

中国材料大会 2024
暨第二届世界材料大会
CMC 2024 & WMC 2024

July 8-11, 2024
Guangzhou, China

D01-超材料与多功能材料
D01-Metamaterials and
Multifunctional Materials

Organized by

Chinese Materials Research Society

Website: <https://cmc2024.scimeeting.cn>

D01. 超材料与多功能材料

分会主席：范润华、段玉平、秦发祥、文永正、杜艾

D01-01**无源降温光学超材料织物的宽光谱调控和宏量制备**

陶光明*

华中科技大学

D01-02**面向计算显示/成像的微纳光学超表面芯片**

董建文*

中山大学

显示和成像是未来芯片科技发展的重要方向，使人们与虚实世界之间的捕捉和交互更加真实密切，备受关注。光学超表面，通过亚波长人工单元的设计，能够突破天然传统材料的性能局限，实现微纳光场的多维度精准调控，尤其适用于高性能多功能微型集成的平面光学显示与成像器件。为此我们开发了超透镜芯片模组，可用于无辐辏调节冲突的真 3D 近眼显示与超宽视场角的 AI 彩色成像。在真 3D 近眼显示模组中，首次采用纳米压印超透镜阵列、高像素密度微显示屏和低算力实时片源算法结合的全新架构，展示了视频级真 3D 近眼显示的 AR 效果；在广角 AI 彩色成像模组中，将超表面与深度学习结合，提出软硬相辅的超透镜成像质量提升框架，实现离轴像差和色差校正的超构相机效果。为光场 3D 显示、VR/AR、计算成像等新一代微纳光子集成芯片领域提供了新颖的技术发展路线和应用价值。

D01-03**模块化装配式拉胀蜂窝结构设计及其力学性能研究**

朱一林*

西南石油大学

拉胀蜂窝结构通常具有复杂的人工设计胞元结构，需通过增材制造（亦称为 3D 打印）进行一体式生产。尽管增材制造技术近年来已经取得了长足的发展，但增材制造构件在加工过程中易产生内部缺陷、粗糙表面、微结构不均及残余应力等，会显著降低结构的服役性能。并且，增材制造的技术成熟度仍不能同传统制造相比，应用范围较窄，产业规模较小，制造成本仍远高于传统制造。目前，如何低成本制造性能可靠的拉胀蜂窝结构依然是一个挑战。此外，一体式结构在响应需求时也不够灵活。因此，发展生产成本低廉并可灵活响应需求的分离式拉胀蜂窝结构具有迫切的工程需求。针对这一需求，申请人发展了系列模块化装配式拉胀蜂窝结构，并通过理论建模、有限元仿真和实验研究系统考察了其力学性能。

D01-04**超薄柔性高导热电磁屏蔽材料**

衡利苹*

北京航空航天大学

随着现代电子通信技术进入 5G 新时代以及新型电子设备向高功率密度柔性化发展的趋势，无处不在的电磁干扰（EMI）对社会生产和人体健康均带来了严重影响。传统金属材料虽可以有效应对电磁干扰，然而其难以满足当前新型电子设备的技术要求，因此开发新型超薄超轻柔性电磁屏蔽材料的意义日趋明显。当前各种新型材料如碳基电磁屏蔽材料，二维过渡金属碳化物（ Mxene ）、纳米银颗粒/银线等材料已被应用于制备柔性电磁屏蔽材料，然而当前的柔性电磁屏蔽依然存在单位厚度电磁屏蔽效率低，严苛环境耐受性差，材料机械强度不理想等问题的制约。针对上述问题，作者取得的主要成果如下：制备了系列液态金属

限阈的高分子复合材料，实现了在多种严苛环境下的高性能电磁屏蔽，材料在厚度仅为 33 微米时可实现高达 80dB 的超高电磁屏蔽效率，实现对 99.999999% 功率的入射电磁波的有效屏蔽，材料在分别经受上万次弯曲后，经受连续 2h 连续超声处理后，-65 摄氏度低温处理 96h 后，400 摄氏度处理 24h 后，电磁屏蔽效率保持在 70dB 以上，材料展现出了良好的热导 $>10\text{ W/m/K}$ 。

D01-05

多功能仿生超材料

焦鹏程*

浙江大学

力学功能超材料通过结合先进功能材料实现力-电、力-热、力-磁等力学拓展功能，应用于动植物仿生、信息处理、监测感知、能量采集等领域，近年来成为力学超材料领域的研究热点之一。本研究以折纸超材料为结构基底，结合压电功能材料，分别实现两类代表性动植物仿生。首先，折纸超材料仿生花束运用折纸超材料的双稳态响应模拟从花苞“1”到花朵“0”的状态转换，在仿生传统花束数量、颜色和种类基础上，通过对折纸超材料阵列的“0-1”双稳态二进制数字编译，在时间维度上实现了字母和数字的高效准确信息存储表达。折纸超材料仿生花束展现优越的双稳态响应和时空四维信息功能，拓展了传统花束基于数量、颜色和种类（例如 999 朵红玫瑰）的空间维度准静态信息传递途径。其次，压电超材料仿生爬虫运用折纸超材料结构化方法设计波浪状超材料气囊和阵列排布的前后腿，通过内嵌柔性压电橡胶感知仿生爬虫的爬行变形并激发产生电信号，实现对外部充气气阀的开关控制产生自动循环的弯曲-恢复结构变形，形成类似尺蠖的自主连续爬行运动。压电超材料仿生爬虫展现自主连续爬行功能，无需外部操控实现推动 50% 自重重物、抵达预定目标等功能，其运动速度和运动形态可与自然界中尺蠖相媲美。

D01-06

太赫兹超材料智能设计与 3D 打印制备

张留洋*

西安交通大学

D01-07

辐射型超材料天线的介电覆层研究

王宗祥，范润华*

上海海事大学

D01-08

基于变阻器的全极化可重构极化转换器

楚遵天*，蔡鑫奇，李铁夫，杨文达，吴凡，孙辉廷，朱瑞超，王甲富

中国人民解放军空军工程大学

极化作为电磁波的基本属性之一，对于其的灵活控制在许多实际应用中非常重要。目前，大多数可重构极化转换器都是基于开关二极管或者变容二极管的电可调谐，操作简单，实时性强。然而，由于现有的可重构极化转换器只能作用于单一极化状态或者有限的极化通道中，或者在窄带范围内离散切换电磁变量以及需要严格的相位匹配条件，以适应多任务和高集成的智能通信系统的迫切发展需求。在此，本研究提出并演示了一种基于利用正交圆极化基矢的幅值连续调制的超表面策略，以此为基础调节任意极化下的分解组件，实现了全极化波下的自定义的宽带的极化转换和调制。两个对称嵌入到开口谐振环的开关二极管在非线性区下同时和独立切换双模同极化带有固定相位的反射幅值，可以显著简化模型调控框架以及提高信息容量。此外，设计以及制作了全极化可重构超表面样机，通过调节加载的偏置电压，可以实现多种极化下的宽带的电磁波的极化转换。此外，提出的模型很容易拓展到其他频率，这可能在面向未来的数据加

密, 信息复用, 和多输入/多输出系统中找到许多应用。

D01-09

调控 ZIF-8@ZIF-67 衍生物异质结构以影响电磁波吸收性能的研究

罗航*

昆明理工大学

通过调控多金属杂化物的成分和结构是一种有效调节电磁特性和电磁波吸收的方法。金属有机骨架(MOFs)材料具有低密度和结构可调的优点, 其中, 沸石咪唑盐框架(ZIFs)因其晶体结构的设计灵活性成为具有多种形态和结构的优良前驱体。本文提出了一种新的方法来通过改变环境溶剂对 Zn/Co 双金属杂化物形貌和结构进行调控, 观测其电磁波吸收性能发生了一些有趣的变化。ZIF-8 (Zn) 和 ZIF-67 (Co) 两种 MOF 具有相同的结构, 在不同的环境体系中, 以 ZIF-8 作为核 ZIF-67 为壳层, 合成具有异质界面的 ZIF-8@ZIF-67 则呈现出完全不同的形貌。通过高温退火处理得到二者的相应的热解产物 (ZnO/NC@Co/NC (M), ZnO/NC@Co/NC (A)), 二者所表现出来的电磁波吸收性能具有极大的差异, 本文对于其形貌和拓扑结构引起电磁波吸收性能变化进行了分析。

