多光谱智能窗

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：https://www.iikx.com/news/progress/30945.html

本文仅供学习交流之用，版权归原作者所有，请勿用于商业用途！

多光谱智能窗。 导读

从摩天大楼的玻璃幕墙，到新能源汽车的全景天窗，再到飞机的大尺寸舷窗，在现代城市的高楼大厦和新型交通工具中，透明结构已成为不可或缺的重要元素。然而，随着科技的迅猛发展，光污染和电磁污染已成为不可忽视的重要公共健康问题。传统窗户在方面表现乏力，亟需增强功能，以应对这些挑战。

透射率和雾度是表征光学性能的重要参数，不仅影响窗户的性能，更直接关系到用户体验。透射率可调节室内照明强度，从而助力节能；而雾度则在保护隐私方面发挥重要作用。然而，传统的光传输和散射调节通常需要不同的材料系统和设备。此外，电磁波调控也是未来窗户技术的重要方向，但现有智能窗尚未解决这一问题。

鉴于此，哈尔滨工业大学朱嘉琦课题组创新性地研发了一种多光谱智能窗。这款智能窗不仅能够调节可见光，还具备屏蔽微波信号的功能。其结构包括一个由负性液晶、离子型表面活性剂和二色性染料组成的核心液晶混合物，以及垂直排列的聚酰亚胺层和氧化铟锡（ITO）膜，全部封装在玻璃基板内。液晶混合物作为光调制介质，而ITO薄膜因其光学透明性和导电性，既充当电极又提供微波屏蔽功能。

该成果发表在Light: Science Applications，题为Multispectral Smart Window: Dynamic Light Modulation and Electromagnetic Microwave Shielding。

