

中国科大实现量子椭圆偏振成像

本报讯 中国科大郭光灿院士团队在量子椭圆偏振成像研究中取得重要进展。该团队史保森教授、周志远副教授课题组将高品质偏振光源与经典偏振成像技术相结合，在弱光场下实现了对周期性分布各向异性材料双折射特性的观测，并且展示了在同等级光强环境下，该系统相较于经典测量系统具备更高的探测准确度及抗杂散光干扰能力。这项成果近日在线发表在期刊Npj quantum information上。

偏振成像技术能够捕捉材料中与偏振相关的特性，显著增强传统成像中难以区分的背景与目标对比度，并能测量常规成像无法探测的光学常数、手性特征、应力应变分布等参数，其应用范围涵盖基础物理研究以及目标识别、应力检测、生物医学诊断和遥感等前沿领域。在偏振成像中引入量子光源照明为提高测量精度开辟了一条新的途径，特别是在低照度领域，科研人员已在理论及实验上证明特定的量子光源在同等级光强下具备打破经典测量极限的能力，且纠缠光源的非局域特性在远程操控领域同样具有重要意义。到目前为止，量子成像工作的重点是精确测量

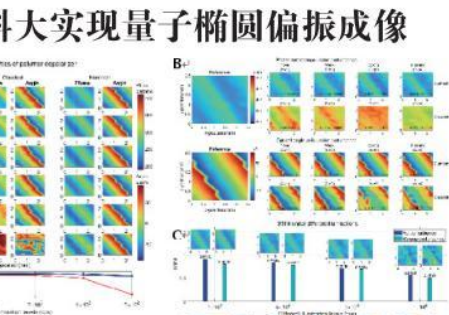


图1. (A) 实验装置图和 (B) 光源质量评估。量子光源的制备与表征方面的优势引入到经典光度式偏振检测系统中，通过构造控制端和测量端分离的双路偏振检测结构，实现了量子椭圆偏振成像系统的构建。该工作选取具有周期性双折射特性的各向异性材料作为样品，以结构相似性指数 (SSIM) 作为定量衡量成像品质的标准，在

光照强度逐渐减弱至百光子量级的低照度条件下以及不同强度的杂散光扰动光强下，对量子与经典偏振成像系统的结果进行质量评估和对比，验证了弱光条件下量子椭圆偏振成像系统具备更高的测量准确性以及更强的抗干扰特性。此外，团队利用纠缠光源所特有的非局域性展示了系统在远程操控入射偏振态方面的特性，该特性使得量子椭圆偏振成像系统在检测过程中对测量光路的干扰降低至更低水平，有利于探测结果的稳定，并适用于一些不可达或易扰动的复杂探测环境。

该工作是量子纠缠与偏振成像相结合的一次有趣的尝试。通过结合两领域各自的优势，该系统有望在光敏薄膜材料的偏振特性检测、无接触、无创式生物医学偏振成像，以及复杂天气环境中目标识别等方面实现潜在应用。中国科大已出版的博士论文解孟雨与已毕业博士生牛素霞为共同第一作者，史保森、周志远为论文共同通讯作者。

(中国科学院量子信息重点实验室 物理学院 中国科学院量子信息和量子科技创新研究院 科研部)

中国科大实现基于金刚石量子传感的并行加速电子顺磁共振谱学探测

本报讯 中国科大自旋磁共振实验室石发展、孔飞等人开发了基于金刚石量子传感的并行加速电子顺磁共振 (Electron Paramagnetic Resonance, EPR) 谱学方法，实现了自举光化学反应用途的实时监测。相关研究成果近日发表在《物理评论快报》上。

金刚石氮-空位 (NV) 色心具有纳米尺度的单自旋EPR探测能力，但单自旋检测通常耗时较长而难以观测EPR谱的动态变化过程。为解决上述问题，研究团队在前期发展的零场磁共振技术和原位磁共振技术的基础上，开发了对目标待测自旋方向、NV色心取向、操控场均匀性以及目标自旋弛豫时间 (即T₂时间) 均具有高容忍度的磁共振探测技术，从而可以利用金刚

石表面大量NV色心和待测自旋实现高效并行地检测。该技术方法中，零场技术用于消除目标自旋的取向依赖性谱线展宽，原位技术通过调制微波序列同步调控大规模NV系综的响应频率，交叉弛豫探测技术用于提升并行测量灵敏度。当前用17微米尺度范围内NV色心实现了对纳米厚度自由基信号的检测，可以达到1.0秒的探测时间精度，该方法后续可以利用更宽的毫米尺度NV系综体系进一步提升探测效率。

