张霜温辛花Light超材料实现合成运动效应

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：https://www.iikx.com/news/progress/42971.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！

张霜温辛花Light超材料实现合成运动效应。 导读

1851年，法国物理学家菲佐通过流水中的光速实验，首次揭示了运动介质对光的拖拽效应。这一发现后来成为狭义相对论的重要佐证：光在流动介质中的速度取决于传播方向与流速的相对关系。然而，由于实际流体速度远低于光速，这种运动效应极其微弱，需要很长相互作用距离才能被探测到。近日，香港大学张霜教授团队创造性地利用静止的超材料，成功模拟了高速运动介质中的电磁行为，实现了巨大人造运动效应。该超材料基于手性结构与旋磁材料的巧妙组合，通过对称性设计消除了寄生响应，首次在实验上观测到完全的双各向异性运动耦合。基于这一效应，团队进一步展示了极化无关的非互易传输和隔离器。相关研究成果以Observation of Synthetic Moving Effect in Metamaterials，为题发表于《Light: Science Applications》。

研究背景

当光在流动的透明流体中传播时，沿流动方向和逆流动方向所经历的折射率不同，从而产生非互易相位延迟。这一运动效应在菲佐实验中首次被观测，但受限于流体速度其强度极低。超材料作为由亚波长人工结构组成的电磁介质，可突破自然材料的限制，在静止状态下模拟运动介质的本构关系。然而，要获得纯净且显著的合成运动响应，需要同时实现电场与磁场之间正交方向上的实数值交叉耦合（即同相双各向异性耦合），并排除手性、旋磁等寄生效应。此前，基于传输线或主动元件的尝试要么等效速度太小（比c小两个数量级），要么因寄生耦合和稳定性问题难以实用。如何在被动、线性的框架下实现具有大的等效速度的纯运动效应，是该领域长期未解决的难题。

研究亮点

研究团队提出了一种由旋磁材料（钇铁石榴石，YIG）和手性结构组成的结构（图1a-b）。在静磁场偏置下，入射波的磁场分量通过旋磁效应产生一个具有π/2相位延迟的磁偶极矩，该磁偶极矩再通过手性结构诱导出同相位的电偶极矩，从而精确实现了运动介质所需的电磁交叉耦合。通过将四种手性相反、偏置磁场反向的超分子组合成超胞，团队成功消除了寄生手性和旋磁响应，仅保留纯净的运动效应。为了更直观地展示运动效应，团队利用近场扫描测量了超材料板两侧的波前分布（图1c-d）。当入射方向相反时（即等效运动速度反向），透射波前观察到相位差，而反射波前完全相同。这一结果从波动力学的角度再次证实了超材料的运动响应。