D01-10

SrTiO₃@BaTiO₃ 异质结构中稳定的负电容现象

魏再新*

山东大学

D01-11

氢对应变循环加载中高应变管线钢微观结构及性能的影响

马英龙, 范润华*

上海海事大学

D01-12

造黑色素材料

李乙文*

四川大学

黑色素是一类能在人和动物自我防护机制中起到关键作用的生物大分子材料, 通常由二羟基吲哚单体在黑色素细胞中聚合生成。近年来, 科学社会对黑色素的潜力充满期待, 希望能在提升其关键性能的前提下满足高端制造的需求。然而, 目前黑色素材料研究的主流方法还是在构效关系的基础上进行功能优化, 进展比较缓慢。我们针对此难题, 不拘泥于全面理解材料的复杂结构, 建立黑色素研究平台, 从大分子材料最基本的电子效应、空间效应和配位效应出发, 突破天然黑色素胞内合成的种种限制, 成功实现了对材料关键性能的有效提升, 以及对天然黑色素未有性质的全新拓展。我们进一步利用这些新概念黑色素材料替代传统的高黑度(如聚苯胺、炭黑等)、防光(如钛白粉等)和抗氧化(如亚磷酸酯等)原料设计新型产品, 如安全高效的防晒霜和染发产品, 耐弯折哑光覆盖膜、超黑隐形涂料以及柔性辐射防护材料等, 来推动军工、信息和大健康领域的产品升级。

D01-13

从负介材料到负介电子学

范润华*

上海海事大学

D01-14**新型红外辐射调控材料与器件研究**

刘东青*

国防科技大学

D01-15**梯度人工微结构衍射物理及波场调控**

伏洋洋*

南京航空航天大学

D01-16**基于多频率复用超材料的可编程声镊操控与实验方法**

侯泽伟*

北京理工大学

D01-17**基于超构材料的航天电磁隐身与防护技术研究**

白宇*

航天一院一部

D01-18**偏振/滤波耦合集成红外超表面结构设计**

鲍学聪, 王雅颖, 王晗, 王冰, 王如志*

北京工业大学

红外探测器在军事与民用领域中均具有重要应用意义,但若要实现其偏振与滤波特性需要配置单独的光谱和偏振滤光片,导致成像系统复杂且庞大。本文中,设计了偏振/滤波耦合集成红外超表面结构。研究表明,该超表面结构具有优异的红外偏振选择特性,高偏振消光比达到了 30 dB 以上;同时,在 2-10 μm 波段范围具有较好的滤波效果,带阻透过率小于 10%,通带透过率大于 80%。本工作设计的偏振/滤波耦合集成红外超表面功能集成器件有望用于新一代中红外探测器和成像仪,如用于遥感的中红外全斯托克斯成像偏振测量、临床诊断以及传感等。

D01-19**The construction of a hierarchical porous graphene-based composite foam with bi-continuous networks for efficient sound absorption**

张晓笑*

上海交通大学

To minimize the harm caused by noise, the development of high-performance sound absorption materials is essential. Graphene foam is regarded as a promising candidate for noise reduction owing to its low density, good structural designability and excellent thermal stability. However, the limited sound dissipation mechanisms of pure graphene foam result in undesirable sound absorption capacities, particularly in low-frequency regions. To enhance the low-frequency sound absorption capacities, the design of three-dimensional networks in graphene-based composite foam is an effective strategy. Herein, a lightweight hierarchical porous composite foam with bi-continuous networks, composed of reduced graphene oxide and polymethylsilsesquioxane-wrapped cellulose nanofiber (MCNF), was developed via a freeze-casting assisted bubble-template method. Notably, the

hierarchical porous structure of the foam can be controllably tuned by adjusting the concentration of MCNF (CMCNF). When the CMCNF was 6 wt.%, the obtained foam exhibited a desirable hierarchical porous structure. Mass small rectangular pores (~50 μm), composed of numerous nanofibers, were arranged around the large spherical pores (~400 μm), forming a typical ordered bi-continuous network structure. This unique network structure endowed the foam with enhanced resonance absorption effect and optimized impedance matching performance. Consequently, the normalized absorption coefficient (NAC) of the foam achieved 0.916, and an intense absorption at low-frequency ranges (250-1000 Hz). Based on the JCA model and experimental data, the influence of hierarchical porous structure and bi-continuous networks on optimizing viscous damping and thermal loss effects for incident acoustic waves was further confirmed. Moreover, the MCNF can serve not only as an efficient bubble stabilizer, but also as a reinforcement to enhance the structural stability of the foam. Even after 200 compression cycles at a strain of 50%, the foam still exhibited excellent elasticity, and the NAC values maintained at around 0.9, which ensuring the enduring sound absorbing capacity in long-term practical applications.

D01-20

钛酸钡基脉冲电容器用介质材料

杨鹏涛, 孙凯*, 陈阳, 范润华
上海海事大学

D01-21

MXene 基智能调温可穿戴材料在体育中的应用

钱欣然, 秦黎黎*, 杜艾
同济大学

热身活动作为体育教学的重要组成部分, 对提升肌肉表现和后续运动活动具有显著效果。据研究表明, 在热身后的不活动期 (即热身过渡阶段), 运动员的运动表现会下降。本研究旨在开发出一种能够维持热身效果的智能可穿戴设备。本研究开发了一种基于 MXene 的智能温控可穿戴设备 G-M-BC/PEG, 该设备结合了石墨烯、PEG-2000 和细菌纤维素气凝胶。具体步骤如下: 对 MAX 相材料进行化学刻蚀, 获得少层 MXene; 将 MXene、石墨烯和凝胶前驱体混合, 冷冻干燥得到 MXene 基气凝胶; 将 MXene 基气凝胶真空浸渍于相变材料溶液中, 制得单层 MXene 基气凝胶复合相变薄膜; 在单层 MXene 基气凝胶复合相变薄膜表面再涂覆一层, 重复上述步骤, 制得双层 MXene 基气凝胶复合相变薄膜。在此基础上进行运动人体实验, 选取了数名高校高水平短跑运动员, 试穿戴 G-M-BC/PEG 智能温控可穿戴设备, 评估 MXene 基智能可穿戴设备的可穿戴舒适性, 并探讨对大学生运动员的热身效果的维持以及运动表现的影响。G-M-BC/PEG 复合气凝胶的成功制备与表征: 通过湿法蚀刻合成了 $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$ MXene 纳米片, 并与氧化石墨烯、细菌纤维素结合, 制备了双层复合气凝胶。通过 XRD、SEM、XPS、DSC、机械测试等测试手段对所制备的薄膜进行了表征。一系列物理、化学等测试表明 G-M-BC/PEG 复合相变薄膜兼具光热转换效果和使用安全性。复合相变薄膜展现出良好的光热转换性能和热能存储性能, 具有较低的泄露率和优异的机械性能和循环稳定性。我们选取了数名高校高水平运动员, 试穿戴 G-M-BC/PEG 复合气凝胶薄膜。在 200 米短跑的热身过渡阶段, 测试并分析了运动员的主观感受、肌肉表面温度、心率、乳酸水平和肌电图等数据。构建的运动人体模型的实验结果也表明此设备能显著提高肌肉表面温度, 维持热身效果, 但对肌肉激活状态和疲劳状态无影响。

