

中科院光电所矢量光场研究中心 实现平面无序光学体系中的长程有序态光子调控

11月23日,在第三届川渝科技学术大会暨四川科技学术大会上,中国科学院光电技术研究所(以下简称“中科院光电所”)矢量光场研究中心的论文“Emerging long-range order from a freeform disordered metasurface”(《无序超构表面中的长程有序光子态调控》)荣获优秀论文一等奖,相关成果发表在国际期刊Advanced Materials上。论文中提到的无序参量调控和拓扑优化方法,为平面光学体系中的无序光场调控提供了新的理论和设计方法。



董沙沙

论文题目: Emerging long-range order from a freeform disordered metasurface
论文作者: 徐明峰 蒲明博 张飞 郭迎辉 罗先刚
获奖等次: 一等奖

光学与人类生活、生产活动休戚相关,也是现代科学技术最活跃的前沿领域之一。随着时代和科技的发展,光学望远镜——哈勃望远镜诞生,为天文学家捕捉到了人类历史上从未捕捉到的最深入、最敏锐的太空光学影像。即便如此,人类对光的认识和应用还远未达到令自己满意的程度,人类对光的研究和应用也从未停止过前进的脚步。特别是近几十年来,光学发展进入了一个日新月异的新阶段,无论在发展的速度上还是规模上,都是史无前例的,光学也成为了一门相互交叉、相互渗透,涉及各个领域的综合性学科,其中包括研究光

学成像系统像差、色差、像散等畸变和校正的成像光学;利用超表面、超透镜、超光栅等平面亚波长结构及器件,在成像、全息、显示、激光等领域实现轻量化、平面化颠覆性应用的亚波长光学;此外,还有光纤光学、纳米光学、量子光学、非线性光学、相干光学等。

中科院光电所矢量光场研究中心深耕亚波长光学、数字光学多年。在此次获奖论文中,他们将亚波长光学与无序光学结合,探索了亚波长光学中的无序光学现象及调控技术。

据了解,之所以会研究无序超构表面中的长程有序光子态调控,主要原因是因为有效控制光波在大

气湍流、生物组织等典型随机介质中的传播行为,在天文观测、激光通信、生物成像等领域具有重要应用价值。此外,由于随机散射的影响,光在随机/无序介质中传播时会衍生出安德森局域性、宽带透射增强、完美聚焦等新奇的物理现象。上述现象为随机介质的光场调控提供了新的手段,目前已成为亚波长光学、纳米光学等领域的研究重点,引起了国内外不少光学科研团队的研究兴趣。

过去几年,不少科研团队发现,在二维超构表面中,通过单元结构相位的无序化排布可以实现类似块体材料中的新奇无序光学效应(例如几何相位的无序化排布可以实现随机 Rashba 效应,而通过无序化传播相位则可实现具有大范围光学记忆效应的波前调控功能),然而,由于局域/非局域单元结构耦合效应的影响,如何在无序超构表面中实现长程有序的光子态调控,仍是亚波长光学领域面临的关键难题。

为破解这个难题,该研究中心通过无序参量调控和拓扑优化方法,提出了一个基于无序参数调控及拓扑优化方法的广义框架,成功在无序超构表面中实现了空间非均匀性的面内相位分布。

什么是无序超构表面?它是一类具有随机相位分布的超表面。如何在无序超构表面中实现长程有序的相位分布?首先,该研究中心利用无序参数调控方法正向设计了一个全介电材料的无序超构表面,利用其相对较小的面内相位起伏,具体表现为与偏振转换相关的随机散射或定向透射功能。当无序超构表面当中只有传播相位无序或几何相位无序时,其整体相位分布均为无序分布。然而,通过合理设计单元结构参量的无序分布,可以使得超构表面整体的相位分布呈现出有序态。此时,根据不同的圆偏振转换情况,超构表面可表现为定向传输(左旋圆偏振到右旋圆偏振转换)或随机散射(其它圆偏振转换)。

其次,通过引入拓扑优化方

法,定义无序和有序光场的评价函数,可以实现特定光子态的逆向调控,克服单元晶格间局域耦合效应的影响,从而进一步提高复电场分布的均匀性。与初始的正向结构相比,拓扑优化后的自由形状超构表面具有更小的相位起伏范围以及更高的相对效率,从而实现了长程有序的电场分布。仿真结果表明,经过拓扑优化后,无序超构表面的面内振幅和面内相位起伏均得到了有效抑制。与初始结构相比,拓扑优化超构表面的相位均匀性提高了约4倍,且右旋圆偏振光的相对透射效率提升了约39%。

该项研究发现,拓扑优化在无序光场调控方面具有巨大优势,有望应用于光学漫射器、波前整形、光学成像等实际器件及系统。其中最值得期待的就是利用拓扑优化方法可对激光器、光学漫射器等光场散射特性进行优化,实现光照清晰、柔和、无眩光的照明,减少光污染,有望将节能、环保、安全、舒适的“绿色照明”变成现实。

