新型pancake光学设计引领下一代虚拟与混合现实显示技术革新

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：https://www.iikx.com/news/progress/31396.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！

新型pancake光学设计引领下一代虚拟与混合现实显示技术革新。美国中佛罗里达大学的吴诗聪教授团队通过充分利用非互易偏振旋转器的特性，提出了一种新型无损耗的pancake光学系统。该系统采用了创新性的设计，最大程度地提高了光学效率，可为未来的可穿戴VR头显带来更出色的性能。

随着微型显示技术、超薄成像光学系统以及高速数字处理器的蓬勃发展，增强现实（AR）、虚拟现实（VR）和混合现实（MR）已经从一个未来的概念演变为一种切实可行的技术。这一发展不仅拓展了我们的感知视野，还引领了更深层次的人机交互，超越了传统平板显示的限制。这种技术进步进一步推动了其他领域的发展，包括元宇宙、数字孪生和空间计算。这些创新技术在智能教育培训、医疗、导航、游戏、娱乐和智能制造等多个领域都得到了广泛的应用。

为了让AR、VR和MR头显在长时间的佩戴中保持舒适，紧凑、轻便、低功耗的光学系统设计成为当务之急。与传统的菲涅耳透镜和折射透镜相比，目前基于偏振的折叠光学系统，即pancake光学系统，已在实现VR头显的紧凑轻便方面发挥了关键作用，例如在Apple Vision Pro和Meta Quest 3等设备上得到广泛应用。这种pancake光学系统不仅显著缩减了VR头显的体积，还实现了更为沉浸式的体验。然而，由于折叠光路中使用一片半透半反镜，这种设计在本质上存在着较高的光学损耗。因此，为了提高VR头显的续航时间并保持紧凑轻便的性能，迫切需要发展新的光学结构设计。

来自美国中佛罗里达大学的吴诗聪教授团队主要专注于AR、VR和MR显示的研究。最近，他们推出了一种旨在改革下一代VR和MR显示系统的创新型pancake光学系统。这项研究的动机源于对可穿戴VR头显越来越苛刻的要求，人们不仅期望VR头显提供沉浸式体验，而且希望其穿戴舒适，具备轻薄和长续航时间等特性。

目前采用pancake光学的VR头显面临续航能力有限的挑战，主要源于半透半反镜引入的能量损耗，如图1（a-b）所示。理论上，仅有25%的光能够从显示面板最终传递到用户的眼睛。然而，如果显示器发出的光为非偏振光，最大光学效率将降至12.5%。为解决这一问题，吴诗聪教授团队所提出的新型pancake光学系统采用了创新性的设计，以最大程度地提高光学效率，为未来的可穿戴VR头显带来更出色的性能。