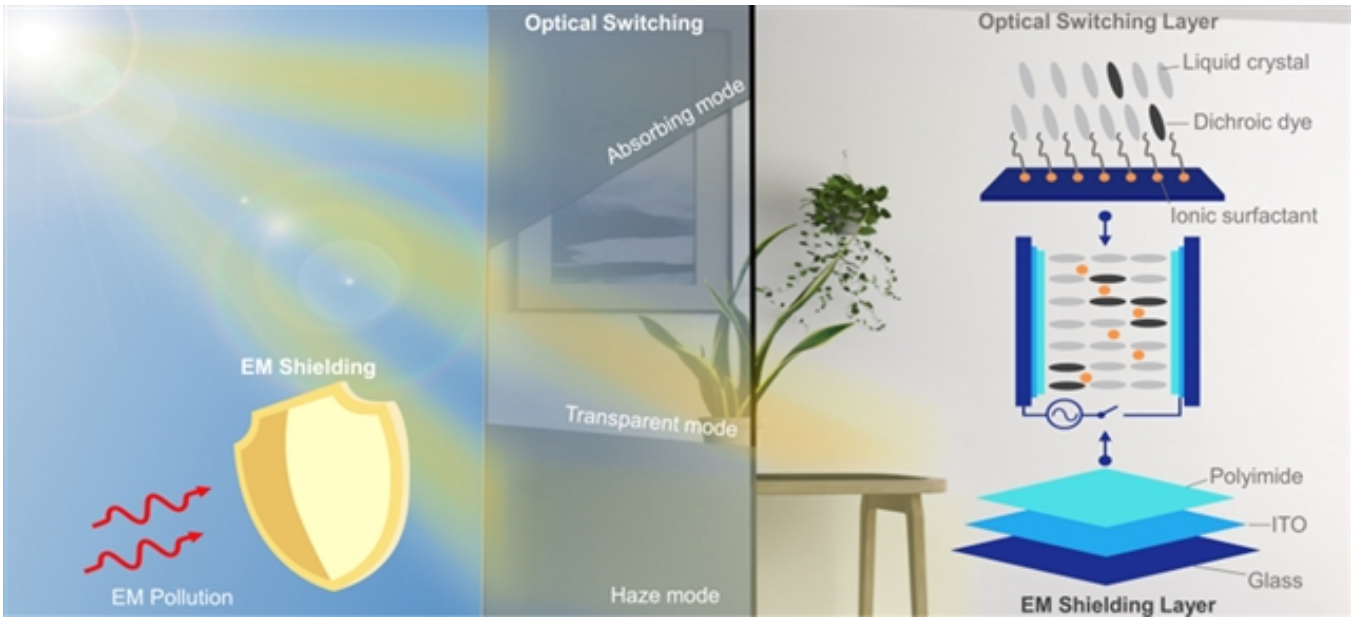


图1：多光谱智能窗效果图

介绍

团队利用液晶动态散射技术和二色染料的宾主效应，实现了可见光透射和散射的独立快速调节。该系统能够在透明、吸收和雾态之间灵活切换，有效控制室内光环境。此外，提出并验证了一种新的离子运动模型和介电常数调制策略。基于该策略，通过优化阴阳离子的掺杂比例，成功将最佳驱动频率调整至约300赫兹，从而在低频率下实现了透明、吸收和雾态之间的高效切换。图2展示了多光谱智能窗的可见光调控策略，包括不同模式的调光控制策略、离子运动模型及其对应的介电谱，以及通过优化阴阳离子的掺杂来改变最佳驱动频率的策略。

