整,可以获得兼具优异光学透明度和良好力学性能的吸波高分子凝胶。我们基于双网络结构设计策略,设计并制备了一系列光学透明吸波高分子凝胶,光透过率>85%,有效吸收带宽可达 6.6 GHz (X、Ku 波段),拉伸断裂强度>0.1MPa。并在此基础上结合电磁超材料的设计思想,设计并制备了高分子凝胶基光学透明电磁吸波超材料,理论模拟表明,所设计的高分子凝胶基超材料在雷达波段具有优异的宽带吸收性能,有效吸收带宽可达 12 GHz (6-18 GHz)。

D42-57

多功能一体化电磁屏蔽材料的设计构筑

陆伟*、杨洋

同济大学

多功能集成一体化是当前电磁防护材料发展的趋势。本报告主要介绍课题组近期在多功能一体化电磁屏蔽材料领域的研究进展。主要包括多功能一体化电磁屏蔽材料的设计思路、可控构筑以及其电磁屏蔽性能、传感性能、机械性能等的研究。

D42-58**轻量化高性能纳米复合电磁屏蔽/吸波材料**

曾志辉*

Shandong University, China

电磁屏蔽/吸波材料对提升电子设备间的电磁兼容性、提升电磁干扰防护及军事装备隐身能力等方面具有重要应用。开发具有高效屏蔽效能的电磁防护材料在提升电子设备的抗干扰能力和推动现代军事隐身技术进步中扮演着关键角色，具有广泛的应用前景和深远的战略意义。然而，现有材料常面临效能低、频段窄、以及环境适应性不足等局限性，进而限制了其在高频设备和军事装备中的广泛应用。为解决这些问题，现从材料组分和结构优化设计入手，结合多种纳米材料复合与改性技术，并深入探索了多功能集成应用，开发了一系列轻质高性能的电磁屏蔽/吸波复合材料，推动了电磁防护材料的性能提升和应用拓展。具体包括开发了多种导电纳米复合薄膜，实现了优异的力学柔性、抗氧化性及电磁防护效果等，展示了复合材料在多个功能领域的应用潜力。在材料结构设计方面，开发了多种具有仿生孔结构的多功能复合凝胶材料等，实现了 8.2–40 GHz 的宽频段内显著电磁防护效果，系统探索组分及孔结构对凝胶性能的影响规律。通过从材料组分和结构优化设计到多功能集成应用的逐步深入，这些研究不仅为轻质高性能纳米复合电磁防护材料的设计和制备提供了宝贵的理论与实践指导，还为环境电磁污染防治、军事装备隐身技术等领域的提升奠定了坚实基础。

D42-59**基于定向结构调控的碳基气凝胶电磁波吸收机理研究**

高玉*

中国科学院宁波材料技术与工程研究所

定向结构工程是一种新颖的材料构筑策略，主要通过特定的空间构型和排列来调控其微观结构。这种调控能够产生显著的电磁响应，对提升电磁波吸收性能具有巨大的潜力。然而，目前对于定向结构如何调节介电性能的微观机制仍缺乏深入理解，而这一领域的研究需求却极为迫切。本研究通过结合温度和磁场多场调控策略，成功制备了一系列具有不同定向结构的铁纤维/壳聚糖衍生碳气凝胶。这些有序排列的铁纤维沿着定向碳壁呈头尾结构，显著增强了材料的介电行为，包括电荷迁移和介电极化。实验结果显示，该材料实现了 8.3 GHz 的有效吸收带宽和 -54.7 dB 的最小反射损耗。通过建立双偶极子模型以及应用电子跃迁模型，揭示了电场方向对定向气凝胶电导率和极化率的影响机制。更为重要的是，沿着碳壁排列的有序铁纤维不仅有效降低了垂直于热源方向的热导率，还在平行于热源方向上形成了高效的热传导通道，从而展现出优异的红外伪装性能。这一成果为多光谱伪装提供了一种有效的策略，能够有效对抗多波段监视，为相关领域的应用提供了重要的理论和实践指导。

D42-60**碳基螺旋复合吸波体：多尺度电磁波损耗机制耦合探究**

赵永鹏*

四川农业大学

螺旋手性电磁材料具有独特的空间构型，能够调控电磁波的传播和极化，是调控结构体电磁损耗能力的重要手段之一。然而，其功能潜力常常受到传统主体材料固有局限性的制约，这些传统材料在界面工程、缺陷工程、磁调制以及自旋轨道耦合增强方面通常缺乏足够的灵活性。为应对这一挑战，这项研究将不同电磁损耗特征的吸波单元引入碳基手性框架中，构建了碳基螺旋复合吸波体。通过结合先进的显微镜技术、电磁测量、有限元仿真以及密度泛函理论计算，研究发现，磁性异质组分的引入和螺旋应变共同引发了自旋轨道耦合以及与缺陷相关的局域态的非线性变化，得益于这些效应，体系实现了优异的电磁波吸收带宽，性能优于线性结构和平面结构。这项研究为推动电磁功能材料从宏观设计向几何-缺陷-自旋协同调控方向发展提供了新的思路。