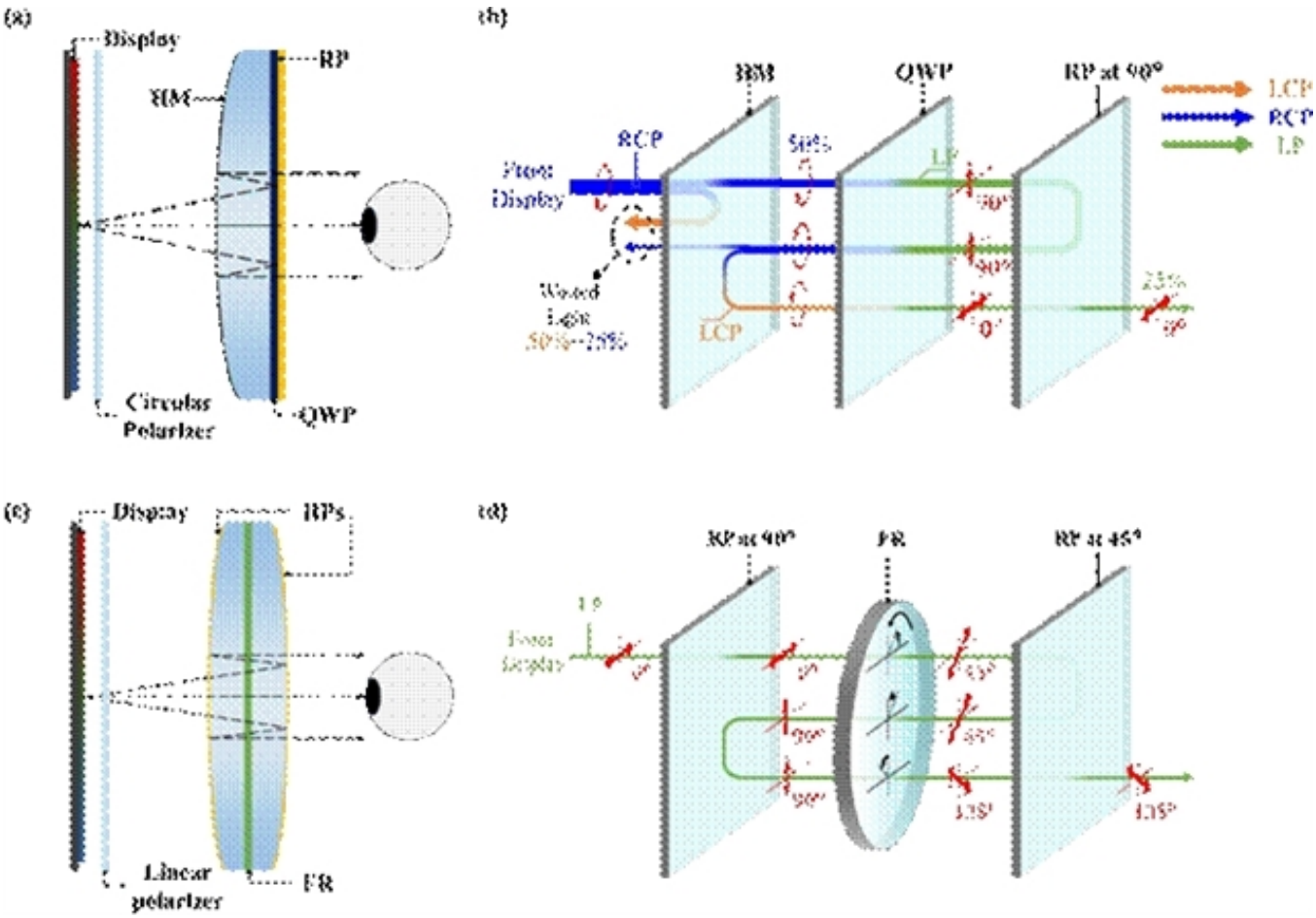


图 1. Pancake光学系统的工作原理。传统pancake光学系统的（a）结构图与（b）偏振转换图。新型pancake光学系统的（c）结构图与（d）偏振转换图。

为了解决传统pancake光学系统低效的问题并同时保持其出色的折叠能力，该研究团队提出了一种新型无损耗的pancake光学系统。新设计如图1(c-d)所示，由一个非互易偏振旋转器和两个反射型偏振片组成。在这种设计中，非互易偏振旋转器(又称为法拉第旋转器)在折叠光学路径中扮演着至关重要的角色。如图2(a-d)所示，与互易性偏振旋转器（例如半波片）相比，无论光在介质中正向或逆向传播，非互易偏振旋转器都会沿着同一个方向旋转线偏振光。因此，在非互易偏振旋转器中正反向传播一个折返，线偏振光会旋转2θ。

