

Symposium D01

Metamaterials and Multifunctional Composites

超材料与多功能材料

2018年7月12-16日

分会主席:

周济	清华大学
殷小玮	西北工业大学
彭华新	浙江大学
李垚	哈尔滨工业大学
范同祥	上海交通大学
官建国	武汉理工大学
范润华	上海海事大学

联系人:

张子栋	山东大学
-----	------

电话: 15966675665
邮箱: 1986zzd@163.com

D01. 超材料与多功能材料

分会主席：周济、殷小玮、彭华新、李焱、范同祥、官建国、范润华

D01-01

吸波超材料的宽带化、多功能化和智能化

官建国，李维，吴天龙
武汉理工大学

宽带薄层吸波材料对于军事隐身和众多民用领域有重要应用。但无论是对于传统的吸波涂层材料还是新兴的超材料，其宽带性能都亟需进一步提升。此外，复杂的应用环境还对吸波材料提出了多功能化、智能化等要求，将超材料与多样化的构成材料进行复合获得宽带化、多功能化和智能化的超材料是重要趋势。本报告将介绍我们最近在这些方面取得的进展。在宽带化方面，将超材料的设计与传统高性能吸波材料相结合，能够获得宽带性能远远超过单纯超材料或传统材料的全新复合吸波超材料。在微波频段，将超材料的概念引入传统吸波材料的设计中，对吸波涂层材料进行图形化，结果显示其吸收带宽获得了大幅拓宽。也可以将超材料与传统吸波涂层设计成多层复合结构，经过合理的设计能使得超材料的低频吸收性能与吸波涂层的高频宽带吸波性能同时得到保留甚至相互增强，这为超材料与传统吸波材料的结合提供了良好的借鉴。类似的复合思路同样也能扩展到其它频段，如光频：将在光频段具有半介质/半金属属性的 TiN 用于设计宽带的光频吸收超材料，能够将介质吸收、表面等离子共振吸收和超材料的结构吸收相结合，得到宽带、可控的吸收频带，可应用于高效太阳能转换。在多功能方面，利用超材料构成基材的高透光性质，结合有利于高透光和宽带吸收特性的非平面型超材料的设计获得了具有高可见光透过率的宽带吸波超材料。可调超材料在某些场合可替代宽带吸波材料的作用，并且具有智能化的前景，但基于电路可调的常规调节方法其频率可调范围十分有限。从基础材料与超材料概念结合的角度出发，利用铁氧体在外磁场作用下的宽带可调特性，结合超材料的设计，我们获得了从工频到 GHz 范围超宽带可调的超材料。总之，跨越超材料与传统材料的界限，能够在宽带化、多功能化和智能化以及更多的方面具有更加光明的前景。

D01-02

面向射频涡旋波应用的超表面天线与天线罩研究

毕科
北京邮电大学

随着无线通信技术的快速发展，无线频谱资源的匮乏和不断增长的需求之间的矛盾越来越突出。为了提高频谱资源的利用率，研究者提出了各种解决方案。其中，涡旋电磁波技术由于在增加通信系统容量上具有极大的应用前景而成为当今研究的热点。本文采用超材料的设计思想将超表面应用于光控射频涡旋波天线及天线罩的设计中，制备出了具有结构简单、多模共存、模式转换、成本低等特点的光控射频涡旋波天线及天线罩。1. 超表面单元的设计及其相位性能的研究：设计了多种结构简单、利于相位调控的单元结构；2. 超表面对波前相位的调控：研究了超结构产生涡旋波的相位机理，实现超表面对电磁波的波前调控；3. 涡旋电磁波天线多模共存研究：通过超表面单元的精准相位调控，设计出了可以同时产生多种模式的涡旋波天线；4. 基于超表面的射频涡旋波天线、天线罩的制备、表征与性能研究：将设计好的超表面结构与涡旋波天线、天线罩设计进行融合，制备出了基于超表面的射频涡旋波天线及天线罩，为涡旋波技术的研究开辟新的方向。

D01-03

从微观到宏观：电磁响应纳米材料与电磁超材料

宋维力，张凯伦，陈明继，方岱宁
北京理工大学

电磁响应材料与电磁超材料在通信与国防重要装备中具有极其重要的作用，本文概括了作者近十年来对电磁响应纳米材料与电磁超材料的理解，基于电磁波理论与设计方法，通过仿真与实验等手段，揭示了电磁响应材料从微观到宏观的作用机理，解析了宏观电磁响应材料与微观纳米材料之间的联系与关键作用参数。在此基础上，分析了未来电磁响应纳米材料与超材料的发展趋势，为发展新一代电磁响应纳米材料与新概念电磁超材料提出了响应的观点。

D01-04

基于液体金属超材料的电磁波调制

许晶
西北工业大学

超材料是一种由亚波长结构单元组成的人造功能材料,通过人为地设计结构单元,可以获得任意等效电磁参数,产生常规介质无法产生的现象和应用,如电磁隐身、完美吸波等,在国防军工和民用领域方面都具有重要应用价值。超材料实现电磁响应的中心频率主要由微结构单元的构型、尺寸以及排列方式决定,超材料一经制备,其性能将无法改变。针对这一缺点,近年来可调谐超材料逐渐成为研究热点之一。液态金属具有高电导率、常温下呈液态且无毒等特点,我们可以通过调控液态金属来改变超材料单元的构型和尺寸,以达到对电磁波进行调制的目的。本工作基于液态金属超材料展开了两个方面的研究:(1)基于液态金属超材料的可调谐完美吸收;(2)基于液体金属超材料的可开关电磁诱导透明。

(1) 基于液态金属超材料的可调谐完美吸收。

本工作尝试将液态金属(镓铟合金)引入实现完美吸收的超材料结构中。用液态金属线结构、损耗型介质层、金属背板构成超材料吸波结构实现完美吸收。通过对液态金属线结构的尺寸及位置的调控,得到不同频率下的吸收峰。随后,我们使用高精度注射泵向充斥着液态金属的导管内注入高温热水,冲走液态金属,吸收峰消失,由此实现了基于完美吸收的开关调控。

(2) 基于液体金属超材料的可开关电磁诱导透明。

本工作尝试将液态金属(镓铟合金)引入实现类电磁诱导透明(Electromagnetically Induced Transparency, EIT)效应的超材料结构中,提出了一种由液态金属线结构和一对对称的金属线组合而成的类 EIT 谐振器,首先在 4.929GHz 处实现了类 EIT 效应。随后,我们使用高精度注射泵向充斥着液态金属的导管内注入高温热水,冲走液态金属,透射峰消失,由此实现了基于类 EIT 行为的开关调控。我们讨论了液态金属线结构的尺寸及其在结构单元中的相对位置变化对谐振透射峰幅值和宽度(或品质因子 Q)的影响。

D01-05

纳米织构化抗反射技术的研究进展

叶鑫, 伍景军, 邵婷, 杨李茗, 郑万国
中国工程物理研究院激光聚变研究中心

光学元件表面的菲涅尔反射是由于介质两侧的折射率变化所导致的。为了实现抗反射特性,大量的抗反射膜被研究和应用。但是抗反射薄膜技术在一些极端的应用领域如强激光、强腐蚀、强辐射、高真空、太空等环境中的应用存在一些局限性。因而一种基于仿生的纳米结构抗反射技术近年来备受关注。这种结构抗反射技术基于表面特征尺寸远小于波长的亚波长结构调控基片的折射率,从而实现最优化抗反射的特性。这种技术又被成为纳米织构化技术,本文将综述近年来在可见到近红外用的窗口材料表面的纳米织构化抗反射技术进展情况,以及本团队在近十年来在该领域的一些取得的一些进展。

D01-06

具有温度稳定性的耐高温吸波超材料

李维, 李玉坤, 王毅, 曹洁, 官建国
武汉理工大学

隐身性能是未来武器装备在战场获得生存的重要保障,高温吸波材料对于飞机发动机部位及高马赫飞行器的隐身具有重要意义,且这些部位的温度会存在较大的波动,研究具有温度稳定性的耐高温吸波材料十分必要。当前的耐高温吸波材料由于普遍采用在温度下性能波动较大的半导体粒子作为吸波剂,其吸波性能的温度稳定性较差。本文提出将耐高温的二硼化钛和氧化铝引入超材料的设计中,发展一种具有温度稳定性的耐高温吸波超材料。

该超材料的单元结构采用典型的导电单元-介质-反射背板三层结构设计,方片状的导电结构单元和反射背板采用耐高温的导电陶瓷二硼化钛(TiB_2),介质层采用氧化铝陶瓷(Al_2O_3)。数值模拟显示超材料在常温下于 X 波段具有较强的吸收。通过对超材料在入射电磁波作用下电磁场的分析,结合电荷与电流分配情况,我们给出了高温吸波超材料的等效电路模型,并利用微带线理论建立了电路模型中各个电路元件与超材料的几何结构、材料参数的关系,通过对比模拟及计算各类参数对吸收性能的影响正式了电路模型的准确性。根据该电路模型,结合文献中关于 TiB_2 的电导率随温度变化的报道及氧化铝在不同温度下的介电实测值,可以预测在高温下及温度变化的条件下,该超材料都具有稳定不变的微波吸收性能。因此,我们选用 TiB_2 导电陶瓷、 Al_2O_3 介电陶瓷、耐高温无机胶制备了高温吸波超材料实物。测试结果显示,从室温到 $800^\circ C$ 超材料都显示出了良好稳定的 X 波段吸波性能,且与模拟结果具有一致性。结合等效电路模型进行分析,超材料具有良好温度稳定性的原因是:对于电导率大于 $10^4 S/m$ 的良导体,其导电性能对吸波性能的影响可以忽略;同时,尽管 Al_2O_3 陶瓷的介电

常数理论上可能对吸波性能有显著影响,但绝缘陶瓷的介电常数在实际上通常具备良好的稳定性。进一步,我们分析了 TiB_2 在高温下的氧化行为证实了氧化层的存在,模拟分析发现氧化层对吸收性能的影响很小并且有助于材料在高温下的长期服役,热循环测试显示超材料具有良好的耐久性能。这一工作提出将耐温陶瓷与超材料进行结合,建立了具有温度稳定性的高温超材料设计方法与原理,对发展具有温度稳定性吸波材料以及推动超材料在高温环境下的使用具有良好意义。

D01-07

超材料与磁性吸波涂层的嵌入式复合吸波材料

吴天龙,李维,张亚中,官建国

武汉理工大学 材料复合新技术国家重点实验室

以基于羰基铁吸收剂的磁性吸波涂层为代表的薄层吸波材料具有较强的吸收和较大的带宽,但其吸波频带局限于 X 波段及以上,在薄层条件下的低频吸收性能差。新型吸波超材料(MMA)可以在较小厚度和较低频率下达到完美吸收,但吸收频带较窄。因此二者的复合成为人们关注的重点。但现有的复合方法通常会导致两种材料失去原有的特性,引起综合性能的下降,此外,两种材料复杂的电磁相互作用也导致了复合后难以预测的性能变化,增加了设计难度。

本文通过提出一种与超材料结构具有紧密对应关系的电路模型,可用于预测及设计复合超材料的性能。在此基础上,设计了低频具有强吸收峰,且同时保持高频宽带吸波性能的复合超材料。电路模型的提出首先基于闭合方环形超材料的电磁场分析作出了电路图,再结合微带线理论给出了电路中的各个元器件参数的计算公式。该模型可以很好地预测超材料的基本构成材料、几何参数与吸波性能之间的关系,对于不同的结构参数,电路模型计算和数值模拟的结果基本吻合。根据该电路模型可以推论,超材料的低损耗介质基底在吸波性能中具有重要作用,但起作用的介质基底仅局限在超材料单元的金属线周围。而针对超材料共振频率处的电场、磁场和损耗发现,也印证了它们主要集中在金属线周围的基体中。当距离金属线一定距离后,其场强和损耗强度会急剧减小甚至为零。利用这一特点,我们提出将额外的结构或吸收材料引入到 MMA 中,以产生更多的吸收带宽,同时保持其原始的吸收峰不受影响。根据此理论设计,我们成功制备出了一种嵌入式复合 MMA,其在 2.45 GHz 下实现了完美的吸收,在 8-18 GHz 的范围内具有 90%以上的宽带吸收。这项工作很好地连接了 MMA 的结构和性能之间的关系,并对吸收机制提供了更深入的理解,同时给出了一种设计高性能 MMA 的有效方法。

D01-08

C/二氧化硅基超构复合材料的制备及电磁特性

张子栋,杜宏艳,姜雨良,付雪雁

山东大学

具有可调谐特性的电磁超材料是超材料领域的研究热点,其所具备的新颖电磁性能有望在新一代信息技术、国防等领域引发重大变革。但电磁超材料的设计要求结构单元尺寸与电磁波波长相匹配,由此导致的电磁超材料在长波长频段整体尺寸大、短波长频段制备成本高等问题制约了超材料的发展和应用。本文利用自组合法制备了 C/二氧化硅基超构复合材料,系统研究了超构复合材料在射频频段的介电常数、磁导率等电磁参数的变化规律,研究表明通过控制微球粒径大小,能够对超构复合材料的电磁性能进行精确调控,并可以利用等效电路模型,对超构复合材料的电磁性能进行精准预测。

D01-09

聚酰亚胺基复合薄膜制备及介电性能

张超,史志成,杨超强,毛凡

中国海洋大学

高介电复合材料在储能电容器,电容式触摸传感器,电磁界面(EMI)屏蔽,光催化膜,发光二极管(LED)等领域具有广泛应用。其中,聚合物基复合高介电材料由于其优异的介电性能和机械性能成为国内外研究的热点。聚酰亚胺(PI)因其优异的介电性能、热稳定性和柔韧性等,在高介电复合材料领域具有巨大应用潜力。本文通过原位聚合制备了钛酸钡/聚酰亚胺(BT/PI)和碳管/聚酰亚胺复合材料(CNT/PI),并通过逐层流延工艺制备得到由 BT/PI 层和 CNT/PI 交替堆叠的多层复合材料。结果表明,相邻层界面处的电荷积累和极化可大幅增强复合材料的介电常数。同时,相邻层间界面可有效限制地载流子传输,从而抑制漏导损失并提高击穿强度。进一步地,通过对层数和叠层次序进行优化设计,获得了显著提高的介电常数并保持了低损耗和高击穿强度。值得注意的是,通过对单层及多层复合材料施加直流偏压,单层 CNT/PI 复合材料出现典型的逾渗型负介电,而多层复合材料则出现独特的非逾渗型负介电,且通过控制偏压强度可以对负介电频段和幅值进行精准调控。机理研究表明,多层复合材料中非逾渗型负介电是材料内部局域化载流子的极化和非局域化载流子的等离子体震荡

相互竞争的结果，当等离子体震荡强度高于极化强度时，复合材料表现出负介电常数。

D01-10

Self-Assembled, Nanostructured, Tunable Metamaterials via Spinodal Decomposition

陈祖煌

哈尔滨工业大学深圳校区材料学院

Bottom-up, self-assembly via phase-separation offers an elegant route to fabricate nanocomposites with physical properties unachievable in single-component systems. One important class of composites are metamaterials which exhibit exotic optical properties and potential for imaging and cloaking applications. Such metamaterials are typically fabricated via expensive and hard-to-scale top-down processes that require precise integration of dissimilar materials. In turn, there is a need for alternative, more efficient routes to fabricate scalable and tunable nanostructured metamaterials. Here, we demonstrate a novel self-assembly approach to fabricate scalable nanostructured metamaterials with tunable structures and responses. By utilizing the innate spinodal decomposition in the $\text{VO}_2\text{-TiO}_2$ system, the metal-to-insulator transition in VO_2 , and thin-film epitaxy, we observe self-organized nanostructures with a structural unit cell as small as 15 nm (tunable between horizontally- and vertically-aligned lamellae) wherein the iso-frequency surface is tunable from elliptic- to hyperbolic-dispersion producing metamaterial behavior.

D01-11

碳基本征超材料的构筑及其双负性能调控

邱军

同济大学材料科学与工程学院

理想的超材料需要象“真实材料”一样结构单元尺寸足够小，性能可以调控且易于大规模生产。“本征超材料”就是这样的理想超材料，本征超材料的性能与传统材料一样决定于其组分和结构，并且具有与传统材料相同的构效关系和加工方式。因此本征超材料不存在结构超材料的重要缺陷，是拓展超材料内涵和应用的关键。本征超材料如何形成与构筑，本征超材料性能又如何进行调控，针对这些重大科学问题研究者一直在寻找明确的可证实的答案。针对“本征超材料构筑及形成机制”和“本征超材料双负性能调控机制”两大关键科学问题，作者提出碳基本征超材料的构筑思想和性能调控策略，分别采用“前驱体法”和“自组装机”结合原位复合/原位聚合工艺构筑柔性碳泡沫基本征超材料和柔性石墨烯泡沫基本征超材料，利用碳泡沫和石墨烯泡沫提供产生负介电常数和负磁导率必须的导电网络和导电回路，利用纳米银-有机硅树脂、碳纳米管和导电聚合物增强、完善并丰富导电网络和导电回路，提高其对外加电磁场响应，通过多组分和多维体系协同作用形成并调控双负性能。详尽研究两类柔性碳基本征超材料构筑方法和构效关系，探明其双负性能形成机制。项目进而利用两类碳基本征超材料的柔性特性，通过外力改变孔径调节导电网络和导电回路结构调控负介电常数和负磁导率，实现该本征超材料双负性能应力调控，探明其双负性能调控机制。项目的研究进一步拓宽本征超材料构筑理论，为本征超材料性能调控提供理论基础。

D01-12

基于手性超材料的高性能四分之一波片和 45° 极化旋转器

刘传宝^{1,2}, 白洋², 周济¹, 赵乾³, 陈红胜⁴

- 1.清华大学 新型陶瓷与精细工艺国家重点实验室, 北京 100084
- 2.北京科技大学 环境断裂教育部重点实验室, 北京 100083
- 3.清华大学 摩擦学国家重点实验室, 北京 100084
- 4.浙江大学 现代光学仪器国家重点实验室, 杭州 310027

首先，基于 SRR 双层超表面设计了一种高透射、宽频带的四分之一波片。模拟结果表明，在 10.5~12.5 GHz 范围内该设计能够将入射的线极化电磁波转化为左旋或右旋圆极化电磁波（椭圆率大于 40° ）。其次，基于所提出的四分之一波片，理论设计并实验制备了多功能手性超材料。该结构由两个四分之一波片堆垛而成，并相对扭转 45° 。模拟和实验结果表明，当 x-和 y-极化电磁波正向入射时，该结构分别在 10.3~12.2 GHz 和 10.0~12.5 GHz 范围内透射率大于 0.85 和 0.71，出射波近似为左旋和右旋圆极化电磁波，表现为四分之一波片功能；而当 x-和 y-极化线极化电磁波反向入射时，在 9.5~12.5 GHz 范围内透射率分别大于 0.5 和 0.4，出射波近似为线极化，但偏振方向顺时针旋转约 45° ，表现为极化旋转器功能。最后，通过传输矩阵法证实高透射、宽频带特性源自于类 Fabry - Perot 干涉增强效应。这种高透射、宽频带和多功能特性使得我们的设计在高性能极化控制器件或系统上表现出较大的吸引力。

D01-13

通过角度蒸发实现大面积有效二聚体纳米结构阵列的等离子体调制吸收

姚小莉, 张鉴, 张雪峰

杭州电子科技大学

纳米粒子阵列的二聚体 (dimer) 结构可以限制间隙区域内的电场分布并激发局域化表面等离子体共振。该结构可以用于指定工作波长处具有强吸收的光学纳米天线, 且对入射偏振角敏感。然而, 在 10 纳米处具有可调缝隙尺寸的有效大面积二聚体阵列仍然面临挑战。本文利用倾角蒸发 Au 纳米颗粒调节 10 纳米内二聚体间隙的变化, 从而有效调节局域表面等离子体共振。在工作中, 通过纳米干涉光刻 (NIL), 选择性湿法蚀刻和倾角蒸发来制造圆点二聚体阵列结构。将清洁后的二氧化硅晶圆覆盖 80nm 厚的 Cr 层作为牺牲层和 100nm 厚的光致抗蚀剂 (PR) 层。样品用 NIL 形成图案, 蒸发 10nm 厚的 Ti, 再剥离形成 Ti 纳米孔阵列。将样品快速浸入 Cr 腐蚀液中以在 Ti 层下形成更大的 Cr 孔。Au 通过 Ti 纳米孔阵列以特定角度沉积两次, 形成二聚体。去除 Cr 牺牲层后, 在二氧化硅晶圆上实现了大面积的二聚体阵列。由于二聚体可以在间隙区域强烈局域化电场分布, 所以二聚体结构的光吸收受到间隙尺寸的影响很大。在我们的工作中, 二聚体的间隙大小可以通过不同的蒸发角从 15nm 变化到 40nm。相应地, 局域表面等离子体共振可以从 829nm 红移到 895nm。该方法的优势在于可以基于相同的掩模调控角度实现具有不同间隙尺寸的二聚体。通过这种方式, Au 的倾角蒸发被用来实现在 10 纳米内变化的二聚体间隙, 从而使局域表面等离子体共振可以有效地调控。