D01-22

光热管理节能减排超材料研究

汪万林¹, 邢红云², 张旺³, 汪国平*²
1. 大湾区大学

2. 深圳大学

3. 上海交通大学

色彩在我们生活中无处不在，带给我们诸多功能的同时，也因其对太阳能的吸收带来了大量的热量。尤其近年，全球变暖导致了大范围超高温气候，每年需要花费大量能源用于空调降温制冷。日常使用的彩色物体（如涂料，染料，墨水等），都由于吸收部分太阳光而显示高温态，虽然研究者努力减小近红外的吸收并且增大中红外发射，但是目前为止，在完全保持彩色性能的同时实现全色系低于环境温度的致冷彩色仍然无法实现。启迪于蓝闪蝶的大视域、高饱和蓝色，我们研究了一种新型非吸收致冷彩色膜，通过仿蝶翅有序/无序结构，将不需要的可见光通过有序结构镜面反射到一个狭小的视域，而将需要的可见光通过无序结构漫反射到一个较大的视域，同时反射近红外光和发射中红外光。最终，通过对四个波段电磁波的高效控制，将全色系彩色膜降低到室温以下，并且保持高亮度、高饱和(97%)和大视域($\pm 60^\circ$)。本致冷色膜在降低建筑、车辆、设施、厂房等物体的能源消耗方面有巨大潜力。

D01-23

金刚石基氮化镓功率器件瞬态热特性及应力模拟研究

冯超林, 安丽琼*, 干卓裕, 孙凯, 范润华

上海海事大学

金刚石基氮化镓高电子迁移率晶体管(GaN-on-diamond HEMT)具有高功率密度、低电阻、工作温度范围宽等特点，在微波大功率应用具有显著优势。然而，在高压大功率的工作条件下，器件栅极附近的焦耳自生热效应会明显限制器件的性能，甚至导致器件失效，因此 GaN-on-diamond HEMT 器件瞬态热特性和可靠性研究至关重要。有限元仿真是研究器件热特性和可靠性的有效方法，然而建模、材料基本物理性能、器件结构等都影响仿真结果，且目前研究集中在稳态和瞬态下器件的热特性。本研究建立了三维瞬态热特性和应力有限元分析模型，仿真模拟了不同频率(10kHz、100kHz、1MHz)和占空比(10%、20%、50%、90%)情况下 GaN-on-diamond HEMT 器件结温、温度分布和应力分布，并与直流情况进行对比。结果表明，在稳态情况下，器件在几微秒内达到最大温度 427 K，表现在器件中心近结位置；器件内部纵向温度分布以近结为“热源”，呈扩散降低状态；器件的热应力分布与温度分布一致，热源附近表现出最大应力，且金刚石与氮化镓交界处也承受较大应力。在瞬态单脉冲情况下，器件的近结温度随脉冲急剧升高与下降，热累积效应与脉冲频率和占空比有关。随着占空比的增加，在模拟频率范围内器件的结温均增高，且增高幅度变小。随着频率的增加，器件的结温降低，且在低占空比表现更明显，如频率从 10 kHz 增加到 1 MHz，占空比为 90%时器件结温从 427 K 降低至 411K，而占空比为 10%时器件结温从 423 K 降低至 376 K。器件的热场分布整体特征与稳态相比没有明显改变，峰值温度仍在近结处，其值大小与热穿透深度均与脉冲频率、占空比有关。器件在单脉冲情况下的热应力变化情况与瞬态的温度分布表现一致。

D01-24

显示玻璃研制国产化材料探索

李青*

东旭集团有限公司

东旭集团李青团队采用金属材料、非金属材料、耐火材料等研制出无机非金属电子玻璃专用装备，研究玻璃配方、溢流法和浮法生产、切割研磨等技术，制造出系列化液晶玻璃基板、低温多晶硅(LTPS)玻璃、OLED 载板玻璃、触控屏盖板玻璃、UTG 玻璃等产品，打破了国外技术封锁和产品垄断，填补了国内空白。获国家科技进步一等奖 1 项、二等奖 2 项，省科技进步一等奖 5 项，中国专利金奖 2 项、银奖 1 项、优秀奖 1 项，何梁何利产业创新奖，第三届全国创新争先奖等荣誉。“新型显示用 LTPS/OLED 玻璃关键技术与装备开发及产业化”成果整体技术达到国际先进水平，其中：应变点温度、紫外线透过率、再热线收缩率指标国际领先”，为我国 OLED 显示产业跃居世界第一做出了重大贡献。

D01-25

纳米多孔气凝胶与其它物质的相互作用

杜艾*

同济大学

气凝胶兼具独特的物理性质和成分的多样性，被认为是一种新的物质状态。气凝胶具有纤细的纳米结构和极低的固体含量，但是在多个方面展现出独特的性能，其与其他物质的相互作用值得探讨。本摘要综述了课题组近年来在气凝胶与其他物质相互作用方面的研究成果。1) 在电磁波作用方面，发现了碳气凝胶的超黑现象和关键机制，在射频频段观察到电磁双负行为，并拓展了超黑材料在光热水蒸发等领域的应用；2) 在声波作用方面，构建气凝胶中不均匀结构的通用模型，半定量揭示了悬空链比例对密度-声速标度关系的关联影响，构筑声速最低达 62 m/s 的新型气凝胶声学材料；3) 在强激光-X 光转变方面，利用低密度、纳米尺度均匀性、多种特定成分或结构（3D 打印等）的气凝胶设计，实现激光的体加热和高效转化。4) 在超高速粒子作用方面，采用 km/s 级不规则高速粒子进行地面捕获实验，实现对复杂运动过程的反演，并发现新型径迹，还通过构建超薄梯度密度气凝胶作为高速飞片实现了等熵稀疏压缩。此外，本报告还将介绍课题组在气凝胶快速放大生产及其在航天等领域的应用进展。由于存在特殊的微结构和丰富的界面，气凝胶材料与物质的相互作用通常明显强于普通多孔泡沫或纳米材料，其作用机制的探索将加深学者们的理解，也将为设计高性能气凝胶打下基础。

D01-26

聚电解质仿生膜

赵强*

华中科技大学

D01-27

杂化氮唑框架-局域能量编辑及微观表征

黄文欢*

陕西科技大学

D01-28

海洋环境下高性能抗冰防腐材料及服役性能研究

原媛*

上海海事大学

D01-29

柔性智能热管理材料的结构设计及其应用研究

张宇昂*

大连理工大学

D01-30

一种用于被动加热策略的基于 MXene 的纳米纤维自发热相变材料

刘浩涵、秦黎黎*、杜艾

同济大学

学校体育一直是健康促进领域的主要角色之一，秋冬季面临低温环境挑战，冷暴露会打破人体热稳态，影响学生热舒适性和运动表现。一般来说，主动热身和被动加热策略在维持热身效果和提升运动表现方面至关重要：在热身过渡期间使用被动加热策略以维持热身所提高的肌肉温度是目前研究人员提出的关键建

