



合肥微尺度物质科学国家研究中心

HEFEI NATIONAL LABORATORY FOR PHYSICAL SCIENCES AT THE MICROSACLE

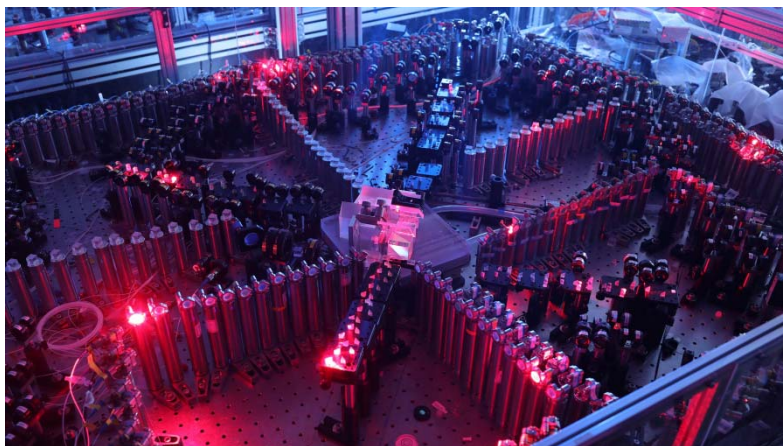
2020年第12期 (总第 185 期)

合肥微尺度物质科学国家研究中心办公室

0551-63600458 hfnloff2@ustc.edu.cn

中国科学家实现“量子计算优越性”里程碑

中国科学技术大学潘建伟、陆朝阳等组成的研究团队与中科院上海微系统所、国家并行计算机工程技术研究中心合作，构建了76个光子的量子计算原型机“九章”，实现了具有实用前景的“高斯玻色取样”任务的快速求解。根据现有理论，该量子计算系统处理高斯玻色取样的速度比目前最快的超级计算机快一百万亿倍（“九章”一分钟完成的任务，超级计算机需要一亿年）。等效地，其速度比去年谷歌发布的53个超导比特量子计算原型机“悬铃木”快一百亿倍。这一成果使得我国成功达到了量子计算研究的第一个里程碑：量子计算优越性（国外也称之为“量子霸权”）。相关论文发表在国际学术期刊《科学》。



光子干涉实物图：左下方为输入光学部分，右下方为锁相光路，上方共输出100个光学模式，分别通过低损耗单模光纤与100超导单光子探测器连接。（摄影：马潇汉，梁竞，邓宇皓）

该团队通过自主研发同时具备高效率、高全同性、极高亮度和大规模扩展能力的量子光源，同时满足相位稳定、全连通随机矩阵、波包重合度优于99.5%、通过率优于98%的100模式干涉线路，相对光程 10^{-9} 以内的锁相精度，高效率100通道超导纳米线单光子探测器，成功构建了76个光子100个模式的高斯玻色取样量子计算原型机“九章”（命名为“九章”是为了纪念中国古代最早的数学专著《九章算术》）。

根据目前最优的经典算法，“九章”对于处理高斯玻色取样的速度比目前世界排名第一的超级计算机“富岳”快一百万亿倍，等效地比谷歌去年发布的53比特量子计算原型机“悬铃木”快一百亿倍。同时，通过高斯玻色取样证明的量子计算优越性不依赖于样本数量，克服了谷歌53比特随机线路取样实验中量子优越性依赖于样本数量的漏洞。“九章”输出量子态空间规模达到了 10^{30} （“悬铃木”输出量子态空间规模是 10^{16} ，目前全世界的存储容量是 10^{22} ）。该成果牢固确立了我国在国际量子计算研究中的第一方阵地位，为未来实现可解决具有重大实用价值问题的规模化量子模拟机奠定了技术基础。此外，基于“九章号”量子计算原型机的高斯玻色取样算法在图论、机器学习、量子化学等领域具有潜在应用，将是后续发展的重要方向。《科学》杂志审稿人评价该工作是“一个最先进的实验”（a state-of-the-art experiment），“一个重大成就”（a major achievement）。研究人员希望这个工作能够激发更多的经典算法模拟方面的工作，也预计将来会有提升的空间。量子优越性实验并不是一个一蹴而就的工作，而是更快的经典算法和不断提升的量子计算硬件之间的竞争，但最终量子并行性会产生经典计算机无法企及的算力。

该成果同时入选2020年国内十大科技新闻和2020年度中国十大科技进展新闻。

合肥微尺度物质科学国家研究中心

简报



研究进展

金属氧化物半导体基等离激元学研究取得突破性进展

最近，中国科学技术大学合肥微尺度物质科学国家研究中心罗毅教授、张群教授、江俊教授研究团队在基于金属氧化物半导体材料的等离激元学研究方面取得突破性进展，采用新发展的电子-质子协同掺氢策略，实现了类金属的超高自由载流子浓度，从而获得强且可调的等离激元效应。研究成果以“Hydrogen-Doping-Induced Metal-Like Ultrahigh Free-Carrier Concentration in Metal-Oxide Material for Giant and Tunable Plasmon Resonance”为题在线发表在《先进材料》杂志上。