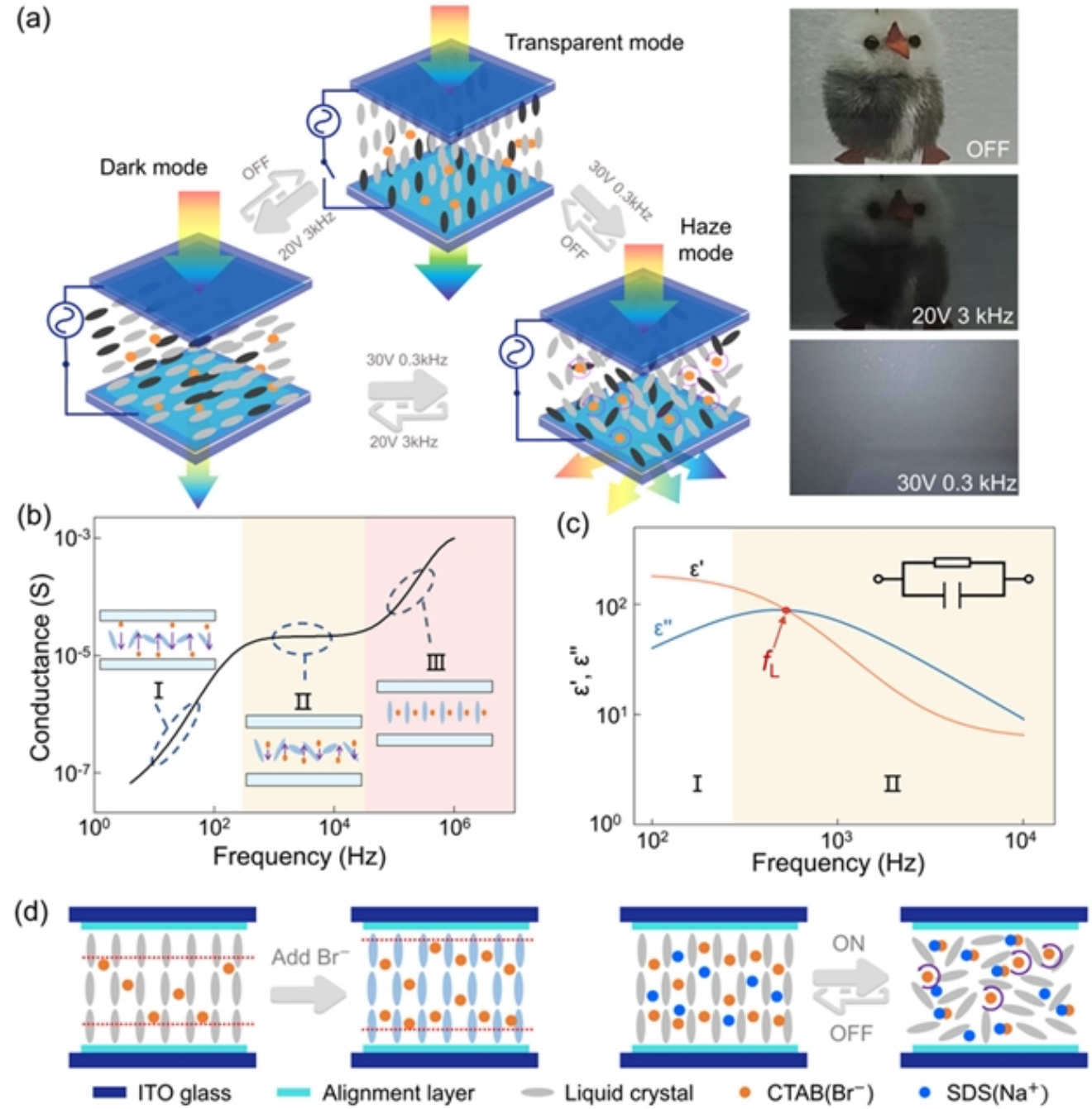


图2：多光谱智能窗的可见光调控策略。(a)
三态切换多光谱智能窗的不同模式调光控制策略及效果示意图；(b)
离子运动状态及其电导率谱；(c) 掺杂离子混合物等效电路及其介电谱；(d)
掺杂不同类型、含量粒子运动示意图

另一方面，本研究通过设计ITO膜的厚度，在2-18 GHz宽波段电磁屏蔽效果显著提高至30.9 dB，同时最大限度地减小对光学透明度的影响。图3展示了多光谱智能窗的微波调控策略以及实验验证，包括在2-18 GHz频率范围内随结构表面电阻变化的屏蔽效率模拟和测试结果，以及在5 GHz波入射时，窗后不同电阻值的人体头部电场分析。

