



2020 年第 1 期
总第 30 期
2020 年 4 月 5 日
编辑：夏孟华

浙江大学现代光学仪器国家重点实验室

TEL: 0571-87951432

本期目录

热烈祝贺：刘旭、匡翠方教授团队荣获国家技术发明奖二等奖.....1

新闻速递：现代光学仪器国家重点实验室两项成果荣获“2019 年度中国光学十大进展”2

新闻速递：何勇教授团队项目“农田信息空天地协同感知与精准管理技术及应用”荣获 2019 年度教育部科技进步一等奖.....2

科研进展：基于星载主-被动传感器数据融合的气溶胶三维结构研究.....3

科研进展：非人灵长类动物的近红外二区荧光显微脑血管成像.....3

科研进展：硅-石墨烯混合等离子激元波导光电探测器.....4

科研进展：利用智能手机内置姿态传感器和短长曝光策略对长曝光图像去模糊.....4

科研进展：超冷原子量子模拟研究取得进展.....5

科研进展：光激活纳米凝胶治疗感染性慢性伤口及角膜炎.....6

科研进展：表面增强拉曼探针用于影像监控下的感染伤口灭菌及愈合.....6

科研进展：基于可调节的空间光场微分器的相位提取.....7

科研进展：超导量子系统中超辐射态和亚辐射态的可控切换.....8

科研进展：多波段兼容红外隐身技术.....8

科研进展：光学脑机接口：无标记、全光学脑功能调控与成像 INS-fOCT 技术.....9

热烈祝贺

刘旭、匡翠方教授团队荣获国家技术发明奖二等奖



2020 年 1 月 10 日，中共中央、国务院在北京隆重举行国家科学技术奖励大会。此次奖励大会上，现代光学仪器国家重点实验室刘旭、匡翠方教授团队的“超分辨光学微纳显微成像技术”成果获国家技术发明奖二等奖。

主要完成人：刘旭（浙江大学），匡翠方（浙江大学），毛磊（宁波永新光学股份有限公司），李海峰（浙江大学），杨青（浙江大学），徐良（浙江大学）

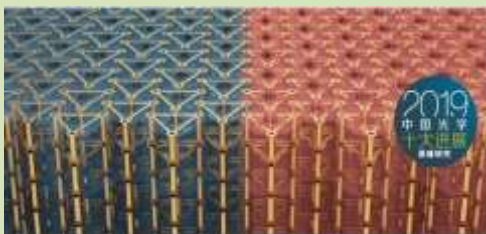
新闻速递

现代光学仪器国家重点实验室两项成果荣获“2019年度中国光学十大进展”

2020年3月20日,中国激光杂志社发布“2019年度中国光学十大进展”(第十五届)。本重点实验室陈红胜教授课题组“首个三维光学拓扑绝缘体”成果和刘旭、匡翠方教授课题组“基于多角度干涉的三维多色活细胞超分辨光学显微镜”成果分别荣获基础研究类和应用研究类光学十大进展之一。

“中国光学十大进展评选”由中国激光杂志社发起,经过首轮推荐、初评、终评三个环节,最终20项优秀的光学成果从110项研究进展中脱颖而出,入选2019年度中国光学十大进展(基础研究类与应用研究类各10项)。评选委员会由48位光学与光子学领域的专家组成,综合考虑候选成果的学术价值和应用价值,从候选成果中初评30项进入终评,并以无记名投票方式产生“2019年度中国光学十大进展”。

