



市民在第二届中国(安徽)科技创新成果转化交易会上参观量子点显示器。 储玮玮/中新社/视觉中国

# 量子点材料有望成为我国长板产业

## 前沿材料观察①

◎本报记者 崔爽

日前,2023年诺贝尔化学奖花落“量子点”。美籍法国-突尼斯裔化学家蒙吉·G.巴文迪(Moungi G.Bawendi)、美国化学家路易斯·E.布鲁斯(Louis E.Brus)和俄罗斯物理学家阿列克谢·I.叶基莫夫(Alexei I. Ekimov)因“发现和合成量子点”获得2023年诺贝尔化学奖。量子点是一类微小颗粒,已经应用在多个领域。例如,电视屏幕和LED灯的光线传导都与量子点相关,它们可以催化化学反应,发出的光线也能为外科医生照亮肿瘤组织。

“我国在《前沿材料产业化重点发展指导目录(第一批)》中,就明确提出发展量子点材料,这是非常具有战略眼光的。”中国科学院半导体研究所研究员杨晓光对科技日报记者表示,“我国在量子点材料相关科研和产业方面,均处于国际领先水平,可将其打造为我国未来的长板产业。”

## 量子点也被称为“人工原子”

量子点材料是一种准零维的纳米材料,由少量的原子构成,具有高发光效率、高色纯度、高色域、可溶液加工等特点。量子点材料具体包括蓝色磷光材料、硅基量子点频梳激光器材料等,可应用于新一代信息技术等领域。

“量子点也称为半导体纳米晶,是少量原子组成的、三个维度尺寸通常是1—100纳米的零维纳米结构。”厦门大学材料学院教授解荣军表示,一个量子点具有少量的电子、空穴或电子-空穴对,量子点也被称为“人工原子”。在量子点材料中,胶体量子点材料是研究、应用最广泛的一类。胶体量子点材料通常采用化学合成方法制备,具体操作是将金属的有机或无机物溶液溶胶固化形成量子点,分散于溶剂中。

与诸多改变人类发展进程的重大发现一样,量子点也是被偶然发现的。阿列克谢·I.叶基莫夫于1980年在研究彩色玻璃时发现了纳米颗粒的尺寸依赖性,标志着量子点的发现;1983年,路易斯·E.布鲁斯在研究硫化镉胶

体溶液后提出了量子点光学性质的量子尺寸效应;蒙吉·G.巴文迪于1993年提出了具有划时代意义的“热注射法”,制备出了均匀、尺寸可调的高质量量子点,极大地推动了该研究领域的发展。三位科学家的突破性工作为量子点技术的发展铺平了道路,将其从实验室推向实际应用。“这些纳米级的粒子,因其独特的量子性质,为现代科技带来了广阔的发展前景。”解荣军说。

据杨晓光介绍,在半导体领域,1986年,日本东京大学的荒川教授(Arakawa)提出并预测了半导体材料结构从二维量子阱演变为零维量子点后材料性能的变化。此后,将量子点材料应用于光电器件,特别是激光器成为重要的技术发展趋势。一个典型例子是量子点激光器可以在200°C的高温下正常工作,远超传统半导体激光器的工作温度上限。

## 率先在高清显示行业应用落地

据解荣军介绍,量子点材料最具商业价值的应用是在高清显示领域,包括电视、电脑、平板电脑、手机等,具有万亿级市场规模。在精确控制下不同尺寸的量子点,在受到外来能量激发后,可发出对应波长的光,这是量子点材料用于显示应用的第一个关键优势。量子点材料的第二个关键优势是它们的发光光谱非常窄,使得其发光颜色异常纯净,使显示屏可以呈现更鲜艳、更真实的颜色。溶液可加工性是量子点材料的第三个关键优势,这意味着材料加工成本低且与多种化学溶剂有兼容性。

量子点材料问世之初,就有学者根据量子点独特的光电特性预测,其主要应用领域将首先集中在电子与光学方面。事实上,率先推动了量子点技术落地的领域,正是显示产业。2013年,日本索尼公司率先发布了量子点背光源的液晶电视,使液晶显示(LCD)再次具备与有机发光二极管(OLED)一较高下的实力。国内企业TCL在2016年推出搭载量子点背光的液晶电视,此后,量子点材料广泛应用于国内外中高端液晶电视、显示器、笔记本、平板电脑中。“量子点材料使得显示屏可以更柔性、像素更密、色域更宽。”杨晓光说。