议。综上，一种适用于体育教学训练热身过渡期间的加热（或保温）织物的需求已经产生。具体来讲，就是选取一种新型二维纳米材料 MXene 通过静电纺丝技术嵌入高分子聚合物偏氟乙烯-共六氟丙烯（PVDF-HFP）形成纳米纤维膜；沉积于经过处理后的复合相变棉织物。基于静电纺丝技术实现太阳能的捕捉与储能，制备出自发热相变储能织物。本研究将 PEG@SiO₂ 的乙醇溶液充分浸润棉织物，真空干燥除去溶剂得到 PEG@SiO₂ 复合相变棉织物；通过 HCL-LiF 体系刻蚀 MXene，溶剂置换、离心浓缩后加入 PVDF-HFP 配制静电纺丝前驱体溶液；以上述棉织物为基底，通过沉积法制备出自发热相变储能织物。通过表面形貌、DSC、水分管理、红外光谱测试、力学性能和热稳定性的表征反映本自发热织物的理化性质、热舒适性能。自发热相变储能织物能够捕获太阳能并转化为热能，同时利用相变材料储能，提供持久的保温效果，循环测试表现出良好的耐用性；材料力学性能良好，能够做到贴合人体肌肉、柔软亲肤；同时具备优异的疏水性与透湿能力，适用于运动场景。今后将通过运动人体测试与问卷调查法，获得大学生运动员穿戴本自发热织物在运动情景中的生理指标与主观指标，探究本自发热织物在体育教学实践中的应用价值。

D01-31

MXene 基复相材料的结构优化及其介电性能

刘明祥，刘峤*

山东大学

D01-32

多层空心 Co₃O₄/GNs 复合材料的设计及其吸波性能调控

陈国钦*、马媛媛、王春雨

哈尔滨工业大学

面对生产生活中日益恶化的电磁干扰和污染问题，开发新型宽频、轻薄、强吸收、绿色的复合吸波材料有很大的应用价值。大量的既有研究表明空心结构、多孔结构、多壳层中空结构等特殊微结构的构建有利于改善复合材料的吸波性能。钴的氧化物 Co₃O₄ 是一种带隙为 1.6-2.2eV 的 P 型半导体，表现出较好的介电性质、稳定的化学性质和特定的磁性能，具有极大的潜力应用于吸波材料领域的研究。材料的微观结构，如晶体形貌、晶粒大小和分布等显著影响其物理化学性能，通过调控合成 Co₃O₄ 的工艺有望调节材料的电磁参数以获得适合的阻抗匹配和优异的电磁吸收性能。本研究采用工艺简单且成本低廉的溶剂热法和随后的退火处理得到一种多壳层结构立方体状中空的 Co₃O₄/GNs 复合吸波材料。制备得到的多壳层中空 Co₃O₄/GNs 复合吸波材料兼具“薄、轻、宽、强”四大优势，这种复合微结构的磁特性对吸波性能有突出的贡献，获得了更轻薄的复合材料。多壳层的特殊结构有利于入射电磁波在壳层之间发生多次反射和散射从而损耗掉大部分电磁波能量。高频范围的优良的吸波性能主要是来自于良好的阻抗匹配特性。介电-磁效应协同作用是造成吸波性能优异的关键之一，且介电损耗为主。

D01-33

Sunflower Pith Inspired mechanically efficient Dual-Gradient Cellular Polyurethane Architecture

Changcheng Bai, Xiaolong Wang*

Lanzhou Institute of Chemical Physics, Chinese Academy of Sciences

Cellular materials are attracting increasing attention due to the superlative mechanical functions, spanning energy absorption, noise dissipation, pressure delivery, and mechanical nonreciprocity, that are crucial in aerospace, transportation, and industrialization. However, many artificial cellular materials, despite of the in hierarchically ordered structures and even unique performance to some, still lag behind many natural ones in amplification of mechanical functions due to the limitations in intrinsic mechanical performance and sophisticated structural design. Herein, inspired with the superior mechanical features originated from sunflower piths, we

propose a state-of-the-art dual-gradient structure, pore size gradient and wall thickness gradient, to engineer cellular architectures with excellent mechanical performance by harnessing vat photopolymerization 3D printing of polyurethane elastomer. The specific compressive strength and energy absorption of the dual-gradient cellular architectures are 4 times higher than those of traditional mechanical metamaterial structures such as octet-truss lattice, gyroid lattice, and porous structure, displaying much exceptional capability in load-bearing and energy absorption compared with non- and single gradient structures. As the potential paradigm, we demonstrated the mechanical functions of biomimetic mechanical cellular architectures for impact protection and isolation noise. This research offers a promising perspective toward developing soft metamaterials with excellent mechanical functions for potential engineering applications.

D01-34**近/中红外超材料的超灵敏生物传感**

白洋*

北京科技大学

D01-35**基于超材料的波动信息计算感知研究**

姜添曦*

中国科学技术大学

D01-36**高性能可重用缓冲吸能超材料设计方法与展望**

谭小俊*

西北工业大学

D01-37**氮化硅/碳纳米管环氧复合涂层吸波防腐性能研究**

屈少鹏*

上海海事大学

D01-38**氮化硅/碳纳米管环氧复合涂层吸波防腐性能研究**

张如范*

清华大学

近年来,建筑节能、汽车调光玻璃、人体热管理、智能显示等领域的快速发展对光热调控材料提出了越来越多的产量需求和越来越高的性能要求。光热调控材料作为一种新型的能源调控技术,能够在外场(电、光、热、磁等)的刺激下动态改变其材料结构,进而使其光学特性发生相应改变,从而可以精准调控可见光和红外线的各项特性,从而可以选择性对光和热进行动态调控,满足人们对温度、明暗、色彩等多方面的不同需求。在光热调控超材料中,电致变色材料、辐射制冷材料、结构致色材料、光致变色材料以及仿生微结构材料因其独特的光学、热学特性和精巧的结构设计,引起了越来越多的关注。利用不同材料的优化组合和不同维度的规则排布,可以进一步优化光热调控器件的调光能力。本报告将介绍本研究团队在电致变色、辐射制冷、结构致色、光致变色等光热调控材料方面的研究进展。

D01-39**银纳米花/聚偏氟乙烯复合材料的渗滤行为与负介电性能分析**

王钰汝, 刘峤*

山东大学

D01-40**吸波泡沫填充 3D 打印蜂窝结构的力学性能研究**

张耘玮*、王甲富、郭嘉琛

空军工程大学

在有序多孔材料中填充泡沫来提高其结构强度是一种被广泛使用的结构增强方法。将吸波聚甲基丙烯酸酯亚胺 (PMI) 泡沫填充到 3D 打印聚乳酸六边形蜂窝结构中, 获得了一种新型的填充增强吸波蜂窝结构。面内和面外准静态压缩性能测试结果表明, 与空蜂窝相比, 泡沫填充蜂窝的 X 方向面内压缩强度提高了 168.75%、压缩刚度提高了 296.34%、单位体积比吸能提高了 516.87%、单位质量比吸能提高了 243.80%。Y 方向面内压缩强度提高了 179.85%、压缩刚度提高了 211.65%、单位体积比吸能提高了 797.14%、单位质量比吸能提高了 395.83%。Z 方向面外压缩强度提高了 23.49%、压缩刚度提高了 5.93%、单位体积比吸能提高了 28.59%, 但是单位质量比吸能降低了 27.69%。同时, 该结构具备良好的电磁吸波功能, 为结构功能一体化设计提供了一种可行方案。

D01-41**兼顾隔热和低发射率的柔性高强度 MXene/聚酰亚胺气凝胶膜**

王妍妍、于美杰*

山东大学

许多研究者致力于设计兼具隔热、低红外发射率、高强度和柔性的红外隐身复合材料。本研究通过静电纺丝、水浸-堆叠组装、冷冻干燥和热亚胺化方法, 制备了由 MXene 和聚酰亚胺纳米纤维 (PINF) 组成的双功能层红外隐身气凝胶膜。在制备过程中, 通过调节工艺参数, 使 PINF 气凝胶膜在厚度方向上呈现独特的层状多孔形貌。层状多孔结构和冷气冲击对纤维的取向作用, 使得气凝胶膜表现出优异的拉伸强度, 最高可达 17.8 MPa。层状多孔结构有助于减少垂直于纳米纤维膜方向的热量传递, 同时增加纳米纤维膜方向的热导率, 从而获得各向异性的热导性能。在冷冻干燥和热亚胺化之前引入 MXene 层, 使得气凝胶膜界面结合良好, 且红外发射率低至 0.283。该气凝胶膜在厚度仅约 1mm 的情况下, 能将 300°C 物体的红外辐射温度降低 206°C。此外, 该气凝胶膜表现出良好的耐高低温性能, 在液氮中仍具有良好的柔性。利用其固有的柔性和折纸原理, 可以将其制备成具有红外隐身功能的气凝胶膜袋子。130.2°C 的物体被其遮盖后仅显示出 28.9°C, 完全隐藏在背景中。本研究制备的 MXene/PINF 气凝胶膜具有独特的形貌、优异的机械性能、柔性、耐高低温性能、隔热和低红外发射率, 在红外隐身和伪装领域显示出巨大的应用潜力。

