复合玻璃微腔中实现上转换与倍频激光同步输出

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：https://www.iikx.com/news/progress/41049.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！

复合玻璃微腔中实现上转换与倍频激光同步输出。 导读

随着信息技术向更高速率、更高集成度和更低能耗方向发展，集成光子学已成为下一代信息技术的核心方向之一。传统光学微腔虽能高效局域并增强光场，但其功能往往局限于单一光学过程，难以在同一器件中融合多种光子功能。这种一腔一能的局面，严重制约了光子集成系统向多功能、高复杂度的演进。因此，如何在单一微腔中协同实现多种光学过程，成为推动集成光子学迈向实用化的关键挑战。

近日，华南理工大学发光材料与器件全国重点实验室董国平教授团队提出一种晶体复合玻璃的材料设计策略，成功在单个微腔中同步实现了上转换激光与宽带倍频激光输出。该研究不仅突破了传统微腔的功能单一性限制，也为多功能集成光子芯片的发展提供了新思路，在可调谐多波长激光、片上非线性光源等领域具有重要应用前景。

该成果以A monolithic microcavity laser with simultaneous upconversion and frequency-doubled lasing via crystal-in-glass engineering为题发表在国际顶级光学期刊《Light: Science Applications》，华南理工大学博士生叶昇达、陈健濠为论文的共同第一作者，董国平教授为通讯作者。

研究背景

回音壁模式光学微腔，以其能将光场能量长时间束缚于微米内的独特能力，已成为现代光子学研究的核心平台之一。这种微腔的超高品质因子和极小的模式体积，极大地增强了光与物质的相互作用效率，为低阈值激光的产生、高灵敏度传感和量子光学实验等领域提供了理想环境。然而，现有微腔技术在功能集成方面面临显著局限。多数微腔设计往往专注于单一光学过程，例如仅能实现上转换激光或二次谐波产生，难以满足量子信息、高灵敏传感、光通信等应用对多波长协同输出的需求。尽管已有研究尝试通过材料复合实现功能集成，但稀土掺杂上转换材料与非线性材料间的兼容性与制备工艺复杂性仍是制约其发展的主要瓶颈，难以实现真正的单片集成与高性能协同输出。如何在材料层面实现激光增益与非线性效应的内在融合，成为突破微腔功能单一性瓶颈的关键科学问题。

研究亮点

该研究针对稀土掺杂上转换材料与非线性光学材料难以兼容的长期难题，提出并实现了一种创新的晶体复合玻璃材料体系。该设计在单一微腔中成功融合了上转换发光与高效倍频功能，具体体现在以下三方面：

1. 材料创新：通过精准可控的热处理工艺，在Er3+/Yb3+共掺的低声子能量锗酸盐玻璃基质中，原位析出具有强二阶非线性的Ba2TiGe2O8微晶。研究团队评估了非线性晶相析出对上转换过程的影响，结果表明析晶前后光学透过率、上转换荧光强度及荧光寿命等关键性能无明显衰减。此外，利用析出晶相的无序分布所满足的随机准相位匹配（random quasi-phase-matching, RQPM）机制，该晶体复合材料具备高效的宽带二次谐波生成能力（图1），为微腔的双模激光输出奠定了材料基础。