在传统贵金属（金、银等）之外发掘出具有高性能等离激元效应的非金属新材料，是当前等离激元学基础研究及应用研发的一个热点与难点。金属氧化物半导体材料具有丰富可调的光、电、热、磁等性质，对其采取氢化处理可有效修饰其电子结构，从而获得丰富可调的等离激元效应；此处的一个关键性挑战在于如何显著提高金属氧化物半导体材料内禀的低自由载流子浓度。基于该研究团队新近发展的、理论模拟计算指导下的电子-质子协同掺氢策略，在本工作中研究人员采用简便易行的金属-酸溶液原位联合处理方法实现了金属氧化物 MoO_3 半导体材料在温和条件下的可控加氢（即实现了“本征半导体 \rightarrow 准金属”的可控相变），从而突破性地大幅提升了该材料中的自由载流子浓度。研究表明，氢化后的 MoO_3 材料中自由电子浓度与贵金属相当（譬如 $\text{H}_{1.68}\text{MoO}_3$: $\sim 10^{21}\text{cm}^{-3}$; Au/Ag : $\sim 10^{22}\text{cm}^{-3}$ ），这使得该材料的等离激元共振响应从近红外区移至可见光区，且兼具强增益及可调性。结合第一性原理模拟计算和以超快光谱为主的多种物性表征，研究人员进一步揭示出该协同掺氢所导致的准金属能带结构及相应的等离激元动力学性质。作为效果验证，研究人员在一系列表面增强拉曼光谱（SERS）实验中证实该材料表面等离激元局域强场可使吸附的罗丹明6G染料分子的SERS增强因子高达 1.1×10^7 （相较于一般半导体的 10^{4-5} 和贵金属的 10^{7-8} ），检测灵敏限低至纳摩量级（ $1 \times 10^{-9}\text{mol L}^{-1}$ ）。

这项工作创新性地发展出一种调控非金属半导体材料系统中自由载流子浓度的一般性策略，不仅低成本地实现了具有强且可调的等离激元效应的准金属相材料，而且显著地拓宽了半导体材料物化性质的可变范围，为新型金属氧化物功能材料的设计提供了崭新的思路和指导。

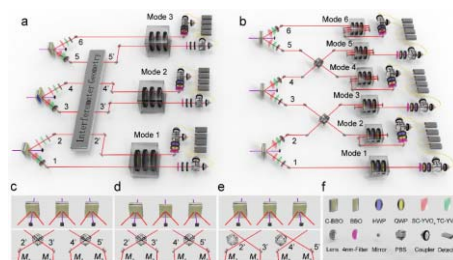
中国科大在分布式量子精密测量方面取得重要进展

中国科学技术大学教授潘建伟及其同事陈宇翱、徐飞虎等利用多光子量子纠缠在国际上首次实现分布式量子相位估计的实验验证，这为将来构建基于量子网络的高精度量子传感奠定基础。该成果在国际学术知名期刊《自然·光子学》上在线发表。

分布式传感是一种可用于同时执行远程空间多个节点上精密测量任务的重要手段，在日常生活、科学研究和工程等领域有着广泛的应用。随着量子技术的不断发展，传感技术也迈进了量子化时代。量子网络作为量子信息和量子计算的重要组成，在执行各类远程多节点任务中起着重要作用。当对多个空间分布的参量进行测量时，分布式量子传感能够实现超越经典统计极限的测量精度。然而，分布式量子传感面对的一个重要问题是：如何选择并制备能够实现多个参量最优的测量精度的量子纠缠态。研究表明，对于某类分布式的最大纠缠态，理论上能够达到最优测量精度，即海森堡极限。

研究团队设计了最优的测量方案，基于多光子量子纠缠，通过操纵六光子干涉仪，实验演示了多个独立的相移及其平均值测量。实验结果显示，利用分布式纠缠态进行测量，其精度可以超越经典传感器的理论极限。基于光子纠缠和相干性组合的方案，研究团队进一步实验演示了多个空间相移的线性组合测量（参数数量总个数达到21个），与仅利用粒子纠缠的方案对比，该组合式方案不仅能够增加可测量参数数量，还能提高测量精度。

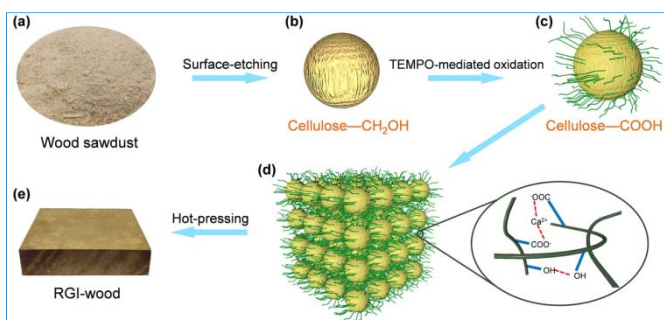
该项工作成功实现了多参量分布式量子传感的原理性实验验证，评估了不同纠缠结构情况下的测量精度，验证了纠缠结构对测量精度的增强效果，扩展了资源利用率和可测量的参量数量，朝分布式量子传感的实际应用迈出了重要一步。《自然·光子学》杂志的审稿人对该工作给予高度评价，称赞这是一项“重要的里程碑工作”（constitutes a significant milestone）。