首个三维光学拓扑绝缘体



浙江大学陈红胜教授课题组与其合作者,成功研制首个三维光学拓扑绝缘体,将三维拓扑绝缘体从费米子体系扩展到了玻色子体系,有望大幅度提高光子在波导中的传输效率。

基于多角度干涉的三维多色活细胞超分辨光学显微镜



浙江大学刘旭教授和匡翠方教授课题组,在时空超分辨活细胞成像系统和方法研制方面取得突破,开发出了具有自主知识产权的新型光学成像技

术——多角度干涉显微镜,可对活细胞表面结构进行快速、长时程、多色和三维超分辨成像研究。

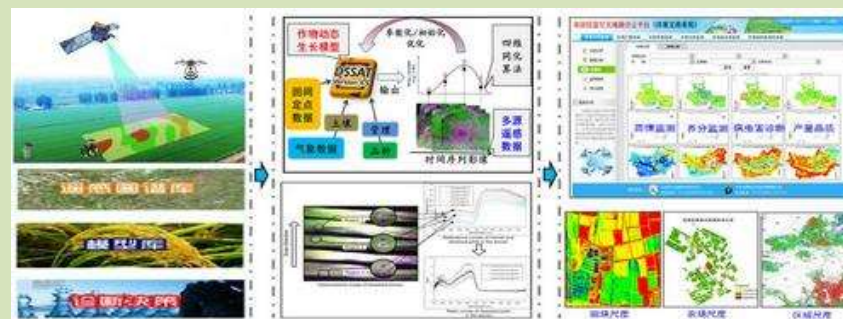
新闻速递

何勇教授团队项目“农田信息空天地协同感知与精准管理技术及应用”荣获2019年度教育部科技进步一等奖

农田信息的快速准确获取是化肥农药减施的核心科技支撑,基于实测信息的肥水药精准管理是实现“双减”和绿色兴农目标的重要手段。作物不同生长阶段对信息获取的频率、分辨率、尺度都有不同的要求,传统且单一的农田信息获取手段,难以满足作物不同生长阶段水分、养分和病虫害等关键信息全周期、大面积、低成本、高精度获取要求。

何勇教授团队围绕地面农田定点信息快速测量、田块尺度无人机信息获取、区域尺度农田信息卫星遥感解析与融合应用等三方面的关键技术与装备开展研究,建立了空天地多源信息融合获取与精准管理技术体系,充分发挥了地面测量的灵活精确、无人机检测主动快速、卫星遥感效高面广等综合优势,研发的技术和产品已在全国20多个省市推广应用。

相关成果在 Remote Sensing of Environment、Water Research、Computers and Electronics in Agriculture、Transactions of the ASABE 等权威期刊发表。

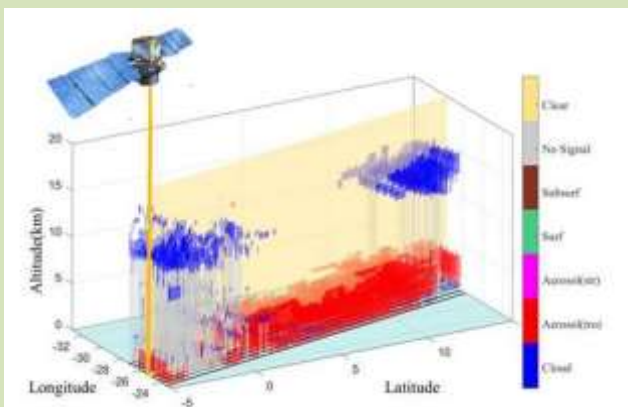


空天地协同的信息监测与精准管理(多尺度遥感、多源信息融合、空间决策支持)

科研进展

基于星载主-被动传感器数据融合的气溶胶三维结构研究

大气气溶胶悬浮在空气中，极大地影响生态环境、人类健康，以及气候气象等，其三维分布特征对相关科学研究具有重要意义。目前的遥感卫星中，被动遥感可获得高分辨率的二维平面观测数据，但垂直分辨能力不足，而主动遥感（如激光雷达）具有优秀的高度分辨能力，但仅能提供二维剖面观测数据，覆盖范围受限。如果可以将星载主动、被动传感器数据进行有效融合，将有助于实现区域范围内的气溶胶三维观测。



近期，刘东教授团队与加拿大环境及气候变化部 Barker 研究员合作，基于光谱辐射匹配法 (SRM)，将星载激光雷达 CALIOP 的大气气溶胶廓线拓展至成像光谱仪 MODIS 与其相邻的测量数据中，进而构建区域范围的气溶胶三维结构。对

构建结果的分析表明，该方法有效利用了多通道辐射与大气垂直结构之间的相关性，在主动轨道 100km 范围内具有较高的计算精度，较大程度上拓展了主动遥感对全球气溶胶的观测范围。

研究结果发表于《Atmospheric Measurement Technique》【D. Liu *et al.*, Analysis of global three-dimensional aerosol structure with spectral radiance matching, *Atmos. Meas. Tech.*, vol. 12, no. 12, pp. 6541-6556, 2019, DOI: [10.5194/amt-12-6541-2019](https://doi.org/10.5194/amt-12-6541-2019).】

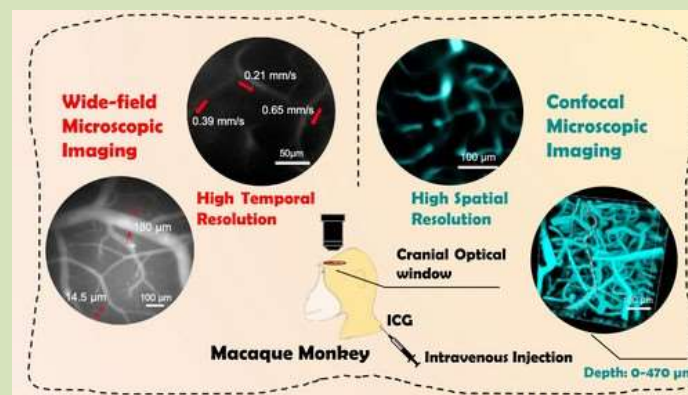
科研进展

非人灵长类动物的近红外二区荧光显微脑血管成像

大脑的血管结构能提供神经功能和疾病方面丰富的信息。相对于传统的可见光和近红外一区荧光成像，近红外二区荧光成像具有更小的散射及生物自发荧光，在大穿透、高分辨活体脑血管成像中更具优势。然而，目前尚无其在非人灵长类动物模型中的研究与报道。