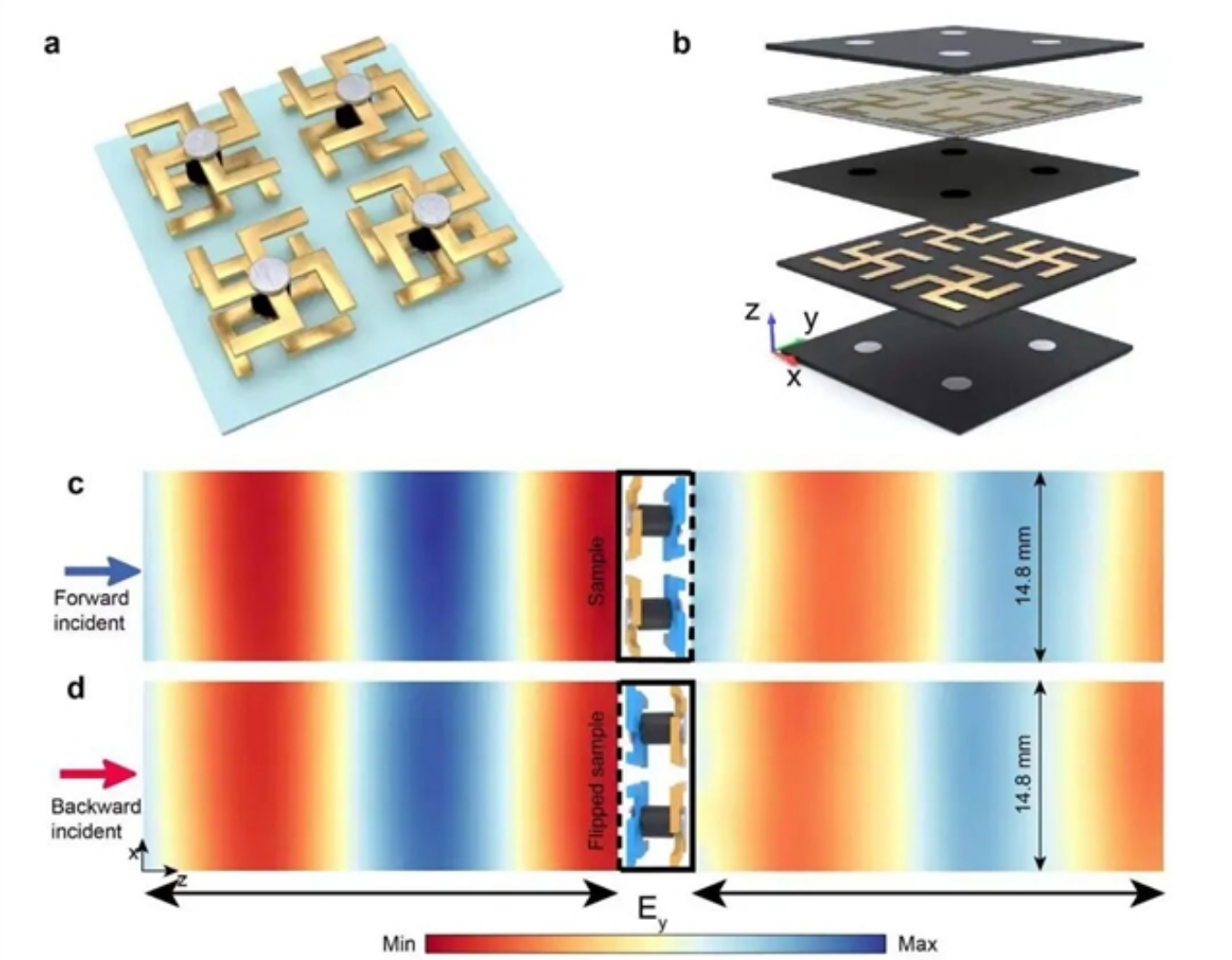


图1：(a) 超表面结构；(b) 实际晶胞的分解图，包含多层结构，其中银色圆柱体代表磁体，黑色圆柱体代表YIG棒，金色代表金属，它们被放置在PCB板内部。（c-d）于x-z平面内仿真得到的波前Ey分量（a）（c）展示的是+z方向和-z方向的入射波

基于上述运动超材料，研究团队设计了一种全被动、线性的极化无关隔离器（图2）。该器件的核心思路是：将运动超材料与普通介质按棋盘格排列，形成一个二维光栅。运动超材料在正反方向上的透射相位相差π，而普通介质的透射相位与运动超材料的前向透射相位匹配。因此：前向入射时，透过运动超材料区域和普通介质区域的波在出射面发生相长干涉，能量集中在0级衍射方向。后向入射时，透过运动超材料区域的波与透过普通介质区域的波相位相反，发生相消干涉，0级衍射被抑制，能量被偏转到±1级衍射方向。模拟结果显示，在9.7 GHz附近，前向透射率（0级）和后向反射率对比度高。该隔离器对任意极化入射波均有效。此外，整个系统不含主动元件，完全被动线性，易于集成。