D01-14

一种单层宽频吸波超材料设计及其性能分析

张泽奎^{1,2}, 张晗^{1,2}, 李宝毅^{1,2}, 赵亚娟^{1,2}

- 1.中国电子科技集团公司第三十三研究所
- 2.电磁防护材料及技术山西省重点实验室

本文设计并分析了一种新型的单层吸波超材料结构, 其表层为双 C 型金属结构组成的超材料结构层, 中间层为 FR-4 介质基板, 底层为金属反射板。通过仿真优化, 总厚度仅为 0.12λ 。仿真结果表明, 本文设计的单层宽频超材料吸波体在 7.87GHz-15.50GHz 的频段内反射系数小于 -10dB, 实现了电磁波的强吸收。通过分析发现, 该双 C 型吸波超材料结构单元的排布方式对吸波效果的影响较大, 当双 C 型结构呈 45° 排列时, 阻抗匹配最好, 吸收带宽最宽, 并可以通过调节结构尺寸改变吸收频段。本文设计的单层宽频吸波超材料结构简单, 吸收频带宽, 具有重要的实际应用价值和前景, 可用于电磁污染防治、装备隐身等领域。

D01-15

3D 打印制备具有毫米级表面结构的超材料与机理分析

徐英杰¹, 彭莱¹, 袁晨阳¹, 赵优¹, 韩雪¹, 魏先福¹, 黄蓓青¹, 张婉¹, 王琪²

- 1.北京印刷学院
- 2.南京林业大学

应用 3D 打印制备超材料, 并研究超材料表面毫米级精细结构对电磁波吸收的影响。方法 使用 3D 建模软件建立四种具有黑体结构的超材料数字模型, 然后配制电磁波吸收剂含量为质量分数 0.5% 的喷墨油墨, 使用 3D 打印机制备出具有黑体结构的超材料实体, 根据国标 GJB 2038A-2011, $180 \times 180 \times 4$ mm 的正方形平板材料测试方法, 测试不同材料在 6-40GHz 频段电磁波吸收性能。结果 当入射电磁波波长的 $1/8$ 小于超材料上的黑体腔体开口直径时 (即频率大于 15GHz), 会产生明显的波导效应。此时, 材料的波阻抗减小, 进入材料内部的电磁波增加, 并最终在黑体腔体中被多次反射后吸收。通过黑体腔体的结构设计, 增加电磁波在黑体内的反射次数能够提高材料的吸收强度和吸收频宽。吸收剂含量为质量分数 0.5% 的实心板材的最大反射损耗只有 -1.45 dB, 锥形腔体模型的最大反射损耗为 -1.48 dB, 倒锥形腔体模型的最大反射损耗为 -2.78 dB, 燕尾形腔体模型的最大反射损耗为 -3.84 dB, 这三种模型都在 30GHz 以上吸收性能大幅提高; 鱼尾形腔体模型的最大反射损耗达到了 -5.92 dB, 且在 20GHz 以上吸收性能大幅提高。四种模型拼合样品的吸收强度和频宽在四者之间, 最大反射损耗为 -3.93 dB。结论 通过毫米级表面结构设计, 3D 打印制备的超材料增加了电磁波在材料内部的反射次数, 能够提高材料的吸收强度和吸收频宽。

D01-16

基于超材料的巨动态霍尔效应研究

文永正, 周济

清华大学材料学院新型陶瓷与精细工艺国家重点实验室

动态霍尔效应是一种基础电磁效应, 可以将电磁波能量直接转换为直流电能, 该效应早在 1954 年就被 H. Barlow 发现。作为一个广泛存在的物理机制, 动态霍尔效应并不像其它光电转换效应那样, 需要光子能量与材料能带的严格匹配, 因此可以在几乎所有导电材料中观察到; 同时, 它还广泛适用于从微波到可见光等各个波段。但是, 由于该效应是基于倾斜入射电磁波的垂直磁场分量, 因此效率非常低, 半个多世纪以来的研究进展都十分缓慢。针对这一问题, 利用超材料的局域磁场重建特性, 我们提出了一种新型巨动态霍尔效应, 通过构建磁电耦合超分子结构, 可以在垂直入射的情况下, 使传统动态霍尔效应的强度提高超 3 个数量级。

所设计的超分子结构由一个开口环超原子和一个方形超原子相互嵌套构成。在电磁谐振作用下, 开口环超原子产生明显的局域磁场增强, 进而与方形超原子的自由电子耦合产生强磁场力。由于该磁场力呈现出非常明显的时间对称性破缺, 因此会推动自由电子在超原子的物理边界聚积, 从而产生直流电势差, 且强度相比传统效应将得到明显增强。同时由于该直流霍尔电压是由超分子结构产生的, 因此具有非常高的人工设计自由度。

利用有限元软件, 我们对所提出的巨动态霍尔效应进行了仿真验证。在太赫兹波的垂直照射下, 所设计的超构分子产生了 1 mV 的直流电势差。对于单一的方形结构, 同样垂直入射的太赫兹波并不能产生明显的直流信号。将太赫兹波改为水平入射后, 从该方形结构中获得了 0.9 μV 的直流电压。可以看出, 相比较传统效应, 巨动态霍尔效应的强度提升了 1.1×10^3 倍。进一步的, 通过改变超分子的几何参数影响谐振和耦合过程, 可以观察到直流霍尔电压也产生了相应的变化, 表明巨动态霍尔效应有非常高的设计自由度。

值得注意的是, 1 mV 的输出电压是从单个超分子中得到的。考虑到超材料通常是以阵列形式工作, 因此通过将所有超分子串联, 整体的输出电压将得到明显的提升。更为重要的是, 所提出的巨动态霍尔效应将一个难以观察到的传统机制变的可观测了, 极大的提高了其实际应用价值。结合超材料和动态霍尔效应的优势, 这一新型霍尔效应所具有高人工可控、宽带应用、超快响应和片上集成等特性, 将给光电探测、光电转换等领域带来无限可能。

D01-17

原子尺度掺杂下的微波吸收性能提升

李逸兴, 刘容阁, 庞学勇, 张艳辉, 秦高梧, 张雪峰

东北大学

为了解决电磁阻抗匹配的相关问题, 电磁吸波材料通常使用在微、纳米尺度上具有多相异质界面的磁性材料和介电材料复合而成。我们在此汇报了一种通过使用直流等离子体放电方法向核@壳型纳米胶囊 Fe@C 中原位掺杂氮元素制备的氮掺杂 Fe@C 纳米胶囊, 用以优化该材料的相关电磁波吸收性能。在研究中发现, 通过提升掺杂氮元素的含量, 材料的电磁波吸收特性亦发生了相应的改变, 展现出电磁波传输导通量下降, 吸收增强的特性。通过实验与理论模拟的结合, 我们发现由于掺杂氮元素破坏了材料的微观对称性, 导致氮掺杂位点的电荷分离, 以此产生了电偶极子并在电磁波照射下发生极化振动影响了材料的电磁波吸收特性。该工作为因结构导致的电磁波吸收性能改变提供相关的证据, 并提出了一种于原子尺度设计电磁波吸收材料的新思路。

D01-18

高效剥离的 MXene 及其与 $\text{Ni}_{0.4}\text{Zn}_{0.4}\text{Co}_{0.2}\text{Fe}_2\text{O}_4/\text{PANI}$ 复合材料的制备及其增强微波吸收性能的研究

雷一鸣, 周金堂

南京航空航天大学

MXene 是一种区别于石墨烯的新型二维过渡金属碳化物材料, 其具有独特的导电性以及其它物理与化学特性, 同时通过掺杂、复合其他高介电、高磁性材料可以进一步提高其吸波特性。本研究采用将 Ti_3AlC_2 通过 HF 刻蚀剥离, 通过严格控制反应条件制备出剥离效果良好的二维碳化钛($\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$); 采用水热法与磁性能良好的镍钴铁氧体($\text{Ni}_{0.4}\text{Zn}_{0.4}\text{Co}_{0.2}\text{Fe}_2\text{O}_4$)复合增强了其吸波特性; 采用界面法将介电性能优异的聚苯胺(PANI)与上述复合材料相结合, 进一步改善了其吸波性能, 获得了良好的阻抗匹配。

本实验着重对比与研究每一步复合材料的组成结构、微观形貌、电磁及吸波性能。利用透射电子显微镜(TEM)、场发射扫描电镜(SEM)、X 射线衍射(XRD)、红外光谱(FT-IR)对材料形貌和结构进行了表征; 利用振动样品磁强计(VSM)与矢量网络分析仪对材料的磁性能与介电性能进行了测试与分析。

结果表明：采用水热法成功制备出了嵌入式的二维夹心层状复合材料；采用界面法成功的在复合材料表面接枝了链状聚苯胺，制备出了立体式三元复合材料。复合材料表现出了更为优异的吸波特性和吸收带宽，单一 MXene 在 8GHz 处反射损耗值最大为 -40.1dB，且有效吸收带宽(反射损耗 < -10dB)为 3.02GHz；将其与镍钴铁氧体复合，其反射损耗在 10GHz 处最大为 -45.5dB，有效吸收带宽可达 3.39GHz；三元复合材料在 3GHz 处最大为 -48.5dB，有效吸收带宽可达 4.03GHz。对于 MXene 二维材料，高磁性铁氧体的引入增加了新的损耗机制，有利于吸波性能的提升，并且其吸波性能还可以通过加入具有介电性能的聚苯胺进一步增强其介电损耗，从而改善其吸波性能。本文为新型 MXenes 复合材料的研发与制备提供了新思路，该新型 MXenes 复合材料可在电磁屏蔽、隐身技术等应用领域获得应用。

D01-19

应用于热电子光响应研究的 RF 基碳气凝胶薄膜制备

姬秀洁^{1,2}，杜艾^{1,2}，陈天泽¹，孙巍^{1,2}，汪宏强^{1,2}

1. 同济大学

2. 上海市特殊人工微结构 C 材料与技术重点实验室

RF (Resorcinol-formaldehyde, 间苯二酚-甲醛) 基碳气凝胶是一类具有三维无序亚波长微结构的超黑材料，其超黑性能由其密度和微结构决定。根据电磁波-电子-微结构的间接相互作用机制，当光照射到碳气凝胶表面时，应有热电子产生，从而使其更易在光的作用下产生电信号，这种性能有望应用于光电探测器、太阳能电池等领域。为了研究碳气凝胶中热电子对光的响应作用，制备了厚度为百纳米级的 RF 基碳气凝胶薄膜，其成分采用红外光谱表征，形貌通过 SEM、TEM 和 AFM 等表征，通过紫外-可见-分光光度计对其透射、吸收光谱等光学性能进行测试。首先采用溶胶-凝胶法制备 RF 气凝胶薄膜，为提高 RF 前驱体溶胶的成膜性，以乙腈为溶剂，用盐酸来催化间苯二酚和甲醛的聚合反应；采用提拉法镀膜，随溶剂的挥发和后续溶胶-凝胶反应的持续进行，薄膜随之老化；RF 薄膜的吸收光谱在 10 天左右后不再变化，说明其老化完全，随后高温热解得到碳化后的碳气凝胶薄膜。RF 气凝胶薄膜和碳气凝胶薄膜的 SEM 图和 TEM 图显示其微结构与同配比气凝胶块体差异不大，均可观测到无序交联的颗粒和孔洞结构。AFM 显示所得到碳膜的厚度为百纳米量级，并可根据提拉速度和前驱体溶液的配比进行调控，符合后续热电子对光响应研究的需要。

D01-20

仿生超材料用于航天光热调节的研究

李焱，徐洪波，赵九蓬

哈尔滨工业大学

光和热是人类生存和发展的基础，随着可再生能源、通讯、光学、机械制造、航天技术和国防等领域的飞速发展，对光和热辐射光谱特性和方向性提出了更高要求，亟需高性能光热调控材料和技术的突破。然而现有材料的性质进一步发掘与利用的空间逐渐缩小并趋于极限。自然界中的很多的生物具有独特的结构，赋予生物体本身其独特的光学性能呢个，如沙漠中的银蚁，蝴蝶的翅膀和蛾子的复眼结构。基于此，我们课题研究人工仿生超材料结构的构筑工艺及其光学特性。主要包括如下：研究结构的几何参数、类型及材料的种类对光学性能的影响规律，探索其结构在极端环境的下光学、电学和力学稳定性，以满足航天的特殊需求。

D01-21

待定

D01-22

基于石墨烯的太赫兹有源超材料

樊元成，张富利

西北工业大学

石墨烯作为新型二维层状材料的典型代表由于其优秀的力学、热学、电学性能，而在纳米电子学中得到很多研究。近年来的研究表明石墨烯应用于光电子器件也很有优势：i)使得单或少原子层尺度光学调控成为可能；ii)其低载流子浓度意味着物性具有很宽的可调范围，可以通过静电场、磁场、光场和化学掺杂等多种手段对其光学常数进行高效动态调控。此外狄拉克电子的线性色散关系使得石墨烯具有宽带光学响应的特点，譬如光泵浦下在太赫兹展现出宽带增益特性。石墨烯的这些特性使得它在超材料领域有广阔的应用前景。

众所周知，基于介电 Mie 谐振，等离子体激励或类表面等离子体激励的超材料与超表面（metamaterials/metasurfaces）由于其局域谐振特性使得超颖电磁波调控带宽窄，同时谐振增强吸收在很多电磁波调控方面很不利。而石墨烯的动态可调特性以及太赫兹宽带增益响应正好为太赫兹波段高性能有源超材料提供了解决思路。本报告将介绍近期我们在石墨烯太赫兹有源超材料方面的相关工作。

D01-23

基于铁磁微丝的多功能仿生汗毛皮肤传感器

郝立峰

哈尔滨工业大学

皮肤是人体最大的器官，覆盖人体体表，其重量占人体总重量的 16%。从功能上看，除了实现对于人体内部组织的保护功能之外，其最重要的功能就是对周围环境的触、压、温度等刺激提供响应。人类的皮肤主要分为两种：光滑的皮肤和有毛发的皮肤。传统的仿生皮肤结构主要基于光滑皮肤结构，本文介绍了一种基于铁磁微丝阵列的人造汗毛皮肤传感器，实现了多种感知功能，包括超大的力学传感范围，以及风速、材料性能的多功能检测。传感器的基本结构由三部分组成：第一部分为铁磁非晶丝阵列（成分 $\text{Co}_{72.5}\text{Si}_{12.5}\text{B}_{15}$ ，直径 $50\mu\text{m}$ ）制备的汗毛结构，在传感器中起到感应单元的功能，通过铁磁非晶丝阵列在外界应力下会呈现不同的几何状态，以此来实现应力的感应。第二部分为铜漆包线圈，漆包线圈缠绕在铁磁非晶丝阵列末端，作为传感器信号的激发和接收。第三部分为人工硅胶，人工硅胶主要作为基体将铁磁非晶丝阵列和漆包线圈保护起来，形成皮肤结构。其基本原理基于磁感应效应和磁耦合效应，激发与检测端线圈通过铁磁非晶丝阵列实现耦合，并进而检测微丝阵列的受力状况。上述传感器具有多种检测功能，包括：（1）0.15mN-25N 大测试量程、高灵敏度作用力检测功能；（2）3-5m/s 气体流速检测功能；（3）侧向力检测功能；（4）导体、绝缘体、铁磁体等材料性能的鉴别功能。

D01-24

微纳管状氧化物气凝胶的化学气相沉积法制备及其应用

汪宏强，杜艾，周斌，沈军

同济大学

作为一种新型的纳米多孔材料，气凝胶继承了纳米材料的奇特效应，同时兼顾多孔材料的诸多优异特性。由于多孔材料具有很高的比表面积，密度变化范围广，声阻抗可调，折射率可调等突出的性能，制备三维多孔的多功能的材料在很多领域具有重要的意义，比如能源储存、隔热、传感器、催化等。然而，由于传统的氧化物气凝胶的骨架是由纳米球型颗粒铰链而成，从而使得大多数材料具有天生的脆性。制备低密度的氧化物气凝胶需要繁琐的溶剂替换和超临界过程，并且其成品率很低，机械性能较差。管状材料较传统氧化物气凝胶而言，具有较好的力学性能，设计管状材料也能在很大程度上降低材料的表观密度。我们通过化学气相沉积法，结合高温去模板技术，以硅/钛源为前驱体，制备出了新型的氧化硅/钛纳米管气凝胶。氧化硅纳米管气凝胶具有较低的密度，较好的力学性能和热学性能，并且具有阻隔紫外辐射的作用。通过改变模板，我们获得了密度低至 1.48mg/cc 的氧化硅微米管泡沫和密度低至 6.23mg/cc 的氧化钛微米管泡沫。低密度的氧化钛泡沫在和物理方面具有潜在的应用价值。这种化学气相沉积技术，结合不同的模板，可以设计不同结构和密度的其他纳米多孔氧化物气凝胶材料。

D01-25

碳化硅基耐高温隐身/防隔热一体化轻质材料

王志江

哈尔滨工业大学

发动机部位的高温隐身对于提高武器装备的生存能力具有重要意义。绝大多数的吸波材料在高温下都丧失吸波性能，不能满足装备隐身的需求；而 SiC 材料可集雷达隐身与结构承载一体化，在发动机尾喷口等位置得到应用，因此受到重点关注。但是目前对于 SiC 雷达隐身性能与微观结构之间的关联机制尚不明晰，本报告从原子尺度上介绍 SiC 材料微观结构与电磁波吸收性能之间的关联机制。研究发现，通过调控 SiC 晶格内部点缺陷、堆垛层错以及掺杂 B、N、Co 等均对吸波性能产生显著影响。大量空位、层错在晶体结构中的出现使电子和空穴被限制在堆垛层错的界面处，大量诱发的偶极化增强了电磁波的能量耗散。通过高温化学转换方式使磁性元素 Co 掺杂在 SiC 晶格内部时，材料具有良好的高温稳定性和电磁波吸收性能，兼顾磁损耗和介电损耗的匹配，大幅提升了 SiC 的吸波性能。将碳化硅设计组装成多孔结构型吸波材料，孔隙率高达 72.8%，在 X 波段的吸波性能达到 -34 dB，可以在 1100°C 下长期使用。多孔结构的引入，不仅可以有效降低其重量，还可

以发挥多孔结构的“无穷多吸收板”效应。电磁波在多孔材料内部发生多次反射、散射、干涉和吸收直至消耗殆尽，实现轻质材料结构功能一体化。

D01-26

导电短纤维基结构吸波材料研究

赵宏杰，宫元勋，邢孟达，张耀辉

航天特种材料及工艺技术研究所，北京 100074

本文通过理论计算研究了导电短纤维的介电频谱特性及其影响因素，通过电磁仿真研究了导电短纤维的电磁损耗机理及其“群体效应”。结果表明：单根导电短纤维的介电常数具有频率色散特征，并且取决于导电短纤维的电导率、长径比、体积份数等因素；多根导电短纤维之间的电磁相互作用对其电磁损耗性能产生显著影响，聚集状态导电短纤维不利于其中每根纤维电磁损耗性能的充分发挥。基于短切碳纤维，本文设计制备了系列化吸波胶膜，并对其电磁参数进行了表征；基于阻抗渐变设计原理，本文设计制备了多层结构吸波层板、吸波泡沫和吸波蜂窝，并对其吸波性能及力学性能进行了表征。结果表明：吸波胶膜的介电常数具有频率色散特征，并且随着短切碳纤维浓度的增加而增加；增加阻抗渐变的层数，能够使吸波层板、吸波泡沫和吸波蜂窝的吸波频带向低频扩展，同时显著提高吸波泡沫和吸波蜂窝的吸收强度；吸波胶膜的引入，对层板和泡沫本身力学性能的影响较小，但会一定程度上削弱蜂窝的平面压缩性能。