最近，钱骏教授和浙江大学系统神经与认知科学研究所的 Anna Wang Roe 教授、奚望副教授课题组合作，搭建了适用于大动物成像的近红外二区荧光宽场显微和共聚焦显微成像系统，以临床认证的吲哚菁绿为荧光染料，在猕猴模型上开展了活体显微脑成像。实现了高时间分辨率的脑血管显影，测量了微血管内的血流速度；获得了高空间分辨率的脑血管结构成像，在 0~470 μm 范围内重构出精细的脑血管三维结构图。该工作为研究大脑神经血管功能、脑疾病等提供了重要工具。

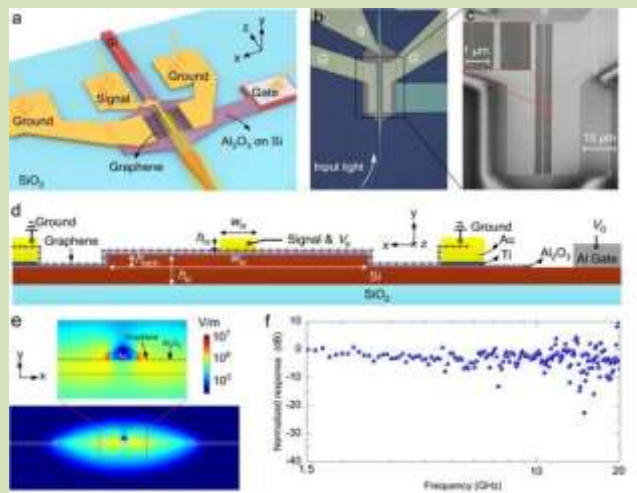
研究成果发表在《Theranostics》期刊【Zhaochong Cai, Liang Zhu, *et al.* NIR-II fluorescence microscopic imaging of cortical vasculature in non-human primates. *Theranostics*. 2020. 10 (9): 4265-4276. DOI: [10.7150/thno.43533](https://doi.org/10.7150/thno.43533)】



科研进展

硅-石墨烯混合等离激元波导光电探测器

近年来,硅基光电子正不断向 $2\ \mu\text{m}$ 及更长波段(中红外)推进,以满足未来光通信及先进光传感等重大需求。以石墨烯为代表的二维材料具有优异光电特性,有望解决基于传统半导体材料的硅基光电探测器所存在的波段受限及工艺不兼容等问题。最近,戴道铎教授团队提出了一种新型硅-石墨烯-金属混合等离激元波导结构,创新地引入特殊的超薄超宽硅脊型芯区设计,显著增强石墨烯光吸收效率的同时有效降低了金属吸收损耗,实现了有源区长度仅 $20\ \mu\text{m}$ 的高响应度高速硅基-石墨烯波导型光电探测器: $1.55\ \mu\text{m}$ 波段和 $2\ \mu\text{m}$ 波段的 3dB 带宽分别为 $>40\ \text{GHz}$ 、 $>20\ \text{GHz}$ (均受限于测试设备带宽),其响应度分别为 $400\ \text{mA/W}$ 及 $70\ \text{mA/W}$ 。该探测器可应用于 $1.55/2\ \mu\text{m}$ 波段光通信及光传感等领域,有力推动了新波段硅+光子学 (Silicon-plus photonics) 研究。相关成果以“High-performance silicon-graphene hybrid plasmonic waveguide photodetectors beyond $1.55\ \mu\text{m}$ ”为题发表于《Light: Science & Applications》(博士后郭敬书、博士生李江为共同第一作者)。以上工作获得了国家杰出青年科学基金及国家重点研发计划项目资助。



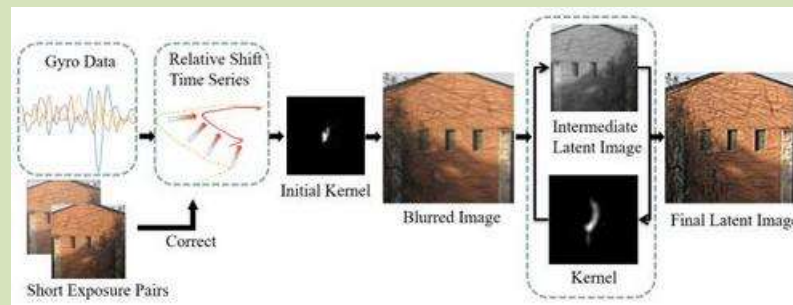
高性能硅-石墨烯混合等离激元波导光电探测器

【Jingshu Guo+, Jiang Li+, *et al.* High-performance silicon-graphene hybrid plasmonic waveguide photodetectors beyond $1.55\ \mu\text{m}$. *Light.: Sci. Appl.* (2020). DOI: [10.1038/s41377-020-0263-6](https://doi.org/10.1038/s41377-020-0263-6)】