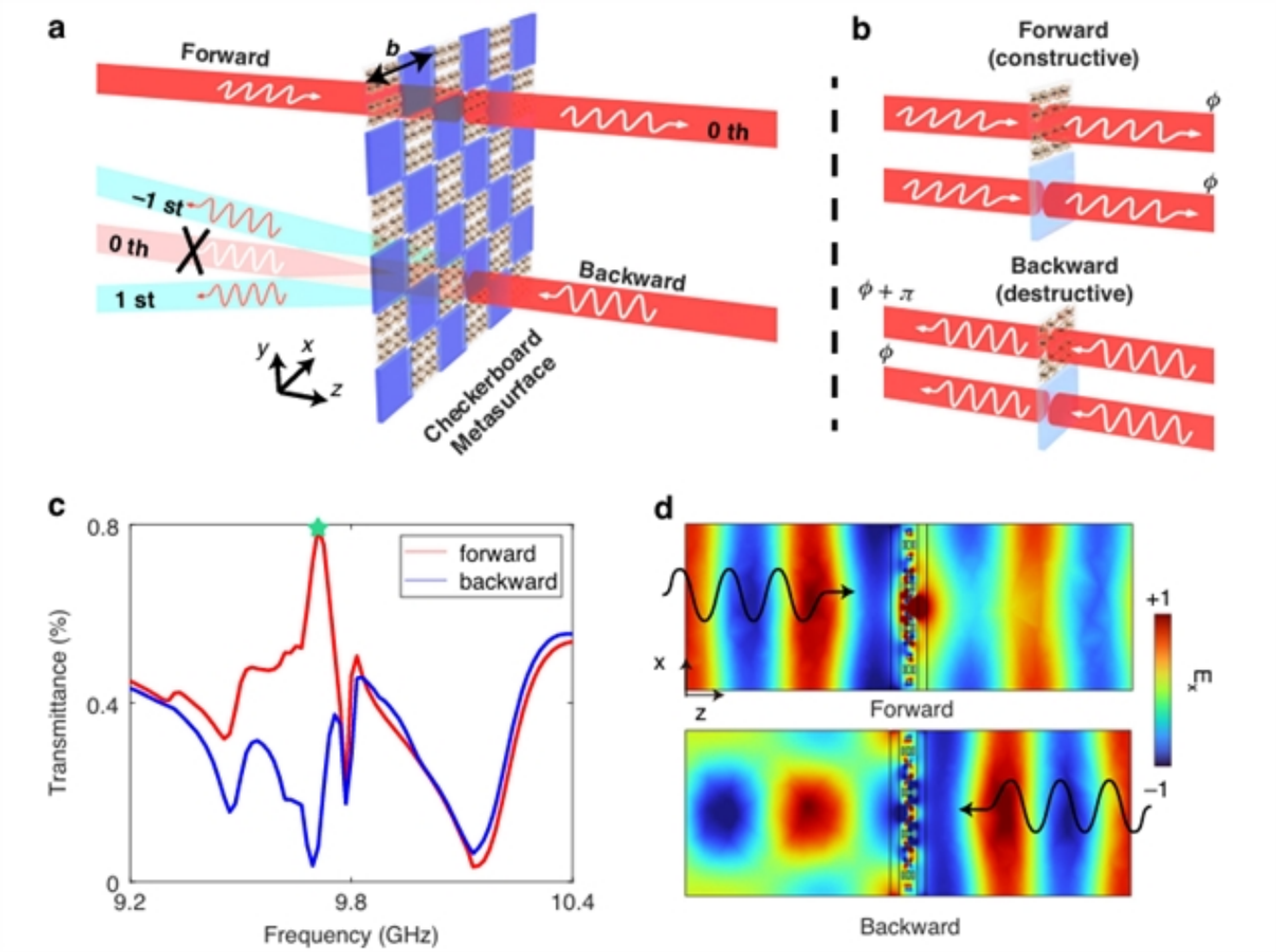


图2：一种偏振无关隔离器。（a）偏振无关隔离器示意图：由棋盘状超表面与运动超材料及常规介电材料相结合而成。（b）实现单向传输的机制：对于正向入射，发生相长干涉（上图）；对于反向入射，发生相消干涉（下图）。（c）仿真得到的隔离器在正向和反向入射下的透射率。（d）在 9.7 GHz 频率下，正向和反向入射时的电场分布。

总结与展望

本研究首次在静止超材料中实验实现了纯净且巨大的合成运动效应，等效速度达到0.3c，这一突破不仅为研究相对论性运动效应提供了实验平台，也为极化无关的非互易光子器件（如隔离器、环形器）开辟了新的设计思路。未来，通过结合宽带手性结构和低损耗旋磁材料，该方案有望扩展至更高频段（如太赫兹或光频），并在集成光子学、量子信息处理等领域发挥重要作用。（来源：LightScienceApplications微信公众号）

相关论文信息：https://doi.org/10.1038/s41377-026-02361-y

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：张霜等 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