D01-42**力学超构材料的微纳增材制造和力学行为**

张璇*

北京大学

D01-43**数字编码超材料的电磁宏模型**

武军伟*

东南大学

D01-44**仿生界面中的微纳尺度结构设计及能质转换与传递**

李猛*
重庆大学

D01-45**人工表面等离子激元谐振中的近简并效应**

李元贞*
浙江大学

D01-46**太赫兹陶瓷基超材料的增材制造研究**

曾新喜*
北京科技大学

由于 6G 将利用太赫兹波进行数据传输，因此使 5G 领域常用的高频铁氧体材料满足其在太赫兹波段的要求至关重要。然而，铁氧体材料的弱物理性质，包括各向异性场和有限的材料操作空间，对发展越来越高频率的铁氧体材料提出了重大挑战。因此，我们提出了一种针对陶瓷先进材料的 3D 打印方法来控制超材料谐振。利用能量和动量方程建立了打印模型，并对打印过程进行了仿真。基于所设计的超材料，通过改变取向角来调控太赫兹谐振，并开发了一种利用无磁场调控太赫兹谐振的方法。

D01-47**超构色散定制与宽带隐身**

蔡通*
空军工程大学

D01-48**基于波矢反转机理的后向散射增强技术**

贾宇翔*
空军工程大学

电磁散射特征是衡量装备隐身性能的重要指标，面向宽带宽角域轻量化后向散射增强平板/共形器件在隐身装备应用中的现实需求，结合波矢调控技术的发展趋势，聚焦高性能波矢反转功能器件设计过程中的结构单元和空间排布协同设计问题，提出本研究内容。通过研究波矢调控技术在包括但不限于超表面、超光栅、人工表面等离子激元结构在内的典型人工结构功能材料中的物理机理及其带宽和角域拓展方法，采用空间波相位梯度累积、光栅阶数调制、表面波耦合-传输-解耦协同调控多途径复合的方法，秉持“基元+序构”研究范式，设计并制备高性能波矢反转功能器件以及高性能后向散射增强器件设计。围绕人工结构功能材料奇异的电磁特性及其高度定制化的特点，拟对其在波矢反转功能器件应用中的物理机制、设计方法以及工作带宽拓展等基础性问题进行系统的理论分析、数值仿真和实验验证，能够为宽带宽角域轻量化后向散射增强平板/共形器件设计和工程化应用提供解决方案。

D01-49**太赫兹非线性超表面的动态调控研究**

王陈、谭永、文永正、周济*
清华大学

动态太赫兹非线性器件在下一代太赫兹相干源、倍频器和无线通信技术中起着关键作用。缺乏具备高且可调非线性特性的材料从根本上制约了太赫兹非线性动态调制的实现。本文证明了通过泵浦光，在极低

的光强水平下,能高效调控超表面中单周期及近单色多周期太赫兹信号的非线性响应。光生载流子的引入影响了超表面的谐振强度和三阶非线性,为调制太赫兹脉冲的非线性传输性能和三次谐波产生性能提供了基础。此方法具有高度通用性,可广泛应用于整个半导体材料体系,为构建光可重构、集成化、室温操作的太赫兹非线性器件提供了一个卓越的平台。

D01-50

新型射频介电超材料机理与制备策略

王英杰¹, 刘峤^{1*}, 范润华^{1,2}

1. 山东大学
2. 上海海事大学

射频区域内介电近零 ENZ 材料的实现与解释是近年来的研究热点。其机理主要为洛伦兹谐振与等离子震荡。因此我们一方面利用聚偏氟乙烯(PVDF)与研磨后不同含量的多壁碳纳米管(MWCNTs)一起热压来通过谐振实现 ENZ,另一方面利用碳化微晶纤维素来调控等离子震荡实现 ENZ。分析相组成、显微组织和电性能,揭示 ENZ 机理。随着 MWCNTs 浓度的增加或者碳化条件的变化,在 PVDF 矩阵内逐渐形成由 MWCNTs 组成的三维导电网络。因此,基本电子运动模式从构建导电网络之前的电共振和极化转变为之后的自由运动,从而导致电导率的急剧增加。此外,随着 MWCNTs 浓度的不同,介电常数表现出不同类型的色散行为,这可以用德鲁德-洛伦兹或德拜-德鲁德-混合模型来描述。

D01-51

纳米多孔气凝胶 3D 直写成型策略及其应用

杨建明、杜艾、周斌*

同济大学

近些年来,直写 3D 打印技术逐渐发展成为气凝胶加工成型的重要手段,并已在许多应用领域展现其潜力。然而,受限于直写 3D 打印技术所严格依赖的墨水流变学及其常规的成型模式,目前气凝胶的直写 3D 打印普遍存在流变改性剂的过度依赖、成型结构的复杂度不高、打印的精度不佳等问题。这使得很多情况下直写 3D 打印的气凝胶在材料组成、微观结构以及最终性能等方面,相比通过传统成型技术得到的气凝胶并未展现出其显著的优势。因此,气凝胶的直写 3D 打印在成型策略方面亟待提升。为了解决以上问题,本研究通过气凝胶基前驱体溶液自身体系在溶胶-凝胶过程中的流变性能演化,来设计可用于直写 3D 打印技术的气凝胶基溶胶凝胶墨水,进而提出适当的成型策略对气凝胶 3D 打印在快速定制成型、高纯度、特定成分设计、纳米尺度均匀性等方面进行系统性研究。主要包括:采用溶胶-凝胶流变性能调控的策略,成功实现了高纯气凝胶的直写 3D 打印;由此得到的 3D 打印气凝胶具有介孔主导的分级多孔微观结构且纳米尺度分布均匀,同时呈现出清晰的纤维轮廓以及完整的打印结构。采用液相功能化的策略,成功实现了功能复合气凝胶的直写 3D 打印;由此得到的 3D 打印气凝胶中,功能成分(包括碳纳米管、聚吡咯、钴氧化物等)均匀地分布在其骨架上,且可以根据实际的需要对功能成分的组成及含量等进行灵活地设计,展现了该策略的可靠性和通用性。采用悬浮成型的策略,成功实现了大跨度稀疏结构气凝胶的直写 3D 打印;由此得到的 3D 打印气凝胶具有任意空间的大跨度(单根纤维跨距可达厘米量级)稀疏结构。采用快速凝胶化的策略,成功实现了高精度结构气凝胶的直写 3D 打印;由此得到的 3D 打印气凝胶的单根纤维尺寸分别为~93.7 μm 、~69.1 μm 和~47.7 μm ,优于目前报道的气凝胶直写 3D 打印精度(200-1000 μm)。总之,本研究采用流变性能调控、液相功能化、悬浮成型和快速凝胶化等成型策略,分别针对传统气凝胶直写 3D 成型方向的打印方案、样件功能化、大跨度稀疏成型和高精度打印等问题进行了探索,获得了在墨水设计、打印工艺参数、后功能化等方面的通用规律,为推动气凝胶 3D 打印技术的发展及应用打下了基础。