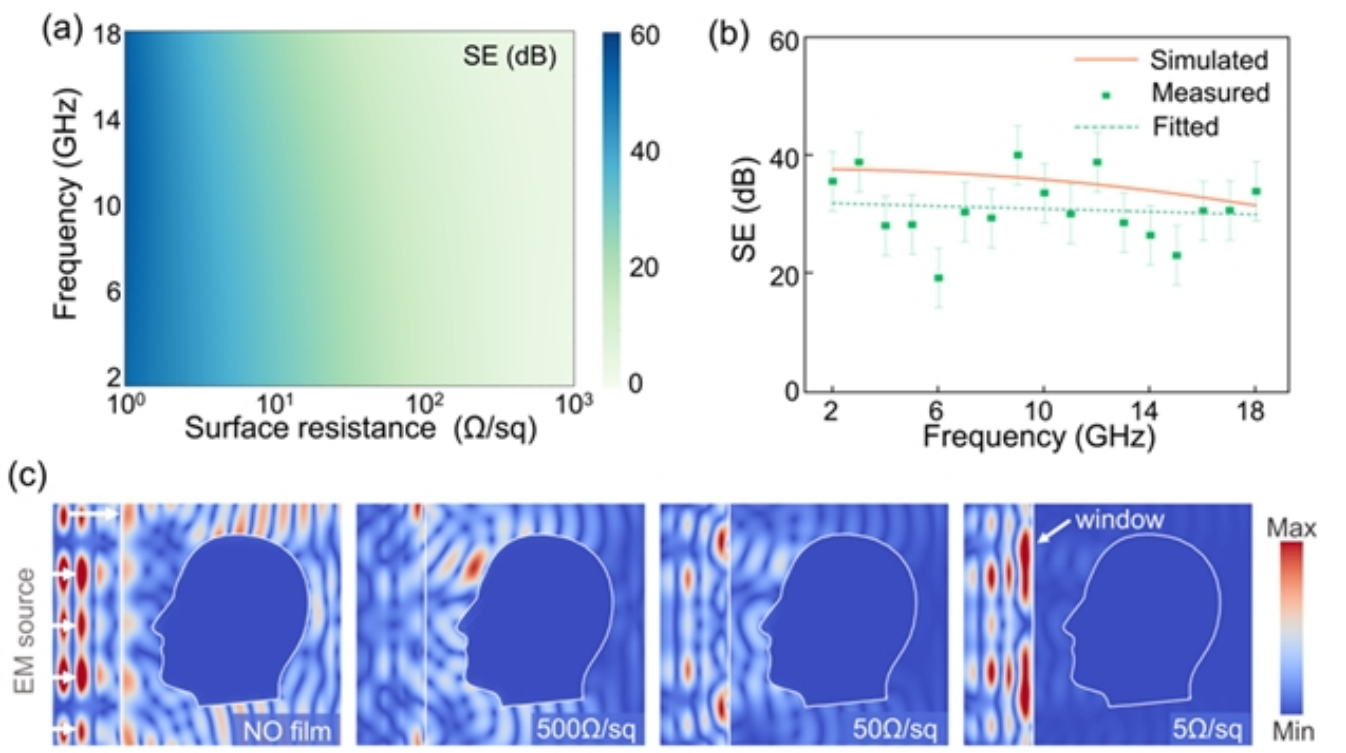


图3：多光谱智能窗的微波调控策略。(a) 2 – 18 GHz频率范围内，随结构表面电阻变化的屏蔽效率模拟云图；(b) 具有5 Ω sq-1 ITO膜的样品的模拟、测量和拟合屏蔽效能；(c) 5 GHz波入射时，窗后不同电阻值的人体头部电场分析。

展望

相比现有材料，该研究开发的多光谱智能窗不仅具备卓越的电磁屏蔽和光学调节性能，还实现了独特的功能，使其在传统结构和装置中脱颖而出。图4(a)展示了该智能窗在五个维度（响应时间、透射率调节范围、雾度调节范围、驱动电压和光学调节模式）上相对于现有电控智能窗技术的优势。图4(b)则展示了该智能窗覆盖更广泛的屏蔽波段，包括S、C、X、Ku波段的电磁波，与现有透明电磁屏蔽材料相比，体现了显著的竞争力。此外，这种方法的电磁屏蔽效果明显优于商用PDLC（聚合物分散液晶）材料，显示了其在建筑与交通市场中的巨大应用潜力。