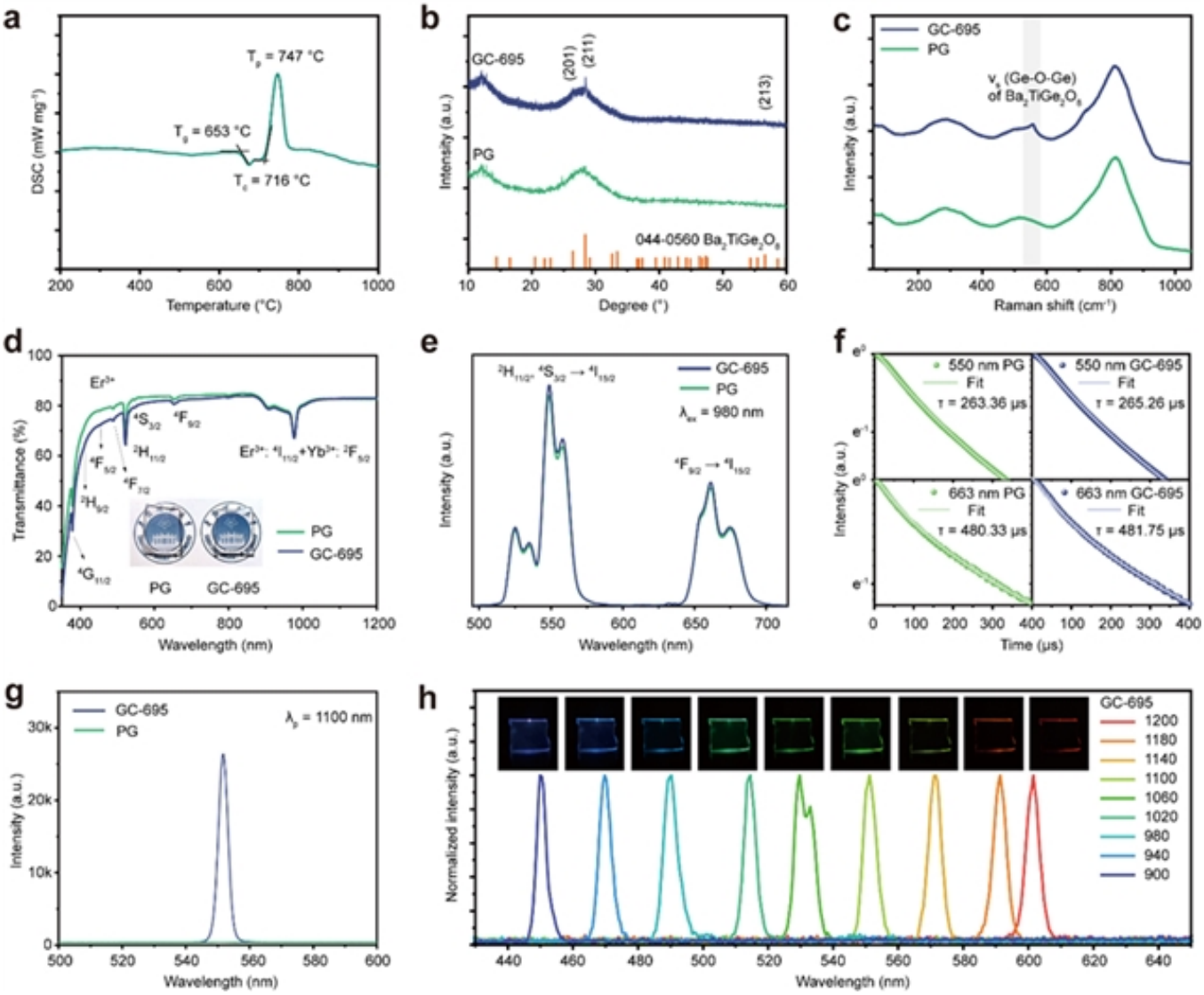


图1. 块状玻璃性能表征。

2. 双模输出：基于该晶体复合材料构建的直径30微米的微腔，在低功率980 nm连续激光泵浦下即可实现稳定的绿光（550 nm）和红光（660 nm）上转换激光输出，阈值分别低至13.31 μW和12.97 μW（图2）。同时，得益于随机分布的非线性晶相，在900 – 1200 nm飞秒激光泵浦范围内，该微腔展现出显著的宽带倍频响应，验证了其在宽谱范围内的非线性光学性能（图3）。