基于上述方法，研究人员展示了生物化学领域常用的自旋标签氮氧自由基的零场超精细谱。受益于并行探测方法的高效性，谱线的时间变化信息能够被提取出来，实时观察到自由基EPR谱的动态变化过程，包括信号峰面积逐

渐减小、信号峰宽逐渐变窄。对该现象的进一步研究发现，EPR信号衰减速率所映射的光功率密度基本呈线性依赖关系，证明了这一动态变化由光化学效应引起。

该成果在纳米尺度厚度的二维界面上高速并行探测电子自旋提供了新的谱学技术手段，有助于探测二维材料中的低丰度顺磁自旋，有助于研究界面上有自由基参与的生物化学反应用途实时谱学信息，指导相关自旋标签探针的光淬灭机制的研究，有助于单分子实验自旋标签的前期筛选与优化。

博士生黄哲华与赵正源为论文共同第一作者，孔飞研究员与石发展教授为通讯作者。(物理学院 科研部)



薛天 (右二) 与团队成员在做实验。受访者供图

光，是生命体最重要的外部环境因素，也是人们日常生活中不可或缺的光照介质和工具。对科学家而言，光更深层次的意义在于对人类生命健康的深刻影响。

中国科学技术大学 (以下简称中国科大) 教授薛天团队在国际上开拓和推动了“光感受调控生命过程”的研究，取得了多项原创性成果。近年来，该团队3项成果发表于《细胞》、多次荣获“中国科学十大进展”“中国生命科学十大进展”等奖项。

近期，薛天团队荣获2024年度中国科学院杰出科技成就奖基础研究奖。薛天个人荣获2024年中国科学院年度创新人物称号。

“这是对我们团队踏踏实实做基础研究工作的认可，我感到非常荣幸。”薛天表示，只有在科学知识的引领下，合理、智慧地利用光资源，才能让光真正成为人们健康生活的伴侣。

开拓研究新领域

光是生命之源。生命体从诞生到进化，都是在太阳辐射下进行的。在进化的单细胞阶段，生命体已经开始演化出对光的感受能力。“比如，水藻随着太阳光上浮或下沉，选择最有利于它的生活环境。”薛天说，这其实就是光感受调控生命的最简单形式。

感受外部环境是生命体的基础功能之一，而人类80%以上的信息是靠光感受输入。随着社会的飞速发展与现代进程的加速，人造光源的出现改变了自然光照环境。大量的公共卫生学调查显示，夜间光污染与肥胖、糖尿病等代谢性疾病的发病率上升密切相关，但缺

中国科大薛天团队：探索光与生命的奥秘

乏因果性证据。

“从生命的进化、生命体的基本特征以及人类生命健康这三个角度来看，光感受如何调控生命都是值得回答的重要科学问题。”薛天说，在很长一段时间里，绝大多数视觉领域的研究者都在关注光感受中的图像视觉问题，鲜有人深入研究光感受调控生命过程的问题。

薛天研究这一问题，缘起于他在美国约翰斯·霍普金斯医学院求学和工作的经历。他所在的实验室发现了第三类感光细胞——自感光视网膜神经节细胞 (ipRGC)，改写了百余年来教科书上的内容——视网膜内只有视锥、视杆两类感光细胞。

这个全新感光细胞的发现，引发了薛天的浓厚兴趣。2011年，他独立解析出ipRGC的光信号转导分子机制，相关研究成果发表于《自然》。

“随着ipRGC的发现以及感光分子机制的明确，我们自然想知道这样古老的感光细胞，在生命体中发挥什么样的生理功能。”薛天说。也是这一年，他回到中国科大建立了“光与生命”实验室，开始着手回答这个问题。

10多年来，薛天带领团队首次阐述了光影响大脑发育、调控血糖代谢和诱发抑郁样情绪等的神经环路机制，揭示了前端视网膜发育与衰老过程中的关键基因，首次发现哺乳动物视网膜近红外图像视觉能力，开发的用于黄斑变性治疗的药物已获批一类新药临床试验，系列工作推动了光感受神经生物学的基础研究和转化应用。

穷尽一切手段趋近真相

无论是人还是其他哺乳动物，眼睛只能感受到380至760纳米的可见光。能否突破自然界赋予视觉感知的物理极限？作为薛天回国后招的第一名博士研究生，马艺松尝试将一种可吸收红外光发出的可见光的上转换染料材料引入小鼠视网膜中，首次实现了小鼠视网膜近红外图像视觉能力。

