

借助仿真模拟布里渊光学相互作用

通过电磁学和固体力学耦合建模分析,巴西坎皮纳斯大学和康宁公司研究了光弹性效应和移动边界效应如何通过相互作用,来增强或抑制光波导、光纤及其他纳米光子结构中的布里渊散射。

作者 BRIANNE CHRISTOPHER

光波导是引导光波传播的一种介质装置,又称介质光波导。自20世纪70年代以来,光波导研究取得了很大进展,波导的尺寸被设计得越来越大。研究人员发现,光弹性效应是波导(尤其对于光纤而言)设计中的重要影响因素。随着光力学概念的引入,设计中还需要进一步考虑波导的移动边界效应。光弹性效应与移动边界效应之间存在复杂的相互作用,可以增强或弱化布里渊散射。布里渊散射是一种光与物质波在介质中的相互作用,以莱昂·布里渊(Léon Brillouin)命名。巴西坎皮纳斯大学(University of Campinas)和康宁公司(Corning)的研究团队使用多物理场仿真研究了光弹性效应与移动边界效应之间的共同作用,以及如何利用布里渊散射优化纳米光子结构。

光弹性效应与移动边界效应

布里渊光学相互作用包括光弹性效应与移动边界效应的耦合。一方面,在设计图形的边界或几何结构时(例如,当设计一个较薄的波导时),需要考虑移动边界效应。另一方面,由于不同的光纤材料会产生不同的弹性应力,从而影响波导的折

射率,因此需考虑材料的光弹性效应。以锥形光纤为例,当几何结构改变时,移动边界效应会对布里渊散射造成影响;当使用不同的光纤材料时,光弹性效应则会影响到布里渊散射。

布里渊散射: 增强或抑制

在光力学研究中,通常需要增强或抑制布里渊散射。例如,在通信系统中,当大量光波在光纤中传播时,布里渊散射会导致光波向后散射而不是向前传播。这意味着光几乎无法从输入端穿过光纤,从而导致传输障碍。因此,在光纤和加速度计等设计中需要抑制布里渊散射(图1)。那么,什么时候需要增强布里渊散射呢?在集成波导滤波器设计中,需要增强布里渊散射。通过控制波导中的力学相互作用创建一个窄带激光器,或者利用布里渊散射获得特定的频率和波长,即可得到一个极其精确的滤波器。

来自坎皮纳斯大学光子学研究中心和康宁公司的 Gustavo Wiederhecker、Paulo Dainese 和 Thiago Alegre 教授,致力于研究移动边界效应和光弹性效应之

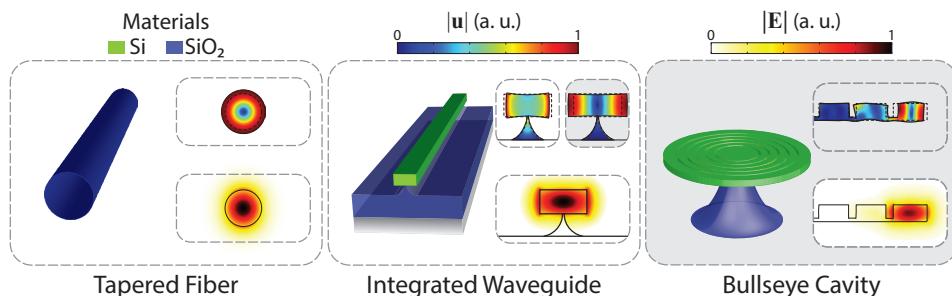


图1 使用 COMSOL Multiphysics® 仿真软件对纳米光子结构中的布里渊散射进行建模。锥形光纤(左)、集成波导(中)和靶心腔(右)模型。

图注: Materials - 材料; Si-硅; SiO₂-二氧化硅; Tapered Fiber - 锥形光纤; Integrated Waveguide - 集成波导; Bullseye Cavity - 靶心腔。