“目前,商用的量子点背光源技术(QD-LCD)仍属于量子点显示应用的初级阶段。”解荣军说,其主要原因在于高质量的量子点材料通常需要复杂的工艺和原材料制

造,高昂的制造成本限制了大规模商业化应用的发展;一些量子点材料可能含有镉等有害元素,对环境和人类健康造成潜在威胁;直流电通过量子点薄膜会发生量子点充电,随着量子点带电,电流通过器件并维持量子点电致发光变得越来越困难等。

## 在多个领域展现出重要优势

量子点显示只是一道“开胃菜”。量子点材料并未止步于显示,生物成像、传感器、太阳能电池等都将成为它的应用落地场景。

“今天,量子点材料已成为纳米技术中不可或缺的部分,在生物化学、医学等领域,量子点材料都具有广泛的应用。”解荣军表示,量子点材料抗退化,亮度是有机染料的10—20倍,该特性可以使量子点荧光探针对细胞生命过程进行更长时间的跟踪;量子点材料具有化学惰性且具有较大的比表面积,保证了较高的载药能力,因此可以在生物系统中标记纳米载体,适用于治疗性药物输送;量子点材料还具有表面修饰的可行性,可以通过相互作用与肽、碳水化合物、DNA片段、病毒和天然产物进行生物偶联。这些应用不仅显示了量子点材料在生物医学研究中的潜力,也为我们提供了探索生命过程和疾病治疗的新途径。

杨晓光表示,目前我国在量子点材料研究及其产业应用方面,均处于国际先进水平。量子点材料很有希望成为我国在光电、信息、显示等领域的“强手棋”。

杨晓光说,目前我国数据中心加速建设,能耗成为关键卡点。高密度的光电器件在工作中产生大量的热,光电器件性能对温度又非常敏感,因此数据中心需要大量的能量进行光电器件的降温。据统计,温控能耗占了中心总能耗的四成左右。如果采用可高温工作的量子点激光器,数据中心的能耗将大幅降低。“高温场景只是量子点激光器的应用环境之一,其在高密度片上光电集成、高精度测量、光量子生成等领域中已展现出重要优势。”杨晓光说。

“诺贝尔奖的颁布带动了量子点材料的关注度,有望进一步推动其产业化发展,使其在更多领域发挥价值。”解荣军表示,正如诺贝尔奖颁奖介绍材料中所述:我们才刚刚开始探索量子点的潜力。

# 中山大学改进3D打印策略 让结构色材料在更多领域“出彩”

科技日报(记者龙跃梅)记者10月22日从中山大学获悉,中山大学材料科学与工程学院副教授郭双壮团队制备了具有光敏活性的可打印结构色墨水,结合实验室自建的高精度多材料直写打印系统,成功实现了多彩结构色的溶剂挥发墨水直写打印。相关研究成果发表在《微米尺度》。

结构色是区别于传统化学色的一种全新

的着色方式,其原理是由微观物理结构与自然光之间的相互作用(如散射、干涉、衍射等)产生颜色。结构色材料的色彩不依赖于其成分的化学特性,因此具有更宽的原材料选择范围,结构色材料的着色方式在稳定性、安全性、耐用性及环保性等方面均优于依靠染料与颜料的传统染色方式。3D打印技术的发展为结构色材料的

加工制造提供了全新的思路。然而,目前用于结构色材料的3D打印方法存在打印条件或设备要求严格、缺乏对加工精度的系统控制、打印缺陷多和可扩展性有限等诸多问题,限制了结构色材料的应用。

郭双壮团队的打印策略能在大范围内实现对打印分辨率的精准控制与复杂图案的高精度打印,并能够灵活地与多种

可打印功能材料体系集成。基于此,该团队创新性地将结构色材料集成至仿生机器人的制造中,在传统磁控柔性机器人表面打印结构色涂层,制备了一系列具有结构色外观及无束缚变形能力的多维度仿生蝴蝶,展现了这种结构色材料3D打印策略在仿生机器人及其他需要先进表面着色方式的系统中的应用前景。