科研进展

利用智能手机内置姿态传感器和短长短曝光策略对长曝光图像去模糊

近年来,智能手机已成为最常用的摄影工具,使用者对其拍照性能的要求日益向单反相机靠拢。但其有限的内置空间限制了成像系统传感器尺寸和成像系统通光孔径的大小,使得其接受光信号的能力较弱,进而在面对暗场景时不得不采用延长曝光事件的拍摄策略。长曝光会引入严重的模糊问题。传统的去模糊方法是基于图像内容的,计算复杂度高,鲁棒性弱,不能适用于智能手机有限算力的图像处理平台。



冯华君教授团队与华为杭州研究院合作,提出了利用智能手机内置的姿态传感器对长曝光过程中手机的运动状态进行探测采样,并采用短长短的多帧曝光策略对获得运动数据进行优化校正,较为准确地估计出了成像系统在拍摄过程中的运动状态,进而准确地对长曝光模糊图像进行了修复。实验结果表明,该方法较其他先进方法在获得更好质量的去模糊图像同时计算时间更少,鲁棒性更强。

研究成果发表于图像处理领域顶级期刊“IEEE Transactions on

Image Processing”(影响因子6.79)。【Yang C, Feng H, Xu Z, *et al.* Image Deblurring Utilizing Inertial Sensors and a Short-Long-Short Exposure Strategy[J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2020, 29: 4614-4626. DOI: [10.1109/TIP.2020.2973499](https://doi.org/10.1109/TIP.2020.2973499)】

科研进展 超冷原子量子模拟研究取得进展

浙江大学颜波课题组在利用超冷原子进行量子模拟研究方面取得重要进展。连续在Phys. Rev. Lett.上发表两篇学术论文，对超冷原子在动量空间的量子行走和非对易量子传输进行了富有成效的研究。

1, 利用超冷原子在动量空间研究拓扑量子行走

探索拓扑相是现代物理的主题之一。除了传统的固体系统中拓扑材料，拓扑现象也会在非厄米开放系统，淬火过程，周期性驱动的Floquet系统中出现。在探索处于多体纠缠或者强相互作用下的拓扑量子行走方面，冷原子体系相较于光子提供了更多的可能性。

基于先前的动量晶格技术，通过设计交错的周期性驱动的Raman光，研究团队实验上实现了动量空间的超冷原子的离散量子行走，并且观测到参数改变导致的拓扑相变过程。利用原子之间自身的碰撞相互作用，通过调节动量空间类晶格结构的相邻格点的耦合强度和原子间相互作用强度之比，观测到原子在量子行走的动态过程中的原子行为从局域化变到非局域化。

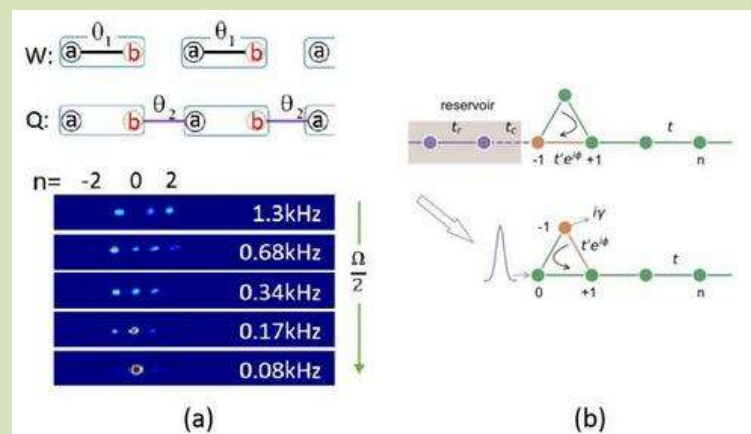
文章发表在《Physical Review Letters》【Dizhou Xie, *et al.*, Topological Quantum Walks in Momentum Space with a Bose-Einstein Condensate, *Phys. Rev. Lett.* 124, 050502 (2020), DOI: [10.1103/PhysRevLett.124.050502](https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.124.050502)】