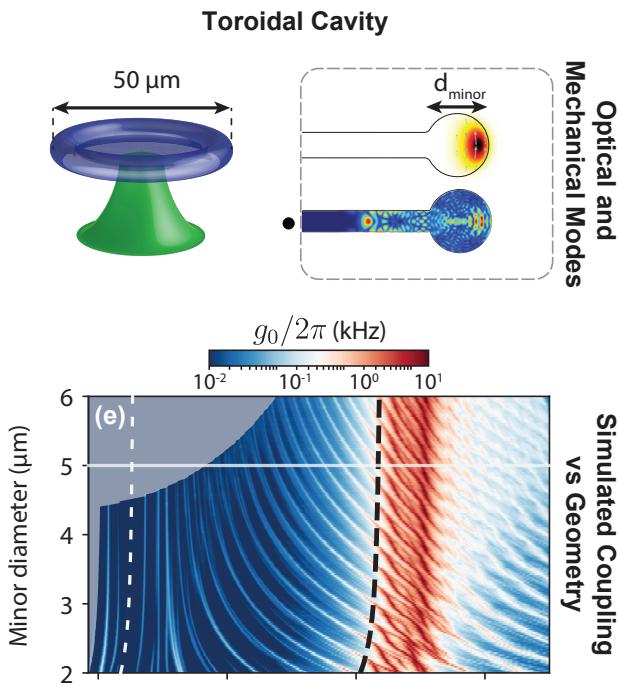


图 2 使用 COMSOL 多物理场仿真软件对环形腔进行光力学建模 (上); 不同几何形状的光弹性效应和移动边界效应 (下)。
图注: Toroidal Cavity - 环形腔; Optical and Mechanical Modes - 光力学模式; Simulated Coupling vs Geometry - 耦合仿真结果 vs 几何形状; Minor diameter (μm) - 环形小直径 (μm)。

间的相互作用, 及其对布里渊散射的影响。通过探究两种效应之间的相互作用, 根据纳米光子结构中是需要增强还是抑制布里渊散射, 建立有效 (或无效) 的耦合是该团队的一个主要研究目标。

» 布里渊光力学相互作用的多物理场仿真

为了深入探究光弹性效应与移动边界效应之间如何进行复杂的相互作用, 坎皮纳斯大学的研究团队使用 COMSOL Multiphysics® 软件对纳米光子结构中的光弹性效应和移动边界效应进行了耦合, 并对结构中发生的布里渊散射进行建模。为了方便建模, 并与实验结果进行比较, 他们从简单的二维模型开始研究。“二维模型的求解速度非常快” Alegre 说道。首先, 从建立简单的结构开始 (如建立单根硅胶棒), 再结合电磁学和固体力学分析, 最终构建出完整的纳米光子结构 (图 2)。然后, 研究人员利用仿真结果计算光场和力

场的重叠面积, 这是分析布里渊散射的关键步骤。“当获得重叠面积后, 就可以了解并绘制出光力学积分函数, 这对我们的分析非常有帮助。” Alegre 说道, “COMSOL Multiphysics® 软件是极少数能够进行此类分析的软件 (产品) 之一。”

通过建模, 坎皮纳斯大学的研究人员发现 COMSOL® 软件的多物理场功能非常强大。通常, 使用其他软件同时求解光弹性效应和移动边界效应时, 需要先求解其中的一种物理场, 然后导出结果, 再返回求解另一种物理场; 而使用 COMSOL 多物理场仿真软件, 则可以将多个物理场耦合在一起同时求解, 简单并且高效。此外, COMSOL 还具有简洁、直观的用户界面。“COMSOL 的用户界面非常好用,” Alegre 说道, “在运行仿真后, 我们可

以立即在用户界面获得相关的耦合系数。”同时, 研发团队还非常喜欢用户界面中的后处理功能。Alegre 说: “使用其他任何软件进行建模, 都必须编写后处理代码以获得所有积分。而在 COMSOL Multiphysics 中, 后处理可作为仿真工作流程中的一部分”。

» 未来研究

未来, 坎皮纳斯大学的研究人员计划探索不同材料对光力学相互作用的影响, 并研究纳米光子结构中不同材料的混合封装。同时, 他们还计划研究不同几何形状对光力学相互作用的影响, 以设计出更好的布里渊散射光波导。

此外, 为了吸引对纳米光子学感兴趣的学生, 坎皮纳斯大学创建了一个数据库, 用于“纳米光子结构中的布里渊光力学研究”项目 [APL Photonics 4, 071101 (2019)]。该数据库储存了研究人员建立的所有模型和代码, 通过更改模型和代码的设置, 可以改变波导或空腔的几何形状, 并对布里渊光力学相互作用进行实时观测。这有助于激发学生的创造力, 并提出新颖的观点。◎

“COMSOL® 的用户界面非常好用, 在运行仿真后, 我们可以立即获得相关的耦合系数。”

—THIAGO ALEGRE,
坎皮纳斯大学