



## 中国科大在氧化物电子学领域取得重要进展

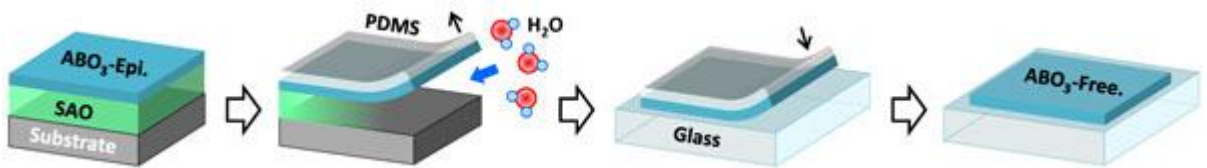


图1: 基于水溶性牺牲层的自支撑氧化物薄膜的剥离和转移过程示意图。

日前,中国科大吴文彬教授、王凌飞教授团队与西北大学司良教授团队合作,成功制备了一种广谱高效的新型超四方相水溶性牺牲层材料 $\text{Sr}_4\text{Al}_2\text{O}_7$ ,可用于制备多种高质量自支撑氧化物薄膜。成果以“Super-tetragonal  $\text{Sr}_4\text{Al}_2\text{O}_7$  as a sacrificial layer for high-integrity freestanding oxide membranes”为题,以研究长文(Research Article)形式发表于《Science》。

多年来,自支撑氧化物薄膜的主流制备方法是基于水溶性牺牲层的外延生长、剥离和转移技术(图1)。然而,目前国际上普遍使用的Sr-Al-O基水溶性牺牲层与目标氧化物薄膜之间不可避免的晶格失配和应力弛豫会导致高密度界面缺陷的形成,进而在水辅助剥离和转移过程中诱发高密度裂纹的产生,显著影响自支撑氧化物薄膜的结晶性和完整性,并导致相应功能特性的退化。因此,如何抑制微裂纹的形成,获得大面积、高结晶性的自支撑氧化物薄膜是推动这一研究领域进一步发展的关键科学问题。

针对上述问题,研究团队深入探索Sr-Al-O基水溶性牺牲层薄膜的激光分子束外延生长窗口,通过精细的薄膜生长控制发现了一种新型水溶性牺牲层材料 $\text{Sr}_4\text{Al}_2\text{O}_7$ 。系统的实验表征和第一性原理计算展现了其诸多优异性质:首先,双轴应变下的 $\text{Sr}_4\text{Al}_2\text{O}_7$ 薄膜具有四方结构对称性,与多数 $\text{ABO}_3$ 钙钛矿材料可以形成高质量共格外延生长,抑制了界面处缺陷的形成和水辅助剥离过程中的裂纹产生,显著提升了自支撑氧化物薄膜的结晶性和完整性。研究团队验证了晶格常数在 $3.85\sim 4.04$  Å区间的一系列钙钛矿氧化物薄膜的剥离效果,发现从 $\text{Sr}_4\text{Al}_2\text{O}_7$ 牺牲层上剥离的自支撑薄膜中无裂纹区域可以扩展到毫米级,比目前已报道的同类自支撑薄膜样品大1~3个数量级,且其结晶性和功能性可以与单晶衬底上生长的高质量外延薄膜相当。其次, $\text{Sr}_4\text{Al}_2\text{O}_7$ 薄膜的激光分子束外延生长窗口与多数钙钛矿氧化物薄膜兼容,制备工艺具有普适性。研究团队还进一步发现 $\text{Sr}_4\text{Al}_2\text{O}_7$ 独特的原子结构导致其具有很高的水溶性,显著缩短了水辅助剥离过程的时间,提升了自支撑氧化物薄膜的制备效率。

新型水溶性牺牲层 $\text{Sr}_4\text{Al}_2\text{O}_7$ 的发现为制备高结晶性、大面积自支撑氧化物薄膜提供了一种高效且普适的实验手段。这一发现突破了自支撑氧化物薄膜在完整性和结晶性方面的瓶颈,为该领域的发展注入了新的动力,既有望推动自支撑氧化物薄膜新奇量子物态的进一步发掘,也可以提升这一体系在低维柔性电子学器件方面的应用潜力。审稿人对该工作给予高度评价,认为“对于(自支撑氧化物薄膜)这一正迅速发展的研究领域内的科学家们而言,这无疑是一个有趣的工作”“章等人的工作具有从多个方面对氧化物电子学领域形成广泛影响的潜力”。

