几何相位编码的液晶光学传感

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：https://www.iikx.com/news/progress/27999.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！

几何相位编码的液晶光学传感。 导读

近日，厦门大学陈鹭剑教授团队和南京大学陆延青教授团队在液晶光学传感领域取得新进展，将刺激响应型胆甾相液晶聚合物薄膜作为传感元件并与几何相位编码相结合，提出了一种新型视觉传感平台。相关成果以Geometric phase-encoded stimuli-responsive cholesteric liquid crystals for visualizing real-time remote monitoring: humidity sensing as a proof of concept为题发表在《Light: Science Applications》。

研究背景

传感技术在环境安全检测、信息获取以及高精度数据处理等关键领域扮演着至关重要的角色。在这一背景下，科研人员正致力于开发快速、用户友好且经济实惠的传感解决方案。特别是在刺激响应型光子晶体领域，胆甾相液晶（CLC）凭借其独特的螺旋超结构和一维光子晶体属性，展现出显著的潜力。这种材料不仅制造简单，还能在无需电源的情况下产生鲜明的结构色彩，为视觉分析检测提供了新途径。然而，CLC在实现其传感潜力时面临一个关键挑战：尽管它能够通过结构色变化产生肉眼可见的光信号，但对反射波长的精确测量仍然依赖昂贵的光谱仪器，这限制了其在光学传感器领域的发展。

随着平面光学元件作为平面和小型化光学元件的新型需求，源于光的自旋轨道相互作用的几何相位（即Pancharatnam-Berry相位）取得了显著进展。近年来，通过操纵CLC螺旋形超结构的局部取向，已成功将几何相位注入到反射光中，拓展出诸多光子学领域的新应用。特别地，在CLC平面光学器件中，几何相位编码能够根据不同反射波段改变反射衍射光场，以视觉上可辨别的图案形式提供丰富的传感信息，这超越了传统基于光子带隙（PBG）波长/频率的传感技术。同时，光涡旋（OV）提供的轨道角动量（OAM）作为新的自由度，使得涡旋光束（VB）成为探索波长和OAM可调OV的重要工具。

创新研究

为了有效实现传感信号的可视化，研究团队提出了基于几何相位编码的刺激响应型胆甾相液晶聚合物（CLCP）视觉传感平台。这一创新平台的核心特色是能生成基于实时视觉模式的图像传感信号，而非依赖于传统的波长/频率变化，从而提高了传感信号的直观性和可读性。研究人员以对湿度的检测作为平台有效性的概念验证，利用反应性液晶单体、光引发剂和手性剂，制备了具有湿度响应的CLCP薄膜（图1）。实验结果表明，随着环境湿度的增加，薄膜会吸收水分而膨胀，导致其螺距增加，进而引起反射带的红移现象，证实了CLCP具有湿度响应的高度敏感性、响

应范围的可设计性及出色的可逆性。

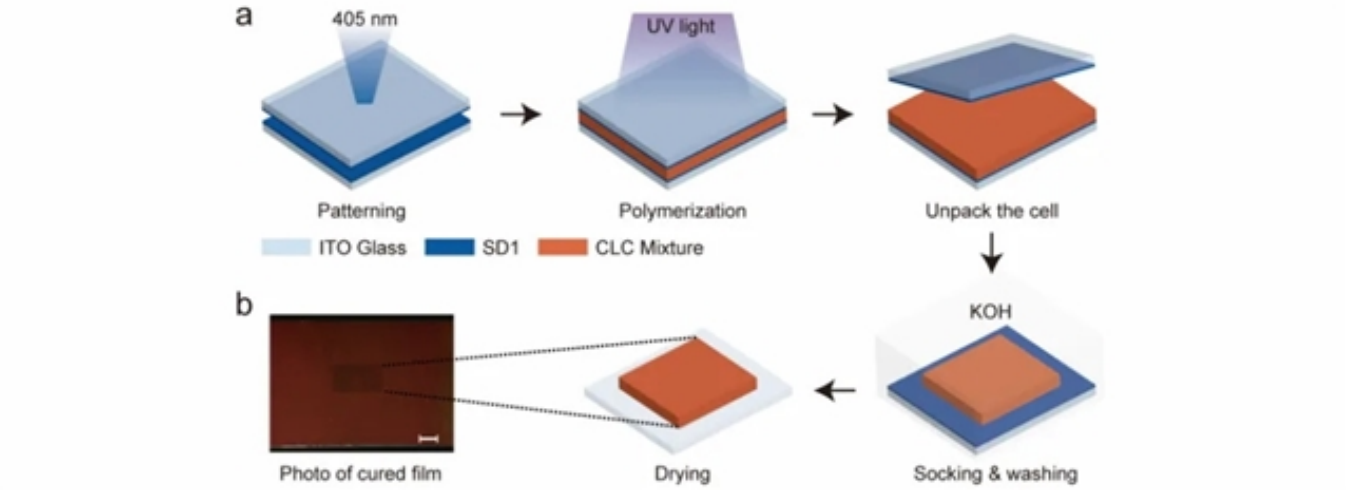


图1 图案编码的湿度响应型CLCP薄膜的制备流程示意图

研究团队采用单波长监测系统，对编码单个q-plate的湿度响应型CLCP薄膜进行了详细的反射衍射特性分析（图2）。实验结果展示了CLCP将环境湿度的实时变化转换为可视化信号的能力，凸显其在实时、远距离监测领域的应用潜力。