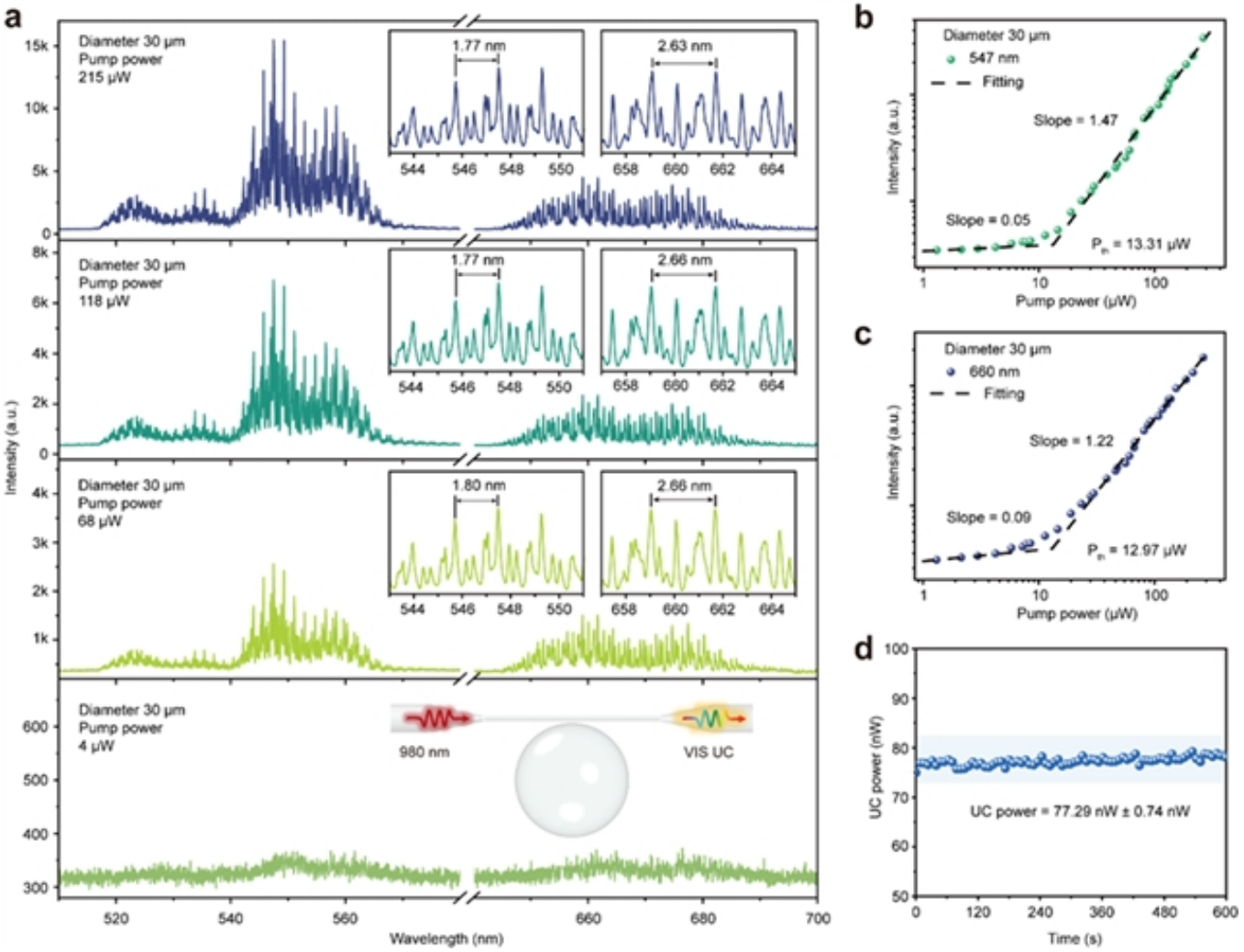

a
Diameter 30 μm
Pump power
215 μW
1.77 nm
2.63 nm
Diameter 30 μm
Pump power
118 μW
1.77 nm
2.66 nm
Diameter 30 μm
Pump power
68 μW
1.80 nm
2.66 nm
Diameter 30 μm
Pump power
4 μW
980 nm
VIS UC
Intensity (a.u.)
Wavelength (nm)
b
Diameter 30 μm
547 nm
Fitting
Slope = 1.47
Slope = 0.05
P_th = 13.31 μW
Intensity (a.u.)
Pump power (μW)
c
Diameter 30 μm
660 nm
Fitting
Slope = 1.22
Slope = 0.09
P_th = 12.97 μW
Intensity (a.u.)
Pump power (μW)
d
UC power = 77.29 nW ± 0.74 nW
UC power (nW)
Time (s)