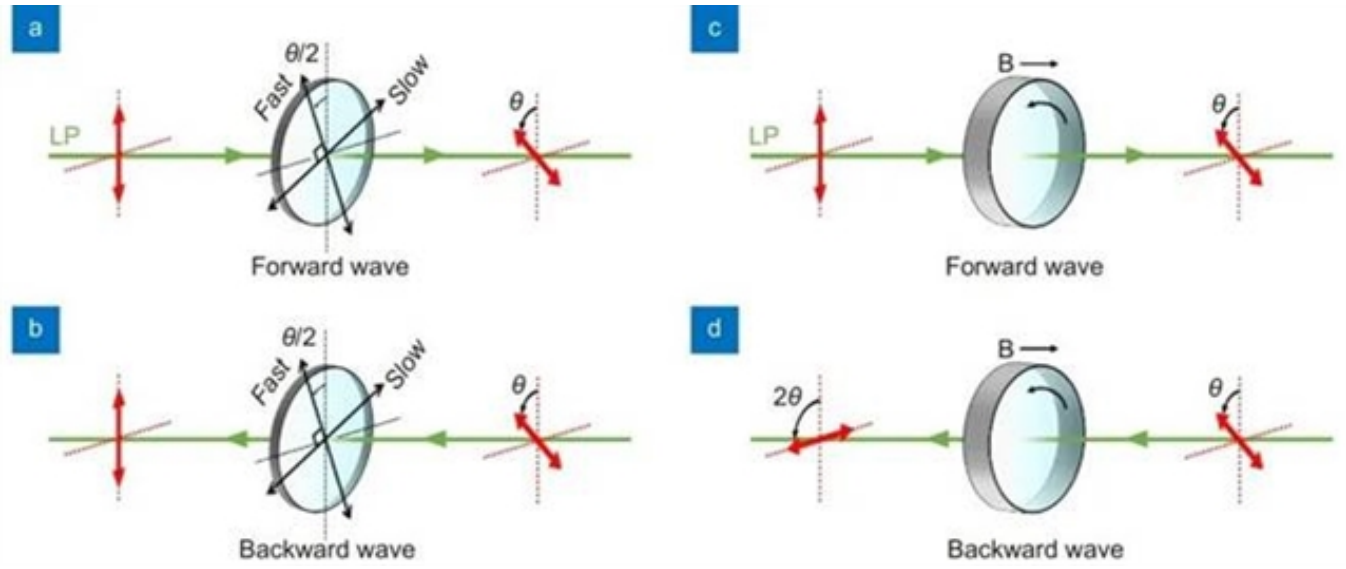


图2. 互易性与非互易性偏振旋转器的工作原理。线偏振在互易性偏振旋转器中（a）正向传播与（b）逆向传播的偏振旋转效果。线偏振在非互易性偏振旋转器中（c）正向传播与（d）逆向传播的偏振旋转效果。

为了验证新型pancake光学系统的可行性，该研究团队进行了实验，利用激光和micro-OLED显示器分别对其光学效率（图3（a））和折叠能力（图3（b-c））进行深入研究。研究结果显示，由于缺乏增透膜（AR coating）和高性能的反射偏振片，最初的光学效率仅为71.5%。然而，在应用了3M的高性能反射偏振片和增透膜后，光学效率显著提高至93.2%，接近理论效率。此外，该研究团队还深入探讨了新型pancake光学系统中导致鬼像产生的四种机制，并提出了相应的解决方案。值得一提的是，研究团队还提出了一种多层膜结构，以实现全彩显示。根据图3（d-f）的结果显示，采用三组非互易偏振旋转器和1/4波片的组合能够实现对整个可见光波段的偏振旋转。最后，该团队还对不同的薄膜磁光材料进行了深入的讨论和分析。