# 新型聚合物破解水下设备加密防伪难题

◎本报记者 俞慧友

海洋经济的兴起,让越来越多的设备被用于海洋资源的开发和利用。但设备使用的防伪标签和信息加密材料,却常常难以抵御海水的侵蚀。日前,我国科研人员研究出了一种新型光开关荧光聚合物材料,有望解决这一问题并为设计制备复杂的光学信息加密防伪材料提供一种新思路。这一最新成果日前发表于《材料视野》上。

刺激响应聚合物材料是一种能对外界刺激手段进行响应的智能材料。在外界刺激下,它可改变自身的物理和化学性质。外界的“刺激源”主要包括光、温度、力、湿度、pH值、电等,其中,温度、力、湿度、pH值、电等为接触式刺激手段,均会

对材料造成不可避免的损伤。

在防伪标签和信息加密材料中,有一类利用较多的“光刺激”材料——光开关荧光聚合物。这类材料可在不同光的刺激下,通过颜色或荧光的可逆变化从而实现“开关”功能。它们的制造主要是通过光致变色分子(如螺吡喃、二芳基乙烯等)共价键结合到聚合物中,在实现优良光开关性能的同时兼具聚合物的多重优势。

光开关荧光聚合物因其高亮度、高对比度、快速响应以及优异的耐疲劳性,被广泛应用于物品防伪、信息储存与加密、生物成像等方面。遗憾的是,目前大多数光开关荧光聚合物主要应用于常规环境中。在苛刻的水下环境中,它们大多存在着稳定性差、抗污能力弱、自愈效率低等问题,这也严重制约了水下光开关荧光聚

合物的实际应用和发展。

基于这一难题,湖南科技大学陈建教授团队联合电子科技大学崔家喜教授团队,共同开发了一种可用于水下防伪和信息加密应用的高弹性自愈光开关超分子荧光聚合物(PSPFs)。基于传统光开关荧光材料的优势,这种新型聚合物将超分子聚合物体系和光开关荧光分子相结合,实现现有材料在应用性能上的突破。

团队首先制备了两种具有光开关效应的二芳基乙烯分子,然后选择含氟聚合物基质,制备出具有水下防伪的高弹性自愈光开关超分子荧光聚合物。在对PSPFs进行的光谱学测试中,团队对其使用了365纳米、254纳米的紫外光,以及460纳米、525纳米可见光的交替照射。结果发现,制备得到的PSPFs膜可在无荧光、红色

荧光、绿色荧光三个状态之间实现可逆转变。同时,聚合物基质中独特的偶极子-偶极子相互作用,赋予了该聚合物高弹性和较高的自修复效率。

陈建介绍,PSPFs在不同基材表面都具有较好的黏附性能,说明它在防伪标签产品中有良好的应用潜力。同时,它的非共价交联的超分子相互作用,使它具有优异的溶剂、热加工性以及良好的防污能力。此外,将它放置在多种极端的水下环境中,如酸性溶液、碱性溶液、盐溶液中储存超过一周,也未观察到光开关能力和聚合物形状的显著变化。“这些特点,使我们对这种材料应用于水下信息加密和防伪标签充满信心。”他说。

此外,团队还验证了PSPFs的自修复性能,探索它用于创建按需多级信息加密系统的可能性。

## 寻材问料

# 液态金属基自振荡异质膜 可用于湿环境能量收集

科技日报(记者宋迎迎 通讯员李明杰 车欣鹏)10月22日,记者从中国科学院青岛生物能源与过程研究所(以下简称青岛能源所)获悉,该所绿色反应分离与过程强化技术中心李朝旭研究员带领的高端材料制造组研究团队,成功开发液态金属基自振荡异质膜材料,可用于电磁感应湿环境能量收集。相关成果于近期发表在《先进功能材料》上。

青岛能源所研究团队以天然多糖(海藻酸钠)作为表面活性剂,研究了液态金属和二维材料之间的界面作用机制,解决了两相相容性问题。科研人员构筑了二维材料/液态金属微纳米液滴的包覆结构,并实现了溶剂蒸发诱导液态金属微纳米液滴烧结,同时构筑了二维材料/液态金属异质膜。