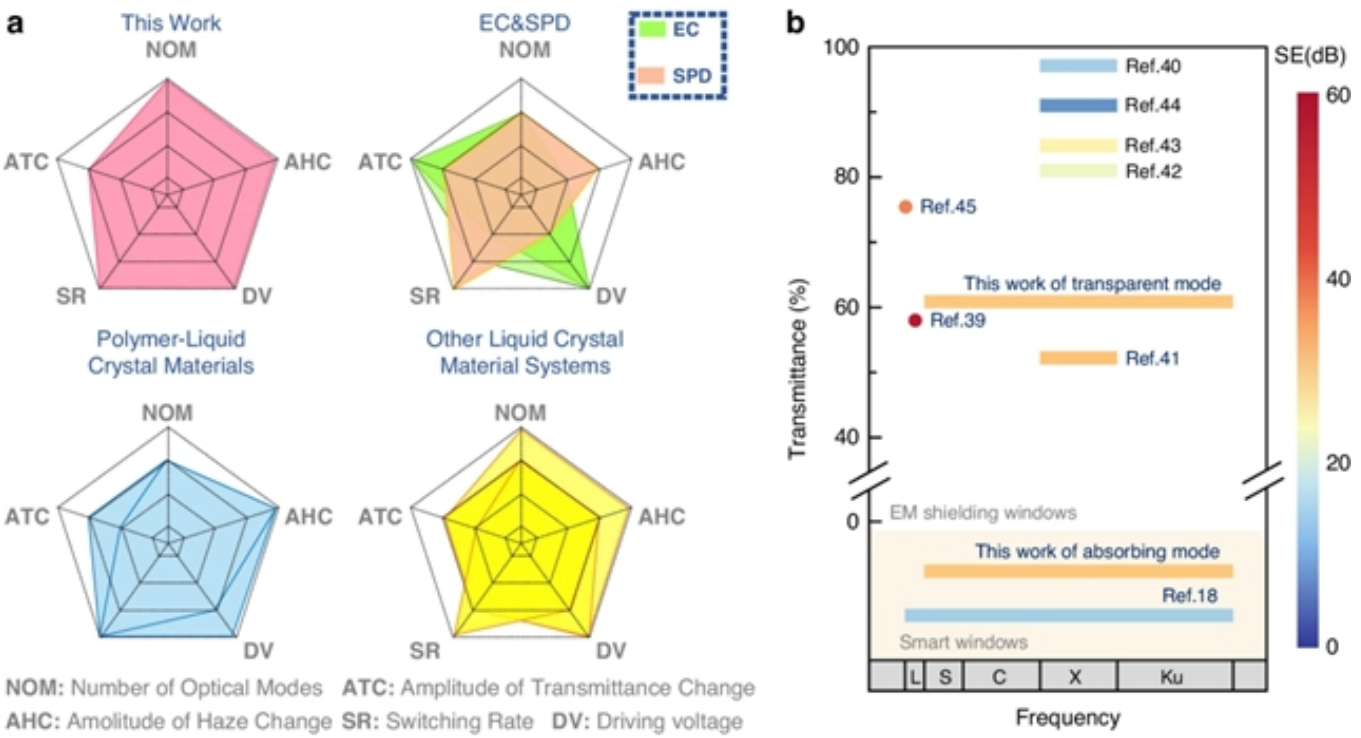


图4：多光谱智能窗的现状分析。(a) 电控类智能窗的研究现状对比
(EC，电致变色智能窗；SPD，悬浮粒子装置)；(b) 微波屏蔽透明材料的研究现状对比

随着智能材料和通信技术的不断进步，智能窗技术也在快速升级，推动世界朝着更加节能和智能化方向发展。一种适应复杂光-电磁环境的智能透明结构，智能光限幅调波结构，日益受到关注。这种结构依靠精确的液晶排列和创新的响应材料，可以实现先进的调光功能，不仅能控制光线方向，还能根据外部条件自动进行热调节。通过结合可重构智能表面的设计，智能窗不仅能有效管理通信信号，扩大无线通信的覆盖范围，减少通信延迟。此外，融合了太阳光谱和电磁调制的新技术，多光谱智能窗正在改变未来建筑和交通的面貌。这种革命性的设计将使现代建筑和交通系统更加节能高效，更具信息处理能力，从而推动整个行业向智能化和绿色化方向发展。

第一作者



张锐聪

张锐聪，本文第一作者，哈尔滨工业大学，入选春雁英才计划，主要从事光电薄膜和可调谐多光谱物理的研究工作。在各类学术期刊发表学术论文6篇，发明专利十余项。获第八届互联网+创新创业大赛全国金奖及其他国家级奖项5项。



宋梓诚

宋梓诚，本文第一作者，哈尔滨工业大学，入选春雁英才计划，主要从事光电薄膜与超构材料研究，曾在Light: Science Applications、Nature Communications等光学领域期刊与会议发表文章十余篇。

通讯作者



朱嘉琦

朱嘉琦，哈尔滨工业大学航天学院教授、博导，国家杰出青年基金，高效焊接新技术国家工程研究中心副主任。主要从事晶体及薄膜等研究，担任中国机械工程学会表面工程分会副主任，中国材料研究学会极端材料与器件分会副主任，中国仪表材料学会副理事长, Functional Diamond、Advanced Materials Devices副主编，表面技术、人工晶体学报、中国表面工程、低温与真空、功能材料、材料科学与工艺等杂志编委，获得中国青年科技奖、省青年五四奖章等荣誉，获国家技术发明奖二等奖1项，国家专利金奖1项，黑龙江省技术发明一等奖2项。以负责人承担国家自然科学基金6项（含重点1项）、重点研发计划项目2项。获授权发明专利82项(转让21项)，在SCIENCE, ADVANCED MATERIALS等知名刊物发表200余篇学术论文，出版学术专著2部，译著1部。



王天宇

王天宇，哈尔滨工业大学能源科学与工程学院教授，博士生导师，国内合作处副处长，中国颗粒学会青年理事，中国化工学会过程模拟与仿真专业委员会青年委员。多年来一直从事新能源利用中的多相流问题和智能光学材料研究，负责国家重点研发计划、国家自然科学基金、黑龙江省留学回国人员择优资助，黑龙江省重点研发计划子课题等项目，累计发表学术论文50余篇，其中SCI收录论文32篇，合作发表专著一章。



张智博

张智博，哈尔滨工业大学郑州研究院，助理教授，博士后副研究员。主要从事液晶调光薄膜与纤维传感器、液晶弹性体、特种隔热防护涂层等研究工作。以第一作者或通讯作者在各类学术期刊发表论文10余篇，授权发明专利10余项，担任《功能材料》期刊青年编委。（来源：中国光学微信公众号）

相关论文信息：https://doi.org/10.1038/s41377-024-01541-y

作者：朱嘉琦等 来源：《光：科学与应用》

更多 科学进展 请访问 https://www.iikx.com/news/progress/

本文版权归原作者所有，请勿用于商业用途，爱科学iikx.com转发