



视觉中国供图

光学超材料就是利用波长与光的波长相近或更短的人造结构来调控光的行为,包括光的强度、偏振态和相位等。光学超材料依然遵循物理规律,只是在研究视角和研究尺度上和传统的光学材料有所不同,需要在微米、纳米等亚波长尺度下设计和调控材料的电磁学性质。

让镜头更轻薄、信号不受扰、颜色更高级…… 光学超材料的本领不只有隐形

走近超材料④

◎实习记者 沈唯

光学超材料是由亚波长结构单元或具有特异电磁特性的超原子组成的人工微纳结构材料。通过人工改变构成材料的结构单元,可使光学超材料表现出一些新奇的光学性质。例如,特殊的微纳结构让光学超材料能够通过特定的方式对光的传输进行调控,从而达到隐形效果。

什么是光学超材料?光学超材料未来还有哪些改变人们生活的应用场景?日前,华中科技大学光学与电子信息学院教授杨振宇、张诚和副教授缪灵接受了科技日报记者专访,揭开了光学超材料的“神秘面纱”。

通过改变材料结构来调控光的行为

一块透明的玻璃,通过改变成分可以让它的透光率和颜色发生变化。而除了调节成分以外,还可以通过在这块玻璃表面刻上像窗纱一样的具有周期性的亚波长格子图案,来使直射在它表面的光发生偏转或者反射,甚至让它产生透镜的效果。“通过改变材料结构让自然材料变成一种人工材料,产生它原本没有的特性,这就体现了光学超材料中‘超’的特点。”缪灵说。

从专业角度来讲,光学超材料就是利用波长与光的波长相近或更短的人造结构来调控光的行为,包括光的强度、偏振态和相位等。光学超材料依然遵循物理规律,只是在研究视角和研究尺度上和传统的光学材料有所不同,需要在微米、纳米等亚波长尺度下设计和调控材料的电磁学性质。

“大致上光学超材料的研究主要集中在设计和加工制备这两个方向。”杨振宇介绍,在光学超材料的设计上,现在既有基于麦克斯韦方程组或者声学、热学、力学中对应的传统设计方法,也有将深度学习、人工智能引入超材料设计的新方法。

在制备技术层面,则可以根据维度的不同将光学超材料分为二维超材料和三维超材料。二维超材料以光学超表面为代表,可以在很薄的一层亚波长结构上实现对入射光的调控。相比三维的体超材料,光学超表面具有一定的加工优势,可以完全兼容平面化的传统半导体

微加工方式,因此成为主流的研究方向。而三维的光学超材料则主要利用自组装、多层纳米结构、激光3D打印等技术来制备。

光学超材料应用领域十分广阔

光学超材料可用于光学器件及光学传感器制造,例如光学超透镜就是利用光学超表面设计加工出来的一种具有透镜功能的器件,可用其来构建小巧、紧凑、高质量的成像系统。此外,利用光学超材料及超表面技术,有望研制高性能、多功能和集成化的光学器件,打破传统光学技术的限制,在紫外、深紫外,甚至真空紫外波段应用。

在能源和环境领域,越来越多的科研团队正想方设法地在太阳能电池板的表面甚至是内部结构中,利用光学超材料来提升太阳能电池板的光电转换效率。

光学超材料的另一个研究方向是结构色,也称物理色。张诚介绍,像大自然中孔雀的羽毛还有蝴蝶的翅膀,它们看起来很漂亮的颜色并不是因为里面含有某些化学物质或者染料,而是因为它们的微观结构导致其与入射的太阳光发生了相互作用。“基于此,我们可以去设计各种人工微观结构,做出我们想要的颜色。”他说。结构色是依靠结构本身产生的颜色,其不依赖化学物质,具有良好的持久性和稳定性,应用在彩色打印和照片冲洗上,可以达到在日照下不褪色的效果。“结构色还可以用于制作口红或者汽车喷漆,不仅无毒无害,而且合成出来的颜色在视觉效果上往往也更高级。”张诚说。

在通信领域,光学超材料已有非常成熟的应用。光子晶体光纤从本质上讲也是一种光学超材料,要通过人为的制备和加工才能够形成这样的微结构光纤。杨振宇表示,学术界对光子晶体光纤的研究已经有十几年的历史,这种光纤在很多光学应用场合都占据一席之地。