“通过研究,我们发现该异质膜在湿度梯度下具有自发的持续致动能力。经过进一步研究,最终揭示了该膜两侧吸湿体积变化差异是在湿度梯度下自持续致动的内在机理。”青岛能源所副研究员李明杰介绍,当科研人员将膜放置于强度为0.5特斯拉的永磁体磁场中时,膜自振荡机械能可在外回路中产生的交变电流高达每平方米1360微安。

该研究构筑的高导电自振荡致动器能够在湿环境中收集能量并给微型电子器件供电,可广泛应用于湿环境下的能量转化与收集。该成果有效克服了目前湿气发电过程难以持续的问题,不仅有利于推动自持续振荡膜等智能材料的发展,也有望推动生物高分子作为能量收集材料的研究与发展。

# 丝瓜络也能做成智能器件

科技日报(记者王怡)10月22日,记者从北京航空航天大学获悉,该校航空学院邵丽华教授与北京大学王建祥教授以及美国休斯顿大学研究团队合作,在天然生物材料——多孔丝瓜络的巨挠曲电效应的启发下,提出了一种将多孔生物材料应用于绿色环保柔性发电机及其他智能器件的新策略。相关研究成果发表在《美国科学院院报》上。

据了解,具有力-电耦合效应的柔性材料,在受到机械刺激或电场作用时能够实现电信号和变形之间的相互转换,在软体机器人、人工肌肉、生物医学等领域具有广泛的应用前景。挠曲电效应指的是非均匀变形(如弯曲)引起材料极化,即正负电荷中心的分离,进而产生电压。挠曲电效应作为一种常见的力-电耦合效应,不受材料对称性限制,存在于所有的电介质中。但是柔性材料的挠曲电输出低,因此如何提高柔性材料的挠曲电输出是该领域的前沿性课题。

研究团队发现了天然多孔材料——丝瓜络的巨挠曲电效应,建立了力-电耦合模型,揭示了其力-电耦合机制。通常柔性材料的挠曲电效应比较弱,丝瓜络属柔性材料,但其挠曲电效应较好。

研究人员介绍,丝瓜络具有类似海绵的形貌,其内部呈现出不同尺度的二级孔隙结构。一级结构由丝瓜络韧带交织的宏观多孔组织构成,另一级是由丝瓜络韧带内部的蜂窝状管束组成的微观通孔结构。这种特殊的二级多孔结构赋予了丝瓜络轻质、小尺寸的微结构易产生高应变梯度的特性,为巨挠曲电响应提供了有利条件。研究人员表示,作为绿色、环保、产量大且价格低廉的天然材料,丝瓜络优异的力-电响应性能使其具有作为智能器件应用的巨大潜力。



图为丝瓜络。视觉中国供图

# 我科研人员 设计合成新分子铁电体

科技日报(记者魏依晨)10月22日记者获悉,南昌大学艾勇教授与廖伟强教授在分子铁电材料领域取得重要研究进展,他们根据“多则异”的思想设计并合成了富勒烯衍生物C<sub>60</sub>S<sub>2</sub>分子铁电体。相关研究成果发表于《美国化学会志》。

富勒烯是一种由碳原子组成的球状分子,拥有独特的结构和物理、化学性质,备受材料科学和纳米技术界的关注。铁电体是具有自发极化且极化方向在外电场下可重取向(即铁电性)的一类电偶极活性材料,和人们熟知的铁元素没有关系。研究富勒烯的铁电性,对于拓展其在电子器件等领域的应用非常重要。然而,富勒烯的铁电性目前仍未得到充分研究和应用,主要原因是由于富勒烯分子具有高对称性。

根据菲利普·安德森的“多则异”理念,艾勇与廖伟强利用C<sub>60</sub>和S<sub>2</sub>分子设计合成了富勒烯衍生物C<sub>60</sub>S<sub>2</sub>分子铁电体。尽管两个分子各自具有较高的分子对称性,但研究表明,C<sub>60</sub>与S<sub>2</sub>的分子间相互作用导致了微小的结构扭曲和晶格重叠,从而引起晶体的极性。在230开尔文的温度下,C<sub>60</sub>S<sub>2</sub>发生了从极性到极性的铁电相变,电滞回线测试和铁电畴翻转证实了它的铁电性质。这项工作是由南昌大学熊仁根教授提出的“铁电化学”思想指导化学设计分子铁电体的又一成功例子。