2, 超冷原子动量空间非对易传输

在传统的量子力学中，一直以厄米算符来表示可观测的物理量，但在1998年，Bender教授等人提出非厄米算符如果满足PT（宇称-时

间）对称性的话，也可以具有实数本征值，是可观测物理量。满足PT对称性的非厄米哈密顿量引起了人们的广泛关注。研究团队利用一个四光子过程将两个次近邻的格点耦合到一起，从而实现一个AB（Aharonov-Bohm）环结构。再利用另外一边的链作为热库，产生等效的损耗，从而产生一个等效的非厄米AB环结构。通过调节晶格上的耦合强度以及AB环上的相位，可以控制系统的输运性质。研究人员探测了不同参数（相位，耦合强度）对体系输运性质的影响。首次在超冷原子动量空间中探测到了非对易性输运，研究了非对易传输的实验条件，并且观察到了量子芝诺效应。这项成果不仅打开了在超冷原子体系中研究非对易性多体动力学的大门，还为模拟一系列非厄米物理现象，例如趋附效应等打下良好基础。

文章发表在《Physical Review Letters》【Wei Gou, Tao Chen, *et al.*, Tunable Nonreciprocal Quantum Transport through a Dissipative A-B Ring in Ultracold Atoms. *Phys. Rev. Lett.* 124, 070402 (2020), DOI: [10.1103/PhysRevLett.124.070402](https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.124.070402)】



左图是量子行走实验，右图是非对易传输实验



科研进展

光激活纳米凝胶治疗感染性慢性伤口及角膜炎

慢性难愈伤口损伤后期由于上皮持续损伤、机体防御机制破坏等病因，更易继发耐药菌感染，为目前临床上亟待攻克的一类难题。在疾病的治疗过程中，传统抗生素更是遭遇瓶颈，目前临床上亟需开发出一种可同时快速根除耐药菌感染并促进伤口愈合的全新治疗策略。在这项研究中，铜源复合纳米银凝胶在光激发后，可在细菌表面的纳米级局部区域释放银离子，迅速破坏细菌细胞壁，并产生活性氧破坏细菌胞内结构，进而加速细菌 DNA 损伤，从而高效杀灭伤口感染的“罪魁祸首”：包括耐甲氧西林金黄色葡萄球菌、 β 内酰胺酶大肠埃希菌等在内的多种超级细菌。该技术的最大亮点为，纳米凝胶可同时精准可控释放铜离子以促进成上皮细胞迁移和内皮细胞管路生成，从而达到促进伤口愈合目的。以上结果在糖尿病小鼠慢性难愈合性伤口和耐药菌感染性角膜炎模型中均得到了有效论证。



周民教授课题组研发了一种成本低廉、工艺简单和用于皮肤和眼部局部给药的光激活铜源复合纳米凝胶，用于治疗耐药菌感染性慢性伤口及难愈性角膜炎。研究成果在线发表在 2020 年 2 月 12 日出版的 ACS Nano 上，并选为杂志副封面，【Yue Qiao *et al.* Light-Activatable

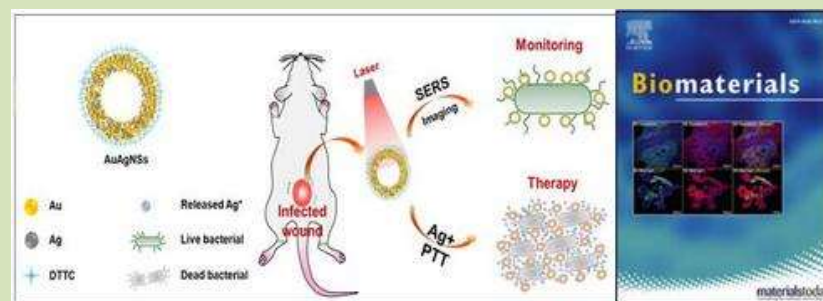
Synergistic Therapy of Drug-Resistant Bacteria Infected Cutaneous Chronic Wound and Non-Healing Keratitis by Cupriferous Hollow Nanoshells, *ACS Nano* 2020, 14, 3, DOI: [10.1021/acsnano.9b08930](https://doi.org/10.1021/acsnano.9b08930)】

研究工作得到了浙江大学眼科中心、现代光学仪器国家重点实验室的大力支持，该研究也得到了国家重点研发计划、国家自然科学基金、中央军委科技委、中国博士后科学基金、浙江省重点研发专项等项目资助。

科研进展

表面增强拉曼探针用于影像监控下的感染伤口灭菌及愈合

周民教授团队研发了一种新型抗菌（特别是耐药细菌）促伤口愈合纳米药物，并可通过该纳米药物实现拉曼医学影像对伤口愈合状况进行实时监控。该成果于 2020 年 1 月 18 日，在生物材料领域期刊《Biomaterials》在线发表【Jian He *et al.* Gold-Silver Nanoshells Promote Wound Healing from Drug-Resistant Bacteria Infection and Enable Monitoring via Surface-Enhanced Raman Scattering Imaging *Biomaterials*, 234, 3, 2020, DOI: [10.1016/j.biomaterials.2020.119763](https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2020.119763)】