2019年，相关研究成果在《细胞》发表后，得到广泛关注。《科学》评论指出：“如果同样的技术在人类身上有效，会为士兵提供夜视能力而无需佩戴夜视镜，并有可能对色盲等疾病产生治疗效果。”该研究获评2019年“中国生命科学十大进展”。

“薛老师教导我们，做科研要把短中期目标和长期目标有机结合。短中期目标的不断达成，既积累了经验、增强了信心，也证实了实验室的持续创新能力。同时，要保持初心，围绕原创性重大科学问题长期持续攻关。只有两者结合，才能既脚踏实地，又仰望星空。”已是中国科大特聘教授的马云飞说，他刚进实验室时做的一项基础研究课题持续了13年，最近刚完成机理阐释，正在总结论文。

史逸铭是第二名进入薛天实验室的博士研究生。他与合作者以小鼠为模型，从分子以及细胞层面解析了光如何影响大脑神经元突触的早期发育。

史逸铭清晰地记得，这项研究源于薛天参加的一场学术会议，其中一场学术报告谈及了光影响早期脑发育，这和实验室此前观察到的ipRGC在发育早期就开始感光密切相关。受此启发，薛天走出会场便立刻决定启动相关研究。

“研究刚开始进展很顺利，但在后期实验中‘卡壳’了。光对脑突触发育的调节作用，究竟会对小鼠成年后的生理行为产生怎样的影响？”史逸铭一段时期内都没有思路。

在一次偶然的数据分析中，史逸铭在另一个项目的行为实验中发现了一个特殊现象：ipRGC感光蛋白被敲除的成年小鼠，其学习速度显著慢于正常小鼠。很快，他提出，小鼠幼年时期接受的环境光通过增强大脑皮层和海马的突触发育，强化了动物成年后的联想学习能力，而这能力恰恰是皮层和海马的关键特征之一。这一想法在随后的实验中被证实。该研究成果发表于《细胞》，获评2022年“中国神经科学重大进展”。

孟建军从复旦大学毕业后，进入薛天实验室进行博士研究生阶段研究。经过多年攻关，他发现经过短波长蓝光的照射刺激后，小鼠和人的血糖代谢能力都会显著降低。这为夜间光污染导致糖尿病、肥胖等代谢性疾病高发的现象提供了神经生理学解释。该成果发表于《细胞》，获评2023年“中国科学十大进展”。

记者近日从中国科大获悉，该校俞书宏院士团队提出了一种将原子掺杂设计引入仿生结构相结合的策略，制备出仿珍珠母氧化铝-氟醚酯复合材料。这种材料具备早期火灾主动预警和被动式阻燃的双重功能。相关成果日前发表于《国家科学评论》。

先进结构材料已在航空航天、建筑和汽车制造等领域得到了广泛应用。通过模仿珍珠母高度有序的“砖-泥”结构并引入矿物桥增强机制，可以制备出兼具强度与韧性的高性能仿生结构材料。然而，这种材料中有机成分固有的热稳定性限制了其整体高温性能。为应对这一挑战，通常需要引入火灾报警和阻燃系统，但系统的复杂性增加将会影响其可靠性。因此，开发兼具主动早期火灾预警和被动阻燃的多功能结构材料具有重要的实际意义。

研究团队通过可控的固液反应合成了原子掺杂的氧化铝微晶片，并将其作为仿珍珠母结构中的“砖”。这些微米级组装单元表现出独特的可逆热致变色特性。同时，该原子掺杂策略同步实现了固溶强化效应，与仿珍珠母多级结构设计协同作用，使仿生复合材料具有高强度和高断裂韧性的机械性能。

通过基于机器学习的K-means模型的图像识别技术，研究团队制备出的仿珍珠母氧化铝-氟醚酯复合材料在250℃时的响应时间为9秒，适用于早期火灾预警。此外，高度有序的“砖-泥”结构有效阻碍了氧气的传导，实现了50%的极限氧指数，从而赋予了仿生复合材料优异的阻燃性能。该仿生复合材料在保持优异机械性能的基础上，通过集成早期火灾主动预警与被动式阻燃双重功能，构建了主动-被动协同防护体系，从而使其成为兼具结构承载与智能防护功能的多功能材料，在智能火灾预警系统领域展现出广阔的应用前景。

研究人员介绍，这项工作展示了结构设计于功能设计的有效结合，实现了主动早期火灾预警和被动阻燃协同作用机制，为复杂恶劣环境下新一代智能火灾预警系统的高性能结构材料开发提供了一种崭新的途径。

(转自《中国教育报》2025年4月15日)