D01-27

宽谱响应仿生光能转换体系

周涵^{1,2}，范同祥^{1,2}，张荻^{1,2}

1.上海交通大学材料学院

2.金属基复合材料国家重点实验室

太阳光谱的宽频谱利用，新响应机制的揭示与开发具有重要意义。自然界生物光子结构具有宽谱光吸收、宽谱光反射、选择性光反射等结构色效应，深入研究其物理机制、揭示构效关系、发展仿生设计方法等对新型光能转换和调控体系的开发具有重要参考价值。提出生物构型优化构筑宽谱光能转换体系的学术思想和技术路线，揭示反V型脊孔构型增强近红外光捕获机理，将具有可控表面等离子体激元特性的金属纳米结构集成于材料体系中，采用计算模拟(时域有限差分法)和实验验证揭示其结构辅助增强近红外光催化物理机制：结构辅助近红外光吸收增强和表面等离子体谐振引起的电场强度增强的耦合效应，生物结构的光催化系统在700-800 nm波段照射下的光降解异丙醇性能和光电性能比无结构平板的分别高出100%和50%左右；这是由于(1)与无结构平板相比，蝶翅结构对远红光-近红外光波段的光吸收增强了大约25%；(2)由等离子体纳米贵金属表面等离子体谐振引起的电场强度在生物结构的作用下大大增强，大约是无结构平板的3.5倍。

提出一种模拟硅藻的三维精巧分级构造构筑新型能源材料用于提高CO₂能源化利用的新思路、新方法。针对典型的亚水泡圆筛藻复合二维光子晶体阵列耦合双层三维立体结构，采用时域有限差分法(FDTD)模拟研究其复合三维构型光学响应性能，理论模拟光反射、透射及场强分布等特点，归纳并提炼优化的结构模型。获得了最佳光捕获效率结构参数，通过对比最优化结构与平板结构的光捕获特性，发现其在380-450nm以及560-800nm波段光捕获效率分别增加约20%和70%。分级孔洞结构使得其在可见光波段具有宽带吸收增强的特性。通过电子束光刻结合纳米压印等手段合成具有硅藻分级结构的光催化材料。产CO和CH₄的效率是体相的2.3倍和2倍，可归因于两方面(1)硅藻复合二维光子晶体阵列耦合双层三维立体结构可大幅度提升光吸收；(2)多级孔洞结构有利于质传递(气体传输和液体流动)。采用COMSOL模拟CO₂气体扩散速率约是平板结构中的2倍

D01-28

待定

D01-29

仿生抗反射结构的构筑及其光学性能研究

徐洪波，赵九蓬，李垚

哈尔滨工业大学

玻璃与空气界面处由于其折射率的突变，使得入射光的反射率达到8%，严重影响了光学系统及光电学器件的性能，例如太阳能电池、显示器、光学传感器等。为了提高这些器件的性能需要降低玻璃表面反射光的损失。传统的降低玻璃表面的

反射光损失多利用反射系数连续变化的多层薄膜,但是这种多层薄膜经常会因为热力学不匹配或是黏附力等问题而降低其稳定性,而且这种薄膜通常在某个波段的抗反射性能较好,不能实现较长波段的降低反射光的损失。为了克服薄膜抗反射的问题,作者发明了一种掩模刻蚀与纳米压印联用技术,在玻璃基底上构筑抗反射微纳结构。首先基底上自组装单层聚苯乙烯微纳米球,并以此聚苯乙烯纳米球为阻挡层,进行 RIE 刻蚀,这样就在基底上构造出一个类似锥形的纳米结构,该结构具有很好的抗反射性能。以该硅纳米锥为模板通过纳米压印在玻璃基底上制备 PMMA 的倒纳米锥结构,该结构可有效降低玻璃表面反射率,提升光学系统的分辨率。

D01-30

基于碳纳米材料的常规超材料构建及其性能调控

钱磊

山东大学

随着人们对超材料研究的深入,超材料的概念已不仅仅局限于双负材料,单负材料(介电常数或者磁导率为负值)也归属于超材料的范畴中。在获得超材料的途径上,除了常用的人工构建周期结构的方法,采用传统复合方法来制备超材料(常规超材料)也被陆续报道,此方法可作为人工构建方法的补充用于弥补其存在的不足和局限性。

人工构建的超材料主要通过周期性阵列来调控性能,然而常规超材料可通过材料的组分和微观结构或者原子尺度上对材料的性能进行调控。近年来,我们课题组在前期金属陶瓷常规超材料研究的基础上,选用电子浓度和电导率偏低的碳纳米材料,通过在树脂或者陶瓷基体中构建碳材料的三维网络结构,获得了可控的负介电常数,并详细分析了超材料的损耗和导电机制等。与金属陶瓷相比,基于碳纳米材料构建的常规超材料具有很低的负介电常数,利于与磁导率的匹配,在电磁衰减、电磁屏蔽以及等离子体共振等领域具有潜在的应用。

D01-31

晶粒取向提升羰基铁粉磁导率和吸波性能

王峰,龙昌,李维,吴天龙,官建国

武汉理工大学材料复合新技术国家重点实验室

具有优异磁性能的吸收剂是实现“薄、轻、宽、强”雷达吸波材料的重要前提条件。片状羰基铁粉纳米晶吸收剂具有饱和磁化强度高、软磁性能优异和形状各向异性所带来的突破 Snoek 极限等优势,是现阶段性能最优异、研究和应用最为广泛的吸收剂。但其吸波性能的改善近几年来遭遇了严重的瓶颈,低频性能也难以提升。

在本文中,我们提出并验证在调节形状各向异性、纳米晶和内应力等常规控制手段之外,通过晶粒取向能进一步提升片状羰基铁纳米晶吸收剂的磁性能及其低频吸波性能。采用(100)晶面沿着片状粒子表面择优取向的片状羰基铁吸收剂组成的吸波材料能表现出比传统方法制备的吸波材料显著增大的复磁导率,尤其是当片状粒子也在吸波材料中进行取向时,(100)晶面取向的作用得到了更加充分的体现,低频磁导率和磁损耗都有大幅提升。当厚度为1 mm时,同时具有晶粒和片状粒子取向的吸波材料的反射损耗(RL)在2-4 GHz达到<-3 dB,并在3 GHz达到-13.8 dB的峰值。羰基铁粉的(100)晶面取向平行于易磁化轴,这增强了磁晶各向异性场,因而对进一步提升其磁导率十分有效。这一工作为提高磁性吸波剂的磁导率和在低频下制备高性能薄层吸收剂提供了有效的新途径。

D01-32

智能场控陶瓷基变色龙隐身器件研究

赵乾¹,彭瑞光¹,张富利²,李勃¹,周济¹

1.清华大学

2.西北工业大学

材料的表面/界面的电磁性能对器件的光学、电学、力学、热学等行为有决定性影响,通过材料表面微观构造可实现表面/界面的性能调控。变换光学隐身为大家带来了无限遐想,但由于受限于隐身器件复杂电磁参数(各向异性、非均匀、奇异数值等)、频段较窄以及不可调控等特性,设计制备基于变换光学的隐身器件依然具有很大的挑战性。本文提出了一种基于各向异性陶瓷基超材料及等效电磁参数外场调控的实现机理,并首次理论和实验验证了一种基于 Mie 谐振原理的温度调控陶瓷基变色龙隐身器件。该隐身器件由长方体陶瓷颗粒周期排列而成,当介质单元的几何尺寸等比放大、缩小或者温度变化导致介电常数变化时,其各向异性的电磁参数保持不变,并且工作频率发生相应的红移或蓝移。该全介质各向异性超材料设计及其调控理论是普适性的,即针对某一频段设计的特定功能器件,通过其组成单元---长方体介质颗粒的介电常数或者几

何尺寸等比例放大或缩小就能实现工作频率由微波到 THz 频段的调节，而无需重新设计结构单元和器件，极大简化了设计理论，同时为工作频段大范围调控超材料器件的实现提供了解决途径。

D01-33

纳米多孔气凝胶与物质的相互作用

杜艾^{1,2}, 孙巍^{1,2}, 刘明放^{1,2}, 汪宏强^{1,2}, 姬秀洁^{1,2}, 葛映婷^{1,2}, 张婷^{1,2}, 沈军^{1,2}, 周斌^{1,2}

1. 同济大学物理科学与工程学院

2. 上海市特殊人工微结构材料与技术重点实验室

气凝胶作为一种多级分形的纳米多孔固体，兼具独特的物理性质和成分的多样性，可以被认为一种新的物质状态。气凝胶具有远小于一般电磁波或声波的纳米结构、极低的密度、极低的静态模量和可调的结构与成分，使之可能与电磁波、声波、强激光、高速粒子（冲击波）等发生强相互作用。本摘要综述了课题组近年来在气凝胶与多种物质相互作用的结果和进展，并提出后续设想。

在与电磁波的相互作用方面，课题组从碳气凝胶与可见光的相互作用入手，发现了亚波长微结构是导致超黑现象的重要因素，并提出了电磁波-电子-微结构的间接作用机制；进一步通过自建设备发现了超黑材料的光电效应和等离子体化效应，揭示了其热电子吸收机制；通过与光催化介质的复合，实现热电子耦合诱导的紫外光催化增强和可见光催化效应；与范润华教授合作发现了碳气凝胶在 800 -1000 MHz 频率范围内的双负特性，揭示了气凝胶特殊“盲端”结构对电磁波的作用机制；探索超黑材料光学和光电等方面的性质，发展新的应用方向。

在强激光-X 光转变方面，通过构建低密度、纳米尺度均匀性和多种特定成分的气凝胶块体，实现激光在气凝胶块体中的体加热，为激光-硬 X 射线的高效转化打下基础。目前，在传统气凝胶的基础上，探索出多种氧化物、单质（Si、Ti 和 Cu 等）、碳化物（SiC、TiC 等）等新型气凝胶，并拟结合 3D 直写成型结构和去模板法构建多种低密度气凝胶材料。

在高速粒子相互作用方面，采用 km/s 级不规则高速粒子模拟太空粒子进行 SiO₂ 气凝胶的地面捕获实验，对复杂捕获行为进行分类研究，通过径迹形貌和停留粒子姿态得到了粒子转动的直接证据。进一步采用球形粒子进行捕获，发现三类形貌中 A-β形轨迹包含存在热效应的 L₁ 段和不存在热效应的 L₂ 段；单独分析标准化的 L₂ 段长度可以发现其与气凝胶密度呈反比关系，契合匀减速模型，这可能因为 L₂ 段起始速率仅与气凝胶的力学性质相关。另外，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，使冲击波加载时间延长 50%以上。我们希望进一步研究普通材料与低密度、密度梯度或浓度梯度气凝胶之间的高速相互作用，为太空高速粒子捕获和低温高压状态方程研究打下基础。

纳米多孔气凝胶材料与物质发生相互作用的时候展现出与普通多孔泡沫和纳米材料极不相同的行为，其自身性质在普通环境和极端条件下也十分迥异，新的物理现象和物理机制值得我们探索和深入思考。

D01-34

石墨烯气凝胶的制备与力学性能研究

李晶晶^{1,2}, 张景贤¹, 段于森^{1,2}, 白海楠^{1,2}, 江东亮¹

1. 中国科学院上海硅酸盐研究所，高性能陶瓷和超微结构国家重点实验室，上海 20050

2. 中国科学院大学，北京 100049

石墨烯气凝胶具有高的比表面积和优异的物理化学性能，在吸附、锂离子电池、柔性传感器、催化等领域都有广阔的应用前景。在应用中，气凝胶的力学性能，包括高的强度和优异的压缩回弹性能是决定其应用可靠性的关键。目前，制备同时具有高弹性和高强度的石墨烯气凝胶仍是一个较大挑战。本研究提出一种添加有机硅树脂的方法对弹性石墨烯气凝胶进行增强。在以乙二胺作为交联剂的基础上，添加一定量 SILRES® MK 有机硅树脂实现了氧化石墨烯片之间的更多的共价连接，制备的石墨烯气凝胶不仅具有较好的回弹性，还具有较高的压缩强度。且随 SILRES® MK 添加量提高，石墨烯气凝胶的压缩强度增大，存在峰值。当 SILRES® MK 与氧化石墨烯质量比达到 3 时，所得石墨烯气凝胶应变 50%时的压缩应力达到 6.5kpa，比纯的石墨烯气凝胶高出 2.5kpa 左右。此研究对石墨烯气凝胶各个领域的应用都具有非常大的意义。

D01-35

纳米多孔碳气凝胶微结构调控及漫反射和双负特性的研究

孙巍, 杜艾, 高国华, 沈军, 周斌, 吴广明

同济大学

碳气凝胶是一种三维纳米网络结构的多孔非晶碳素材料，因此其具有孔隙率高（可达到 2cm³/g-1 以上）、孔径分布宽

(0.3-100nm)、比表面积大(可以达到 2500m²/g 以上)及导电性能好(约 100S/cm)等特性,加之碳材料特有的高的化学惰性和耐腐蚀性,使碳气凝胶可以在海水淡化、催化剂载体、储氢材料和超级电容器电极材料等多方面得到广泛应用。采用溶胶-凝胶法以间苯二酚和甲醛为原料,碳酸钠为催化剂,通过改变反应物和催化剂配比,结合二氧化碳超临界干燥和碳化工艺,制备得到具有不同孔结构的碳气凝胶样品。利用 SEM 和 N₂ 等温气体吸附对制备的材料进行了形貌和孔结构分析;利用紫外-可见-红外分光光度计和阻抗分析仪分别对样品漫反射率(可见光波段: 430-675nm)、介电常数和磁导率频谱进行了研究。研究表明,碳凝胶中孔结构(尤其是 2nm 以内的微孔)与其反射率、介电常数和磁导率存在着构效关系。其中漫发射率随密度的减小而降低,且微孔的数量越多,漫反射率越低,获得了漫反射率仅为 0.19%的超级黑材料,提出了电磁波-电子-微结构的间接作用机制。首次提出以碳气凝胶为基元构筑低密度美特材料,在 10M-1GHz 的频谱范围内,碳气凝胶同时实现了负的介电常数和负的磁导率,负介电常数的数值随着碳气凝胶密度的增加而增加,并研究了碳气凝胶骨架结构和微孔对其电磁性能的影响,高频电磁场作用下,微孔周围产生的大量感应电流有利于提高碳凝胶负的介电性;此外,碳凝胶导电的多孔网络结构产生感生电流附加的感应磁场导致负磁导率,计算结果表明碳气凝胶磁导率与(w)0.5 呈线性关系,表现出弛豫型频谱关系。

D01-36

Monodisperse Co₉S₈ nanoparticles in-situ embedded within N, S-codoped honeycomb-structured porous carbon for bifunctional oxygen electrocatalyst in rechargeable Zn-air battery

Wu Mingzai

安徽大学

The exploitation of cost-effective, high-active and robust non-precious-metal bifunctional oxygen electrocatalysts for both oxygen reduction reaction (ORR) and oxygen evolution reaction (OER) is the key to promote application of regenerative fuel cells and metal-air batteries. Herein, based on the inspiration from honeycomb in nature, we designedly synthesized Co₉S₈/N,S-codoped honeycomb-structured porous carbon (Co₉S₈/NSC) in-situ composites via a simple method. The obtained Co₉S₈/NSC in-situ composites exhibit a high stability and activity of ORR/OER. Thus, the further assembled rechargeable Zn-air batteries based on the supported bifunctional oxygen electrocatalysts exhibit better performance with a small discharge/charge voltage gap (0.89 V at 10 mA cm⁻²), a higher voltaic efficiency of 57.6% at 10 mA cm⁻² than that based on commercial 20% Pt/C catalyst.

D01-37

新型纳米多孔碳化钛气凝胶的制备与结构调控

钮婷婷^{1,2}, 周斌^{1,2}, 杜艾^{1,2}

1. 同济大学物理科学与工程学院

2. 上海市特殊人工微结构材料与技术重点实验室

纳米多孔碳化物气凝胶在国内外很少见诸报道,在一篇关于低温制备 SiC 气凝胶方法的报道中,陈珂等人利用模板限制反应法实现了 C/SiO₂ 复合气凝胶向 SiC 气凝胶的低温转化。此次研究主要应用于 TiC 气凝胶的制备,克服碳热还原等传统工艺制备过程中高温高能耗的弊端,同时实现其微结构的调控。该研究采用了气凝胶的模板限制法结合镁热催化还原工艺制备得到了自支撑的纳米多孔 TiC 气凝胶。前驱体水解特性的差异导致了 TiC 气凝胶和 SiC 气凝胶在前期制备工艺上差别巨大。反复试验后,前期以正钛酸四丁酯为前驱体,乙腈为有机溶剂,通过复合酸催化的溶胶共凝法成功获得 RF/TiO₂ 复合气凝胶。产物经过碳化得到 C/TiO₂ 复合气凝胶,然后在镁低温(800℃)催化下将其还原成具有纳米多孔结构的自支撑 TiC 气凝胶。利用 X 射线衍射(XRD)、能量色散谱仪(EDS)、扫描电子显微镜(SEM)、透射电子显微镜(TEM)、比表面积分析(BET)等测试技术对样品进行表征。最终产物为立方相的 TiC (PDF No. 32-1383),密度为 530.2 mg/cm³,比表面积为 459.5 m²/g。另外,对中间产物 C/TiO₂ 气凝胶的微结构进行了深入探究,对其进行煅烧和 HF 腐蚀处理得到 TiO₂ 和 C 两种单体气凝胶。测试结果表明 C/TiO₂ 气凝胶中 C 与 TiO₂ 分别以纳米尺寸的多孔网络形式存在,且两种支撑骨架相互交联,这种结构在很大程度上增大了 C 与 TiO₂ 的接触面积,从而更加有利于镁热催化过程中 TiC 的低温转化。该方法可以通过前期溶胶-凝胶过程中不同原料配比及实验条件来灵活调控最终产物的微观结构和密度,以低密度、高孔隙率的 C/TiO₂ 复合气凝胶为限制模板,通过镁热催化获得较低密度、高孔隙率、高比表面积的 TiC 气凝胶,在未来有望拓展到其他碳/过渡金属氧化物气凝胶向碳化物的低温转化。

D01-38

一维扩散制备浓度梯度 Fe₂O₃/SiO₂ 气凝胶

张婷^{1,2}, 杜艾^{1,2}

1. 同济大学物理科学与工程学院

2. 上海市特殊人工微结构材料与技术重点实验室

气凝胶的一些性质与其密度有关, 例如折射率, 孔隙率与介电常数等, 梯度密度气凝胶将会呈现出这些性质的相应变化。以 MS51 为前驱体可以制备出密度为 $10\text{mg}/\text{cm}^3$ 的超低密度氧化硅气凝胶, 这为制备更大范围密度的气凝胶奠定了基础。梯度密度气凝胶的一大应用是高速粒子捕获, 为了探索最适合于此领域的梯度密度气凝胶类型, 我们做出了高度与其对应密度之间的三种函数关系 (密度随高度的变化率逐渐增大, 逐渐较小和不变)。国际和国内对梯度密度气凝胶的报道很多, 而鲜有对浓度梯度掺杂气凝胶的研究。我们组的唐俊以正硅酸四乙酯为二氧化硅前驱体, 以 $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 为氧化铜前驱体, 以乙腈为溶剂, 采用梯度溶胶共凝胶法制备了 CuO/SiO_2 复合气凝胶。一般方法制备浓度梯度掺杂气凝胶较为困难, 且难以确定具体浓度大小。而我们最近则发现了一种较为简单廉价且可以确定具体浓度的方法来制备 Fe(III)-SiO_2 气凝胶。将以 MTMS 为前驱体的氧化硅气凝胶置于有盐酸气氛的铁丝网上, 通过 Fe^{2+} 一维扩散, 氨气氛固定, CO_2 超临界流体干燥和热处理, 制备出了浓度梯度 Fe(III)-SiO_2 气凝胶。扩散过程中, 用分光光度计测量凝胶不同高度 Fe^{2+} 的吸光度, 以此来精确计算各个高度 Fe^{2+} 的浓度。能量色散谱结果表明在由下至上 40 mm 高度上, Fe/Si 摩尔比从 18.48% 逐渐变为 2.14%。分析孔径分布结果可知, 在扩散后, 样品的平均孔径从 15.8nm 减小到 3.1nm。这与 TEM 的结果相吻合, 表明存在 Fe 化合物的孔隙填充效应。通过分析时间和位置对湿凝胶浓度的影响可以进一步研究扩散动力学, 从而精确地控制浓度梯度。最后发现, 菲克第二定律的一维扩散模型可以很好地拟合扩散过程, 证明了精确设计和控制浓度梯度的可行性。