D01-52

Fe₄N@C 多孔核壳微球的电磁波吸收性能研究

张舒婷*

山东大学

磁性金属与碳材料的复合与形貌结构优化是电磁波吸收材料的研究热点。磁性金属 Fe₄N 具有较高的比饱和磁化强度（其饱和磁化强度约为纯 Fe 的 85%），高 Snoek 极限，磁损耗性能优异，且其抗氧化和耐腐蚀性较纯铁更高。在本研究中，采用溶解热和原位聚合的方法，经碳化和渗氮工艺合成了以磁性金属 Fe₄N 为核，多孔碳为壳的复合材料，采用多种表征方法研究其微观形貌、电磁性能和电磁波吸收性能。Fe₄N@C 核壳微球在厚度仅为 1.74 mm 处达到 -57.61dB 的反射损耗值，在 1.68 mm 处具有 5.27GHz 的有效吸收带宽。受益于 Fe₄N 磁芯的强磁损耗能力，多孔碳基体的带来的多种的介电损耗机制，核壳结构的搭建以及丰富的异质界面，Fe₄N@C 核壳微球具有多种电磁波传播路径和较强的界面极化能力，且构建了独特的磁电协同系统，使其具有优异的电磁波吸收性能。Fe₄N@C 核壳微球因其简易的制备方法和高效的电磁波吸收能力，在吸波材料的设计和应用中具有较大的发展潜力。

D01-53**承载散热储能一体多维梯度超构材料设计及性能表征**

文聘*

武汉理工大学

D01-54**基于 LSPR 动态光调控器件的开发**

李娜*

哈尔滨工业大学

D01-55**水下吸隔声超材料研究进展**

王洋*

国防科技大学

D01-56**电路基双曲超构材料及其应用**

郭志伟*

同济大学

D01-57**电磁选择性结构的角度选择表面设计与研究**

杜超*

西安交通大学

D01-58**基于有源器件的超表面智能调控架构研究**

朱瑞超*

空军工程大学

电磁功能器件越来越倾向于集成化设计，传统的静态超表面加工后功能特性也随之固化，因而无法对外部环境做出实时响应，这阻碍了超表面智能化的设计需求。而引入有源器件可以对超表面电磁特性进行

重构, 配合智能调控器件能够对超表面功能进行动态切换。为了解决超表面与控制、感知、决策等模块一体化集成问题, 首先通过集成外部器件研究了基于感知模块集成的超表面调控技术; 进一步结合智能算法, 研究了智能算法与感知模块融合的超表面系统; 为了进一步提高智能化能力, 通过脑电波传感器与可重构编码超表面的结合实现了脑电波意念控制电磁波的效果, 依靠人的智能提升了超表面的智能化水平。综合上述研究实现了有源可重构超表面智能化调控架构的研究, 为智能通信等领域奠定理论基础。

D01-59**无序超材料实现矩形波导内电磁波的模式整合**

张峻铭*

清华大学

无序超材料是一种新型超材料类型, 它的子结构单元及子结构之间的排布方式呈无序的特点。这种结构特点赋予了它新颖的电磁性质, 使其能够对多模态耦合的非均匀电磁波进行操控。本项工作中, 我们研究了无序超材料的散射特性, 提出了一种在矩形波导中能够使任意混合模式输入转换为特定单一模式输出的“模式整合超材料”。从理论建模出发, 我们首先建立了矩阵形式的散射参数, 用以描述无序超材料对不同模式电磁波的响应特性, 并确定了实现模式整合功能所需满足的散射参数的特征。为了设计出满足该特征的无序超材料结构, 我们首先利用随机的无序结构诱导出了包含目标模式的耦合模式, 再通过多层无序结构串联的方式消除耦合模式中不被需要的模式分量, 实现了单一模式的输出。借助遗传算法, 符合散射特征要求的串联结构可以被快速构建, 最终设计出了能够实现模式整合功能的无序超材料。

D01-60**3D 打印双层内凹六边形负泊松比结构的吸能性研究**

李文字*、杨卫明、马严、刘李晨、薛志强

中国矿业大学

负泊松比(NPR)结构在受到冲击载荷时可以收缩, 增加结构的局部密度, 增强抗冲击性能, 因此可以作为一种良好的抗冲击结构, 应用在汽车的吸能盒, 在汽车发生碰撞时可以吸收冲击动能, 减轻人员伤亡, 减小财产损失。然而现有的研究主要集中在平面尺寸和低速载荷下的负泊松比效应, 对三维负泊松比结构的高速冲击载荷研究较少。我们利用 3D 打印技术制备了两种负泊松比 AlSi10Mg 合金结构, 并与传统的六边形网格结构进行了对比。对这三种结构进行了霍普金森压杆试验和显式动力学模拟分析以表征其抗冲击性能, 并对两种方法的结果进行了比较, 发现数值模拟结果与实验结果吻合较好, 可以为后续研究提供一些帮助。研究发现, (1) NPR 结构在受到冲击力时表现出负泊松比效应, 出现 X 型破坏模式, 因此增强了结构的局部密度, 其抗冲击能力和能量吸收性能优于普通蜂窝结构; (2)设计的双层内凹六边形结构, 其强度和吸能性均优于普通的内凹六边形结构, 在保证负泊松比效应的同时增强了吸能性; (3)数值分析中所采用的计算模型与试验结果吻合较好, 说明了计算模型的可靠性, 为后续 3D 打印 AlSi10Mg 试件动态性能的研究提供了帮助。

D01-61**具有隐身特性的高熵合金气凝胶材料**

赵敏慧, 孙凯*, 范润华

上海海事大学

D01-62**Mechanical properties of an orthogonal spiral metal skeleton-polyurethane composite**

Zixiong Ye, Xin Xue*

Institute of Metal Rubber & Vibration Noise, School of Mechanical Engineering and Automation, Fuzhou

University

Interpenetrating composites have a wide range of applications such as robotics and aerospace, due to their excellent load-bearing capacity and large elastic recovery. In this work, a novel metal/plastic composite namely orthogonal spiral metal skeleton-polyurethane composite (OSMS-PU) is proposed. The mechanical properties and deformation characteristics of OSMS-PU under quasi-static compression were investigated by means of experimental and numerical methods. The effects of key geometrical structure parameters such as the diameter and the pitch of spiral wire on the compression properties and Poisson's ratio were performed. The results show that at 60% strain field, the compressive strength of OSMS-PU increases by 54% compared to that of polyurethane, while the strain recovery capability can be up to 94%. This means that the proposed OSMS-PU exhibits a good performance balance between load-bearing capacity and large elastic recovery characteristics. The orthogonal spiral metal skeleton by altering the structural parameters of the lateral spiral wire suppresses the swelling phenomenon of the interpenetrating composite, in which the Poisson's ratio is in the range from 0.45 to 0.65.