该纳米药物以中空金银纳米材料为基底，引入高灵敏/高分辨率的表面增强拉曼散射 (Surface-Enhanced Raman Scattering) 成像技术，形成多功能诊疗一体化纳米药物。该纳米药物在近红外激光的辅助下，可以实现光热效应、银离子以及活性氧等多种途径的协同杀菌作用。

通过系统的体内和体外实验研究证明,可有效清除多种难以治疗的超级细菌,包括耐甲氧西林金黄色葡萄球菌和超广谱 β -内酰胺酶大肠埃希菌。并在超级细菌感染的小鼠皮肤慢性伤口试验中,低浓度纳米药物处理后的伤口可以快速高效的灭菌,从而进一步促进慢性伤口的愈合。此外,该药物可以实现低至300个细菌的实时影像监测的超高灵敏度,并且至少可以实现8天以上长时间实时监控。以上结果说明,该纳米药物在影像监控下的临床感染疾病处理上具有较高的研究价值与临床转化前景。

研究工作得到了浙江大学眼科中心、现代光学仪器国家重点实验室、浙江大学恶性肿瘤预警与干预教育部重点实验室的大力支持,该研究也得到了国家重点研发计划、国家自然科学基金、中央军委科技委、中国博士后科学基金等项目资助。

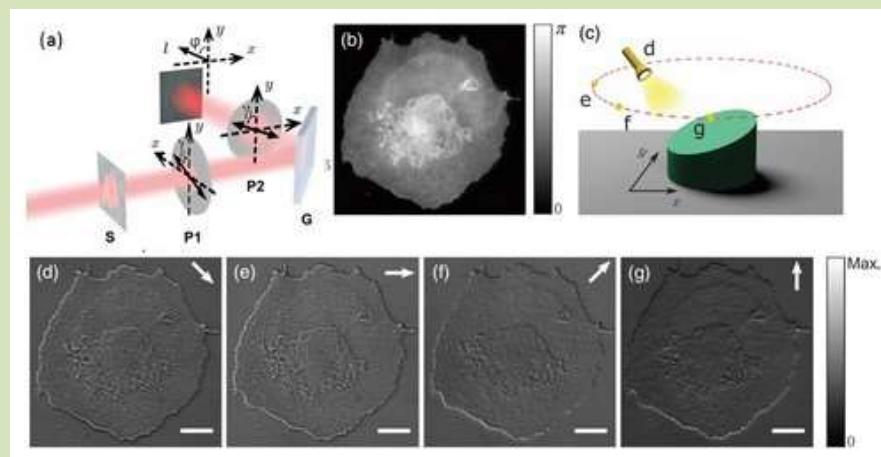
科研进展 基于可调节的空间光场微分器的相位提取

近年来,空间光场微分运算吸引了广大学者的研究兴趣。空间微分运算目前的应用局限于对光学图像的实时边界检测,尽管可以极大地提高相位物体边界的衬比度,但是由于缺少了微分后电场的正负符号信息,利用微分运算的结果恢复所观测的相位分布存在着根本上的难度。

最近,阮智超教授团队提出了一种可调节的空间光场微分器,将其应用于对透明物体的微分相位成像中,并基于其微分成像进一步地恢复出了被观测物的光学厚度分布。这种可调节的空间光场微分器,仅由两片偏振片和介质平板组成(下图)。研究发现利用线偏振光在一个平板界面上的反射,就可通过检测反射光的特定偏振分量而直接实现对光场的空间微分运算,且运算的方向可以通过调节偏振片而任意调整。通过微调偏振片,可以在入射场的微分中加入可调节的偏置,

使对相位物体的成像呈现出伪3D的浮雕效果,更加直观地体现出其结构分布。更为重要的是通过引入的偏置可以确定微分后电场的正负符号信息,弥补了空间微分无法分辨正负的不足,从而测量出入射电场的偏导数,基于此则可以定量地恢复出所观测相位物体的光学厚度分布,其精度可达 0.05λ 。

研究成果发表于《Advanced Photonics》期刊【T.F. Zhu, J.Y. Huang, Z.C. Ruan, Optical phase mining by adjustable spatial differentiator, *Advanced Photonics*, (2020), 2, 016001 DOI: [10.1117/1.AP.2.1.016001](https://doi.org/10.1117/1.AP.2.1.016001)】