D01-39

多孔碳纳米管海绵体及其在电磁屏蔽中的应用

桂许春, 陆冬伟, 莫子超, 何仲福

中山大学

梯度结构普遍存在生物材料中, 例如树干、贝壳、牙齿等。梯度结构可带来梯度等级性能, 起到渐变、缓冲、保护等功能。近年来人造梯度渐变结构材料也引起了广泛关注和应用。本报告将首先介绍我们利用 CVD 直接制备的碳纳米管海绵体以及碳纳米管渐变结构。碳纳米管海绵体是由多壁碳纳米管互相缠绕而织构形成的多孔网络状结构, 具有轻质、多孔、导电和结构稳定等特性。而渐变结构碳纳米管块体, 结构上实现了由有序排列的阵列渐变过渡到无序排列的海绵体, 并可实现结构的多次转换。结构上的梯度变化导致了性能的渐变, 其刚度、弹性模量等力学性能能一端渐变到另一端, 变化达到三个数量级。梯度的等级结构, 加上碳纳米管本身的优异性能, 可望使这种新型碳纳米管宏观结构应用于过滤分离、复合材料等。在此基础上, 我们将柔性、具有自支撑结构的碳纳米管海绵直接用作电磁屏蔽膜。密度仅为 $10.0\text{ mg}/\text{cm}^3$ 的碳纳米管海绵体, 厚度为 1.8 mm 时, 其对 X 波段电磁波的屏蔽效能达到 54.8 dB, 比效能达到 $5480\text{ dB}\cdot\text{cm}^3/\text{g}$, 并可通过薄膜的密度或厚度调控其性能。通过直接渗透法, 可将其与 PDMS 复合。CNT/PDMS 复合薄膜中虽然碳纳米管质量分数小于 1.0 wt%, 但是, 当其厚度为 2.0mm 时, 其对 X 波段电磁波的屏蔽效能仍达到 46.3 dB。这种稳定且高导电率的纳米复合材料可以直接用作高性能的屏蔽薄膜。

D01-40

Cu-ZnO₂ 和 Cu-SnO₂ 触头材料的电接触性能对比研究

张贇, 刘景顺

内蒙古工业大学

本文对比研究了粉末冶金法制备的 Cu-ZnO_2 和 Cu-SnO_2 触头材料的电接触性能。研究表明, Cu-ZnO_2 和 Cu-SnO_2 触头材料的硬度为 $\text{HV}=55\sim 110$, 符合国标电触头材料的硬度标准。同时, 两者电导率为 $30\sim 45\mu\Omega\cdot\text{m}^{-1}$, 均高于传统触头材料。根据 GB/T 14598.5-93 电气继电器触点寿命测试标准, 自主设计了电寿命模拟测试系统。电寿命测试结果表明, Cu-ZnO_2 和 Cu-SnO_2 触头材料的通断次数分别达 3000 次、10000 次以上, 其电寿命远高于传统 Cu 基触头材料。究其原因, Cu 基触头材料掺杂 ZnO_2 和 SnO_2 可提高触头材料的粘度, 电弧灭弧特性良好, 减少接触时的飞溅, 增强触头材料的抗熔焊性能。综上, SnO_2 掺杂的触头材料具有良好的综合性能, 可为其在接触材料中潜在应用提供参考。

D01-41

锆基微纳米结构材料的原位构筑及其储锂性能研究

孟祥东¹, 于兆亮¹, 尹默¹, 孙萌¹, 李海波¹

1. 吉林师范大学/功能材料物理与化学教育部重点实验室

2. 吉林大学无机合成与制备化学国家重点实验室

锂离子电池具有循环寿命长、自放电率低、工作电压高等优点, 已成为便携式设备和工业储能系统中最重要的能源。然而, 由于石墨电极的理论比容量只有 372 mAh/g, 因此利用硅、锗、锡和铟等材料替代石墨来开发高容量的锂合金负极材料是一个世界性的趋势。但是合金负极的普遍缺点是嵌锂/脱锂过程中的非常大的体积变化, 这就会导致材料粉碎开裂。而纳米颗粒、纳米线、纳米管等纳米结构能够有效的缓解这一问题。特别是纳米线, 不仅减少了体积应变, 并为沿长度的电子传输提供了有效的通道。

我们采用低温离子液体电沉积法与脉冲激光辅助法, 制备了镓掺杂的锗和锗镓 (Ge-Ga)微纳米阵列; 特别是, Ge-Ga 电极材料表现出良好的循环性能及卓越的倍率性能。在 0.32 A/g 的充放电电流密度下, 纳米线分别有 1730 和 1537 mAh/g 的初次放电跟充电比容量。并且从第二圈循环开始, 库伦效率一直保持在 95%以上。即使经过 150 次循环后, Ge-Ga 纳米线电极仍能保持 1146 mAh/g 的可逆比容量。在 16A/g 的电流密度下纳米线依然具有 574 mAh/g 的比容量, 适用于快速充放电的应用。

D01-42

基于几种材料学经典概念的高性能超材料设计

白洋

北京科技大学

在宏观上, 大量亚波长结构单元组成的超材料是一种等效介质的观点已被广泛接受。但在微观上, 亚波长结构单元(即超原子)与真实原子之间如何关联尚不明确, 完善超材料的微观物理图像将会对超材料的设计具有重要指导意义。我们借鉴真实原子的能带理论, 探索并建立起超材料等效能级的系统规律, 并以此为指导, 设计优化出多层超表面阵列和介质基超表面等多种性能优异的平面型超材料。

首先, 以典型的渔网结构超材料为例, 发现密堆超原子的特征频率具有与真实原子能级相似的能级分裂、能带形成、收敛与交叠的特征规律, 从而建立超原子的等效能级理论, 将超原子及其对光运输的调制作用与真实原子及其对电运输的调制作用等效关联。

其次, 基于等效能级理论, 通过等效能级杂化设计用于圆极化波透射转化的高性能超材料。设计制备出由四层超原子密堆而成的超表面阵列, 在 9.8~13.5 GHz 的宽频范围内获得了交叉极化波的透射幅值大于 0.7、共极化波的透射幅值小于 0.2 的高透射转化性能。并在此基础上, 利用 Pancharatnam-Berry 相位重塑波前, 设计并制备了极化分束器、平板透镜、螺旋相位板和轴棱镜等一系列新型超材料电磁器件, 器件都继承了超表面原型的宽频带、高透射等优异特性。

最后, 基于周期对称破缺的概念构造介质基超表面。通过控制周期性对称破缺程度, 灵活调节切向电场大小, 显著增强石墨烯/超表面复合结构中的有效耦合面积, 从而大幅提升石墨烯在近红外频段的动态调控深度。研究表明, 当石墨烯费米能级从 0 eV 增加到 0.8 eV 时, 左手通带的调制深度达到 85%。

D01-43

碳纳米纤维/聚苯胺纳米复合材料制备及其介电性质研究

谷红波

同济大学

本文采用原位聚合方法制备了碳纳米纤维/聚苯胺导电纳米复合材料。并采用傅里叶红外光谱 (FTIR)、扫描隧道显微镜 (SEM)、X 射线衍射 (XRD) 等对其结构进行了表征, 通过热失重分析仪 (TGA) 对其耐热性能进行了分析。本文还对该纳米复合材料的电导率随温度的变化进行了研究, 该纳米复合材料表现出半导体特性, 电导率随温度升高而降低。同时, 本文制备的碳纳米纤维/聚苯胺导电纳米复合材料在测试的频率范围表现出较大的负介电性质。本文还研究了不同碳纳米纤维负载量对碳纳米纤维/聚苯胺导电纳米复合材料介电性质和导电性质的影响。

D01-44

铁磁性锰氧化物的高频负电磁参数研究

燕克兰¹, 范润华^{3,2}, 张子栋², 史志成⁴, 孙凯³, 解培涛², 王忠阳²

- 1.南京工业大学
- 2.山东大学
- 3.上海海事大学
- 4.中国海洋大学

采用溶胶-凝胶自蔓延燃烧法合成钙钛矿型 $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ (LSMO) 氧化物粉体, 并在不同的烧结温度及保温时间下制备了 LSMO 陶瓷。通过 XRD、SEM 对样品的微观结构进行了分析, 利用阻抗分析仪、矢量网络分析仪系统地研究了 LSMO 陶瓷的成分、微结构对电磁参数的影响规律, 以探明等离子体振荡、磁共振与掺杂组分、微观结构的相关性。研究发现: (1) 晶体对称性随 Sr 含量增加而提高, 从而提高了 LSMO 的金属铁磁性。(2) Sr 含量的不同将导致三种不同的介电极化机制, 除 Debye 弛豫之外, Lorentze 共振和 Drude 等离子体振荡这两种机制均可产生负介电常数($\epsilon' < 0$); 当 Sr 含量较低时($x=0.1$), 负介电常数是由 Lorentz 共振导致的; 当 Sr 含量较高时($x \geq 0.2$), 由于传导电子浓度的增加导致其在外加交变电场的作用下发生集体性的等离子体振荡, 从而产生等离子体振荡型负介电。(3) 通过对电导率的分析进一步的证明了这两种负介电机制的存在。(4) 利用等效电路法对 LSMO 进行了阻抗分析, 当烧结温度及 Sr 含量较低时, 样品可以等效为电容和电阻组成的电路; 当烧结温度及 Sr 含量较高时, 样品可以等效为电容、电阻和电感组成的电路。并且发现: 并联电感的产生可能是负介电常数的来源。(5) 对于磁导率, 通过公式拟合得到 LSMO 磁导率的频散特性是畴壁共振和自然共振共同作用的结果, 且通过 Sr 元素掺杂可调节其磁各向异性和晶格常数, 从而使磁共振频率向低频方向移动, 进而实现了对磁导率的有效调节; 此外, 共振频率随磁场可调。

D01-45

导电聚合物的多功能仿生修饰及其电化学性能研究

章炜

东南大学

导电聚合物材料具有制备简单、生物相容性高, 以及化学稳定性好等优点, 在信息、能源、医疗等领域得到了广泛关注。但也存在着电导率低、不易分散或溶解、难以形成有序结构等缺陷。为了解决现有的问题并将这种功能材料有效的转化到实际的工程应用上, 本文将多巴胺 (DA) 融入了导电聚合物聚吡咯 (PPy) 的分子结构设计中, 使其电导率, 分散性和胶粘性都得到了显著的提高, 而且这些 PPy 的形貌可以简单的通过调整 DA 与 PPy 单体吡咯 (Py) 的摩尔比来进行精确的控制, 极大的提高了 PPy 的应用范围。同时, 我们还对不同 DA/Py 摩尔比下 PPy 在超级电容器、导电胶以及电磁吸波材料等方面的应用进行了深入细致的研究。该研究中合成的新型复合纳米材料不仅有着可简单而精确控制的微观形貌, 并集各种优异的电学性能于一身。有望在未来的先进电子设备中得到广泛的应用。

D01-46

$\text{Er}^{3+}/\text{Yb}^{3+}$ 掺杂 $\text{Ba}_3\text{Y}_4\text{O}_9$ 荧光粉的可调上转换发光、多重温度传感及光热性能

刘水富^{1,3}, 叶信宇^{1,2,3}

- 1.江西理工大学
- 2.国家离子型稀土资源高效开发利用工程技术研究中心
- 3.江西省稀土荧光材料及器件重点实验室

稀土离子掺杂的上转换发光材料作为基于荧光强度比技术的光学温度传感器在近几年受到了广泛关注。其中, Er^{3+} 实现绿光发射的两个能级 $2\text{H}_{11/2}$ 和 $4\text{S}_{3/2}$ 是一对经典的热耦合能级, 基于这对热耦合能级的荧光强度比对温度存在明显的依赖。但是, Er^{3+} 掺杂体系的光学传感材料仍然面临着低灵敏度的问题。我们研究发现在 $\text{Ba}_3\text{Y}_4\text{O}_9: \text{Er}^{3+}/\text{Yb}^{3+}$ 荧光粉中 Er^{3+} 的 $2\text{H}_{11/2}$ 和 $4\text{S}_{3/2}$ 能级由于发生了劈裂形成了 Stark 能级, 导致绿光发射带呈现出明显的劈裂。大的荧光强度和能级间隙有利于提高温度传感器的灵敏度, 基于 Stark 能级可以提高荧光强度比以及能级间隙, 从而有望提高 $\text{Ba}_3\text{Y}_4\text{O}_9: \text{Er}^{3+}/\text{Yb}^{3+}$ 荧光粉的温度灵敏度。本文采用高温固相法合成了 $\text{Ba}_3\text{Y}_4\text{O}_9: \text{Er}^{3+}/\text{Yb}^{3+}$ 荧光粉, 通过 X 射线衍射对样品结构进行表征并进一步进行了结构精修。通过扫描电镜、能谱和变温光谱对样品的形貌、元素组成和变温上转换光谱进行表征。在 980nm 激光激发下, 发现随 Yb^{3+} 掺杂浓度的不断增加实现了样品由绿光到黄光, 再到红光的可调上转换发射。基于 Stark 能级, 研究了 $\text{Ba}_3\text{Y}_4\text{O}_9: \text{Er}^{3+}/\text{Yb}^{3+}$ 荧光粉在低温和高温条件下的温度传感性能, 结果表明在高温下基于 $2\text{H}_{11/2}/4\text{S}_{3/2}(1)$ 能级的灵敏度比 $2\text{H}_{11/2}/4\text{S}_{3/2}$ 提高了近两倍, 在低温下基于 $2\text{H}_{11/2}(1)/2\text{H}_{11/2}(2)$ 能级的灵敏度比 $2\text{H}_{11/2}/4\text{S}_{3/2}$ 高出了十二倍。因此, 基于这两对热耦合能级有望实现低温到高温的精确温度测量。此外研究还发现在激光激发过程中存在光热效应, 通过调节激发功率可以实现对形成温度的精确控制。

D01-47

微尺度超结构的构筑及性能研究

廉刚, 崔得良

山东大学

与分散性的结构单元相比, 基于这些结构基元而形成的有序超结构往往会呈现一些新颖的物理化学性质, 因此在光电转换、传感、催化等多个领域具有广泛的应用价值, 对纳米技术的发展也起着非常重要的作用。而如何实现这些功能性的初级结构单元的有序是值得深入思考的问题。其中, 定向附着生长是一种非常重要的非经典的晶体生长机理, 通过消除临近晶粒的界面往往能够实初级结构单元的长程有序。而在此过程中, 长程和短程驱动力的提供至关重要。

基于以上思考, 我们开发了一种具有一定通用性的高压(准)液相方法, 通过压力控制离子或分子在晶粒表面的吸附状态, 成功实现了多种分散性纳米结构的有序化, 制备了多种功能性的有序超结构: 1、基于亚微米晶的 SnO_2 三维有序超结构; 2、基于纳米晶的 TiO_2 三维有序超结构和介晶; 3、基于 CeO_2 纳米晶的多种有序自组装结构; 4、基于 rGO 纳米片二维有序结构; 5、基于大尺寸晶畴的有机-无机杂化钙钛矿取向单晶薄膜; 6、缺陷型石墨烯与单层 MoS_2 交替插层的超薄层有序结构。这些超结构在电化学能量存储、催化、光电转换方面都体现出了良好的性能。这些研究结果均说明了压力在基于定向附着生长机理“自下而上”的构筑超结构的过程中具有非常重要的作用。随着对外部压力刺激下晶体生长过程理解的进一步加深, 该方法可能会提供我们新的动力去发现其他新颖的超结构并探索其应用。

D01-48

吸收与散射调控结合的宽带 RCS 缩减复合超材料

张亚中, 李维, 吴天龙, 王峰, 官建国

武汉理工大学 材料复合新技术国家重点实验室

在武器装备上应用吸波材料是形状设计以外的重要隐身手段, 但由于材料电磁参数及其频散的固有限制, 无法在低厚度条件下实现超宽频带吸波。近年来, 研究者们发现超表面具有很好的控制电磁波的功能, 可以通过非吸收的方式实现隐身。例如, 利用超表面控制电磁波的散射角度以降低雷达散射截面的做法吸引了人们的广泛关注, 但目前其带宽仍然较为有限。在此, 我们通过设计, 结合了超表面的异常散射和磁性吸波材料的吸波效应, 使二者相互兼容并增强, 在宽带范围内缩减 RCS、实现宽频隐身效果。

该复合超材料由两种超材料单元和一种吸波材料在平面方向上通过交替排列组成, 两种超材料单元的结构分别为简单的竖线和横线, 它们分别进行 3'3 组合, 再将 3'3 的横线和竖线超材料与磁性吸波材料交替排列组成最终结构。模拟和实验结果显示, 复合超材料在 5-35GHz 的宽频范围内都具有 -7~-15 dB 的良好 RCS 衰减效果。分析结果表明, 根据衰减的来源于贡献不同, 可将 RCS 衰减分为三个频带区。通过对吸波材料的合理选择, 能够使其在 5-12.5 GHz 的频带具有良好的吸收, 此时 RCS 缩减主要由吸波材料带来; 而在 12.5 GHz 以上频率, 由于两种超材料单元结构对入射电磁波的反射相位存在 180° 的差值, 它们之间的相互干涉造成散射角的偏转, 产生了 RCS 缩减的效果; 与此同时, 吸波材料在该频段范围也贡献了部分吸收, 能够进一步缩减 RCS。而在 12.5-15.5 GHz 的频率范围内, 超材料与吸波材料之间也存在反相的相位差, 因而吸波材料除了吸收的贡献以外还存在部分增强异向散射的作用。本工作通过超材料和吸波材料之间的结合, 集成了异向散射和吸波两种机制对 RCS 缩减的作用, 并能够使它们相互增强, 形成超宽带的 RCS 缩减效果。这一工作对超材料与传统材料的复合、以及多机制隐身的集成有很好的启发作用。

D01-49

FeCoNiSiAl 系高熵合金粉的电磁吸收性能研究

张彬, 段玉平

大连理工大学

随着电磁微波技术的飞速发展, 不管是在军用、商用或者民用领域内, 对于应用于恶劣环境条件下的电磁波吸收材料的研究和发展成为亟待解决的问题。随着研究的深入, 高熵合金具有较优异的抗腐蚀性、抗氧化性和热稳定性等综合性能。研究发现 Fe-Co-Ni-Si-Al 系高熵合金具有较高的饱和磁化强度和较低的矫顽力, 能够成为潜在的吸波材料(顺磁性材料)。我们利用直接球磨法和铸态球磨法(熔炼+甩带+球磨)两种工艺分别制备了高熵合金粉。通过改变合金粉中元素含量的方法, 来调整合金的磁晶各向异性常数和磁致伸缩系数, 进而获得较大的合金初始磁导率。通过对两种制备方法及所得的合金粉进行对比发现在两种工艺中合金化规则各异, 颗粒的长径比和元素的均匀程度对于合金粉磁性能及电磁性能有重要的影响。

另外,对铸态球磨工艺研究表明:条带球磨成粉主要经历剪切、扁平化和细化等三个阶段;干磨能够改变原有合金的晶体结构,而湿磨可以保持原有的晶体结构不发生变化。在直接球磨法中随着加入 Al 含量的增加,合金粉的颗粒逐渐增加,合金粉的塑性也在逐渐增加,使得合金颗粒的长径比逐渐增加;而在铸态球磨法中,随着 Al 含量的增加,合金条带由 FCC 单相经由两相共存区间转变为 BCC 单相,合金的塑性逐渐减小,脆性在逐渐增加,在相同的球磨时间下,合金颗粒的长径比在逐渐减小,进而我们可以通过改变方法获得在不同含量下具有较大长径比的合金颗粒。

D01-50

新型手性超结构材料的力学性能及多功能一体化应用研究

阮晓莉¹, 宋小科¹, 吴文旺³, 夏热^{1,2}

- 1.水力机械过渡过程教育部重点实验室(武汉大学)
- 2.水射流理论与新技术湖北省重点实验室(武汉大学)
- 3.北京理工大学先进结构技术研究院

智能超材料依靠特殊胞元微结构可以组装形成不同的超结构,实现负折射率,零剪切模量,反胀、拉胀特性,可控热传导和光隐身等传统材料所不具备的特性,为其在光学、声学、生物力学和航空航天等领域提供巨大的应用潜力。