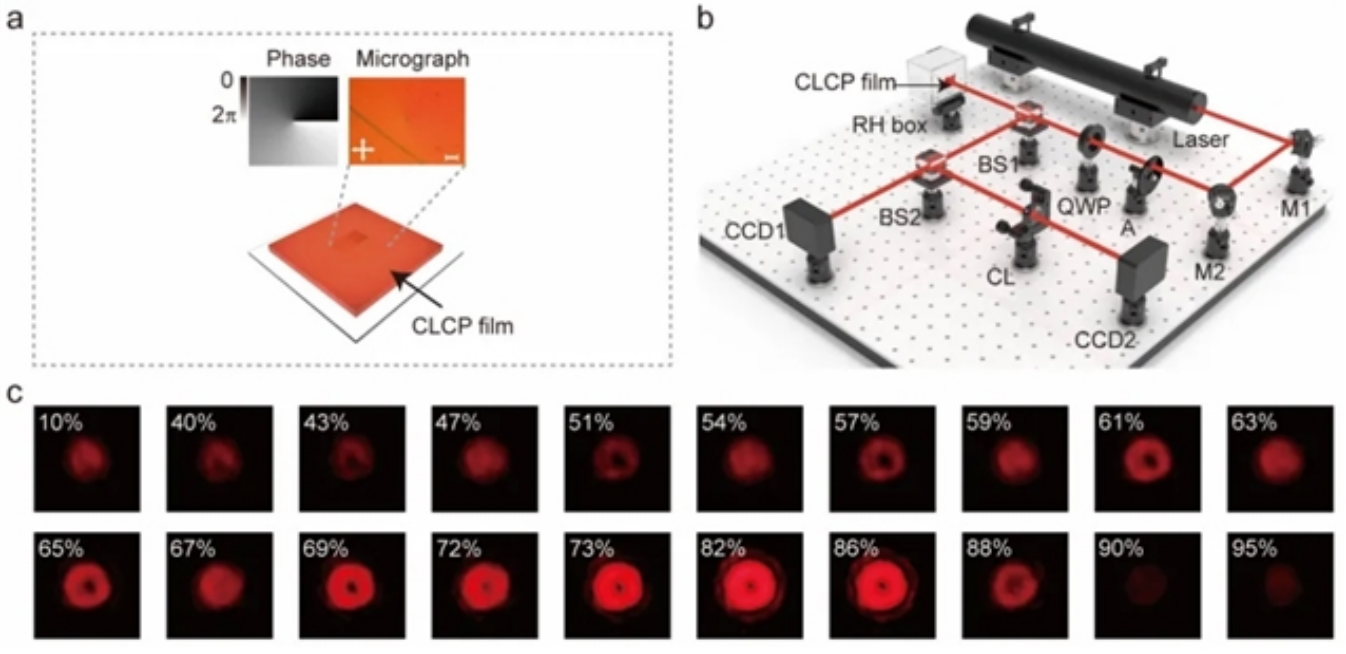


图2 单个q-plate编码的湿度响应型CLCP薄膜反射衍射光场表征

为了扩展湿度监测的范围和感知湿度变化趋势，研究人员提出了两种改进方案，对几何相位编码的湿度响应型CLCP薄膜的反射衍射光场与湿度之间的关系进行系统研究（图3）。首先，通过将四象限q-plate阵列图案编码到CLCP薄膜上，成功扩展了湿度监测范围。每个象限内的CLCP薄膜分别在不同温度下进行紫外光固化，可以获得不同的湿度监测范围，对应于不同的VB变化。其次，开发双波长湿度监测系统，通过生成两个波长不同的VB，形成随湿度变化而动态调整、由