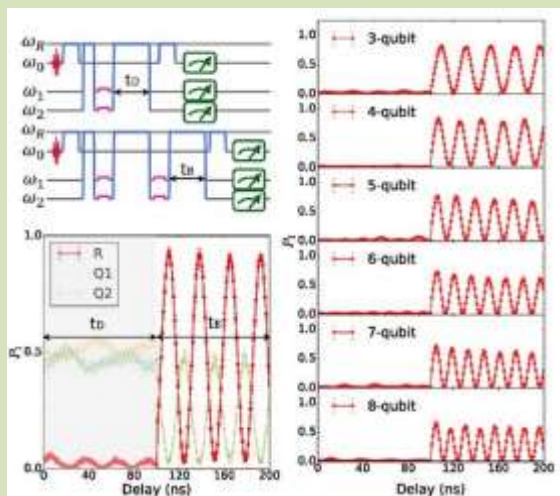
上图所提出的可调节微分相位成像光路示意图: S为所观测的样品, G为介质平板, 偏振片P1和P2为用于调节入射、反射光的偏振态。加入偏置对相位物体的微分相衬成像, 具有类似于(c)中所示的沿不同侧方向照明立体物体, 而产生的正面高亮、背面阴影, 体现出伪3D的浮雕效果(d-g), 并能定量恢复的被观测物体相位分布(b)。

科研进展

超导量子系统中超辐射态和亚辐射态的可控切换

超辐射和亚辐射分别指的是多原子相干辐射的增强和抑制现象。它们可以被广泛应用于量子通讯，超窄线宽激光器、高灵敏重力计等领域。例如超辐射可以用于量子信息的快速写入和读取，亚辐射可以被用来做量子存储。要实现这些应用，首先必须要能够制备超辐射和亚辐射态，并在超辐射和亚辐射之间实现快速切换。

最近，王大伟和王浩华的研究团队首次在超导量子芯片中实现了超辐射态和亚辐射态的可控切换。该实验通过中心耦合腔将单个光子共享于多个量子比特，制备了包含不同量子比特数的超辐射态。通过对处于超辐射态的量子比特施加高精度的相位门操控，实现了多达8比特的超辐射态到亚辐射态的快速切换。随后，通过再次施加相位门操控，亚辐射态又可以恢复为超辐射态。整个过程模拟了量子态写入、存储和读取的过程，为将来实现量子信息的存储技术奠定了基础。



3-8 个量子比特所形成的亚辐射态向超辐射态的快速切换表征

实现量子信息的存储技术奠定了基础。

研究成果发表在

《Physical Review Letters》期刊【Zhen Wang, Hekang Li, Wei Feng, et al. Controllable switching between superradiant and subradiant states in a 10-qubit superconducting circuit. *Phys. Rev. Lett.* 124, 013601 (2020) DOI: [10.1103/PhysRevLett.124.013601](https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.124.013601)】

科研进展

多波段兼容红外隐身技术

先进的红外隐身技术对提升目标生存能力至关重要。传统红外隐身涂层一般使用金属填料，在所有波段均反射，只能实现红外单一隐身。红外探测与激光探测、可见光探测等技术整合给隐身技术带来巨大挑战，不同隐身技术对光谱响应的诉求和对结构的设计要求各不相同甚至冲突。

李强教授课题组通过简单的光子结构（三层薄膜或光栅）协同调控多波段光谱特性和能量输运特性，实现了兼容热管理功能的多波段隐身器件（图 1）。该项工作利用具有宽谱低损耗材料（锗铋碲合金）的薄膜谐振实现红外光谱的选择性辐射：红外探测波段低辐射（ $\epsilon_{3-5\mu m} = 0.25$, $\epsilon_{8-14\mu m} = 0.33$ ），非红外探测高辐射（ $\epsilon_{5-8\mu m} = 0.77$ ）降温，从而实现物体表面辐射率和温度的同时调控，达到高效红外隐身效果（图 2）。此外，与红外隐身兼容的雷达隐身由光栅表面等离子共振产生窄带高吸收实现（ $\alpha_{10.6\mu m} = 0.90$ ），可见光隐身则通过红外透明材料硅的结构色调节来实现。该项技术具有结构制备简单（只涉及薄膜沉积、光刻）、功能丰富（可见、红外、激光雷达隐身和热管理）等优势，在红外技术领域具有重要应用。