针对角点、韧带两基本要素形成的手性胞元蜂窝型拓扑结构,本文开展了对手性超结构轻量化多功能的研究。通过手性胞元要素本身特征的变化与不同空间布局,以及胞元间梯度化、多级化、混杂化、随机化衍生设计了一系列新型手性超结构,包括负泊松比动脉支架,压缩扭转筒体,手性梯度夹芯复合板,多级手性超结构和三维手性-反手性混杂超结构,分别探究了手性超结构在血管组织支撑、轻量化复合板、变体机翼等先进结构领域的匹配应用。研究方法:基于均质化的应变能法和动态响应分析方法,讨论其面内、面外力学性能和弹性波传播禁带特性;根据平移对称性推导出胞元的受载周期性边界条件,利用有限元方法进行手性超结构的数值模拟;结合手性超结构一体化快速成型样件的力学性能实验测试,对比分析手性超结构的主导变形机理,识别其失效模式。最后,证实了能够通过改变手性超材料的几何参数实现轻量化、吸声降噪、隔振抑振和抗冲击吸能等特性的调控,以及实现大范围负泊松比拉胀,结构压扭等超常规特性。

D01-51

从功能相到复合材料的尺度设计与调控

秦发祥

浙江大学

通常复合材料由增强相或者功能相与基体组成。实现功能复合材料的其中一个有效策略就是把具有功能特性的功能相以一定方式引入到惰性基体当中,进而实现所需的一个甚至是多个功能。这种思路的关键就是功能相本身的设计与功能相在基体中的分布、界面调控,也就涉及到了多尺度的结构与调控。具体来说,开发高性能的功能相,依靠其构效关系,可以实现复合材料的多功能特性,这种功能相本身也可以是一种多级多尺度的复杂结构,进而为复合材料性能的控制提供了多个微结构“开关”。此外,利用界面、分布等介观结构参数,我们可以有效的控制与功能相构成的网络和界面结合等因素紧密相关的诸如介电性能、微波特性等物理行为。这种介观特性的控制可以通过制备工艺的调节,也可以通过施加外场的作用实现。综上所述,各类多功能复合材料的实现与应用都会涉及到以上所讲的多尺度结构因素。本报告通过两类功能复合材料——磁性纤维复合材料与碳纳米复合材料的结构与微波特性研究,揭示出从功能相到复合材料的尺度设计与调控的若干科学问题与解决的一些思路。

D01-52

Plasmonic Coupling in a 3D Network with Diamondoid for Sensitivity Enhancement

Nanxi Rao¹, Ling Chen¹, Chak-Yin Tang^{1,*}, Wing-Cheung Law¹, Gary Chi Pong Tsui¹, Ching-Hsiang Cheng², Olav Solgaard³

1. Department of Industrial and Systems Engineering, The Hong Kong Polytechnic University, Hong Kong, P. R. China
2. School of Automotive Engineering, Wuhan University of Technology, Wuhan, Hubei, P. R. China
3. Edward L. Ginzton Laboratory, Stanford University, Stanford, California 94305, USA

Surface plasmon resonance (SPR) sensing technique has been applied as a powerful portal for studying various biological and chemical interactions. In resonance condition, the surface plasmon wave generated at the metal/sample interface is very sensitive to very small changes of refractive index. Recently, nanostructures such as gold nanorods and gold nanoparticles have been proposed to improve the performance of SPR sensors due to the positive effect of plasmonic coupling between the localized SPR of nanoparticles

and the sensing film.

In this work, plasmonic coupling between two plasmonic bodies is studied based on a user-defined 3D network. The 3D network with plasmonic crystal structure is designed to provide high analytical sensitivity at visible wavelengths. The design with micrometer spatial resolution patterns is then laser-direct written on a gold substrate by two-photon polymerization of gold nanorod modified photoresist. Diamondoid with strong electron-electron and electron-phonon couplings is integrated into the 3D network for enhancing the sensitivity of the SPR sensor system. Results of this study provide the useful information for the development of high sensitivity devices for substance detection.

D01-53

二氧化钒热致变色薄膜及在智能节能窗上的应用

曹逊¹, 金平实¹, 罗宏杰^{1,2}

1.中国科学院上海硅酸盐研究所

2.上海大学

作为一种典型的强关联材料,二氧化钒自1959年被发现以来就因独特的金属-绝缘体相变及伴随的结构相变而受到人们的广泛关注。其金属-绝缘体相变温度约为68摄氏度,接近室温,且在相变前后其电导率、光学透过率、介电常数、晶格常数等均发生显著的变化,从而使其在众多领域(智能节能窗、激光防护、隐身/伪装、光电开关、非制冷探测等)有着潜在的应用和研究价值。在这些应用中,二氧化钒多以薄膜的形态存在,因而,对高性能薄膜的制备及性能研究,在应用方面有着极其重要的意义和价值。

我国建筑能耗占社会总能耗超过30%,其中建筑物经窗热损失占建筑物整体耗能50%以上,使用先进节能窗成为降低建筑能耗的有效措施。低辐射(Low-E)节能窗是目前建筑物主要节能产品,但由于光学性能固定不变,无法对应气候环境变化及人为的不同需求。并且国内低辐射节能窗产能过剩,市场急需进行新产品的升级换代,光学性能可调的智能节能窗便成为首选。在各种智能窗中,以二氧化钒为代表的温控智能窗具有结构简单,随环境温度自动调节日射强度的巨大优点,无需任何人工能源就能实现冬暖夏凉。

本次报告将主要围绕当前在智能节能窗方面,二氧化钒薄膜的制备及性能表征中所面临的主要问题展开,包括可见光透过率、太阳能调节率的有效提升,稳定性及高温高湿耐候性研究,颜色调节及光学设计所面临的挑战及可能的解决策略等。通过对二氧化钒多层膜及表面结构的光学设计,从多方位、多角度去考察和研究膜系的复合化来实现现有单层薄膜的改性与优化,推动其产业应用进程。在复合改性过程中,所涉及的相变调控及相变机理的基础研究,进一步丰富了二氧化钒强关联体系的研究方向,近年来材料合成技术、计算模拟技术以及超快光学表征技术的发展让人们对二氧化钒的相变过程有了更深入的理解和认识。

D01-54

电磁波吸收材料的发展及研究现状

段玉平

大连理工大学 材料科学与工程学院

雷达吸波材料经过几十年的发展,研究成果已广泛应用于军事和民用领域。吸波材料主要是做成涂层和结构型材料后用于运动军事目标和地面固定军事目标。此外,随着经济的快速发展,电磁辐射污染已成为继大气污染、水污染和噪音污染之后的第四污染源,对人类的身体健康带来严重威胁。针对民用电磁波辐射防护要求,研究民用电磁辐射防护材料成为重要的研究课题。本研究主要针对目前结构型吸波材料的发展现状并结合本课题组的研究特色进行阐述。

D01-55

基于水的可调控全介质超材料

孙夏清

西北工业大学

超材料(metamaterials)是指一些具有天然材料所不具备的超常物理性质的人工复合结构或复合材料。其基本设计思路是以某种具有特殊功能的人工结构为基础,通过各种层次的有序结构实现对各种物理量的调制,以获得自然界中在该层次上无序或无结构的材料所不具备的物理性质。目前超材料在超分辨率成像、隐形斗篷、吸波器、传感器、调制器等方向已经取得广泛的应用。

由于金属的欧姆损耗和谐振吸收增强，由金属结构单元构成的超材料性能往往较差。基于低损耗介质结构 Mie 谐振的全介质超材料提供了一种解决思路。水作为一种介质材料近来也被提议用于超材料结构，相比于其他介质材料，水具有热可调、高折射率、低成本的特点。利用水的温度可调性质，我们实验研究了一种工作频率可调的全介质超材料。我们首先研究了 0°C 到 100°C 不同温度下在 0.72-1.15 GHz 频段内由水构成的块状结构的磁偶极谐振和电偶极谐振模式的性能。基于水的可调全介质超材料为实现智能电磁波调控的一种新途径。

D01-56

新型过渡金属硫化物超导材料的设计制备与性能调控

罗惠霞

中山大学

层状化合物是寻找新的超导体的重要途径。近年来出现的一类层状化合物尤其过渡金属二硫属化合物材料（通常简称为 TX_2 ，其中 $T = V, Nb, Ta, Mo, W, Re$ 等过渡金属元素， $X = S, Se, Te$ 硫族元素），因其具有丰富而奇特的物理特性，在近几十年来一直是人们普遍关注的对象，它们的出现也为寻求新型的超导材料的发展提供了新的选择。过渡金属层状二硫属化合物超导体尤其在凝聚态物理中受到广泛关注并表现出竞争序的一类材料。最为典型的材料包括 $1T-TiSe_2$ ， $2H-NbSe_2$ ， $2H-TaSe_2$ 及 $2H-TaS_2$ 等等。鉴于许多关联电子材料均属于这种类型化合物，涉及巨磁阻、拓扑绝缘、超导，甚至近来的能源材料，我们结合理论计算，筛选出具有能带较小的、电荷密度波不稳定性、相变结构的过渡金属层状化合物等母体，依据 McMillan Tc 理论，通过掺杂或者插层手段来调控其能带带隙、抑制电荷密度波不稳定性或者改变其晶体结构，进一步诱导出超导电性，成功设计制备出一系列过渡金属硫化物超导材料（如层状结构 $TaSe_2-xTex$ 、 $2H-CuxNbSe_2$ 、 $1T-Ti_{1-x}TaxSe_2$ 等），深入研究了晶体结构、电子能带结构调控与超导电性的内在规律，最终建立了掺杂浓度-超导温度的具体相图，为新超导及磁性材料理性设计与优化奠定了坚实基础，并为凝聚态物理学相关领域提供了新的理想载体。

D01-57

SCFs@TiO₂ 低频复合吸波材料

吴宏景

西北工业大学

低频电磁吸收一直是吸波材料的难点问题之一。本文通过一步水热法制备了 SCFs(短切碳纤维)@TiO₂(二氧化钛)核壳结构复合材料。通过 TiO₂ 负载能很好地降低短切碳纤维的电导率，从而实现更好地阻抗匹配。通过引入短切碳纤维可以在低频实现更大的电损耗正切角，从而提高低频电磁吸收性能。我们意外地发现了 SCFs(短切碳纤维)@TiO₂(二氧化钛)复合材料在低频具有非常强的吸收性能 (-46.3 dB)，并且匹配厚度非常薄。当吸波材料匹配厚度仅为 1.0 mm 时，其有效 (<-10 dB) 电磁吸收频宽为 2.4 GHz (14.3-16.7 GHz)。

D01-58

基于数据挖掘的 Sm-Co 基多元永磁合金设计

刘东, 郭凯, 宋晓艳

北京工业大学

针对目前已有的大量 Sm-Co 类合金的相关数据，进行了归类收集、数据挖掘和系统分析，评价了各种添加元素对 Sm-Co 类合金的饱和磁化强度的影响。大部分元素的添加使饱和磁化强度降低，且在一定的添加量范围内，饱和磁化强度随着添加量变化的趋势为线性变化，不同元素添加带来的变化趋势不同。进一步，利用机器学习方法将该评价模型推广到未知元素，优选出对于饱和磁化强度较为有利的若干元素，以之为指导，开展了系列实验探索。在优选元素添加的基础上，结合数据分析，优化材料制备工艺，控制微观组织，制备得到了综合磁性性能优异的 Sm-Co 基多元永磁合金。

D01-59

具有丰富可调光学性能的 1D 磁响应性光子晶体

马会茹, 唐开, 谈亚丽, 官建国

武汉理工大学

响应性光子晶体复杂多变的光学性能使其在防伪、伪装和仿生领域有着重要的应用前景。本研究组从光子带隙调控方法和固定式-非固定式光子带隙的结合出发，发展了两种新型的光学性能具有丰富可调的 1D 磁响应性光子晶体：光子纳米棒

和偏心结构的核壳光子晶体球。不同于改变粒子间距、衍射角和折光指数等常用的调控光子带隙的方法，光子纳米棒磁可调的晶格缺陷赋予了其丰富的光学变化。在磁场下，随着磁场强度的增加纳米棒发生就地取向、组装成长链、相邻链间形成磁可调的晶格缺陷等复杂组装行为，光学性能表现为相应光子带隙的红移、蓝移和衍射峰强的逐渐增加。基于磁性纳米棒的磁响应性光子晶体表现出的难以复制的多重光学变化使其可用于高级防伪标签的研制。此外，受不倒翁平衡原理的启示，我们以乳液滴为模板，通过引入反射背底和控制紫外光光照时间制备了偏心结构的自取向 1D 磁性光子晶体球。它是由不均匀的光子晶体外壳和遗留下来的磁性光子晶液体核组成。磁性光子晶体球呈现出独特颜色图案和丰富的光学变化。在外加磁场作用下光子晶体球形成来自外壳与液核的磁致可调的双光子带隙。控制磁场方向，不仅可以实现光学“开/关”效应，而且能够实现单色-可变双色在同向和十字交叉方向的转换。

D01-60

雨滴状多孔 $\text{Eu}(\text{TTA})_3(\text{TPPO})_2/\text{ZnO}$ 复合材料构筑及其发光性能研究

张伟龙，于辉
长春理工大学

本研究采用软模板法合成了有序介孔氧化锌，然后，采用液相法制备了有序介孔 ZnO 和 Eu^{3+} 稀土配合物形成的复合物，并对其发光性质进行了研究，讨论了稀土配合物和介孔 ZnO 的最佳比例。制备材料呈现一种雨滴状半球形形貌，半球颗粒表面分布着有序介孔孔道，ZnO 在 469 nm 处有强烈的发射峰，与 463 nm 处的 Eu^{3+} 的 7F0-5D2 跃迁激发峰重叠。说明 ZnO 与 Eu^{3+} 之间发生有效的能量转移，强烈地提高了 Eu^{3+} 的发光强度。通过对复合材料结构进行 X 射线检测，氮气吸附测试等证明复合材料是一种介孔材料。

本研究采用溶胶-凝胶法，将 Eu 和 Tb 的磷酸盐的复合物组装到多孔二氧化硅的孔道中，考察了制备材料中 Eu^{3+} 和 Tb^{3+} 含量对样品发光性质的影响。根据材料的发光强度，确定了制备材料中 Eu 和 Tb 最佳比例。制备材料在 594 nm 处显示出非常强的 Eu^{3+} 的特征发射。

D01-61

精细直写 3D 打印技术在制备太赫兹功能器件方面的应用

李勃^{1*}，李琦³，朱朋飞^{2,3}，王荣¹，高健楠¹，周济⁴

- 1.清华大学深圳研究生院能源与环境学部，深圳，518055
- 2.中国科学技术大学材料科学与工程学院，合肥，230026
- 3.中国科学院金属研究所环境功能材料研究部，沈阳，110016
- 4.清华大学材料学院，北京，100084

太赫兹技术在天文学、生物医学、无线通信、安全检测等领域有着巨大的应用潜力。太赫兹光子晶体功能器件作为操控太赫兹波的重要器件但由于制备工艺的原因进展缓慢。精细直写 3D 打印技术的快速发展为太赫兹波段的光子晶体制备提供了一种新的途径。

近几年，我们课题组积极探索各类材料的精细直写 3D 打印成型工艺，开发出一系列可打印的陶瓷、高分子和生物材料，并将 3D 打印技术应用到微米级太赫兹功能器件的制备上。首次采用溶胶凝胶法合成 TiO_2 前驱体浆料，该浆料可用于制备特征尺寸低至 10 μm 的精细三维结构，利用该浆料制备了一系列 TiO_2 陶瓷光子晶体，并通过调整结构参数和非金属元素掺杂改变 TiO_2 介电常数等方式，调控其带隙。首次合成铁粉基 PDMS 复合浆料并应用于精细直写 3D 打印技术，开发出新型 4D 打印技术，利用该 4D 打印技术实现外加磁场可调的柔性 THz 光子晶体制备和应用。同时，开发多材料精细直写 3D 打印技术，制备了多材料耦合的异质结构光子晶体 THz 功能器件，为太赫兹功能器件的制备拓展了新的方向。以具有热致变色性质的 VO_2 为原料，利用 3D 打印技术制备了热场可调的 VO_2/PDMS 太赫兹光子晶体功能器件，研究其在热场作用下带隙的变化。

我们的研究表明，3D 打印可以制备对外加的力、磁、热、电等不同的外加场有响应的 THz 功能器件，通过外加场，可以实施对 THz 功能器件的性能调控。

关键词：精细直写，3D 打印，4D 打印，太赫兹，光子晶体

D01-62

基于人体基质的纺织超宽带天线的设计及性能

姚澜*，张睿，邝野，俞生海

超宽带 (Ultra-Wideband, 简称 UWB) 天线具有固定的工作带宽、高效地带宽利用率、近似线性的相频响应、能量辐射的指向性以及小型化的特性, 可以把 UWB 技术与可穿戴技术相结合, 设计制造可穿戴超宽带天线。本文所设计的纺织超宽带天线的带宽范围是 3GHz-10GHz, 而人体基质是影响天线性能的最主要因素之一。为了对本文设计的天线性能有一个系统且全面的评价, 不仅要分析天线在自由空间中的性能还要测量分析天线在靠近人体时的性能, 本文对建立的天线模型进行仿真, 得到天线的各项参数并进行分析, 同时与实际超宽带天线的对应结果相比较, 完成了电磁性能对比。

D01-63

Ni-Mn-Ga 铁磁记忆合金微丝的多功能物性研究

赵杨勇, 薛菁, 康茂东, 高海燕, 王俊

上海交通大学材料科学与工程学院, 上海 200240

Ni-Mn-Ga 铁磁记忆合金具有对温度场、磁场、应力场多种外场响应的特性, 但多晶脆性严重阻碍了其功能特性。本文采用玻璃包覆纺丝法成功制备出直径 20~80 μm 的 Ni-Mn-Ga 微丝。研究表明, 微丝具有典型的对温度场响应的双程形状记忆效应, 同时具有高达 10% 的对应力场响应的可完全回复超弹性特性。结合铁磁特性和超弹性性能, 首次报道了 Ni-Mn-Ga 微丝的应变-磁化效应。结果表明, 应力诱发的马氏体会显著影响微丝的磁化行为。利用该应变-磁化效应, 可开发基于磁性测量的非接触式无损磁-应力应变传感器。

关键词: 记忆合金, 微丝, 超弹性, 双程记忆效应, 磁-应变效应

D01-64

双面微纳结构 VO₂(M)薄膜制备及其智能窗性能研究

豆书亮¹, 张伟岩², 李垚^{1*}

1. 复合材料与结构研究所, 哈尔滨工业大学, 哈尔滨市, 黑龙江省

2. 化学与化工学院, 哈尔滨工业大学, 哈尔滨市, 黑龙江省

二氧化钒(VO₂(M))是一种热致相变材料, 其近红外波段透过性能在相变前后发生突变, 由于其可见波段在相变前后透过几乎不变, 能够同时满足采光和调温, 是理想的智能窗材料。采用无机溶胶法制备了 VO₂(M)薄膜, 发现薄膜晶相由 V₂O₅ 经 VO₂(B)向 VO₂(M)转变, 表面形貌由平坦表面转变成类冰晶状微纳结构后演化成表面微纳颗粒, 同时伴随 PVP 分解。通过对 VO₂(M)薄膜进行厚度优化, 实现了超高可见透过比(75.5%)和良好热调控能力(7.7%); 通过对比单双面微纳结构 VO₂(M)薄膜性能, 发现双面微纳结构不仅能够提高可见透过比, 还能使热调控能力相对单面薄膜增强 3.5 倍。结合 VO₂(M)薄膜相变前后折射率变化, 分析双面微纳结构提高其性能的优势: 相变前双重增透提高透过性能, 相变后双重吸收降低透过性能, 扩大近红外波段透过变化值, 提高热调控能力。