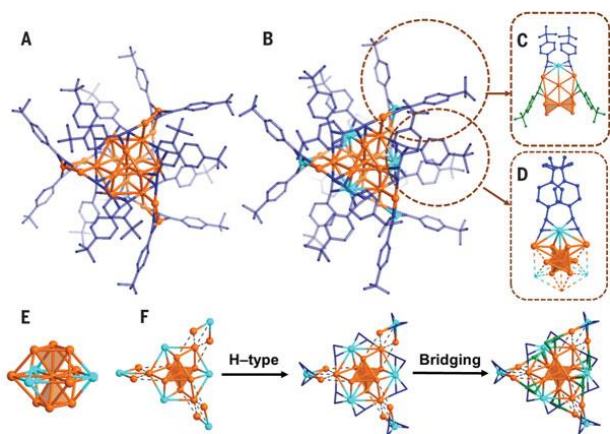
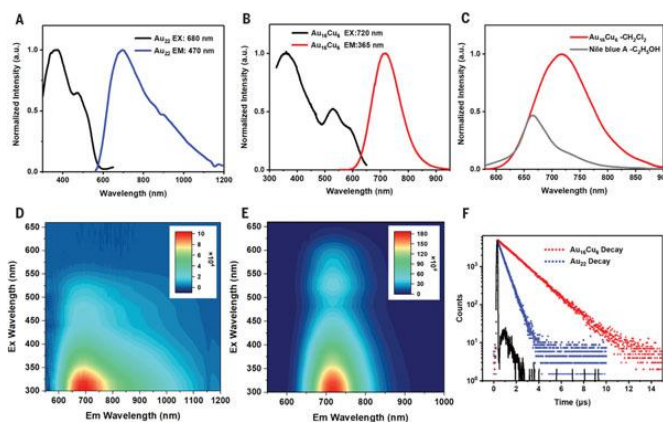
## 中国科大合作研究在金属团簇发光领域取得重大突破

近日，中国科大周蒙教授课题组与清华大学王泉明教授团队合作，在溶液中实现了金属团簇>99%量子产率的近红外发光，并揭示了其三重态发光机制，解决了这一方向的难题。相关研究成果以“Near-unity NIR phosphorescent quantum yield from a room-temperature solvated metal nanocluster”为题，发表在期刊《科学》上。

近红外发射的金纳米团簇在生物领域具有潜在的应用价值，但这些团簇的近红外发光量子产率(PLQY)通常较低(<10%)。在此，研究人员通过铜掺杂合成 $\text{Au}_{16}\text{Cu}_6$ 团簇，发现其在室温无氧溶液中表现出>99%的PLQY。近100%PLQY团簇的成功制备有助于进一步开发高近红外发光量子产率的金属团簇。

研究人员合成了 $\text{Au}_{22}(\text{tBuPhC}\equiv\text{C})_{18}$  ( $\text{Au}_{22}$ )及其铜掺杂对应团簇 $\text{Au}_{16}\text{Cu}_6(\text{tBuPhC}\equiv\text{C})_{18}$  ( $\text{Au}_{16}\text{Cu}_6$ )，并研究了其光物理性质。单晶X射线衍射结果分析表明 $\text{Au}_{22}$ 和 $\text{Au}_{16}\text{Cu}_6$ 具有相似的结构。对这两个团簇进行基本的发光性质表征发现， $\text{Au}_{22}$ 的发光峰位于690nm， $\text{Au}_{16}\text{Cu}_6$ 的发光峰位于720nm。在空气条件下用绝对法测得 $\text{Au}_{22}$ 和 $\text{Au}_{16}\text{Cu}_6$ 的PLQY分别为9%和95%，在无氧溶液中通过绝对法和相对法测得 $\text{Au}_{16}\text{Cu}_6$ 的PLQY均达到100%。时间相关单光子计数测得 $\text{Au}_{22}$ 和 $\text{Au}_{16}\text{Cu}_6$ 的发光寿命分别为485ns和1.64 $\mu\text{s}$ 。

通过瞬态吸收光谱进一步研究其激发态动力学发现，两种团簇的发光态均来自于三重激发态( $T_1$ )，且在飞秒瞬态吸收光谱中观察到了不同的动力学过程。在380nm激发下， $\text{Au}_{22}$ 表现出148 ps的上升过程，而 $\text{Au}_{16}\text{Cu}_6$ 表现出0.5ps的快速下降过程。通过三重态敏化实验证明，这两个过程可以归属于 $S_1 \rightarrow T_1$ 的系间窜跃(ISC)。由于铜掺杂使得 $\text{Au}_{16}\text{Cu}_6$ 具有更小的 $\Delta E_{\text{ST}}$ ，因此显著加快了其ISC的速率，最终 $\text{Au}_{16}\text{Cu}_6$ 展现出接近100%的PLQY。

图1.  $\text{Au}_{22}$ 和 $\text{Au}_{16}\text{Cu}_6$ 的结构图2.  $\text{Au}_{22}$ 和 $\text{Au}_{16}\text{Cu}_6$ 在二氯甲烷中的发光性质

## 研究进展

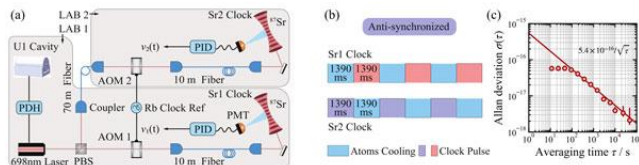
中国科大实现稳定性和不确定度均优于 $5E-18$ 的锶原子光晶格钟

图1 中国科大Sr 1和Sr 2光钟的异步比对操作和稳定度性能

中国科大潘建伟、陈宇翱、戴汉宁等组成的研究团队，成功研制了万秒稳定性和不确定度均优于 $5 \times 10^{-18}$ （相当于数十亿年的误差不会超过一秒）锶原子光晶格钟。根据公开发表的数据，该系统不仅是当前国内综合指标最好的光钟，也使得我国成为继美国之后第二个达到上述综合指标的国家。该成果对未来实现远距离光钟比对、建立超高精度的光频标基准和全球性光钟网络奠定了重要的技术基础。相关成果发表于国际计量领域重要学术期刊《计量学》。