图2. 微腔上转换激光。

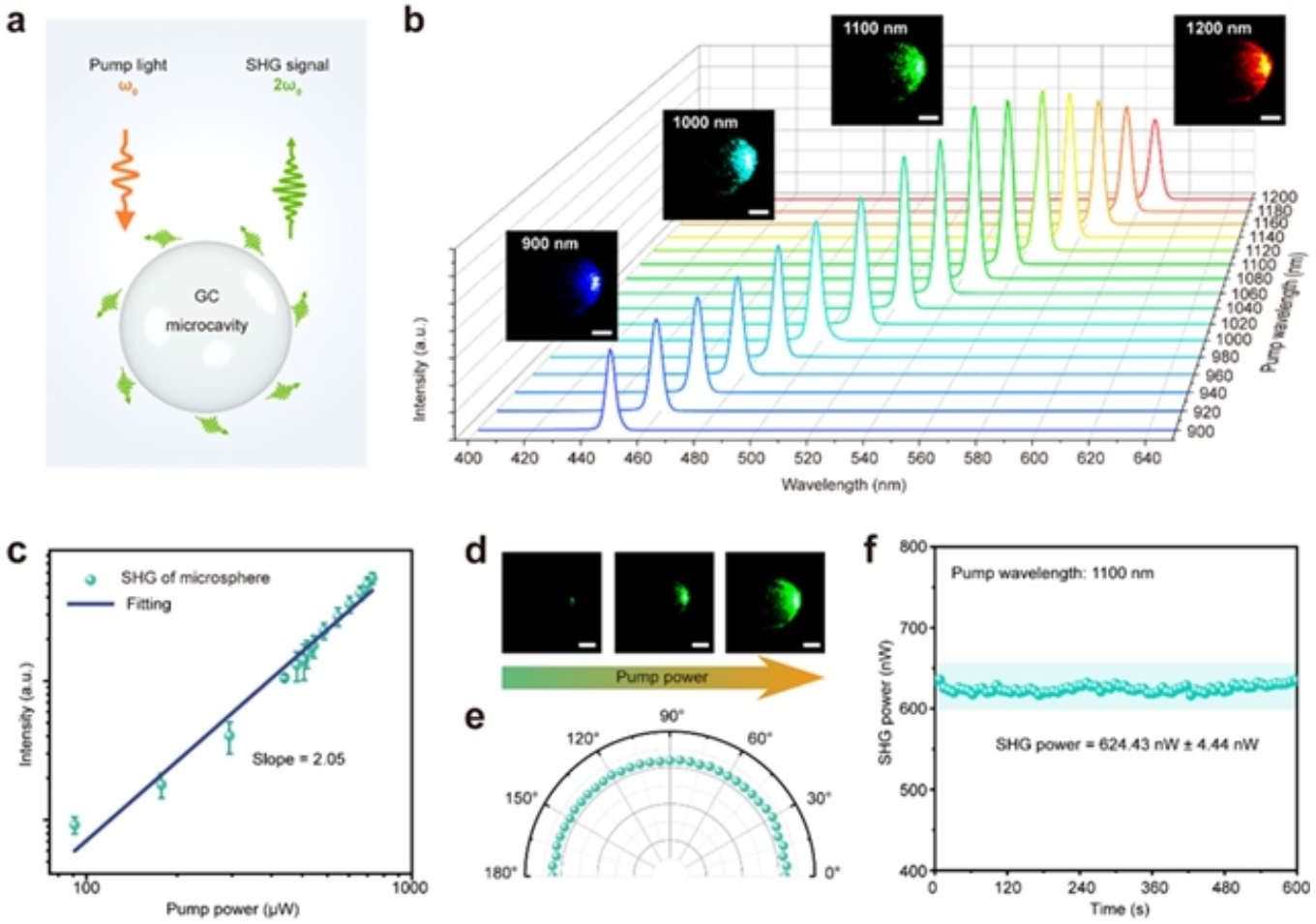


图3. 微腔倍频激光。

3. 协同耦合：团队搭建了上转换与倍频激光双模式响应测试平台，通过锥形光纤近场耦合与飞秒激光自由空间泵浦相结合，在单个微腔中同步输出上转换激光与倍频光信号，双模式信号间无明显干扰。通过调节飞秒激光泵浦波长以及泵浦功率，实现了宽范围的输出色坐标调控，并可实现近白光激光输出，进一步展现出该器件在可调谐多色激光输出方面的潜力。（图4）。