D42-61

鸟巢状碳纳米管/氮化硼纳米混杂材料制备及其电磁波吸收机理研究

王贝贝*、靳雨舟、陈嘉君、于方丽

西安航空学院

In order to improve the electromagnetic microwave absorption performance, multi-walled carbon nanotube/boron nitride (MWCNT/BN) hybrid materials were prepared by using ball milling method. TEM, SEM, XRD, and FTIR were used to characterize the micromorphology and structure of MWCNT, BN, and MWCNT/BN hybrid materials. The microwave absorption performance of MWCNT/BN hybrid materials with different MWCNT contents were studied. The experimental results indicated that MWCNT/BN hybrid materials with 40 wt. % MWCNT has the minimum RL value of -46.71 dB at the frequency of 8.83 GHz and an effective absorption bandwidth of 2.9 GHz (9.5-12.4 GHz), indicating that MWCNT/BN hybrid materials have good microwave absorption performance. The improved microwave absorption performance of MWCNT/BN hybrid materials was attributed to conductive loss, good impedance matching, interfacial polarization and multiple reflection and scattering. This study provided a simple method and theoretical basis for the preparation and application of microwave absorption materials.

D42-62

FeCoNi 基高熵合金粉的制备与吸波性能研究

尹滢、刘景顺*、李泽

内蒙古工业大学

高熵合金粉末具有耐腐蚀、耐高温和优异的软磁性能，是一种具有很大潜在优势和广阔应用前景的新型电磁波吸收材料。本文通过机械合金法制备了片状 FeCoNiMn_{0.6}Al_{0.4} 高熵合金粉末，并对其进行脱合金处理，探究其结构变化和电磁性能对其吸波性能影响规律。实验结果表明：所制备的高熵合金粉末具有较高的饱和磁化强度和衰减常数。经浓度为 3 mol/L 的 NaOH 脱合金处理 5 h 后，高熵合金粉末在厚度为 2.5 mm 时，最小反射损耗为 -50.07 dB，其饱和磁化强度为 106.94 Oe，衰减常数可达 587.73。脱合金处理后，高熵合金粉末内生成 NiAl₂O₄ 相，层片状颗粒表面积比增大，导致存在更多界面，增强了界面极化，提高了介电常数和磁导率，进而吸波性能得到增强。本文的研究结果可为 FeCoNi 基高熵合金粉末在电磁波吸收领域的应用提供理论依据和技术支撑。

D42-63

基于表面瞬态微溶解法制备 Fe₃O₄/CNTs/MPIA 复合材料

唐亚楠，柴京，刘雨荷，盛丹*

武汉纺织大学

随着科技的进步与发展,新型的电子器件正朝着高频、高速和小型化的方向演进。因此日常生活方面,人类接触电磁辐射的量和时长中不可避免地大大增加;军事战争方面,电磁信号的屏蔽需求也朝着更宽频和更精细走去。为应对时代的变化,本文基于电磁协同原则,结合在间位芳纶表面瞬态微溶解的最佳工艺和间位芳纶在 DMAc/LiCl 的共同作用下表面迅速生成微溶解层,将纳米四氧化三铁(Fe_3O_4)粒子和碳纳米管(CNTs)固定在间位芳纶纤维表层,通过多组实验出最佳四氧化三铁和碳纳米管的最佳质量比,接着进行高温煅烧,结果表明,间位芳纶材料的吸波性能在 2~18GHz 的范围内的最低反射损耗为-19.94dB,对应厚度为 5.0mm,有效带宽为 8.46GHz。这种新型材料不仅在电致发热和电磁屏蔽的特性上有优良的功能表现,在吸波性能上也表现突出。