D01-63

Ni 掺杂诱导单相 $\text{LaCo}_{1-x}\text{Ni}_x\text{O}_3$ 钙钛矿的射频负介电行为

部天宇*, 刘峤

山东大学

本文采用溶胶-凝胶及自蔓延燃烧法, 制备了钴酸锶镧负介电陶瓷粉末, 并使用常压烧结制备了陶瓷片样品。通过 XRD, SEM, LCR 等性能测试, 得到了样品的晶面参数, 表面形貌, 介电性能及磁性能。证明了通过溶胶-凝胶及自蔓延燃烧法制备钴酸锶镧陶瓷粉末的可行性, 讨论了钴酸锶镧中电子的双交换作用对于其负介电性能的影响, 研究了钴酸锶镧抗磁性能产生的机制。

墙报

D01-P01

Hydrophilic Cellular Programmable Open Surface Exhibiting Multifunctional Floatability

Xiaojing Liang*, Limin Wu

Department of Materials Science, Fudan University

Interfacial floaters with exposed surfaces play a crucial role in various fields, including heterogeneous catalysis, microdetectors, and solar evaporation. However, most current open floaters exhibit significant material selectivity. To tackle these challenges, we propose a hydrophilic cellular sheet (HCS) with robustness, stability, submergence resistance, and multifunctional integration achieved through the structural design of each cellular. The hydrophilic surface also demonstrates exceptional air storage capabilities, resulting in remarkable floating and anti-sinking properties. Moreover, superhydrophilic HCS in water or HCS in ethanol can resurface rapidly. HCS loaded with magnetic beads can be manipulated remotely, including rotation and movement. When further packed with magnetic beads, the manipulation of droplet transport and merger can be completed on the HCS surface. Each cellular can be regarded as a pixel, allowing HCS to be programmed with information for encryption and decryption purposes in water. The linking multiple HCS units facilitates responsive position and information control through magnetic manipulation, offering a promising avenue for receiving and processing oceanic data. Our study presents a feasible strategy enabling hydrophilic materials denser than water to float and maintain stability and anti-sinking properties, providing valuable insights for the development of multifunctional interface carriers.

D01-P02**具有自修复性能和长期稳定性的一体化紫精基电致变色凝胶**

汤晟玮、贾春阳*

电子科技大学

紫精是一种典型的电致变色材料，目前在电致变色器件中的应用存在两个主要的局限性问题。电致变色层可能因老化、薄膜应力等而损坏，或在重复使用循环后发生紫精二聚化，这对电致变色器件（ECD）的可靠性有重大影响。为了解决这些限制，我们合成了苺基硼酸紫精（BBV），并将其与含有聚乙烯醇（PVA）的电解质混合。BBV 中的硼酸基团可以与 PVA 中的羟基形成硼酸酯键，从而形成自修复一体化电致变色凝胶。被硼酸酯键固定化的紫精会减缓其扩散速率，并有效缓解二聚导致的循环稳定性差。同时，动态交联的硼酸酯键的可逆性使得电致变色凝胶具有自修复能力。一体化电致变色凝胶表现出优异的机械性能，拉伸强度为 33kPa，在室温下 30 分钟内具有显著的自修复性能，愈合效率为 96.57%。使用该凝胶制备的 ECD 表现出优异的性能，在 0 至 1.3V 的驱动电压下，着色的响应时间为 3.9s，漂白的响应时间是 7.4s，以及良好的光学对比度（71.33%）和高的循环稳定性（10000 次循环/82.66%）。

D01-P03**基于低反射元表面和吸波材料的耐高温电磁防护双层结构**

张恒志、毕美*

电子科技大学

本研究提出了一种用于电磁防护的耐高温低反射双层结构，由元表面和吸收层组成。底层元表面利用相消机制降低反射能量，使电磁波在 8-12 GHz 范围内发生散射；上层微波吸收层基于电损耗机制吸收入射电磁波能量，同时调节元表面的反射幅度和相位，以增强散射效果并扩大其工作带宽。在两种物理机制的共同作用下，双层结构在 6.7-11.4 GHz 范围内实现了 -10 dB 的低反射。此外，长期高温和热循环测试验证了该结构在 25-300°C 温度范围内的稳定性。这一策略为高温条件下的电磁防护提供了可行性。

D01-P04**Ni 基层状双氢氧化物修饰碳纤维的电磁波吸收性能**

张晓晓、郝梦圆*

中国科学院宁波材料技术与工程研究所

碳纤维（CF）由于其轻质、高导电性等特点，被广泛用作吸波材料，但其高导电性会导致阻抗不匹配，因此，使用中通常需添加一些磁性材料做辅助，以改善吸波性能。本工作采用简单的水热法在活化碳纤维（ACF）表面构建了三种不同的二维层状双金属氢氧化物（LDH），并进一步进行退火处理，纤维表面的 LDH 转化为双金属复合氧化物（LDO），ACF@NiFe-LDO 与 ACF@NiZn-LDO 样品表面负载皆为片层状，ACF@NiCo-LDO 表面呈纳米棒状。通过各种表征方法对不同样品的吸收特性进行了分析和比较，结果表明：ACF@NiCo-LDO 具有最好的吸波性能，最小反射损耗 RL 值为 -48.47 dB (2.07mm)，最大吸收带宽 EAB 为 3.42 GHz，其纳米棒状形貌与其更优异的介磁损耗能力更有利于微波吸收。本工作为设计和制备具有可控吸波性能的 LDO 衍生物功能复合材料结构提供了一条可行的途径。

D01-P05**复合超表面结构的宽带吸波体设计**

司维汉、王长昊*

北京工业大学

超材料由亚波长尺寸的单元构成，结构整体呈现周期或非周期的排列。这些单元结构及其排列方式决

定了超材料的等效媒质参数。通过合理设计,超材料可具有超常的电磁属性。随着当下对超表面吸波体的应用场景增加,吸波体不仅需要满足于对单一波段的吸收,还需满足多频谱的吸收功能。因此,为了实现超表面吸波体的多频谱吸收功能,本工作基于有限元模拟方法,进行了复合超表面的设计,并进行了相关的制备和测试实现,为其在多领域的应用提供理论和实验支撑。

D01-P06

偏振/滤波耦合集成红外超表面结构设计研究

鲍学聪、王雅颖、王晗、王冰、王如志*

北京工业大学

红外探测器在军事与民用领域中均具有重要应用意义,但若要实现其偏振与滤波特性需要配置单独的光谱和偏振滤光片,导致成像系统复杂且庞大。本文中,设计了偏振/滤波耦合集成红外超表面结构。研究表明,该超表面结构具有优异的红外偏振选择特性,高偏振消光比达到了 30 dB 以上;同时,在 2-10 μm 波段范围具有较好的滤波效果,带阻透过率小于 10%,通带透过率大于 80%。本工作设计的偏振/滤波耦合集成红外超表面功能集成器件有望用于新一代中红外探测器和成像仪,如用于遥感的中红外全斯托克斯成像偏振测量、临床诊断以及传感等。

D01-P07

纤维复合多层结构增强吸波材料的研究

庄学恒*、满其奎

中国科学院宁波材料技术与工程研究所

随着 5G+与万物互联通信技术的发展,高频电子器件内部的电磁干扰严重影响相关设备正常工作,与此同时,军用设备对雷达隐身需求迫切,因此开发具有高电磁波吸收强度的吸波材料至关重要。此外,人工智能技术的快速更新迭代,引领无人驾驶汽车和军用无人机的飞快发展,因此开发结构隐身一体化吸波材料,优良吸波同时兼具高力学强度,将有利于弥补材料技术的短板,推进新材料应用迈向新台阶。开发了一种纤维复合多层结构增强的吸波材料,包括纤维层和吸波层,纤维层由磁性纤维与玻璃纤维复合编织而成,吸波层由吸波剂与树脂复合固化所得。利用纤维编织层调制增强电磁波吸收,同时提升力学强度,形成兼具优异力学强度和吸波性能的复合吸波材料。