D01-65

原子层间插入法实现铋层状结构氧化物的电导和带隙调控

王建林^{1,2,3}, 邹维^{1,4}, 黄浩亮^{1,2}, 傅正平^{2,3,5}, 陆亚林^{1,2,5}

1. 中国科学技术大学

2. 中国科学技术大学 国家同步辐射实验室

3. 中国科学技术大学 量子信息与量子科技前沿协同创新中心

4. 中国科学技术大学 材料科学与工程系

5. 中国科学技术大学合肥微尺度物质科学国家研究中心

铋层状结构 Aurivillius 相氧化物是一类传统的铁电体介质材料, 在存储、微波和电容器等领域有广泛的应用。通常这类材料是宽带隙电介质材料, 如何减小带隙、提高载流子浓度, 从而适用于半导体和光电子等功能器件, 成为一个长期以来的科学研究挑战。为此, 我们发明了原子层间插入方法, 将钙钛矿结构的 La_{1-x}Sr_xMnO₃ 材料插入典型的铁电母体材料 Bi₄Ti₃O₁₂ 中, 成功获得了 Bi₄Ti₃O₁₂-La_{1-x}Sr_xMnO₃ (BiT-LSMO, 0.3 ≤ x ≤ 0.7) 固溶体系新材料。该系列新材料的带隙 E_g ≈ 2 eV, 远小于 Bi₄Ti₃O₁₂ 母体材料的 ~3.4 eV; 电阻率 r < 1 × 10⁴ ohms·cm, 比 Bi₄Ti₃O₁₂ 母体材料的电阻率 (> 1 × 10⁹ ohms·cm) 减小了 5 个数量级[2]。通过水热合成和取向烧结技术, 我们获得了具有显著织构的取向陶瓷, 其面内电导比面外电导高出 1 个数量级, 表现出很强的电导各向异性。通过 X 射线光电子能谱和软 X 射线吸收谱, 我们分析了样品中 Mn 元素和 Ti 元素的

价态，以及与物性之间的关联。在本工作中，我们通过原子层间插入法成功合成了 BiT-LSMO 新材料，并实现了对 $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ 基铁电材料带隙和电导的有效调控，这将有利于拓展铋层状类钙钛矿结构材料在光电、催化和铁电半导体等方面的应用。

D01-66

3D 打印直写墨水的制备与研究

葛映婷，杜艾，周斌，沈军，张志华
同济大学

本文研制了具有纳米结构的可打印的各类凝胶墨水，并使用 3D 打印直写墨水技术对各类墨水进行打印。打印材料本身具有纳米结构，打印的结构骨架密度小，可制备低密度的气凝胶。

结合高分子的浓溶液为非牛顿流体的原理，以间苯二酚一甲醛高分子溶液为基础探索了可用于 3D 打印的 RF 墨水。通过改变溶胶凝胶过程中催化剂含量来调节间苯二酚一甲醛溶胶的粘度，制备出非牛顿流体态的 RF 墨水。使用内径为 0.41mm 的鲁尔针头对 RF 墨水进行打印，在打印过程中配以浓盐酸的氛围使打印的结构迅速成型，得到具有 3D 打印结构的 RF 气凝胶。RF 气凝胶经过碳化过程获得了尺寸为 $35\text{mm} \times 35\text{mm} \times 15\text{mm}$ 碳气凝胶。通过 SEM 扫描电镜测试研究，3D 打印的碳气凝胶在大范围内是均匀的三维网络结构的多孔材料，开孔较多，具有纤细的短链缠绕的疏松结构。由直径约为 50nm 的碳纳米粒子串成单链珍珠链状结构组成三维网络，孔径基本在 5nm 左右，有很多 100nm 以上的大孔。通过 BET 测试得出样品比表面积为 $631 \text{ m}^2/\text{g}$ ，孔径为 3.81nm。样品有很多的毫米级的通道，可以提高吸附速度。将打印的具有纳米结构的样品对细胞培养液进行吸附试验，在 250min 内完全吸附酚红指示剂，吸附效果较好，与未经 3D 打印的碳气凝胶对比，有更高的吸附效率。

D01-67

$\text{SrTiO}_3:\text{Pr}^{3+}$ 纳米颗粒的发光性能研究

张家萌，毕科
北京邮电大学

钙钛矿结构氧化物作为一种常用的材料，凭借其优越的介电、压电等性能而受到了广泛的关注。在掺杂稀土离子之后，钙钛矿结构氧化物可以发射对应的可见光。比如，掺有稀土元素 Pr 的钙钛矿结构氧化物能够发出标准的红光。本课题组使用一种操作简单的溶胶-沉淀法制备出含有大量氧空位的掺杂稀土元素 Pr 的钙钛矿结构氧化物 SrTiO_3 。在对这种材料进行退火处理之前，由于氧空位的作用稀土元素 Pr 掺杂的 SrTiO_3 能够发出明显的白绿色的光。同时，经过退火处理之后，氧空位含量减少，材料能够发出红色的可见光。并且，制备出的 SrTiO_3 纳米颗粒大小均匀，利于分布在高分子基质当中。聚偏氟乙烯 (PVDF) 材料具有机械性能优良、化学性能稳定、抗酸碱腐蚀、成本较低等诸多优点。研究发现，PVDF 本身对无机发光晶体的发光性能并不会产生较大的影响。同时，PVDF 是一种性能非常优异的压电材料，材料的压电常数、特征参数较高，声阻抗低、且介电常数较高。选择 PVDF 作为高分子基质，即不会影响无机光致发光材料的发光性能，还可以使复合薄膜保持较好的介电性能。课题组通过将制备出的稀土元素 Pr 掺杂的 SrTiO_3 纳米粉料同 PVDF 进行复合，制备出大面积、柔性、稳定性高且介电性能良好的新型高效发光薄膜。该研究拓宽了光致发光材料的使用范围，对于稀土发光材料器件化起着至关重要的作用。

墙展

D01-P01

核-壳四氧化三铁/碳复合材料的制备及吸波性能的研究

马家鑫，苏莉，范宇驰，江莞，王连军
东华大学

由于现代科技的飞速发展，电磁波污染已成为威胁人们健康的日益严峻的环境问题。为了满足日益增长的电磁屏蔽需求，各种用途的吸波材料被逐渐制造出来。近年来，由于成本低，微波吸收能力强，过渡金属化合物（如钴，镍和铁的化合物）作为磁性吸波剂引起了极大的关注。然而，由单一组分组成的过渡金属吸波体系通常由于固有缺点，包括易氧化、密度高、吸收频带窄和低 Snoek 限制而受到很大影响。由此很难在宽频率范围内实现具有低反射损耗的预期性能，其实际应用受到限制。相比之下，与单组分吸收剂相比，具有多组分结构的吸波剂总是表现出更宽的有效吸收频宽以及更强的反射损耗。本课

题通过聚多巴胺在 Fe_3O_4 表面的原位聚合和随后的高温碳化成功制备出以 Fe_3O_4 微球为核、无定形碳为壳层的 $\text{Fe}_3\text{O}_4 @ \text{C}$ 核-壳复合材料, 并通过调节聚合时间, 较好地控制碳壳厚度。研究表明 $\text{Fe}_3\text{O}_4 @ \text{C}$ 核-壳复合材料的核尺寸为 300nm、壳层为 40nm 时, 其吸波性能较优异, 并在 6.5mm 时显示了最低反射损耗为 -64dB, 有效吸收频宽达到 4GHz。研究发现, 高温碳化过程中未引发碳热还原反应, 因此 Fe_3O_4 微球的结晶相和磁性在碳化过程中可以得到很好的保留。同时, Fe_3O_4 微球的存在可以在一定程度上提高碳壳的石墨化程度。因此, 碳包覆 Fe_3O_4 微球不仅可以提高复介电常数, 而且可以改善特征阻抗, 使复合材料发生多次弛豫过程, 从而大大提高复合材料的微波吸收性能。

D01-P02

$\text{Zn}_x\text{Co}_{1-x}\text{Fe}_2\text{O}_4$ 微球的水热法制备及其静磁、光催化与储电性能研究

闫共芹, 何菲, 孙中阳, 何强

广西科技大学

以醋酸钠为沉淀剂, 乙二醇为溶剂和还原剂, 氯化铁、氯化钴、硝酸锌为原料, 通过一步水热法成功的制备了 $\text{Zn}_x\text{Co}_{1-x}\text{Fe}_2\text{O}_4$ 微球。通过 X 射线衍射仪、扫描电子显微镜和能谱仪测试了微球的成分和形貌, 结果表明, 在 200℃ 下水热反应 48 小时可得到形状规则、粒径均一的 $\text{Zn}_x\text{Co}_{1-x}\text{Fe}_2\text{O}_4$ 微球, 其粒径为 80nm 左右, 分散性良好。通过振动样品磁强计研究了微球在常温下的静磁性能, 发现在室温下 $\text{Zn}_x\text{Co}_{1-x}\text{Fe}_2\text{O}_4$ 微球表现为铁磁性, 其饱和磁化强度为 86.07emu/g。以亚甲基蓝为目标降解物研究了微球的光催化性能, 研究发现, 在紫外光照射下, $\text{Zn}_x\text{Co}_{1-x}\text{Fe}_2\text{O}_4$ 微球具有优异的光催化活性, 在 360 min 之内对亚甲基蓝的催化分解率可达 76%。以微球作为锂离子电池负极材料研究了其储电性能, 发现在 0.1C 倍率下, 首次放电和首次充电容量分别可达 1729.7mAh/g 和 1098.8mAh/g, 经过 20 次充放电循环后放电和充电容量为 812.5 mAh/g 和 677.68 mAh/g, 显示其表现出优异的储电性能。

D01-P03

直流偏压诱导柔性氮化钛/聚酰亚胺复合薄膜高度可调负介电性能

杨超强, 史志成, 张超, 毛凡

中国海洋大学

具有负介电常数的复合材料, 因其独一无二的电磁特性和广泛应用, 引起越来越多研究者的关注。然而, 如何获得和精准调控复合材料的负介电性能仍是我们面临的挑战。本文采用原位聚合法制备了不同氮化钛 (TiN) 含量的氮化钛/聚酰亚胺 (TiN/PI) 复合材料, 并研究了外置直流偏压对其介电频散特性的影响。结果表明, 通过对 TiN/PI 复合材料施加直流偏压, 出现典型的等离子体震荡型负介电; 从介电谱中可以明显看出通过控制偏压强度能够精准调控负介电频段和幅值, 且随着电场强度的增加, 负介电常数幅值呈规律性增加。此外, 该研究通过施加偏压为负介电性能的调控提供了新的途径, 比调整复合材料的成分和微结构获得负介电更加精确和方便。

D01-P04

钛酸钡基电介质超材料

王忠阳¹, 解培涛¹, 范国华¹, 范润华², 张子栋¹

1. 山东大学

2. 上海海事大学

超材料是近年来迅速发展起来的前沿交叉研究领域。由于其新颖的电磁性能, 在微波通讯, 无线电力传输方面具有潜在的应用前景, 不同于传统阵列型超材料本文主要以钛酸钡陶瓷为基体实现电介质超材料, 利用钛酸钡的介电共振实现负介电常数, 同时添加不同功能体, 以实现负介电常数以及负磁导率的有效调控。通过与亚铁磁性陶瓷钇铁石榴石复合, 调控介电共振的阻尼和带宽, 并揭示了负介电常数仍符合因果关系。通过添加磁性金属镍, 实现了双负的同时, 揭示了负介电常数频散、数值调控的机理; 进一步添加非磁性金属 Cu, 发现了 Lorentz 型与 Drude 型负介电可以共存, 有效地拓宽了负介电材料的实现方式和频带。此外钛酸钡基电介质超材料, 在实现负介电常数性质的同时, 可以有效地降低介电损耗, 为超材料在射频、低损耗方向的发展提供了重要的补充。

D01-P05

氧化铝-碳化钛复相陶瓷材料的高频介电行为

范国华¹, 解培涛¹, 王忠阳¹, 屈云鹏¹, 张子栋¹, 刘峤¹, 范润华²

- 1.材料液固结构演变与加工教育部重点实验室(山东大学)
- 2.上海海事大学海洋材料科学与工程研究院

陶瓷材料以其耐高温、耐磨损、耐腐蚀的优良物理化学性能而获得广泛的应用。目前,碳化钛陶瓷材料作为第二相增强氧化铝陶瓷已被广泛研究,作为结构陶瓷展现出优秀的力学性能。本实验通过烧结制备氧化铝-碳化钛复相陶瓷,利用扫描电子显微镜(SEM)和X射线衍射(XRD)分析其微观形貌和物相结构,并利用阻抗分析仪测试复相陶瓷的高频介电性能。结果发现,复相陶瓷材料的介电常数随碳化钛含量的增加而升高,当碳化钛含量高于逾渗阈值时,出现等离子体振荡型负介电行为。该结果在新型吸波材料、电磁屏蔽等领域具有潜在的应用前景。

D01-P06

自组装制备碳/二氧化硅微球复合材料与稳定的负介电性能

解培涛^{1,2}, 王忠阳^{1,2}, 陈敏¹, 范国华¹, 张子栋¹, 刘峤¹, 范润华²

- 1.山东大学
- 2.上海海事大学

逾渗复合材料的负介电性能往往随着导电填料含量的增加而发生突变,性能稳定性差。本工作中,通过二氧化硅微球的自组装和热解过程构建碳网络-二氧化硅微球的复合材料。随着碳含量的增加碳网络逐渐形成,电导行为出现逾渗现象(绝缘-导电的转变)。继续增加碳含量仅改变碳网络的气孔率而不是其连通性。因此,微观结构和负介电性能对碳含量的变化并不敏感。并且,负介电数值较小($-100 < \epsilon' < 0$)有利于和磁导率的相互匹配。并且负介电常数的数值可以通过改变碳化温度进一步实现调控。此工作提出了一种新型的制备具有稳定负介电性能的方法,将进一步推进负介电材料的工程应用。

D01-P07

基于 Mie 谐振的太赫兹吸波超表面

王青敏, 毕科
北京邮电大学

超表面是一种二维的超材料,通常是由人工设计的超材料结构单元组成。由于其亚波长的厚度非常有利于器件的小型化,因此在太赫兹频段有很大的应用前景。研究者们对太赫兹频段吸波超表面进行了广泛的研究,但目前大多数都依赖于特殊的材料和复杂的微结构,而且具有较窄的带宽。研究表明,具有高介电常数的介电材料与电磁波相互作用产生强 Mie 谐振,我们设计了一种基于 Mie 谐振的太赫兹吸波超表面。将具有不同介电常数的四个介电谐振单元组合到单个结构单元中来制备所述太赫兹吸波超表面。由于多个介电谐振单元产生的多重 Mie 谐振之间的耦合,太赫兹吸波超表面在 8.37 至 8.60 THz 范围内的吸收率均超过 80%,表现出宽带吸波性能。此外,太赫兹吸波超表面的带宽和中心频率可以通过改变介电谐振单元的尺寸和相应介电常数来调节,这使得所提出的吸波超表面适用于多种宽带太赫兹器件。

D01-P08

柔性 RGO/EPDM 复合材料的制备及其吸波性能研究

汤进¹, 毕松¹, 侯根良¹, 王鑫², 刘朝辉¹, 苏勋家³

- 1.火箭军工程大学
- 2.火箭军装备研究院
- 3.西安纳科新材料科技有限公司

采用还原法在三元乙丙橡胶(EPDM)泡沫结构中原位生长还原氧化石墨烯(RGO)气凝胶材料,制备了RGO/EPDM泡沫双三维复合结构。研究了氧化石墨烯先驱体(GOs)溶液浓度对泡沫复合材料微观结构及电磁性能的影响规律。研究结果表明:不同先驱体浓度下,RGO均以三维泡沫结构形态附着在EPDM泡沫骨架结构内部,分散均匀且具有较好的附着力;成分分析显示材料复合后界面未发生化学反应,各部分材料仍保持其本征特性;微波反射率测试结果显示,在8~18GHz范围内,不同浓度的样品单体由于厚度原因均未表现出明显的强电磁吸收能力,但三块样品梯度叠加后(厚度达7mm)吸波性能出现大幅提升,最大吸波强度达到-22.27dB,-10dB吸收频段为9.9~18GHz,频宽达到8.05GHz,显示出良好的宽频吸波性能。

D01-P09

化学聚合制备聚苯胺的介电/负介电行为的调控研究

江倩, 类延华, 董剑楠, 信家豪, 冯帅, 谭茜匀, 赵天瑜, 孙凯, 范润华
上海海事大学

当材料的介电常数和磁导率同时为负值时,称为双负材料,具有许多新颖的电磁性能,如逆多普勒效应、逆契伦科夫效应和负折射效应等,在亚波长成像、隐身斗篷、完美透镜和微带天线等领域具有重要的用途。近年来,基于材料本征特性而制备的随机复合双负材料成为了新的研究方向。导电高分子具有特殊的分子结构和优异的物理化学性能,在金属防护、能源、光电子器件、分子器件、电磁屏蔽、隐身技术等方面具有广泛的应用前景。特别是近年来随着双负材料逐渐成为新的研究热点的同时,对于导电聚合物的介电以及负介电性能的研究逐渐引起了人们的广泛关注。

研究表明,导电聚合物的导电特性依赖于其制备条件,通过对聚合物的掺杂可以显著增强聚合物的电导率,进而影响着材料的介电损耗与电阻损耗。本课题拟选用结构和性能最稳定的导电聚苯胺为研究客体,以过硫酸铵(APS)为氧化剂,通过调控 PANI 合成过程中的质子酸种类、pH 值、合成时间等工艺参数,来探究离子插杂以及掺杂浓度对聚苯胺负介电性能的影响。借助于红外光谱(FT-IR)、拉曼光谱(Raman)以及 X 射线光电子能谱(XPS)对获得的聚苯胺进行了掺杂的表征,并通过扫描电子显微镜(SEM)以及原子力显微镜(AFM)对获取样品进行形貌的分析表征,进而借助于 LCR 测试仪(安捷伦公司)测试掺杂态聚苯胺的介电性能。研究表明酸的质子酸种类和浓度对聚苯胺负介电性能的影响较大而聚合时间对聚苯胺负介电性能的影响较小。

D01-P10

Fe₃O₄ 纳米晶自组装为超晶格和超结构微球表现良好的吸波性能

苏莉¹, 杨建平¹, 王连军¹, 董安钢², 马家鑫¹, 江莞¹

1. 东华大学 材料与工程学院
2. 复旦大学 化学系

随着微波和通讯技术的飞速发展,日趋严峻的电磁污染对环境和生物安全的威胁日益被人们重视,微波吸收、屏蔽材料及其技术研究与应用受到了广泛关注。吸波材料不仅在微波系统、电磁兼容与测试等场合有着广泛的应用,在民用防电磁辐射产品中同样有着巨大的潜在市场。此外,在国防和军事装备的电磁“隐身”技术中,微波吸收材料扮演十分重要的角色。因此,迫切需要发展一种厚度薄、质量轻、频带宽、强吸收的吸波材料。

Fe₃O₄ 作为传统的铁氧体吸波剂,因其为双损耗介质且具有高磁导率、低毒、低成本且容易获得等优势,目前依然是被广泛研究的吸波材料热点之一。磁性铁氧体等尽管具有磁损耗机制,增加了材料的微波吸收性能,但因吸收频带较窄、高频段吸波效能较差、高温性差、密度较大等不足,因此磁性铁氧体材料与其它导电、介电损耗型构筑复合材料以提高吸波性能。目前,科研人员利用水热法-烧结,溶剂热-烧结等合成方法制备了一系列 Fe₃O₄ 基复合碳材料的吸波材料,如 Fe₃O₄@GO, Fe₃O₄@RGO, Fe₃O₄@CNTs 等,吸波性能得到了明显提高和吸波频段宽度得到改善。但传统的合成方法步骤繁琐,且制备的 Fe₃O₄ 纳米粒子与碳材料不能够均匀符合或包覆等问题。

基于此点,我们利用液相热解法合成单分散的无机金属氧化物纳米粒子,具有尺寸均一、粒径可控、形貌可控等优点,可根据需要调节其形貌尺寸,用于吸波领域,以得到较好的吸波性能。此外,单分散的纳米粒子,由于表面一般存在长链配体,因此可以实现微观尺度的自组装行为,从而由于协同作用而表现出更好的物理化学性能,如耐热性强、电子传导率高等特点。本工作中利用溶剂挥发诱导自组装法制备 Fe₃O₄ 二维超晶格, O/W 乳液体系制备三维超结构微球,碳化配体,构筑类核壳结构,此后材料应用于吸波性能的评价。XRD, SAXS, IR, SEM, TEM 等测试手段对制备的材料进行相应的表征,结果表明得到长程有序的二维超晶格材料以及三维超结构微球,微球粒径约为 500nm-1 μ m。性能测试结果表明,材料表现出非常宽的频带吸收带宽,平均值约为 10dB,以及较强的特性吸收,这可能与高度有序的结构相关。配体碳化后得到的碳材料不仅可以提高复介电常数,而且可以改善特征阻抗,使复合材料发生多次弛豫过程,从而大大提高复合材料的微波吸收性能。