墙报

D42-P01

复合三维网络 $\text{Fe}_{0.9}\text{Co}_{0.1}/\text{rGO}@PS$ 磁介电协同微波吸收材料研究

胡仁超*、宁明强、庄学恒

中国科学院宁波材料技术与工程研究院

基于二维磁性和电阻型吸波材料，通过宏观三维结构设计探究其对材料电磁特性及微波吸收性能的影响。采用溶液蒸发结合热压成型技术，成功制备具有三维网络结构的 $\text{Fe}_{0.9}\text{Co}_{0.1}/\text{rGO}@PS$ 复合材料，其中 $\text{Fe}_{0.9}\text{Co}_{0.1}$ 纳米片与还原氧化石墨烯（rGO）均匀分布于聚苯乙烯（PS）基体表面。重点通过引入电阻型吸收剂 rGO 实现磁-介电协同调控，系统研究该策略对材料电磁参数与微波吸收性能的作用机制。当材料厚度为 1.4 mm 时，随 rGO 含量增加，最大吸收带宽呈现先增至 6.1 GHz 后降至 2.2 GHz 的非单调变化趋势（初始值 4.1 GHz）。三维网络结构有效抑制磁性纳米片团聚，减弱涡流效应并提升磁导率，同时 rGO 显著增强介电损耗。材料在 6.9 GHz 和 12 GHz 处实现近乎理想的阻抗匹配 ($|Z| \approx 1$)，并在匹配频率处产生最强吸收峰 ($RL = -43.4$ dB)。结果表明，通过三维网络结构与磁-介电协同调控的合理设计，可同步优化阻抗匹配特性并协同提升介电/磁损耗机制，从而实现兼具宽吸收带宽与强衰减能力的高性能微波吸收材料。

D42-P02

外场诱导吸能烧结 3D 打印宽频吸波 UHMWPE 基超材料的研究

徐子捷、吕秦牛、陈英红*

先进高分子材料全国重点实验室（四川大学），四川大学高分子研究所

超高分子量聚乙烯（UHMWPE）具有抗冲击强度高、低介电损耗、轻质等优点，是制备聚合物基宽频微波吸收制品的理想基体，但其无粘流态性质严重制约其功能化与 3D 打印加工。本文创新通过结合基于磨盘力化学反应器的固相剪切碾磨与低温等离子球形化技术制备了适合于基于粉末床吸能高速烧结（FHS）3D 打印的有机改性蒙脱土（OMMT）、碳纳米管（CNTs）填充 UHMWPE 复合粉体。结果表明，低温等离子球形化处理显著改善了 UHMWPE/OMMT/CNTs 复合粉体的流动性，固相剪切碾磨技术所具有的强大粉碎、分散、混合、力化学反应等功能实现了 CNTs 等纳米填料的高效分散与良好界面结合，为形成低逾渗阈值的导电网络奠定了基础。结合红外-微波双外场协同诱导烧结 3D 打印技术，解决了无粘流态 UHMWPE 难以 3D 打印成型加工的难题，获得了具有优异层间粘接性能的 UHMWPE 基制件。在此基础上，基于多尺度建模设计并成功 FHS 3D 打印的三维超材料结构在 2-18 GHz 频段内实现了 >90% 的宽带微波吸收，其峰值吸收性能优异（-32.5 dB）。其中形成的碳纳米管（CNTs）导电网络与增强的界面极化效应协同赋予了 UHMWPE 基材料改善的电磁响应特征。本文工作为轻量化宽频微波吸收制件提供了可定制化制造平台，在航空航天与无线通信等领域具潜在的应用前景。本文得到国家重点研发计划项目（2023YFB4603504）的资助。

D42-P03

基于界面-形态工程构建的 $\text{CoFe}@C$ 纳米棒电磁吸波性能研究

张欣怡、Shahbaz Muhammad、张玲珑、梁振豪、魏先顺*

同济大学材料科学与工程学院

电磁波吸波材料可以有效改善电磁波污染现象，但传统的单一损耗型吸波材料往往具有吸收强度低、带宽窄等问题，如何制备出兼具优异磁损耗和介电损耗性能的复合材料引起了研究者的关注。本文以组分设计-结构调控为思想，利用贻贝仿生材料聚多巴胺（PDA）独特的黏附性质，在一步水热法构建的 CoFe

氢氧化物纳米针表面原位生长 PDA，并以此为前驱体，煅烧得到具有核壳结构的 C 包覆 CoFe 纳米棒。基于界面-形态工程构建的 CoFe@C 纳米棒通过强化极化弛豫、导电损耗等，实现了多种方式的衰减耗散和良好的阻抗匹配。该复合材料的最低反射损耗值达 -56.54 dB，对应 1.5 mm 时的有效频宽达 6.68GHz。为“薄、轻、宽、强”吸波材料的研究提供了一种新思路。