目前，最先进的光钟比国际上用于秒定义的微波喷泉钟的精度高出了两个数量级以上。正是基于量子精密测量技术的发展，第二十七届国际计量大会通过了“关于秒的未来重新定义”的决议，计划于2026年提出关于利用光钟重新定义国际单位制（SI）“秒”的具体路线，并将在2030年做出最终决定。为了推动基于光钟的新一代秒定义，要求至少3个不同实验室的光钟不确定度优于 $2 \times 10^{-18}$ ，并通过光学链路或移动光钟实现优于 $5 \times 10^{-18}$ 的频率比对精度。

在该工作中，研究团队实现了锶原子（ $^{87}\text{Sr}$ ）的激光冷却，并将其束缚在长寿命的一维光晶格中，利用一束预先锁定到超稳腔的超稳激光来探寻锶原子钟态跃迁，并实现了光钟闭环运行。通过两套独立的锶原子光晶格钟（Sr 1和Sr 2）进行了频率比对测量，得到单套光钟的稳定度在10000秒积分时间被达到了 $4 \times 10^{-18}$ ，在47000秒达到了 $2.1 \times 10^{-18}$ ，整体达到了 $5.4 \times 10^{-16}/\sqrt{\tau}$ ， $\tau$ 是积分测量的时间。在此基础上，研究团队还对Sr 1光钟的系统频移因素开展了逐项评定，最终得到其系统不确定度为 $4.4 \times 10^{-18}$ 相当于72亿年仅偏差1秒。上述性能指标表明该光钟系统已部分满足“秒”重新定义的要求。

该研究工作提升了我国原子光频标的性能指标，结合前期实现的万秒稳定度优于 $4 \times 10^{-19}$ 的百公里自由空间高精度时间频率传递 [Nature 610, 661 (2022)]，为下一步建立远距离光钟比对（如 Sr/Yb, Sr/Ca<sup>+</sup>）奠定了坚实基础，对未来构建新一代全球时间基准乃至提供引力波探测、暗物质搜索的新方法等具有重要价值。

## 中国科大提出幽门螺旋杆菌感染超声动力治疗方案

幽门螺旋杆菌是可人际传播的一种常见致病菌。我国成年人幽门螺旋杆菌感染率高达40%-50%。长期幽门螺旋杆菌感染已被认定为I类人类致癌物。目前，临床治疗幽门螺旋杆菌感染的标准疗法（即，三联疗法和四联疗法）都依赖口服抗生素以清除胃部幽门螺旋杆菌。但是，这种对口服抗生素的依赖也导致上述临床标准疗法面临如下两个重要挑战：(1)幽门螺旋杆菌的抗生素耐药性导致临床治疗的失败率和复发率逐年升高，(2)口服抗生素会导致对宿主生理健康至关重要的肠道菌群发生失衡。此外，三联疗法等临床标准疗法忽略了空泡毒素A这一幽门螺旋杆菌感染中至关重要的毒力因子。

针对上述问题和挑战，中国科学技术大学合肥微尺度物质科学国家研究中心、化学与材料科学学院的阳丽华课题组开发了一种纳米颗粒介导的超声动力疗法，相关研究成果发表在国际学术期刊《Nature Communications》上。

介导这种超声动力疗法的纳米颗粒由已被批准用于临床的成分所组成，且在该疗法中具有双重功效：即便在没有超声的情况下，它也能有效中和空泡细胞毒素A这一由幽门螺杆菌分泌的关键毒力因子；当与符合超声医疗设备使用标准的超声暴露剂量相结合时，它能通过产生活性氧来杀灭幽门螺杆菌，为解决抗菌药物耐药性问题提供了可能。在感染幽门螺杆菌的雌性小鼠模型中，这种超声动力疗法在减少胃部感染方面与标准三联疗法效果相当。值得一提的是，与基于抗生素的临床标准疗法不同，这种超声动力治疗不会对肠道微生物群产生显著负面影响，除了上调乳酸杆菌这种广泛应用于酸奶和益生菌制品的有益菌的小鼠肠道水平。在治疗实施后48小时内，这种超声动力疗法并未对小鼠肝肾功能或整体健康产生不良影响，这与标准三联疗法的安全性特征相符；但在治疗后12周观察中，白细胞介素1受体拮抗剂（IL-1RA）这种在多种疾病中发挥关键抗炎作用的蛋白质的水平出现了显著差异：三联疗法上调了小鼠血清IL-1RA水平，而超声动力疗法却没有。

这种超声动力疗法有望成为幽门螺杆菌感染抗生素疗法的有效替代方案，其额外优势包括去除空泡毒素A、保护肠道微生物群多样性、以及可能避免抗生素耐药性。