D01-P11

面向射频涡旋波应用的 GPS 介质陶瓷天线阵列

许建春, 毕科
北京邮电大学

射频涡旋电磁波因其具有从根本上解决频谱资源匮乏问题的潜在性而受到人们的广泛关注。天线阵列是常见的产生射频涡旋电磁波的方法。然而,天线系统的复杂性和无法远距离传输限制了射频涡旋波在无线通信系统中的应用。因此,我们提

出采用 GPS 介质陶瓷天线阵列在没有移相设备的情况下实现射频涡旋波的产生。通过对 GPS 介质陶瓷天线阵列的仿真我们获得了不同模式的涡旋电磁波，该涡旋波具有小发散角以及标准的相位分布的特点。同时，我们设计了一个涡旋波产生与测试系统来验证天线阵列实际产生涡旋波的效果。在矢量网络分析仪输出功率为 0 dBm 的情况下，距离天线阵列超过 2 m 处仍能很好地接收到天线阵列产生的涡旋波信号。实验结果证明了该天线阵列不仅能在很大程度上简化天线系统，更能产生具有良好性能的射频涡旋电磁波。

D01-P12

镀镍多壁碳纳米管/聚苯乙烯逾渗复合材料的微波介电性能

屈云鹏，高玉山，马宇鑫，钟君，何玥仪，成雪晴，刘晓

山东大学材料科学与工程学院

在极高频段发展具有高介电常数和高介电损耗的聚合物基复合材料在电子和电气工业和能源领域具有重要意义。本文通过高能球磨模具压制工艺制备了不同镀镍碳纳米管 (Ni-CNTs) 含量的镀镍碳纳米管/聚苯乙烯 (PS) 随机复合材料。研究了 Ni-CNTs/PS 复合材料在微波频段的电学和介电性能。结果表明，随 Ni-CNTs 含量增加，Ni-CNTs/PS 复合材料的介电常数实部增加，并在逾渗阈值附近急剧增加。这是由于 Ni-CNTs 与 PS 基体之间的接触可以等效成大量微小电容单元，它们之间的电荷极化导致了介电常数的增加。Ni-CNTs/PS 复合材料的交流电导率频谱符合幂次定律，表明了复合材料中自由电子的跳跃传导行为。当介电实部的值大于零时，电抗全部为负，表明电压落后于电流，材料表现为电容性。

D01-P13

可加工碳气凝胶复合材料的制备及表征

叶长收，张如炳

北京交通大学

以间二苯酚和甲醛为原料，碳酸钠为催化剂，采用溶胶-凝胶、超临界干燥工艺制备得到低密度低热导碳气凝胶。通过调节有机含量及催化剂含量制备了密度为 0.028 - 0.196g/cm³ 的碳气凝胶，对应的导热系数分别为 0.0259-0.0707 W/(m·K)，高气孔率以及纳米孔结构是导致碳气凝胶具有超低热导率的主要原因。为改善碳气凝胶的力学性能，采用短切碳纤维为增强体，通过混合有机溶胶的方式制备了短切碳纤维增强碳气凝胶复合材料，短切碳纤维与碳气凝胶具有良好的复合效果，碳气凝胶基体仍保持纳米三维连续网络结构，因此碳气凝胶复合材料保持较低的热导率。短切碳纤维的加入提高了碳气凝胶的压缩强度，当碳纤维的含量为 2wt%，压缩强度达到 1.76MPa，较同等密度碳气凝胶提高 56%；同时短切碳纤维的加入改变了碳气凝胶的断裂方式，结合碳气凝胶复合材料压缩测试应力应变曲线，应力达到最大值后发生小幅度下降，之后出现平台，临界破坏应变增加，这表明碳气凝胶复合材料的断裂方式由碳气凝胶的脆性断裂变为伪塑性，断裂韧性提高。碳气凝胶复合材料断裂韧性的提高主要归因于碳纤维在材料断裂过程中拔出及其对裂纹的偏转，延长裂纹长度，增加断裂面面积，消耗更多断裂功。碳气凝胶断裂韧性的提高可避免灾难性破坏的发生，同时改善了碳气凝胶的可加工性，使气凝胶能够加工成异形结构件，利于工程化应用。

D01-P14

基于高介电常数陶瓷设计的高选择性全介质超材料通带型频率选择表面

李立扬，王军，马华，冯明德，王甲富，杜红亮，屈绍波

空军工程大学

本文通过固相烧结法制作相对介电常数为 110，损耗为 0.0015 的 0.7Ba_{0.6}Sr_{0.4}TiO₃-0.3La(Mg_{0.5}Ti_{0.5})O₃ 陶瓷，通过切割拼接加工，设计了工作在 8.92GHz~9.16GHz 具有高选择性的通带型全介质超材料频率选择表面。本文通过有效媒质理论对其进行分析，并结合相对介电常数、磁导率和阻抗的参数提取以及谐振点处的电场、磁场分析来对全介质超材料频率选择表面进行深入研究讨论。分析结果显示，高介电常数陶瓷的表面可看做磁壁，其内部被激发的电磁谐振可对阻抗匹配进行调节，从而对通/阻带进行调节。因此，全介质超材料频率选择表面可以通过调节介质的谐振模式及其空间阻抗匹配来进行自由设计。本文的设计采用陶瓷材料，具有耐高温、耐腐蚀、耐高功率等优势，具有广阔的应用前景与发展潜力。

D01-P15

石墨烯与铜粉尺寸匹配对石墨烯/铜复合材料组织及性能的影响

张丹丹，肖华星，江炜，曹霞，叶历，王梦秋，唐涛

常州工学院

石墨烯具有超高的拉伸强度和优异的导电导热性能,被认为是一种很有前途的金属基复合材料增强体。本文采用平均粒径 10 μm 的铜粉为基体材料,片径分别为 6 μm 和 80 μm 、平均厚度为 2nm 石墨烯片(GNPs)为增强体,通过粉末冶金法制各石墨烯/铜复合材料,研究石墨烯与铜粉的尺寸匹配对制备的复合材料的显微组织和性能的影响。结果表明,10 vol.% GNPs-2-6/Cu 复合材料的相对密度、显微硬度和电导率分别为 86.8%、62.8HV0.1/10 和 69.9%IACS,均优于相同烧结条件下纯 Cu 的性能(76.7%、58.1HV0.1/10 和 68.1%IACS);而 10 vol.% GNPs-2-80/Cu 复合材料的显微硬度和电导率均低于 GNPs-2-6/铜复合材料和纯铜。本文从微观结构的角度分析了石墨烯与铜粉尺寸匹配对复合材料性能的影响机理。

D01-P16

Al@MnO₂ 复合材料的合成及微波吸收与红外隐身性能研究

王欢,邢宏龙,贾涵泉,刘叶,陈爱娟

安徽理工大学

以片状铝粉和高锰酸钾为原料,通过一步法合成了 Al@MnO₂ 复合材料,并研究了 Al@MnO₂ 复合材料的微波吸收与红外隐身性能。通过 X 射线衍射、扫描电子显微镜等手段对材料的结构和 MnO₂ 的分布状态进行了测试表征,采用矢量网络分析仪测定了材料在 2~18GHz 范围内的电磁参数,通过计算机模拟计算出不同厚度材料的电磁波衰减性能,使用双波段红外发射仪对材料在 8~14 μm 波段范围内的红外发射率进行测试。结果表明:铝片表面形成了致密的 MnO₂ 纳米粒子层,并且 MnO₂ 纳米粒子的浓度对微波吸收性能和红外发射率有一定的影响;当材料的匹配厚度为 1.0 mm,12.72 GHz 处的最小反射损耗为 -42.93 dB,此时反射损耗小于 -10 dB 的频率覆盖 12.80 GHz~13.36 GHz;该材料在 8~14 μm 波段范围内有着较低的红外发射率,这归因于片状铝粉的存在,随着 Al 含量的增加,红外发射率逐渐减小,最低达到 0.55。表明 Al@MnO₂ 复合材料是一种潜在的具有优良微波吸收性能并兼容红外隐身的材料。

D01-P17

多功能 Cu-SnO₂ 忆阻器

梅方

南京大学物理学院

过渡金属氧化物(TMO)的电阻开关特性(RS)由于其在信息存储、逻辑电路和人工神经网络中表现出的非易失性、操作速度快以及操作电压低和能源消耗少等优势而受到了大量的关注。最近,SnO₂基RS器件不仅基于导电细丝(CFs)的形成和破裂展示了优秀的RS性能,而且还利用肖特基二极管效应抑制了器件中的潜行电流。但是,由于在这种较长的纳米线器件中缺乏导电通路,从而使得其工作电压较大(接近20V)。这些发现表明,SnO₂基RS器件具有结合导电通路和肖特基势垒的可能,这对我们提高器件开关特性有很大的帮助。我们选择了Cu/SnO₂:Cu/Pt三明治结构器件作为研究对象,探究了忆阻器中CFs和肖特基特性之间的关联。我们发现SnO₂薄膜的电阻开关特性由于Cu的受主掺杂得到很大程度上提高。当Cu²⁺的浓度适当时,该器件具有最高的开关比(104),好的疲劳特性(104次)和长的保留时间(104秒),这得益于掺杂对电阻和氧空位的调制。此外,一个脉冲或者一系列的相同脉冲都可以对该忆阻器进行电阻切换,而后一模式可以用于模拟生物神经突触的长时程增强功能。且器件在开关切换的过程中表现出数字型和模拟型结合的多阻态特性,我们认为此行为可能是由RS单元中导电细丝和肖特基势垒的结合造成的,而氧空位成了他们之间关联作用的桥梁。这些研究对高密度存储和感知计算有重要的意义。

D01-P18

基于电磁诱导透明效应的电调控超材料器件

杨葵生,付全红,樊元成,张富利

西北工业大学

在泵浦光的激励下,当信号光通过非透明介质时,由于量子干涉效应,会产生一个狭窄的透射窗口,这种现象称为电磁诱导透明(Electromagnetically Induced Transparency, EIT)。这一现象最初是在量子系统中发现的,随着超材料这一领域的发展,人们通过类比的方法,设计亚波长的“明”、“暗”结构单元,利用其相互耦合产生类EIT效应。人们期待利用类EIT效应实现一些有价值的应用,例如低损耗的慢光器件以及高灵敏度的传感器件等。

然而,传统的超材料受限于其局域谐振特性,只能工作于固定的狭窄频带,极大的限制了其实际应用,所以研究者们逐渐将目光投向可调控超材料。主要开展的工作有将半导体材料、有源元件、液晶、石墨烯、相变材料、铁磁或者铁电材料等集成到超材料结构设计中去调控电磁波。

为了改进超材料器件的工作性能,我们将开关二极管(PIN diode)集成到超材料结构单元中去控制明、暗模式之间的相消干涉。当偏置电压从0 V逐渐增大到1.2 V时,开关二极管可以从断开状态(OFF state)逐渐被调控到导通状态(ON state),以此为基础,“明”、“暗”单元之间的耦合会受到剧烈的调制,从而实现了类EIT效应的动态可调。

D01-P19

声学超材料中的类拉比分裂

陈爽, 樊元成, 晋坚强, 付全红, 邱克鹏, 张富利

西北工业大学

在超材料的研究中,将新颖的材料特性与传统量子现象相类比逐渐成为研究的重要方法。由于超材料可以在不同频带处与经典量子现象作简化类比,因此可以通过对超原子的设计来任意控制波的传输特性。例如,在许多经典的超材料结构中已经实现了类EIT效应的再现。人工微结构介质中的类量子效应显著提高了在实验中观察量子现象的迫切需要。近年来,在声波的异常控制中引入了拓扑相位的概念。

本文将声波的传输行为与量子电动力学中的拉比分裂相类比,采用将亚波长尺寸的超原子与法布里-帕罗腔相耦合,设计出复合声超材料并对其特性进行数值仿真和实验研究。结果显示,通过控制超原子与法布里-帕罗腔的布拉格模式之间的耦合,可以调节该复合结构的传输谱线。同时,我们在法布里-帕罗模式的传输谷附近获得了类拉比分裂行为。

D01-P20

Co₃O₄/Fe₂O₃/PANI 复合材料的合成及电磁波吸收性能研究

贾涵泉, 邢宏龙, 王欢, 刘叶, 陈爱娟

安徽理工大学

采用水热合成法在六边形片状Co₃O₄表面均匀的包覆了一层Fe₂O₃纳米粒子层,再以原位聚合法成功的合成出Co₃O₄/Fe₂O₃/PANI复合材料,并研究了材料的电磁波吸收性能。采用X-射线衍射(XRD)、红外光谱(FT-IR)、扫描电镜(SEM)、透射电镜(TEM)和矢量网络分析仪(VNA)对复合材料的化学组成、形貌、结构和电磁参数进行测试表征。结果表明:相比于单独的Co₃O₄/Fe₂O₃材料,与PANI结合得到的Co₃O₄/Fe₂O₃/PANI复合材料的电磁性能得到了显著的增强,并且当Co₃O₄/Fe₂O₃的含量为10 wt%时,Co₃O₄/Fe₂O₃/PANI的电磁波吸收性能最好,当匹配厚度为4 mm时,在7.28 GHz达到最大反射损耗为-37.39 dB,反射损耗小于-10 dB的频宽为2.48 GHz(5.92 GHz~8.40 GHz)。

D01-P21

一种中空的NiCoMoS₂纳米箱修饰的电化学无酶葡萄糖传感器研究

陈丁龙, 刘一然, 徐艳艳, 次立杰, 李中秋, 张绍岩

石家庄学院

本文中,我们建立了一种基于中空的四元硫化钼钴镍(NiCoMoS₂)纳米箱的低耗和灵敏的电化学无酶葡萄糖传感器。首先应用金属骨架策略在溶剂热的条件下合成了中空结构的Ni和Co掺杂的MoS₂纳米箱材料。用X射线衍射、扫描电子显微镜和透射电子显微镜对合成的中空材料进行了表征。评估了NiCoMoS₂对葡萄糖氧化的电化学催化性能。由于中空的NiCoMoS₂中Ni、Co和Mo物种尤其是Mo的多价态协同效应和高的比表面积,纳米材料对葡萄糖的氧化表现出了很好的性能。据此建立了一个在0.1 M NaOH电解质和检测电位0.5 V条件下检测葡萄糖的简单和选择性的传感平台。传感器对葡萄糖的测定有一个从0.002到1 mM的宽线性范围,检测限为1 μM。传感器对血清样品中葡萄糖的测定结果与当地医院的相比较,结果令人满意。

D01-P22

具有核壳结构的Co@碳气凝胶复合材料的设计制备及其高效吸波性能研究

程金波^{1,2,3}, 赵海波^{1,2}, 王玉忠^{1,2,3}

1.四川大学

2.环保型高分子材料国家地方联合工程实验室

3.高分子材料工程国家重点实验室

微波吸收材料由于在电磁屏蔽和减少军用雷达截面等方面的潜在应用而受到广泛关注。目前,如何制备获得高效吸波材料,满足理想吸波材料“薄、轻、宽、强”的要求,已成为吸波领域研究热点。本文通过绿色简便的方法,使用生物质海藻酸

盐气凝胶作为先驱体,设计制备了具有核-壳结构的新型 Co@碳气凝胶复合材料,该材料在低添加量和低厚度下即表现出强吸波性能。在所制得的复合材料中,大量直径为 5-20nm 的结晶 Co 纳米颗粒 (~41.5wt%) 包覆在结晶碳层外面并且均匀嵌入在多孔碳气凝胶基材中。由于 Co@结晶碳的核-壳结构,复合材料的热氧稳定性显著提高。同时由于复合材料特殊的结构构成,Co@碳气凝胶复合材料表现出优异的吸波性能。当这种复合材料在石蜡中的添加量为 10wt%,厚度为 1.5mm 时,最大反射损耗达到了 -43dB。这种在低添加量和超薄厚度下表现出优异微波吸收性能的气凝胶复合材料在微波吸收领域具有很大的应用前景。

D01-P23

碳布上生长金属相、超亲水的 NiCoSe₂ 纳米片作为高效全分解水电催化剂

于静,王君

哈尔滨工程大学 材料科学与化学工程学院

过渡金属硒化物具有高的电子导电性,是一种潜在的高效电催化剂,然而它们的电催化性能仍然难以媲美贵金属基材料。这里,我们在碳布上构筑了本征金属相的 NiCoSe₂ 三元硒化物,其具有卷曲的纳米片配置并形成高度开放的结构,能为电催化过程提供充足的活性位点。再者,这种独特的形貌赋予 NiCoSe₂ 超亲水特性,使催化剂能与电解液密切接触进而促进电催化过程。DFT 计算结果显示 Ni 和 Co 元素对双金属硒化物的电子结构产生联合贡献,有利于材料导电性的提升。双金属 NiCoSe₂ 电催化剂展现出优异的析氢和析氧活性以及良好的稳定性。当构筑在同一个碱性电解池中时, NiCoSe₂ 同样表现出出色的全分解水活性。

D01-P24

氟化铝包覆多孔碳材料的制备及其电化学性能研究

张亚光,袁国龙,谢淑红

湘潭大学

本文以具有丰富孔结构的 MOF-5 材料为造孔剂,以葡萄糖为碳源,选用具有极性功能的氟化铝 (AlF₃) 为包覆材料,采用水热合成法、高温炭化、熔融法和化学原位生长法,成功制备出了氟化铝包覆的多孔碳/硫复合材料 (AlF₃@MPC/S),将其作为锂硫电池的正极材料。BET、SEM 和 TEM 等测试结果表明,多孔碳材料 (MPC) 具有比表面积大、孔径丰富的优点,并且小尺寸硫在材料当中分散均匀,包覆效果较好。电化学测试结果表明,在 0.5 C 电流密度下充放电, AlF₃@MPC/S 复合材料的首次的放电比容量最高达到 1100 mAh/g,循环 400 次后的比容量为 612 mAh/g,库伦效率始终保持在 90%以上;在 1 C 倍率下充放电,循环 800 次后的比容量为 500 mAh/g,库伦效率在 89%左右,说明 AlF₃@MPC/S 材料具有良好的循环性能。初步吸附实验结果表明, AlF₃ 和 MPC 对多硫化物具有较强的吸附作用。

D01-P25

FeSiAl 合金低频吸波材料

许志远,李维,刘时通,马国庆,官建国

武汉理工大学

低频磁导率难以提升是目前低频吸波材料面临的一个困境。我们在此报道一种扁片状 FeSiAl 合金粉具有优异的低频性能,研究了它的扁平化程度对其电磁性能和吸波性能的影响。结果表明:我们获得的宽厚比为 40 的 FeSiAl 合金粉与聚合物质量比为 8:1 时,它的磁共振频率位于 2.96GHz,复磁导率虚部达到 5.64;当材料厚度为 1mm 时,在 2.5GHz 达到 -7.7dB 的吸收,1.7GHz-3.95GHz 能实现 -5dB 以下吸收,表现出良好的低频电磁波吸收性能。

D01-P26

磁电耦合的双带人工光学非线性超材料的研究

王陈,文永正,周济

清华大学材料学院

近年来,非线性光学材料的研究和应用均已取得了巨大的进步,可是由于缺乏对自然光学非线性物理本质的准确认识,导致对材料非线性性质的按需设计和精确调控存在很大的难度。非线性超材料的出现使得人工调控非线性性质成为可能,它已经在倍频和参量放大等光学信息处理领域展现出巨大的运用潜力,但是目前报道的大多数非线性超材料都是基于自然材料的非线性,且它们通常只具有单频响应的特征,这极大地限制了其发展的空间。针对这一问题,本文提出了一种基于磁电耦

合机制的双频带全人工光学非线性超材料。利用开口环和嵌入其中的矩形结构组成超原子，其非线性响应机理为：入射电磁波与开口环发生谐振，引起环内局域磁场增强，在矩形结构内产生了一个明显的磁场力，驱动自由电子做非谐振动，表现出非线性电磁响应行为，产生二次谐波效应。通过将两个尺寸不同的超原子按特定方式组合，便可获得具有双带非线性响应的超分子结构。采用有限元模拟的方法，对所设计的双带非线性超分子进行仿真验证。相关结果表明，同一个超分子在两个不同频率的远红外光照射下，均产生了明显的二次谐波，证明所设计的超分子产生了双带光学非线性响应。这种具有双带光学非线性特征的人工超分子具有超高的设计自由度，有潜力进一步拓展为多带和宽带非线性超材料，在拓宽激光频带、光通信和光计算等复杂光学信息处理领域具有极大的研究价值和应用前景。

D01-P27

BCN: 2D Hybrids with Tunable Band Gaps for Microwave Absorbing

Zengyong Chu*, Yue Kang, Zhenghua Jiang, Yinlong Tan and Jia Song

College of Science, National University of Defense Technology, CHINA

Here we report our original and systematic findings on the built of hexagonal boron carbon nitride (h-BCN). h-BCN is an excellent semiconductor material with wide adjustable band gaps, high fluorescence intensity and tunable dielectric constant. Its band gap can be changing from zero (graphene) to 6.0eV (h-BN) with the variation of composition and microstructures. In general h-BCN can be built in three forms, namely, single crystal forms, single-layer doping forms, or layer-by-layer assembly forms. We have tried different fabrication methods and found that their microwave absorbing properties and photoluminescence (PL) properties were much enhanced through proper hybridization. An ultra-light microwave absorber was obtained with the best microwave absorbing properties.