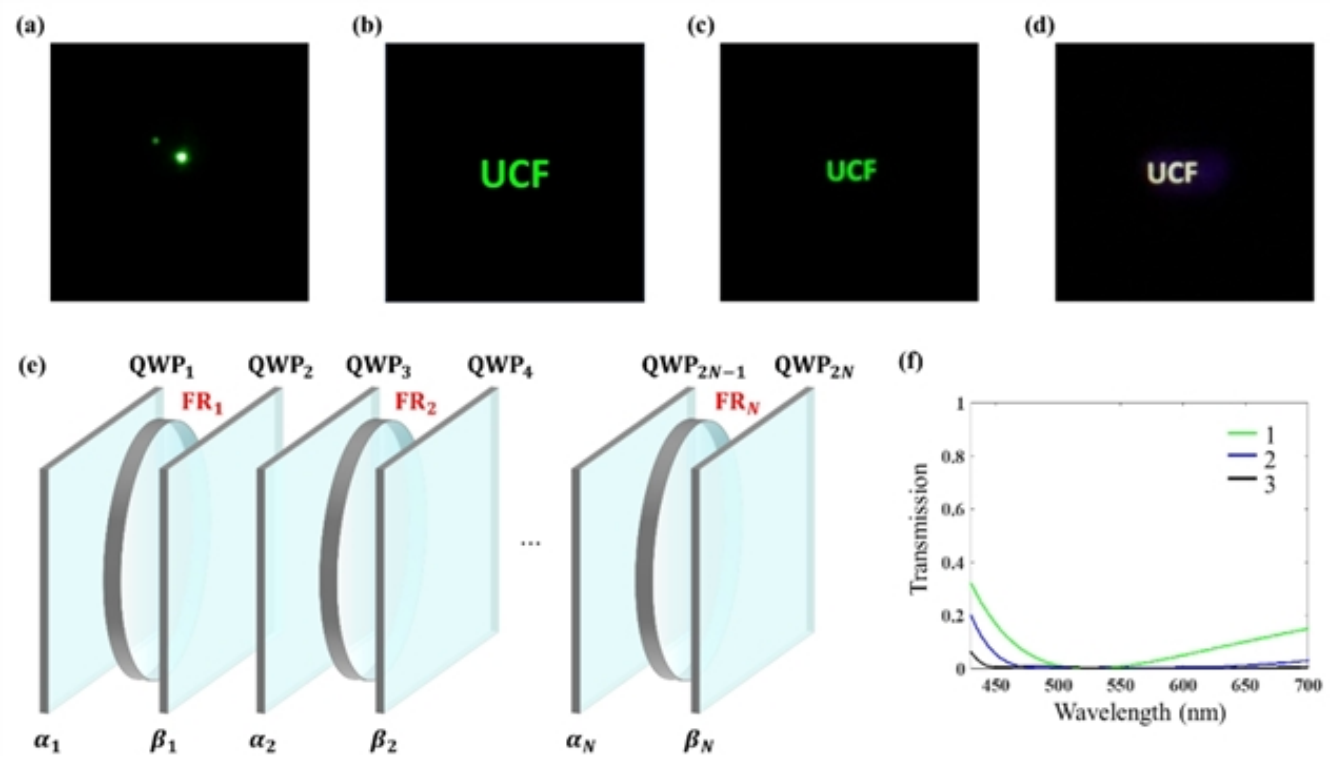


图3. 新型pancake光学系统的实验验证。（a）在新型pancake光学系统中折叠的激光光斑。（b）Mircro-OLED中输入的显示图像。（c）在新型pancake光学系统中折叠的绿光图像。（d）在新型pancake光学系统中折叠的白光图像。（e）多层结构实现全光谱响应。（f）多层结构的光谱响应。

该研究团队通过充分利用非互易偏振旋转器的特性，提出了一种新型无损耗的pancake光学系统。实验结果生动地展示了这一创新性的pancake光学系统对于下一代VR和MR头显具有巨大的潜力。此外，由于该设计对于在可见区域具有较大Verdet常数的非互易偏振旋转器薄膜的急迫需求，预计将激发未来磁光材料的下一轮发展。

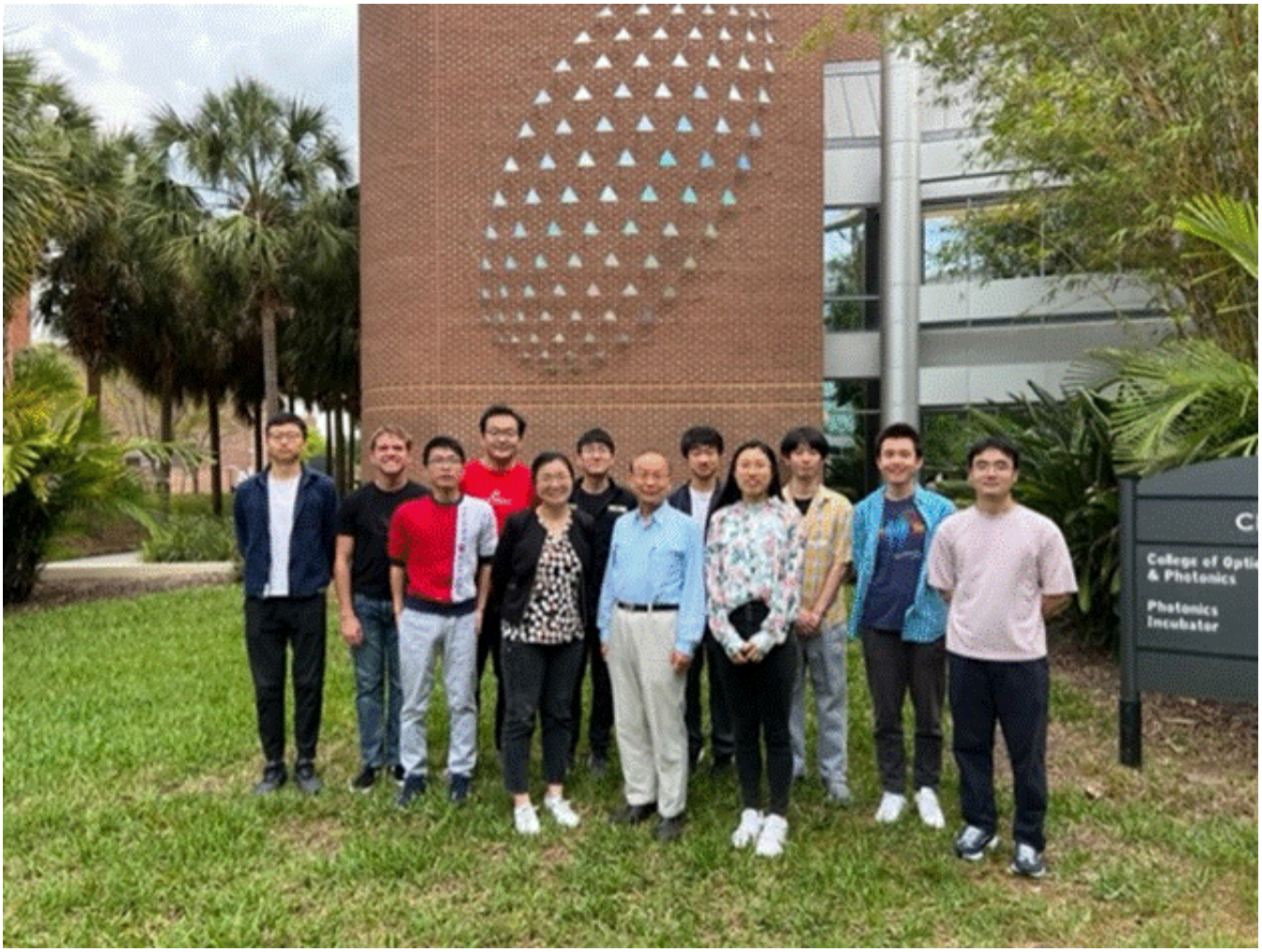
该工作以Breaking the optical efficiency limit of virtual reality with a nonreciprocal polarization rotator为题作为封面文章发表在Opto-Electronic Advances （光电进展）2024年第3期。