给植入材料及器械穿上“隐身衣” 可躲避免疫系统攻击

看不见的血小板膜可以像衣服一样“穿在”宏观生物材料和器械的表面?还能让这些材料和器械改变性状使其具备生物活性?中国生物材料学会副理事长、四川大学国家生物医学材料工程技术研究中心主任、四川大学生物医学工程学院院长王云兵团队的研究成果“用血小板膜修饰血液接触装置实现大规模多功能生物界面”给出了答案。

该项研究提出了一种细胞膜应用新技术——大尺度连续覆盖的血小板膜涂层(PMC),在全球首次将血小板膜“穿到”了宏观血液接触材料表面,使其具备生物学性能,实现了细胞膜覆盖从“纳米”尺度到“宏观”尺度的跨越,让“疑问”变成了“现实”,并且有望在不久的将来,实现PMC的“可用”“好用”“普遍用”,为心脑血管疾病患者尤其是不适用抗凝药物辅助的患者带来福音。



杨晓慧

论文题目: Dressing blood-contacting devices with platelet membrane enables large-scale multifunctional biointerfacing
论文作者: 王云兵 罗日方 周仲毅 胡成 杨立
获奖等次: 一等奖

“此次提出的改良性策略适用于金属、陶瓷、聚合物等多种基底材料,在国际上具有广泛的研究价值和实用价值。”王云兵表示。今年,该研究成果在国际顶级期刊Matter上发表,并在第三届川渝科技学术大会暨四川科技学术大会上获评优秀论文一等奖。

从技术盲区出发

根据世界卫生组织(WHO)数据显示,每年有1790万人死于心脑血管疾病,预计到2030年这一数字将增加至2360万,远高于癌症及其他疾病,如何开展积极可靠的心脑血管疾病治疗已成为亟待解决的全球性问题。目前,植入生物材料和医疗器械是治疗心脑血管疾病最常用且安全有效的方式。

王云兵团队一直致力于围绕心脑血管植入材料和器械临床应用面临的问题,开展相关基础研究、应用研究和产品开发。“对于血液接触材料和器械,植入后面临的首要难题是凝血、炎症和组织增生风险,通过器械表面涂层改性是提升其应用效果最为有效的手段之一。”王云兵说。

然而,目前的改良性策略并不理想。“现在一般是通过人工合成的两性分子来模仿细胞膜的磷脂双分子层对宏观材料、器械进行改性,这种方法虽然普遍,但缺乏生物活性,应用于血管支架、心脏瓣膜等材料无法促进组织的修复。”王云兵介绍,此种方法还存在一个“致命”缺陷:免疫排斥反应。

为突破改良性策略缺陷,王云兵团队新奇地猜想,能否使用细胞膜给宏观尺度生物材料、器械制备一

件具有免疫逃逸功能的“隐身衣”?

在此前的研究中,国际上已有一些细胞膜覆盖生物材料的研究,实验证明,细胞膜覆盖生物材料可逃避免疫系统“巡查”而不被“捕捉攻击”。

“但我们发现,几乎所有的细胞膜覆盖研究均围绕微小的纳米材料粒子进行。”王云兵说,细胞膜在大尺度材料上的有效覆盖是血液接触材料及器械研究领域中的一个盲区。

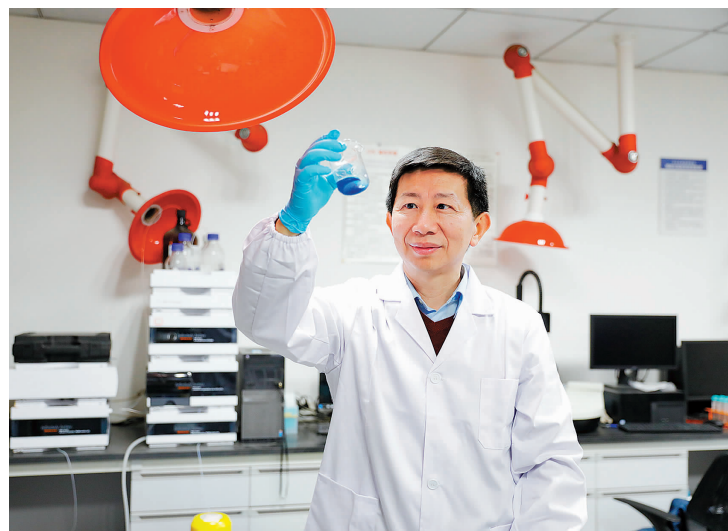
因此,对王云兵团队而言,这几乎是“前无古人,后无来者”的研究,必定困难重重,甚至有可能失败,但他们并未因此望而却步。

血管支架是心脑血管疾病常用的器械,具有疏通动脉血管的作用。王云兵团队以血管支架为例,开启了血小板膜覆盖大尺度宏观材料及器械的研究。

“如果可行,这将会成为一种全新的植入器械表面改性方法,取自人体再用于人体,有望获得比以往常规的物理或化学改性更加优异的生物学性能。”王云兵说,团队期待着将“如果”变成“可行”。

凝心聚力扫“盲”