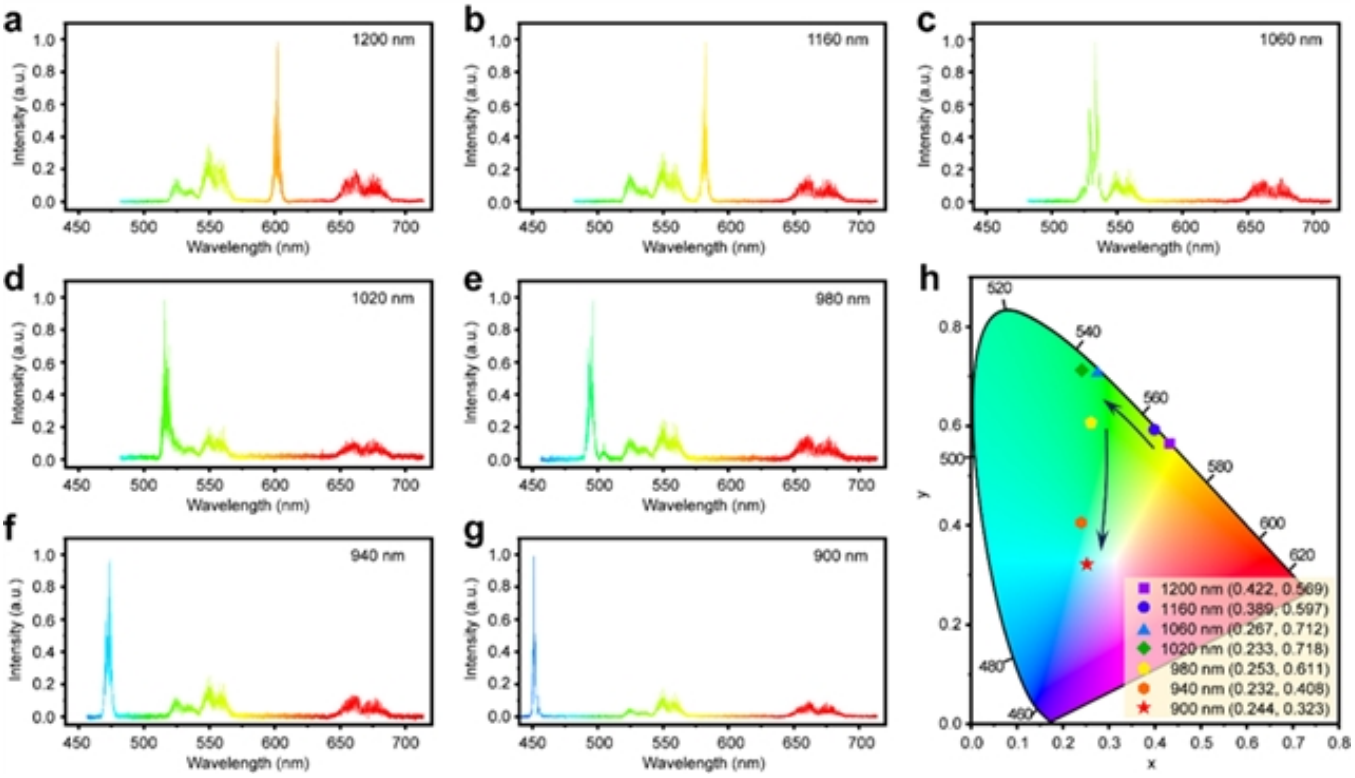


图4. 微腔上转换与倍频激光同步输出。

总结与展望

该研究通过晶体复合玻璃工程，成功在一个微腔中实现了上转换激光与倍频激光的同步输出，突破了传统微腔功能单一的局限。该材料体系与平面波导架构高度兼容，为片上集成多功能光子器件提供了可行路径。未来，该技术有望推动可调谐多波长微纳激光器、集成非线性光源等方向的发展，在量子光学、传感与通信等领域具有广阔应用前景。（来源：LightScienceApplications微信公众号）

相关论文信息：https://doi.org/10.1038/s41377-025-02162-9

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：董国平等 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