研究团队简介

吴诗聪教授是中佛罗里达大学光学与光子学院CREOL的讲座教授。他在南加州大学获得物理学博士学位，在台湾大学获得物理学学士学位。他入选了美国国家发明家研究院院士（2012年），是佛罗里达发明家名人堂的首批六位入选者之一（2014年）。此外，他所获的奖项包括 Optica Edwin H. Land Medal (2022年)、SPIE Maria Goeppert-Mayer Award (2022年)、OSA Esther Hoffman Beller Medal (2014年)， SID Slottow-Owaki Prize（2011年）、OSA Joseph Fraunhofer（2010年）、SPIE G. G. Stokes（2008年）和 SID Jan Rajchman（2008年）。他的研究小组专注于增强现实（AR）和虚拟现实（VR），包括光学引擎（LCOS、mini-LED、micro-LED 和 OLED）、光学系统（光导、衍射光学和投影光学）和显示材料（液晶、量子点和钙钛矿）。目前，课题组内共有九名博士生，一名硕士生，一名本科生和两位访问学者。

吴教授课题组的学生曾多次获奖，如 SID 杰出论文奖、ILCS（国际液晶学会）Glenn H. Brown 奖

(2008林怡欣, 2014饶玲晖, 2018陈海伟, 2022黄玉格)、SPIE 光学和光子学教育奖学金、 SPIE AR/VR/MR 光学设计挑战奖(2019第一名谭冠军, 2020第一名湛韬, 2021-2022 Covid期间比赛暂停, 2023第二名李闫南琦)和 IEEE 杰出研究生奖等。自2020年起，Facebook现实实验室（FRL）与国际液晶学会联合主办FRL-ILCS液晶研究杰出奖，全球每年仅选出三名获奖者。吴教授课题组的学生多次获奖：2020年，湛韬荣获白金奖；2021年，；熊江浩和尹坤分别获得了钻石奖和白金奖；2022年，李闫南琦获得金奖；2023年，罗桢塌再次成功卫冕钻石奖。



2023 Meta研究人员访问该课题组

课题组主页：https://lcd.creol.ucf.edu/

相关论文

Ding YQ, Luo ZY, Borjigin G et al. Breaking the optical efficiency limit of virtual reality with a nonreciprocal polarization rotator. Opto-Electron Adv 7, 230178 (2024).

DOI: 10.29026/oea.2024.230178

作者：吴诗聪等 来源：《光电进展》

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