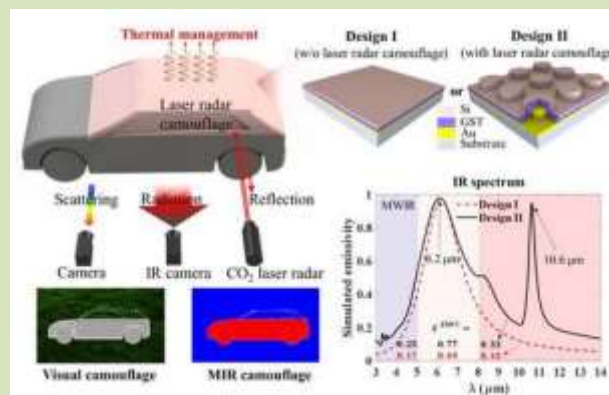


图 1 兼容热管理功能的多波段隐身器件及其红外吸收/热辐射光谱

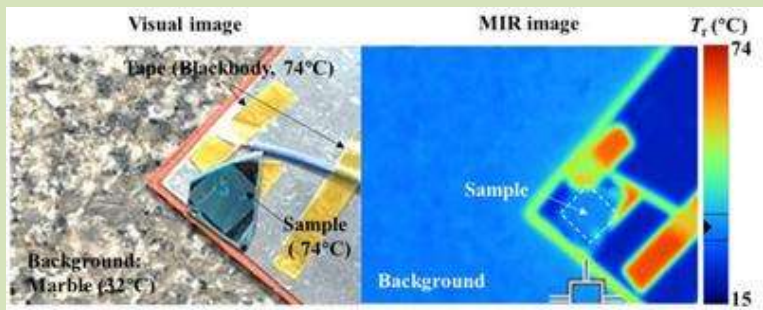


图2 样品可见图(左)和红外隐身效果图(右)

研究成果在线发表于《Nano Energy》期刊【Meiyan Pan, *et al.* Multi-band middle-infrared-compatible camouflage with thermal management via simple photonic structures. *Nano Energy* DOI: [10.1016/j.nanoen.2020.104449](https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2020.104449)】。

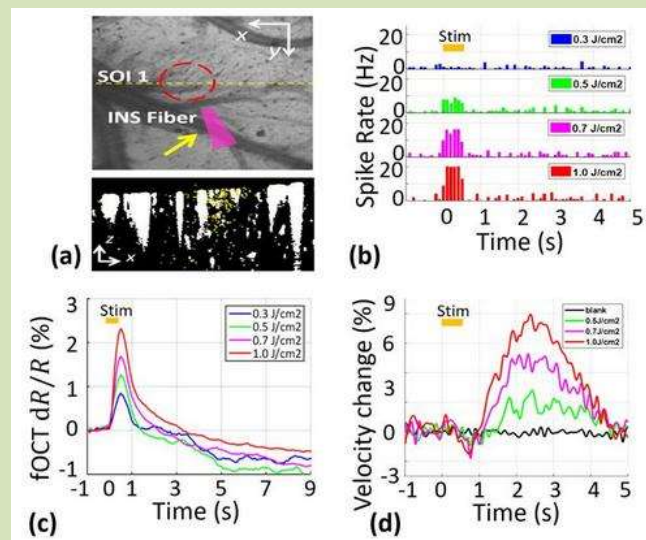
科研进展

光学脑机接口：无标记、全光学脑功能调控与成像INS-fOCT技术

全面深入的揭示脑功能机制，不但可以引导脑疾病的防治，而且可以推动类脑智能技术的发展。目前，基于电信号的电极技术存在如下局限性：1) 植入电极容易造成组织创伤，2) 电流传输引入的空间特异性较差，3) 空间采样密度受限，4) 电刺激与记录通道之间的串号问题。基于离子信号的光遗传技术可以实现特定神经元的调控，但是也存在如下局限性：1) 通常调控与成像的波段均位于可见光波段，由于光谱存在重叠区域，导致调控与成像通道间存在串号问题；2) 可见光波段的高散射性问题，调控与成像光束在组织中的穿透深度有限；3) 尽管光遗传技术成功运用到啮齿类动物身上，但是，由于实际操作过程中需要病毒转染，导致难以在灵长类大动物以及人体实施。

有鉴于此，最近浙江大学李鹏副教授联合 Anna Wang Roe 教授团队发展了一种无标记、全光学脑功能调控与成像 INS-fOCT 技术，基于红外吸收的光热效应实现神经细胞的调控 (INS)，基于膜电位与散射特性的关联性利用 OCT 实现神经细胞的功能成像，基于神经血管耦合效应利用 OCTA 技术实现 INS 诱导的血液动力学响应的动态监测。该技术基于内源性的光学信号，有望实现一种无标记、无创(或微创)、高分辨的光学脑机接口技术。

研究成果发表在《Neurophotonics》期刊【Ying Zhang, *et al.*, “INS-fOCT: a label-free, all-optical method for simultaneously manipulating and mapping brain function”, *Neurophotonics*, 2020, 7(1): 015014. DOI: [10.1117/1.NPh.7.1.015014](https://doi.org/10.1117/1.NPh.7.1.015014)】。



INS-fOCT 脑功能调控与成像. (a) OCT 三维结构投影图与断层血流图. (b) 电极记录结果验证 INS 调控有效性. (c) fOCT 记录得到的神经活动响应. (d) OCTA 记录得到的血液动力学响应. 不同颜色代表不同的刺激强度