智能超表面则是光学超材料领域的一项新的“黑科技”。作为一种基础性创新技术,智能超表面具有低成本、低能耗、可编程、易部署等突出优点,对6G通信技术发展有重要作用。“当我们通过提高电磁波的载波频率来提高信息容量的同时,电磁波的定向性也会随之加强,就像家里的Wi-Fi信号从覆盖整个屋子变成了只有固定的几个方向信号强。而智能超表面可以通过设计信号覆盖的局域位置,让每个角落都有信号。”缪

灵表示,除了在家环境中,智能超表面还可以在楼宇间布置,减少高楼大厦对信号尤其是高频段信号的遮挡效应。

2021年,华中科技大学武汉光电国家研究中心陶光明教授团队与浙江大学马耀光教授团队、中国纺织科学研究院有限公司等多家单位开展交叉学科联合创新,基于形态学分级设计研发出无源降温光学超材料织物。该织物实现了太阳辐射波段92.4%的反射率以及中红外波段94.5%的发射率。其降温效果好,可穿戴性能高,应用前景广阔,入选应用研究类“2021中国光学十大进展”。

走向产业化充满机遇和挑战

从实验室走向产业化、市场化的过程往往充满困难和挑战,光学超材料也不例外。“任何技术或者理论要想推向市场并获得广泛应用,都建立在制备工艺可实现规模化生产的基础上,但目前仅二维的光学超表面的制备难度就已经非常高了。”杨振宇表示,光学超表面的微结构特征尺度大都在几十纳米到百纳米的亚光学波长量级,要想实现大面积的微结构加工,就需要克服高成本、长制备周期等问题。

“光学超材料的应用并不是孤立的,不仅要考虑超材料本身的设计制备,还要考虑在与其他已有器件集成的过程中如何更好地结合。此外我们还希望做出来的光学超材料具有可控性、稳定性,这些都是今后研究的重点和难点。”杨振宇说。

缪灵认为,找到一个好的应用场景,是让光学超材料从科研走向应用的关键所在。尽管距离“隐身衣”的实现还很遥远,但光学超材料对人们生活方方面面的改变,依然值得期待。“比如电磁超表面可以和智慧道路结合起来。现在的汽车越来越智能化,通过毫米波雷达可以和智慧道路不断进行交互。电磁超表面的应用可以让汽车的雷达信号源与道路交互的时候信号互不干扰,并一直保持强信息交互。”他介绍。

光学超表面的应用还有望替代传统的光学镜头,实现平面化、多模式的成像方式,在成像效果不变甚至更强大的前提下让手机、相机的镜头变得更轻薄,提升便携性。“超材料还可以用于AR、VR设备,让显示效果更好,设备重量更轻,增强人们的体验感和佩戴舒适度。”张诚说。

寻材问料

新型真空绝热复合材料 能在极温环境下应用

◎本报记者 金凤 通讯员 韦玮

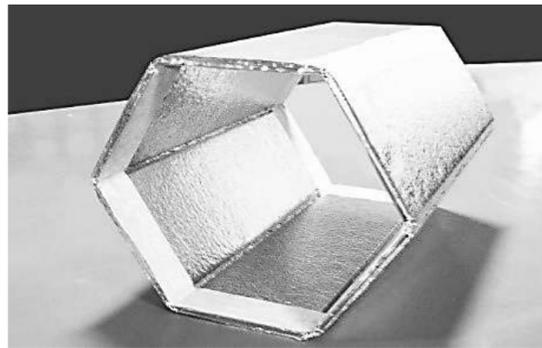
采用自主研发技术,开发出一种真空绝热复合材料,节能效果较传统保温材料提高10—20倍……近日,南京工业大学王泽鹏、韩保恒等同学在陈舟副教授、胡军峰副教授、姚山季教授等老师的指导下,凭借该项技术在第十三届“挑战杯”中国大学生创业计划竞赛全国决赛中斩获科技创新和未来产业组金奖。

该真空绝热复合材料主要由纳米级无机纤维芯材、超薄金属阻隔膜和气体吸附材料,通过真空熔焊一体化成型技术制备而成。其利用真空绝热原理,可有效避免气体对流传热引起的热对流。项目团队利用自主研发的高真空快速激光焊接装备,可对厚度仅为0.1毫米的超薄金属阻隔膜进行无漏焊接,实现真空绝热复合材料在-196℃—800℃极温领域的应用。