A kind of graphene/BN “sandwich” -like alternative BCN hybrid material was obtained from GO using ammonia boron as the organizing reagent. The content of h-BN can be increased with increasing the weight fraction of ammonia boron. At the same time, the band gap was widened, the dielectric constant was decreased and the impedance was increased. When the ratio of GO:AB is 1:1, the absorbing ability of the product is preferable for microwave in the range of 6-18 GHz. A minimum value of -40.5 dB was observed at 15.28 GHz with a thickness of 1.6 mm.

We also demonstrates the conversion of GO into BCN hybrid nanosheets by reaction with boric acid and urea, during which boron and nitrogen atoms are incorporated into the graphene atomic sheets. The content of h-BN in the BCN nanosheets can also be tuned by further heat-treatment in an ammonia environment. The electromagnetic parameters suggest that these samples can be used as good microwave absorbing materials at G band (5.6 - 8.2 GHz) and X band (8.2 - 12.4 GHz). This study provides a simple route to BCN hybrid nanosheets with tunable band gap and adjustable conductivity for microwave absorbing applications.

D01-P28

双面微纳颗粒 VO₂(M)薄膜智能窗性能研究

张伟岩 1, 豆书亮 2, 李焱 2*

1.化学与化工学院, 哈尔滨工业大学, 哈尔滨市, 黑龙江省

2.复合材料与结构研究所, 哈尔滨工业大学, 哈尔滨市, 黑龙江省

基于无机溶胶法制备双面微纳颗粒 VO₂(M)薄膜, 优化薄膜厚度、热处理温度和保温时间, 获得双面微纳颗粒 VO₂(M)薄膜, 利用 VO₂(M)微纳颗粒相变后在近红外区域的表面等离子体共振吸收效应, 减少其相变后靠近太阳辐射最大波长处的近红外波段透过值; 通过双面微纳颗粒 VO₂(M)薄膜常温下的双重增透效果和高温下的双重表面等离子体共振吸收, 实现可见透过比大于 68%, 热调控能力达到 11.7%。

仅发表论文

D01-PO-01

Ca₂Si 薄膜的制备及其热电性能研究

论文题目

温翠莲, 余新江, 谢秋罕, 张致远, 熊锐

福州大学

碱土金属硅化物 Ca_2Si 材料, 其直接带隙约为 0.31eV , 是由资源寿命极长的 Ca 、 Si 元素组成, 能循环利用, 对地球无污染, 且由于钙硅化合物 Ca_2Si 与现有的硅基技术有着优良的兼容性, 被认为是很有前景的新型环境友好半导体材料, 在太阳能电池以及热电转化等领域具有潜在的应用前景。本研究采用高真空加热生长法在 Si 基板表面生长 Mg_2Si 薄膜, 并将生成的 Mg_2Si 薄膜放在 Ca 蒸汽中生长以获得 Ca_2Si 薄膜, 研究 Mg 、 Ca 蒸汽压、温度和时间等因素对 Ca_2Si 薄膜的晶体结构、表面形貌的影响, 并对其热电性能进行测试分析。结果表明: 采用真空加热法可获得连续的晶粒度良好的正交结构单相 Ca_2Si 薄膜, TEM 分析表明 Ca_2Si 晶粒良好, 并显示 Ca_2Si 由边界光滑的尺寸约为 16nm 尺寸的颗粒组成。同时在 350K - 650K 的中温段, Ca_2Si 薄膜的 Seebeck 系数大于 $350\mu\text{V/K}$, 且其 Seebeck 系数为正数, 证明了 Ca_2Si 主要是以空穴传导为主, 为 P 型半导体。

D01-PO-02

SiO_2 光子晶体结构色薄膜的制备与性能研究

杜宏艳

山东大学千佛山校区

采用改进的 stober 法制备单分散的亚微米级的二氧化硅微球, 并采用垂直沉积自组合法在玻璃基片上制备光子晶体结构色薄膜。研究了在不同的反应条件下得到不同粒径的二氧化硅微球。结果表明, 影响光子带隙中心波长的主要因素是二氧化硅微球的粒径, 随着微球粒径的增加, 光子带隙所对应的中心波长发生红移; 另一个主要因素为改变观察角度, 光子晶体的带隙性能遵循布拉格衍射定律, 当改变入射光与薄膜之间的角度时, 光子带隙位置也随之改变。通过改变微球粒径和观察角度, 从而改变光子带隙位置, 进而得到不同颜色的结构色薄膜。

D01-PO-03

银纳米线/环氧树脂复合材料的介电性能研究

信家豪¹, 孙凯¹, 董建楠¹, 冯帅¹, 江倩¹, 王忠阳², 范国华², 曲云鹏², 谢培涛², 张伦嘉¹, 李晓峰¹, 范润华¹

1.上海海事大学

2.山东大学

具有高介电常数的介电复合材料在电容器、介电电压控制等领域得到了越来越多的关注。本文采用多元醇还原法制备出形貌均匀的银纳米线, 成功抑制银纳米线的侧向生长, 形成高长径比的银纳米线。运用溶液混合浇注成型的方法制备了不同 Ag 填充含量的 Ag/exoxy 复合材料, 采用热场扫描电子显微镜(SEM)和透射电子显微镜(TEM)表征了复合材料的微观结构和形貌, 采用 X 射线衍射分析(XRD)表征了材料的物相组成, 探究了 Ag/exoxy 复合材料的低频介电行为。结果表明, 随着填料含量的增加, 复合材料的介电常数增大, 并在逾渗阈值附近, 介电常数急剧增加。本工作对拓展高介电低损耗的复合材料的下一步应用具有帮助。

D01-PO-04

铁硅基软磁复合材料的制备与性能调控

冯帅, 董剑楠, 信家豪, 江倩, 安燕, 范润华

上海海事大学

近年来, 软磁复合材料(SMCs)作为一种新型功能材料在高频电机及电子元器件等领域正获得广泛的关注。本文以正硅酸乙酯(TEOS)为硅源, 聚乙烯吡咯烷酮(PVP)作为硅烷偶联剂, 通过溶胶-凝胶法获得了具有核壳结构的 $\text{Fe}@\text{SiO}_2$ 粒子; 压制成型后, 对该复合材料进行表面退火热处理, 成功制备出了具有高频低损耗特性的软磁复合材料(SMCs)。过程中通过氨水($\text{NH}_3\cdot\text{H}_2\text{O}$)调节液相 pH 值控制 SiO_2 壳层的厚度, 并通过改变退火温度探究不同退火温度对材料高频磁性能的影响。利用 XRD, SEM, TEM, FTIR 等对复合材料的组分结构及微观形貌进行表征; 通过 VSM, 四探针阻抗分析仪, 数字电桥等对材料的直流磁导率, 阻抗, 及在高频条件下质量因数, 功率损耗等进行分析。结果表明: 随着包覆层厚度的增加, 材料的磁性能呈现出先提升后下降的趋势; 且退火温度为 600°C 时, 材料具有最佳的高频磁性能。

D01-PO-05

直流磁控溅射制备氮化钛薄膜及其成膜机制和光学性能研究

董剑楠¹, 江倩¹, 冯帅¹, 信家豪¹, 王忠阳², 谢培涛², 范国华², 屈云鹏², 孙凯¹, 安丽琼¹, 范润华¹

1.上海海事大学

2.山东大学

以直流反应磁控溅射法为制备手段,氩气(99.99%)和氮气(99.99%)分别为溅射气体和反应气体,溅射钛靶材(99.99%)在石英片和硅片上同时沉积制备了氮化钛薄膜,并研究了氮气流量和基底温度对氮化钛薄膜成膜过程以及光学性能的影响。用X射线衍射(XRD)分析手段对样品进行了物相分析;用原子力显微镜(AFM)对样品进行了形貌分析,并利用划痕法得到了薄膜厚度;用傅里叶红外光谱仪和紫外-可见分光光度计测试了样品的光学性能。实验结果表明:薄膜表面平整、均匀,晶粒排列较为致密,空位和表面缺陷较少。随着氮气流量的增加,薄膜的透过率有所升高;此外薄膜厚度也由上百纳米降至五十纳米再升至上百纳米,主要是由于氮原子与钛原子在溅射过程中,任何一种原子含量过高时溅射反应无法完全。随着基底温度的升高,薄膜的透过率和近红外反射率都有所提高。通过分析薄膜结构以及光学性能,所制备的氮化钛薄膜具有一定的光谱选择性吸收能力(可见-近红外光区透过率小于20%),这对于研究光热转换领域具有较为重要的积极意义。

D01-PO-06

Co NPs/Ni-MOF 纳米复合材料的合成、调控及其微波吸收性能

魏伟,张韩,陆婉利,王海成

北京科技大学 国家材料服役安全科学中心

电磁波吸收材料在国防军事和民用方面均有着重要应用^[1-3]。一般来讲,电磁波的损耗主要来自于吸波剂对电磁波的导电损耗、介电损耗和磁损耗等^[4-5]。传统的吸波材料,如铁氧体等虽然具有一定的吸波性能,但却存在着密度大、吸收频带窄等问题。因此,轻质、高效的吸波材料已成为近年来研究者的研究重点。

本文首先采用液相还原法制备了金属Co磁性纳米颗粒,进而制备出了Co NPs/金属有机框架化合物(Ni-MOFs)纳米复合材料。电磁性能测试表明,Co/Ni-MOFs展现出了良好的电磁波吸收性能,最小反射损耗值(RL)在厚度为2.5 mm,11.82GHz处可达到-31.46dB,有效带宽为4.46 GHz(13.54 GHz~18.00 GHz)。对其损耗机制分析,我们认为,Co/Ni-MOF纳米复合材料同时具有对电磁波的介电损耗和磁损耗双重损耗机制。其中,介电损耗主要机制为偶极子取向极化和界面极化;在1~6 GHz材料的自然铁磁共振损耗是磁损耗的主要部分;在频率6~18 GHz,磁损耗包括涡流损耗及交换共振损耗,其中涡流损耗占主导地位。Metal NPs/MOFs纳米复合材料有望成为轻质、高效的新型电磁波吸收材料。

D01-PO-07

基于BST铁电薄膜的电可调SPP传输结构的设计与研究

姜菁,马华,陈红雅,王甲富,董博文,冯明德,屈绍波

空军工程大学

论文提出了一种基于BST铁电薄膜的电可调SPP传输结构的设计方案。通过设计锯齿状金属条带结构,可以在微波频段将电磁场能量限制在亚波长区域,实现人工表面等离子体波的高效传输。钛酸锶钡(BST)薄膜具有高的介电调谐量,快的开关速度以及相对低的介质损耗。在钛酸锶钡薄膜上设计制备SPP传输结构,通过加载直流偏压,改变钛酸锶钡薄膜介电常数,影响人工表面等离子体波的传输。本文通过周期性设计不同尺寸的H型结构,在相邻H型结构缝隙间引入叉指电容,通过仿真计算得到SPP传输截止频率会随着BST薄膜介电常数的改变而发生频移。相关研究为电可调SPP传输提供了一种新的思路。

D01-PO-08

钛酸铜钙/聚苯乙烯复合材料的微波介电性能研究

刘晓,高玉山,马宇鑫,何玥仪,钟君,成雪晴

山东大学材料科学与工程学院

CaCu₃Ti₄O₁₂(CCTO)可作为高介电常数的电介质材料,但其存在柔韧性差、耗能大以及制备工艺繁琐等问题,限制了其广泛应用。为此本文采用高能球磨加模具热压工艺制备了CCTO含量不同的聚苯乙烯(PS)/CCTO复合材料,获得了具有高介电常数的功能复合材料。扫描电子显微镜(SEM)和X射线衍射分析(XRD)用于表征材料的微观形貌和化学组成。本文研究了PS/CCTO复合材料的电学和介电性能。结果表明,CCTO含量增加时,PS/CCTO复合材料介电常数实部增加,这归因于CCTO颗粒与聚苯乙烯基体之间的界面增加。在逾渗阈值附近,介电常数实部出现大幅度增加。交流电导率随着CCTO的增加而增加,还随着频率的增加而增加。交流电导率的频散符合幂次规律,表明了复合材料中自由电子的跳跃传导行为。复合材料的电抗在整个频率范围内为负值,表示材料具有电容性。

D01-PO-09

基于全电介质超表面的偏振复用全息成像技术

董国艳, 李振飞, 乔鹏武
中国科学院大学

偏振复用相位全息图对入射光的偏振态非常敏感,可以在不同偏振态的出射光中得到不同的全息图像,该技术在光信息领域中具有广泛的应用,如光存储,光学加密,多级光交换和光互连网络,等。本文中,我们利用全电介质超表面的空间多路复用设计,通过偏振态分离重建同轴双图像,利用经典的 Gerchberg-Saxton 算法提取目标图像中的离散相位分布,将其编码在每个像素的子单元中,并从理论上和实验上验证了这种偏振复用相位全息成像技术的有效性。该技术能够支持约 100nm 带宽的宽带光谱响应,硅纳米块被用作基本单位单元以压印所需的相位图,并保证不同偏振极化方向之间串扰最小。所设计的超表面全息图由两组具有正交偏振响应的全息图案按一定序列组合而成,用于重建不同的全息图像。该技术传输效率高,可以获得高对比度和高分辨率的全息图像。偏振复用相位全息成像技术为未来的光功能器件的设计和发展开辟了道路。

D01-PO-10

镍沉积碳化硅微米颗粒制备及微波吸收性能

杨会静, 王莉, 王庆禄
唐山师范学院

本文以镍沉积碳化硅微米颗粒制备及微波吸收性能进行研究,采用化学沉积的方法制备了镍沉积碳化硅微米颗粒,发现镍沉积碳化硅微米颗粒的介电性能比单一的碳化硅微米颗粒明显增强,其主要原因在于界面极化和金属镍壳引起的电导损耗,并且对它的微波吸收性能进行了研究。

D01-PO-11

Cu/SiO₂ 复合材料的微观结构设计及电磁性能调控

姜雨良, 付雪雁, 解培涛, 杜宏艳, 张子栋
山东大学

本文以正硅酸乙酯 (TEOS) 为硅源,采用 Stöber 法利用超重力场自组装方法制备了具有周期有序性结构的 SiO₂ 基体,通过浸渍-煅烧-还原工艺在二氧化硅基体中负载金属相得到了 Cu/SiO₂ 复合材料,并利用 SEM、阻抗分析仪对其微观形貌和电磁性质进行了表征。结果显示利用 SiO₂ 微球自组装所形成的周期性结构及控制浸渍-煅烧过程可以有效改变其功能相的形貌,从而实现复合材料介电性能的调控。

D01-PO-12

与磁性吸波材料复合的 FSS 的设计

付雪雁, 姜雨良, 杜宏艳, 张子栋
山东大学

随着军事和科技的发展,隐身技术发展迅速。吸波材料作为其中一种重要的手段,也成为了研究的热点。为了提高雷达吸波材料在宽频段的吸波效果,并在保证吸波效果的前提下限制其厚度,频率选择表面成为了吸波材料领域令人瞩目的研究方向,而且与磁性吸波材料复合,可以有效提高雷达吸波材料的吸波性能。因此,本文主要设计了一种频率选择表面 (frequency selective surfaces, FSSs) 与磁性吸波材料钽铁氧体复合,研究其在不同厚度、尺寸、排列方式下的吸波情况。利用 CST 软件进行电磁仿真设计,改变条件观察吸波情况,此结构整体厚度小于 1 mm,在某些频段有强烈吸收峰。为了进一步研究该 FSS 对磁性吸波材料的影响,在上述基础上探讨研究再复合一层圆环 FSS,改变其排列方式,观察复合结构吸波性能。

D01-PO-13

用于 ETC 系统的羰基铁粉吸波材料设计

张传坤, 马亚楠, 张雄, 李伟, 黄海铭, 罗时军
湖北汽车工业学院理学院, 湖北 十堰 442002

羰基铁粉具有高微波磁导率、良好的热稳定性和成熟的工业化生产技术等优点,被广泛应用于微波吸收材料。采用搅拌式球磨机对原料羰基铁粉进行研磨处理,研究了不同球料比对羰基铁粉复合材料在 2~18 GHz 范围内电磁性能的影响。为了设计用于工作频率为 5.8 GHz 的不停车电子收费系统 (ETC) 的吸波材料,基于传输线理论和所得样品电磁参数,探讨了不同角度斜入射条件下单层材料的反射率特性;结合遗传算法,进一步优化了多层材料在特定频率的反射率特性。研究结果

表明经过合适研磨处理的羰基铁粉可以满足 ETC 吸波材料的应用需求,其中球料比 10:1 获得的单层样品层厚为 2 mm 时 5.8 GHz 处的反射率为-38 dB, TE 极化波和 TM 极化波在不同角度斜入射条件下,反射率在 0~45° 范围内均小于-15 dB,表现出宽角度斜入射特性。

关键词: 羰基铁粉, 吸波材料, 电磁参数, 反射率, 斜入射

D01-PO-14

入射光角度对一维光子晶体薄膜反射率的增强效应

邓鹏, 罗巍, 潘娟娟, 马会茹, 官建国*

武汉理工大学, 材料复合新技术国家重点实验室

响应性光子晶体凝胶膜在受到外部刺激时,其衍射峰在可见光谱范围内能相应地移动,因此可作为一种无能耗、可视化的比色传感器。相较于传统的反蛋白石结构和二维胶体阵列结构等其他类型光子晶体膜,基于一维磁响应性光子晶体的凝胶膜具有制备周期短、方法简单以及可大规模制备等优点。但是为了保证其拥有较强的反射率,通常需要近百微米的厚度。这就导致了被检测物质扩散距离的增长从而制约了凝胶膜的响应速率。本研究发现,随着一维光子晶体膜厚度降低,虽然在垂直方向测量的反射率强度降低了,但是随着入射光偏离竖直方向角度的增加,膜的反射强度呈先升高后降低的趋势,在 30° 时达到最大值,约为垂直状态下的 2~3 倍。这是因为倾斜入射光角度可以增加光子链的有效反射面积。而倾斜角度进一步增加时,入射光光通量也随之显著下降,最终使得膜的反射率呈现先增后减的趋势。基于这种现象,可以在不降低反射率的同时降低膜厚,提升响应速率。

D01-PO-15

耐大功率超材料结构设计

王储¹, 李肃成², 周添², 邵继政², 宋荟荟³, 商院芳², 周玉辉^{*3}

1.深圳光启超材料技术有限公司, 广东省深圳市 518000

2.深圳光启尖端技术有限责任公司, 广东省深圳市 518000

3.深圳光启高等理工研究院, 广东省深圳市 518000

本文研究了在保证电磁、结构强度性能的同时,如何降低大功率电磁波所引起的器件升温 and 电磁损伤,从而提升超材料的耐大功率特性。利用有限元方法模拟计算实现 X 波段(8-12GHz)透波的频选超材料微结构设计,在 10GHz 频点处,超材料稳态时温度达 160℃ 以上,对树脂材料有一定的破坏作用。通过分析超材料微结构中电流和电场分布,并对超材料微结构尺寸进行优化设计,实现超材料稳态温度降低至 132℃。这对耐大功率树脂基超材料的结构设计具有指导作用。

关键词: 大功率微波, 频率选择表面, 多物理场耦合