当问及PMC是如何制备的,王云兵用简短的几句话描述了制备过程,“我们首先在基材上制备了一层具有三维纳米拓扑结构的超亲水涂层,然后借助这个基底涂层,让分离出来的纳米尺度的血小板膜囊泡自发地吸附在材料表面,再通过改变外界溶液环境,使纳米囊泡排出其中包含的水分,与超亲水涂层发生融合,最终在表面形成一层完整连续的膜。”



王云兵做实验

仅仅从字面上看,制备PMC仿佛“轻而易举”,但这却是王云兵团队历时两年多实验数百次才获得的结果。

在长达2年的研究过程中,王云兵团队遇到过三个瓶颈。一直没办法成功将“微观”的血小板膜完全包覆在“宏观”的材料、器械上是他们遇到的第一个瓶颈。完全包覆后如何实现血小板膜蛋白的保留是第二个瓶颈。两者都实现后,如何通过实验验证是第三个瓶颈。

众所周知,在科学研究中,瓶颈犹如大山横在科技工作者与成果之间,难以翻越,但王云兵团队却在两年多的时间里翻越了三座大山。

“九层之台起于垒土,千里之行始于足下。”王云兵团队反复实验,不断尝试,不断寻找突破口,最后他们发现,要实现PMC的成功制备,最关键的一步是血小板膜和基底材料的接触融合界面设计。于是,他们把纳米尺度的膜融合转移到界面上,通过界面超亲水纳米粒子的分布式引导,成功实现了膜的均匀覆盖。并且,通过各种创新性的评价表征技术证明,该方法制备的PMC成功保留了血小板的膜结构和膜蛋白成分。

“第一次看到血小板膜在支架表面均匀覆盖的时候,我们非常激动。”回忆起实验成功时的心情,王

云兵难掩喜悦,“不过整体上来说,我们的心情是平和的,因为经过反复论证,我们一直相信这项研究在理论上是完全可行的。”

在整个实验过程中,王云兵作为团队的学术带头人,一直倡导团队沉下心来,扎根基础,进行真正意义上的原创性研究和突破。他认为,研究的成功是整个团队共同努力付出的结果,离不开团队严谨细致的态度和脚踏实地、持之以恒的精神。

据介绍,王云兵团队的研究首次实现了血小板膜对宏观生物材料、器械的包覆,打破了之前细胞膜只能用在纳米材料极微小尺度包覆的应用限制,为生物材料及器械的表面改性提供了一个全新思路。

心脑血管疾病患者的潜在福音

王云兵团队将PMC制备在血管支架上后,将这些支架植入了动物体内,结果证明,与传统支架相比,PMC包覆的血管支架完全不会引起血栓和再狭窄,并且长出了非常漂亮的新生血管组织。

“这是因为PMC是由天然的血小板膜制备而成,其表面本身就具有防止血小板和炎症细胞黏附的信号分子,同时也具有促进内皮细胞黏附的信号分子。”王云兵解释道,“加上我们保留了血小板膜

表面的免疫逃逸蛋白,这样既防止了材料植入后不良反应的发生,也能够促进组织重建,对于不适合使用抗凝药物的患者而言是一种潜在的福音。”

在传统心血管疾病治疗中,常用的血管支架通常为药物涂层支架,通过在涂层中搭载一些抗炎抗增生药物,辅以口服抗凝药进行治疗。这种方式尽管可以提升抗支架内再狭窄的性能,药物的使用却抑制了内皮细胞的生长,延迟了新生血管组织的修复进程,并且还存在着被免疫系统“捕捉攻击”的风险。此外,由于涂层能够搭载的药物有限且需辅以口服药,该方法并不能满足不适用抗凝药物患者的需求。

而被PMC包覆的血管支架,仿佛穿上一件“隐身衣”,在体内能够完美地“伪装”自己,从而逃避免疫系统攻击。并且,PMC赋予了支架良好的抗炎抗凝血性能和细胞相容性,能够有效阻抗血液环境中游离血小板、白细胞等物质的黏附,在不需要药物辅助的情况下,能够有效降低急性血栓的形成和炎症的发作,抑制支架内再狭窄,并调节血管新生内膜生长。

目前,王云兵团队正在对这一技术进行进一步的优化,并在研究制定标准化制备流程。他们希望通过工程化手段,实现细胞膜在宏观尺度、复杂形状植入器械上的高效稳定及可控覆盖。

值得一提的是,王云兵团队也正在深入研究利用内皮细胞膜、红细胞膜、巨噬细胞膜等其它细胞膜用类似方法进行覆盖的可行性,初步结果显示,这一界面驱动的膜融合过程具有普适性。“从应用角度来看,我们相信植入医疗器械经过宏观尺度的细胞膜覆盖改性,未来可在炎症及免疫调节、抗凝改性、促组织修复等领域具有非常好的应用价值。”王云兵说,“我们希望这种方法可以作为广谱的血液接触材料及器械表面改性方法得到推广应用,为心脑血管疾病患者乃至其他疾病患者提供更好的治疗手段。”