同时,为了降低真空绝热复合材料热传导性能,该项目团队采用高速离心—二次喷吹纳米纤维成型技术,开发出纳米级无机纤维芯材。“我们研发的纳米级无机纤维芯材属于玻璃纤维的一种,传统玻璃纤维直径大约7—9微米,我们量产的纤维直径仅为520纳米,可有效增加芯材孔隙率和比表面积,降低孔径。”项目团队负责人王泽鹏表示,纤维直径对导热性能影响较大,玻璃纤维芯材就像无数条搭接的高速公路,在单位时间和单位质量内,纤维直径越细,热能传导的“公里数”就越多,热传导的时间和路径也就越长,保温能力也就得到了提升。

“该复合材料常温导热系数仅为0.0012瓦每米开尔文,节能效果较传统保温材料提高10—20倍,在达到相同节能率标准情况下,厚度仅为现有传统保温材料的十分之一,综合成本仅为现有传统保温材料的60%—80%,节能效果显著。同时产品可实现绿色回收、循环利用。”项目团队成员韩保恒介绍。

据悉,该产品可用于医药冷链、钢铁石化等极低和极高温领域的保温绝热。目前,该项技术已在徐工集团、中集集团、国药集团等企业应用,参与了国有大型企业的节能改造工程。



图为团队开发的真空绝热复合材料。

受访者供图

3D多孔辐射制冷薄膜 可使冰融化速率降低4倍

◎本报记者 颜满斌

4月25日,科技日报记者从中国科学院兰州化学物理研究所获悉,该所清洁能源化学与材料实验室低碳能源材料组高祥虎研究员团队,通过热诱导相分离技术制备了一种具有3D多孔结构的介电/聚合物复合薄膜材料,实现了优异的辐射制冷效果。

在全球气候变暖和国家“双碳”目标背景下,研发清洁能源材料与节能降碳技术具有极为重要的战略意义。传统降温方法(如空调系统等)能源消耗大,导致温室气体排放显著提升,严重阻碍“双碳”目标的实现。辐射制冷是一种零能耗、零污染的制冷技术,该技术利用宽光谱选择性精准调控,通过有针对性地优化光学结构以满足多场景制冷需求,可实现可持续无源制冷目标。

近几年,越来越多的科研人员提出了辐射制冷的概念。辐射制冷的基本原理是:在密闭区域内,通过覆盖具有增强效应的光谱选择性材料,将该区域的热量以热辐射的形式释放到低温的外层宇宙空间,以达到自身降温的目的。因此辐射制冷材料就是将热辐射波长调制到大气窗口波段的光学材料。

“实现辐射制冷的关键点在于光学材料在可见光近红外波段(0.3—2.5微米)有更高的反射率和在中红外大气窗口(8—13微米)附近的波段有更高的发射率。”高祥虎说,就工作原理而言,辐射制冷与太阳能吸收完全相反。辐射制冷要求材料在太阳辐射波段具有较高的反射率,以及在大气窗口波段有较高的发射率。而太阳能吸收则要求材料在太阳辐射波段具有高吸收低反射特性。在研制过程中,就材料选择而言无法借鉴以往的经验。高祥虎表示,材料体系的选择是他们遇到的最大问题。

高祥虎介绍,他们研制的具有3D多孔结构的介电/聚合物复合薄膜材料内部具有随机分散的氧化铝粒子和分层无序的微纳孔隙,合理的层次结构和功能成分使其太阳辐射波段反射率为98.26%,大气窗口波段发射率为97.56%,有效提高了材料的光谱性能。在夏季日间太阳直射下,该材料可达到低于环境温度9.1℃的降温效果和87.2瓦/平方米的冷却功率。

此外,该材料在防冰融化的测试中展现出优异的降温效果。在760瓦/平方米的太阳辐照度下照射2个小时,用该材料遮盖的冰块状态没有明显变化,与自然状态相比,该方法能使冰融化速率降低4倍。同时,该材料还具有优异的机械性能和自清洁性能。经过30多天的紫外线照射,该材料仍保持优异的光学性能。

“我们课题组目前正在开发一类性能优异、环境友好、成本低廉且可大面积生产的辐射制冷薄膜材料,以促进该类材料在实际生活中的广泛应用。”高祥虎介绍,就目前而言,这类复合薄膜材料可用于冰川保护、大型石油储罐、大型电力设备、火力发电、建筑物制冷、光伏发电等诸多领域。