D01-P08

具有三层梯度结构的超轻 MXene/还原氧化石墨烯复合气凝胶用于宽频微波吸收和动态红外伪装

余池¹、郭建华^{*1,2}、蒋兴华^{2,3}

1. 华南理工大学材料科学与工程学院
2. 中山市华南理工大学现代产业技术研究院
3. 华南理工大学机械与汽车工程学院

红外探测和雷达技术已经较为广泛地用于实现目标侦察和监视。然而,以往的单波段隐身装备已经无法对抗红外和微波波段的双重探测。为了解决这一问题,通过双向冷冻铸造和多层融合的方法制备了梯度结构的 MXene/还原氧化石墨烯(rGO)复合气凝胶(GMXrGA),然后进行了冻干和热退火处理。GMXrGA 具有独特的三层结构,每一层在微波吸收中都发挥着至关重要的作用。这种精心设计不仅提高了微波吸收的效率,还增强了材料在动态红外伪装中的效果。GMXrGA 密度极低,仅为 5.2 $\text{mg}\cdot\text{cm}^{-3}$,并表现出优异的抗压性能,在最大压缩应变达到 80%且经过 200 次压缩循环后,最大压缩应力基本保持不变。该材料还展现出卓越的微波吸收性能,通过不同厚度层的组合,其最小反射损耗(RL_{min})可低至-60.1 dB,最大有效吸收带宽(EAB_{max})可覆盖 3.9-18.0 GHz 频率范围,达到 14.1 GHz。此外,GMXrGA 具有低热导率(约 26 $\text{mW}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$),并且在 50~120 $^{\circ}\text{C}$ 温度范围内展现出优异的动态红外伪装能力,可以在 30 秒内

实现快速伪装。因此,该研究制备的多层梯度复合气凝胶在智能建筑、可穿戴电子产品和装备伪装等领域具有巨大的应用潜力。

D01-P09

适用于极端环境下高性能微波吸收的电绝缘、耐热氧化和耐腐蚀的片状 FeSiAl/h-BN 核壳复合材料

闫晓*¹、刘芳¹、郭建华^{1,3}、蒋兴华^{2,3}

1. 华南理工大学材料科学与工程学院
2. 华南理工大学机械与汽车工程学院
3. 中山市华南理工大学现代产业技术研究院

目前,具有出色的耐热氧化性能、防腐和电绝缘性能的多功能微波吸收(MA)材料在解决严重电磁污染问题方面变得越来越重要。本研究通过等离子体辅助球磨法制备了核壳结构的片状 FeSiAl (FFSA)/六方氮化硼(h-BN)复合材料。在球磨过程中,通过等离子体热积累和机械冲击应力协同作用实现了 FFSA 和 h-BN 之间的紧密结合。作为致密屏障,h-BN 外壳提高了复合材料的耐腐蚀性能。与纯 FeSiAl 相比,FFSA/h-BN 复合材料的腐蚀速率减少了 66.5%。此外,在经过 12 小时 500°C 温度下的热氧化处理后,FFSA/h-BN 复合材料的 MA 性能几乎没有下降,这归功于 h-BN 外壳对其提供优异保护效果。当厚度为 2.14 毫米时,FFSA9BN1 复合材料(FFSA 与 h-BN 质量比为 9:1)的最小反射损耗($RL_{\min}$)达到 -68.18 dB,展现出优异的 MA 性能。另外,由于 h-BN 具有出色绝缘性能,FFSA9BN1 复合材料显示出优异绝缘特性,并且其击穿电压达到 $4.52 \text{ kV}\cdot\text{mm}^{-1}$ 。因此,等离子体辅助球磨法为制备多功能核壳式 FFSA/h-BN 复合材料提供了一种简便环保技术。

D01-P10

还原氧化石墨烯气凝胶的制备及红外隐身性能研究

殷晓晴*

山东大学

从日常生活中我们发现,二维材料可以阻止其他物体穿过,从而有效地阻挡其两侧物体发生碰撞。如果能将二维材料在纳米尺度上构成三维结构,就有可能将气体分子分隔开来,阻挡其相互之间发生碰撞,从而更为高效地抑制气体热传导,得到一种密度低、气态热导率和总热导率均较低的材料。还原氧化石墨烯气凝胶(rGO)继承了石墨烯的优良特性,是在宏观角度上利用石墨烯的优良特性,构建形成了基于石墨烯的组装体结构材料。本文利用化学还原和热还原方式制备了还原氧化石墨烯气凝胶,密度为 20 mg/cm^3 ,在红外热像仪下,250°C 的热台下,气凝胶表面温度仅为 100 度左右,具有良好的隔热性能。

D01-P11

基于超分子胶体墨水构筑三维结构色材料

胡振*

华中科技大学

在光学设备和视觉传感器中,具有三维(3D)几何形状的结构色材料受到广泛关注。然而,较复杂的制备工艺和有限的材料选择范围限制了 3D 结构色材料的发展。在我们的工作中,我们提出了一种简便的超分子 3D 打印策略,基于超分子相互作用的聚合物和胶体粒子构筑的超分子胶体墨水,通过墨水直写(DIW)构建具有复杂结构的 3D 结构色材料,无需任何后处理保持结构稳定或产生结构色。优化的超分子相互作用平衡了 DIW 的流变学要求和产生结构色的高胶体体积分数,一步实现 3D 结构色材料的成型。超分子胶体墨水具有剪切变稀和合适的触变性。胶体粒子的短程有序排列产生了与角度无关的结构色。此外,由于超分子相互作用的可逆性,所制备的三维结构色彩材料可随时回收利用,同时表现出可自愈合的性能。利用优化的超分子相互作用,可选择多种材料构筑超分子胶体墨水,满足 DIW 流变性,从而直接

构建出三维结构色材料。

仅发表论文

D01-PO01

基于力学超材料的可变体机翼设计技术研究

吴琪*、王志刚

中国飞机强度研究所

智能变体飞行器是未来航空航天领域重要的发展趋势，对提高飞机的综合性能具有重要意义。当前的变形机翼方案多以纯机械式或刚柔耦合结构为主，但在多目标点连续变形以及高承载等方面，难以满足实际工程需要。随着增材制造技术和可逆装配技术的成熟，人工设计的力学超材料结构可以在外载荷作用下产生丰富的力学性能，有望打破传统变形机翼重量大、变形模式单一的问题。鉴于此，本文提出了一种基于力学超材料的轻量化、分布式变形机翼结构，该机翼结构由三种基础力学超材料结构、一类主动变形超材料结构和过渡胞元构成。首先，通过仿真模拟与相关力学性能表征实验分析了三类基础胞元的变形机理，明确了超材料结构关键几何尺寸、相对密度与力学性能之间的数学关系；结果表明三种基础体素刚性差异较大，泊松比覆盖了由负到正的范围，验证了其作为变形结构基础结构的合理性。其次，将三类基础胞元与主动胞元依据经验布置法组合排布实现拱形、正弦、余弦多种典型的气动外形轮廓，初步验证了智能变形机翼分布式变形的可行性。最后，针对实际曲线翼型轮廓，设计制造了过渡胞元结构，完成智能变形机翼的结构设计与并进行实验与气动分析性能验证；实验结果表明，该力学超材料机翼能够完成平滑连续的扭转功能，最大扭转角度可达 $\pm 9^\circ$ 。气动分析结果表明，光滑连续超材料机翼在低迎角下可以显著增加机翼与来流接触的面积，进一步提高其气动性能。

D01-PO02

Radiative Cooling: Structure Design and Application

Haining Ji*, Yi Wang

School of Physics and Optoelectronic, Xiangtan University

Refrigeration technology plays a critical role in various aspects of daily life and industrial production. However, traditional refrigeration methods consume substantial energy and cause environmental pollution, which hinders their ability to meet future refrigeration requirements. Radiative cooling, as a refrigeration technology that does not require external energy input, has garnered significant attention due to its energy-saving and environmentally friendly characteristics. In recent years, substantial advancements in radiative cooling technology have been made, ranging from improving cooling capacity to enhancing control over cooling effects and increasing durability. Radiative cooling technology has matured to the point where practical applications are now feasible. This paper provides a comprehensive overview of radiative cooling technology, covering its basic principles, various design structures, and potential applications. Additionally, the current challenges facing this technology are highlighted, aiming to offering meaningful suggestions for its future progress and improvement.