D42-P04

极弱磁场下铁氧体的磁噪声研究

王凯*

邯郸学院

锰锌铁氧体是具有高电阻率、高磁导率和磁噪声抑制性能好的软磁铁氧体，是一种低噪声磁屏蔽材料，由于其具有很高的电阻率，涡流损耗磁噪声得到充分的抑制，是提升磁屏蔽系统中磁屏蔽性能的关键材料之一，可用于量子精密测量中需要极弱磁环境的仪器。本研究聚焦磁屏蔽系统中低噪声铁氧体关键材料，探究在极弱磁场环境中铁氧体微观结构和组成成分对电导率、磁滞回线、磁导率、复数磁导率的影响规律和机制，并计算铁氧体材料的磁噪声，针对磁屏蔽系统中铁氧体在弱磁环境中的使用特征，研究在弱磁场环境中材料的磁导率和复数磁导率对磁噪声的关联性、影响规律和机制。本研究为低噪声铁氧体磁屏蔽材料的开发研制和优化提供数据支撑，对提升量子精密测量系统灵敏度极限具有重要理论意义和实用价值。

D42-P05

氧化钇包覆硅基纤维的制备及其高温性能研究

刘洪丽*

中国民航大学

氮化硅纤维因其高强度、耐高温及优异抗蠕变性能，是高温结构材料的理想候选者，但其在富氧高温环境下易发生氧化腐蚀，导致力学性能和热稳定性显著劣化。为解决此问题，本研究提出一种核壳结构陶瓷纤维设计策略：通过同轴静电纺丝技术制备以聚硅氮烷前驱体为核、 Y_2O_3 为壳的复合纤维，随后经前驱体转化法热解为核壳纤维。结果表明， Si_3N_4/Y_2O_3 核壳纤维具有均匀的微观形貌和优异的柔韧性。经 1400 °C 烧结后，纤维表面形成致密的 $YSiO_2N/Y_2O_3$ 复合氧化层，其高温抗氧化性能显著提升。热重及扫描电镜分析进一步揭示了其抗氧化机制：在空气环境中，纤维重量初期呈现轻微损失，随后由于 $YSiO_2N$ 氧化生成致密 Y_2SiO_5 膜，引发质量回升，这一现象证实壳层自愈合效应。综上， $YSiO_2N/Y_2O_3$ 核壳结构通过抑制氧扩散和动态自修复机制的协同作用，赋予纤维优异的热稳定性，抗氧化性能和高温隔热性能，为超高温结构材料设计提供了新策略。

D42-P06

连续纤维增强陶瓷基复合材料的电磁屏蔽性能研究

姚艺*

西北工业大学友谊校区

连续纤维增强陶瓷基复合材料因其卓越的高温稳定性与电磁屏蔽效能，在国防安全及民用电子信息领域展现出显著的应用潜力。本文系统地综述了近十年间该类材料在电磁屏蔽领域的研究进展，聚焦于基于麦克斯韦方程组的电磁波传播特性解析，并深入探讨电磁屏蔽机制中的吸收损耗与反射损耗过程。研究详述了连续纤维增强陶瓷基复合材料的制备工艺，并从材料科学视角对其与其他电磁屏蔽材料的性能差异及优势进行了量化比较。最后讨论了未来电磁屏蔽材料的研究趋势与挑战，将向高性能、多功能、绿色环保方向发展，但长期稳定性、环境适应性和成本是规模化应用的瓶颈。建议从微观调控和工艺优化等方面应对陶瓷基复材应用挑战。

D42-P07

石墨烯气凝胶孔结构调控及其对电磁屏蔽性能的影响

孙云波、江大志*

中山大学

随着电子设备的复杂性和集成度的不断提高，设备内部的电磁干扰问题变得日益严重，尤其是在一些高频如 X 波段和高功率的应用中，对电磁屏蔽的要求越来越高。石墨烯材料具有优异的导电性能，耐腐蚀，密度低，在飞机、舰船等电磁屏蔽材料的研发中具有重要的应用前景。石墨烯的高导电特性与气凝胶独特的孔道结构，使得石墨烯气凝胶（GA）电磁屏蔽材料备受关注。本文采用氧化石墨烯（GO）冷冻干燥法制备三维多孔 GA，聚焦配方组成与工艺参数对 GA 孔结构、孔径及孔隙率的影响，揭示其对 GA 电磁屏蔽效能的影响规律和机制。结果表明，氧化石墨烯浓度和分散方式是影响 GA 孔结构的重要因素。随着 GO 浓度增加，GA 内部分布密度大的孔径尺寸随之减小。GO 浓度为 3mg/ml 制备的 GA 平均孔径尺寸较小，为 883.96 nm；孔道数量更多，界面增多，对电磁波的多重反射效率提高，电磁屏蔽效能更高，GA 轴向电磁屏蔽效能达到 47.0 dB，横向电磁屏蔽效能达到 42.1 dB；GA 密度为 12.2mg/cm³。