复合水凝胶敷料粘力超强,有益伤口愈合

◎本报记者 过国忠
通讯员 李佳敏 张青

4月25日,科技日报记者从江南大学获悉,该校纺织科学与工程学院邓炳耀教授团队在海洋贻贝超强黏附性的启发下,通过将季铵盐壳聚糖、多巴胺、槲皮素等成分有机结合在一起,构建了一种兼具黏附性、自愈合、抗菌、抗氧化等多种优异功能的复合水凝胶敷料,并验证了其作为伤口敷料的应用潜力。

相关研究成果近日在线发表于国际期刊《美国化学学会应用材料与界面》。

将多种成分有机结合在一起

该团队李大伟副研究员介绍,水凝胶是由天然聚合物或合成聚合物交联而成的具有三维网络结构的高分子材料,具有良好的柔韧性和生物相容性,其制作的敷料液体吸收性能好,能够为创面创造一个利于组织再生的湿润环境,能够有效防止瘢痕形成并促进伤口愈合;凝胶滑弹状态可有效避免伤口黏连造成的二次伤害,因此成为医用敷料的极佳

选择。

作为伤口敷料,水凝胶最初仅起到物理隔离保护和创造湿润环境的作用。然而,随着临床上对伤口修复的需求越来越多,单一功能的伤口敷料已经难以满足患者的期望和医疗材料的应用需求,这对水凝胶的性能也提出了更高的要求。多功能水凝胶敷料不光需要满足传统敷料的基本功能,还需要具备抗菌、抗氧化、自黏附等性能。

“槲皮素是一种对人类健康具有积极影响的天然生物活性材料,在我们日常生活中也经常碰到,它存在于洋葱、西兰花、葡萄、浆果、樱桃等各种水果和蔬菜中,且含量丰富。槲皮素已被证实具有卓越的抗氧化、抗炎和抗癌活性。”李大伟说。此外,槲皮素显示出优异的保护心脏和神经的能力以及良好的抗菌性能,本研究也证实了槲皮素在伤口治疗方面具有一定的潜力。

该团队成员、博士生王兰兰介绍,他们在尝试了多种天然抗菌材料和凝胶体系之后,受海洋生物贻贝在潮湿环境下超强黏附性的启发,将季铵盐壳聚糖、多巴胺、槲皮素等成分有机结合在一起,构建了一种兼具黏附性、自修复、抗氧化、抗菌等多种优异功能的复合水凝胶敷料。

邓炳耀团队受海洋生物

贻贝在潮湿环境下超强黏附性的启发,将季铵盐壳聚糖、多巴胺、槲皮素等成分有机结合在一起,构建了一种兼具黏附性、自修复、抗氧化、抗菌等多种优异功能的复合水凝胶敷料。

可黏附在不同材质的物体上

“我们系统地研究了多功能水凝胶的微观形态结构、力学性能、溶胀性能、黏附性能等,揭示了多巴胺浓度和槲皮素浓度与水凝胶的自修复性能、抗氧化、抗菌性能和溶胀性能之间的构效关系。”李大伟说。

值得一提的是,该水凝胶反应体系中存在多种类型的交联点,使得其拥有1800%的断裂伸长率;该水凝胶具有良好

的黏附性、皮肤顺应性及可清除性。将片状的水凝胶贴在手指关节处,任意弯曲手指,水凝胶敷料均能维持表面的平整,并保持良好的黏附性。

此外,该水凝胶能够牢固地贴附在皮肤表面,易于揭下,且揭下时在皮肤表面不会残留,表现出良好的可清除性。同时,其能够经受外力挤压、摩擦,适合用作各种位置的伤口敷料。

该水凝胶还能够黏附在不同材质的物体上,如橡胶、塑料、木材、聚四氟乙烯、玻璃、陶瓷、金属和骨骼等。该水凝胶中添加的槲皮素组分还赋予了材料抗菌、抗氧化以及优异的凝血效果,在创口敷料领域表现出极佳的适用性。

“因拥有高弹性和自黏附性,这款水凝胶不需要额外的纱布加固,直接粘在伤口位置就行,且不挑位置,哪里有伤口就贴在哪里。如果伤口较大,这个敷料能拉伸10多倍,多缠几圈固定得更牢固。它还具有很好的凝血效果,在应急救援、快速包扎止血等场景具有很强的实用性。”李大伟表示。

相关专家认为,该研究的最大意义在于,通过构建双网络互穿结构并结合槲皮素和聚多巴胺的特性,赋予了水凝胶材料自黏附、自修复、抗菌、凝血、抗氧化等特性,并且其价格低廉、容易量产,对于新型医用敷料的开发有着重要意义。