两个甜甜圈图案组成的类似数字8的图案。实验证明，利用这两种方案，可以克服湿度响应型CLCP材料本身固有缺陷，实现对更广泛湿度范围的有效监测和湿度变化趋势的感知。

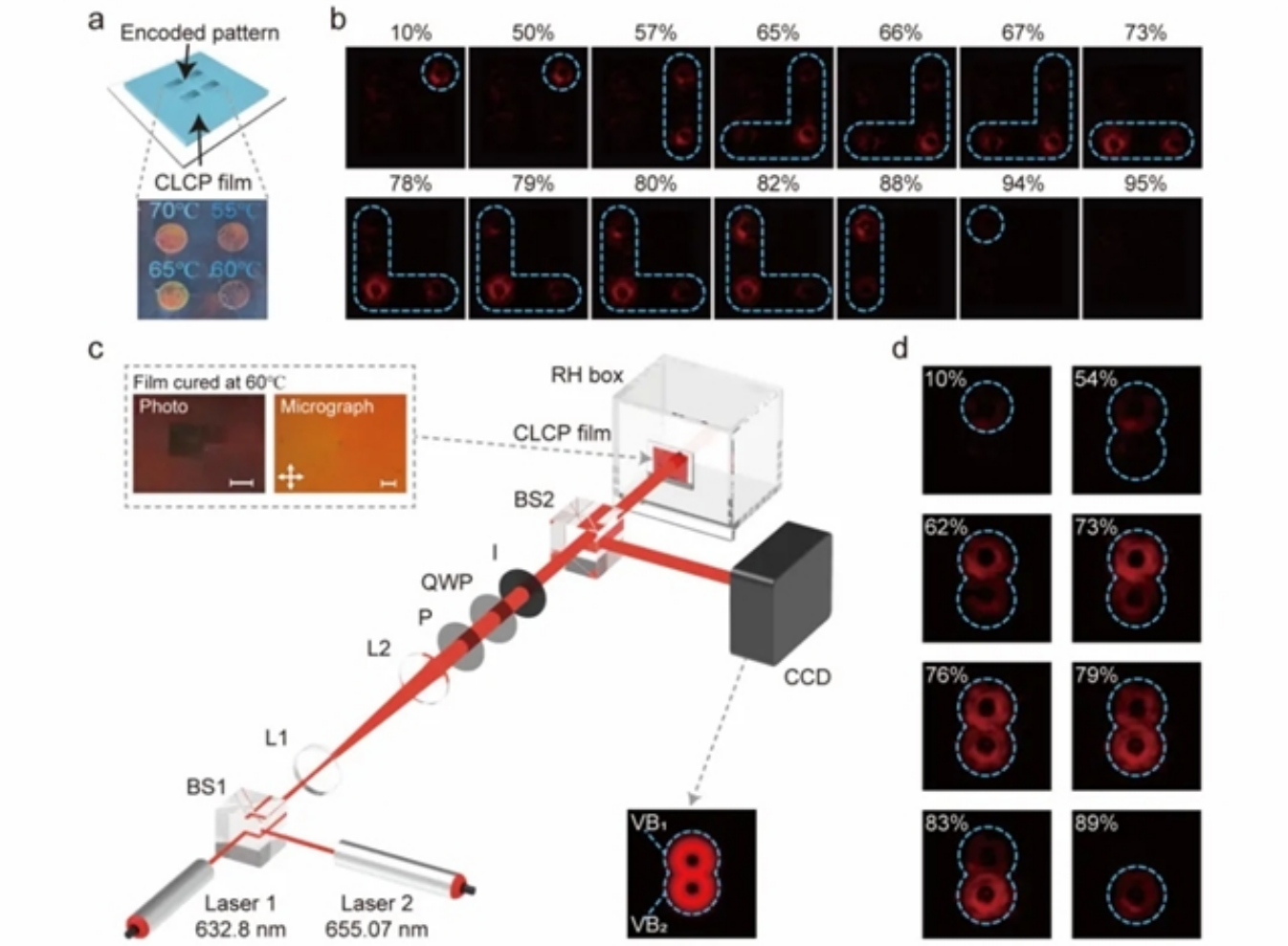


图3 四象限q-板阵列编码的湿度响应型CLCP薄膜和双波长湿度监测系统

应用与展望

该工作提出了一种基于几何相位编码的刺激响应型CLCP的光学传感技术，并通过q-plate编码的湿度响应型CLCP薄膜进行了概念验证。该技术通过产生的VB获得直观的甜甜圈图案，实现了远程、无接触的湿度监测，有效突破了传统胆甾相液晶传感在准确性、成本考量和商业应用方面的局限。此外，该思路还可扩展到贝塞尔光束、艾里光束等具有非衍射性和自愈特性的多种光束类型，为实现远程抗干扰、视觉模式的多样化和定制化提供了可能。结合机器学习技术，这一基于图像识别的新型液晶光学传感技术将为先进传感器的发展注入新的活力。该方法有望进一步与光纤传感技术融合，为通信和能源传输系统中的环境监测提供了创新途径。

厦门大学电子科学与技术学院博士研究生李世隆为第一作者，南京大学陆延青教授和厦门大学陈鹭剑教授为通讯作者。南京大学胡伟教授、陈鹏副教授与厦门大学黄朝红副教授、李森森副教授、胡学佳助理教授给予了重要建议，厦门大学电子科学与技术学院硕士研究生陈照艺亦有重要贡献。该研究由国家重点研发计划、国家自然科学基金和福建省自然科学基金资助完成。（来源：LightScienceApplications微信公众号）

相关论文信息：https://doi.org/10.1038/s41377-023-01360-7

特别声明：本文转载仅仅是出于传播信息的需要，并不意味着代表本网站观点或证实其内容的真实性；如其他媒体、网站或个人从本网站转载使用，须保留本网站注明的“来源”，并自负版权等法律责任；作者如果不希望被转载或者联系转载稿费等事宜，请与我们接洽。
作者：陈鹭剑等 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