研究进展

中国科大研制 各向同性全生物质仿生木材



近日，中国科学技术大学俞书宏院士团队通过深入解析生物质微观结构，提出了一种利用生物质天然纳米结构的全新的生物质表面纳米化策略，基于这种策略构筑了一种可持续新型各向同性仿生木材（“RGI-wood”）。该策略巧妙地利用了木屑等生物质中天然的纤维素纳米纤维，将其暴露在木屑颗粒表面，并使其互相交联从而构筑无需任何粘合剂的高性能人造木材。相关研究成果于12月12日以“Regenerated isotropic wood”为题发表在《国家科学评论》杂志上。

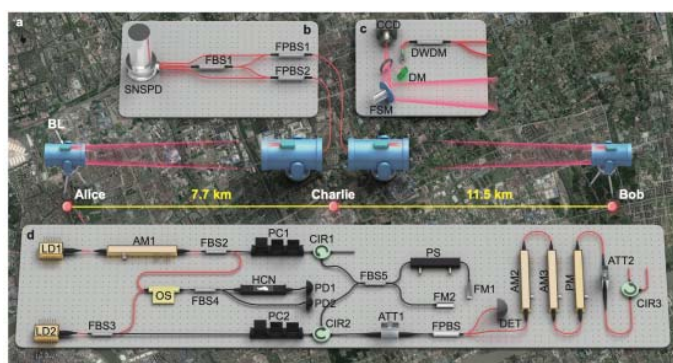
这种新型人造木材自下而上的制备方式使其在尺寸上将不受限制，可以克服大块实木材料的稀缺性，大大拓宽了这类木质材料的应用范围。另外，其还表现出优异的阻燃性性和防水性。在这种高性能人造木材中，微米级木屑颗粒的暴露着大量的纳米尺度的纤维素纤维，这些纳米纤维通过离子键、氢键、范德华力以及物理纠缠等相互作用结合在一起，微米级的木屑颗粒也被这些互相缠绕的纳米纤维网络紧密地结合在一起形成高强度的致密结构，而无需添加任何粘结剂。这种结构特征带来了高达170MPa的各向同性抗弯强度和约10GPa的弯曲模量，远超天然实木的力学强度。此外，新型人造木材还显示出优异的断裂韧性，极限抗压强度，硬度，抗冲击性，尺寸稳定性以及优于天然木材的阻燃性。作为一种全生物基的环保材料，新型人造木材不仅不含任何粘结剂，还具有远超树脂基材料和传统塑料的力学性能，因此具有非常广泛的应用前景。

这项研究提出了一种生物质颗粒表面纳米化方法和策略，可用于构筑全生物质，不含任何粘结剂，具有优异的力学性能，可复合的新型人造木材。同时，这种全新的生物质表面纳米化策略也可以扩展到其他生物质（例如，树叶、稻草和秸秆等），并可以实现多功能化，有望用于制造一系列绿色全生物质的可持续结构材料，将进一步推动人造板行业向绿色、环保和低碳方向发展。

中国科大在量子通信领域取得重要进展：首次在自由空间信道实现测量设备无关量子密钥分发实验

近日，中国科学技术大学潘建伟及其同事彭承志、张强等与清华大学王向斌，中科院上海微系统所尤立星等人合作，首次在国际上实现了基于远距离自由空间信道的测量设备无关量子密钥分发（MDI-QKD）实验。相关成果于2020年12月23日以编辑推荐（Editors' Suggestion）的形式在线发表在《物理评论快报》上。美国物理学会 Physics网站以“量子物理保证无线通信安全”（Securing a Wireless Link with Quantum Physics）为题专门对该工作做了报道。这项成果不仅实现了将MDI-QKD从光纤信道拓展到自由空间信道的突破，也开启了在自由空间信道中实现基于远距离量子干涉的更复杂的量子信息处理任务的可能。

实验团队利用清华大学王向斌教授的四强度优化协议，最终在上海城市大气信道中实现了第一个自由空间MDI-QKD实验。两个信道长度分别为7.7km和11.5km，通信双方Alice和Bob间距离为19.2km，该距离也远远超过了地球大气的等效厚度，这意味着本工作也向着基于卫星的MDI-QKD迈出坚实一步。此外，在MDI-QKD以外的许多量子信息任务中，实现独立单光子在自由空间信道中远距离传播后的量子干涉是不可避免的。本工作发展的相关技术为在自由空间进行量子干涉的相关量子实验开辟了道路，如量子中继器、量子网络，以及在大空间尺度中探索量子力学与广义相对论融合等基本问题。



远距离自由空间MDI-QKD实验装置图