

## 金刚石拉曼振荡器首次实现结构光束输出

产生和调控具有特定空间振幅、相位及偏振结构的各型结构高斯光束是开展光场调控物理及应用研究的基础。当下广泛采用的产生及调控手段是对传统激光器输出的基模高斯光束( $TEM_{00}$ )进行复振幅调制,以获得目标结构光场的空间复振幅结构。该技术途径虽然可以高精度地产生任意标量及矢量高阶模式,但对基模光束的“复振幅剪裁”过程属于非么正变换,调控过程中的能量损耗(多数模式超过 50%)是不可避免的。因此,由激光振荡器直接输出特定或可调谐结构高斯光束逐渐成为光场调控的研究热点,特别是面向功率型应用场景的固体结构激光技术已取得了一系列重要进展:从基于腔外泵浦结构预调制以及腔内空间光调制的高阶拉盖尔高斯(LG)模式输出,到近期基于腔内几何相位元件实现可调谐自旋-轨道耦合矢量模式输出。

需要指出的是,在传统的反转粒子激光器中,受限于激光介质固有的荧光光谱范围和热效应等问题,实现结构光的波长拓展以及高功率输出具有一定困难,而基于非线性转换的结构光以其在波长拓展中的优势吸引了诸多科研人员的注意力。与传统光学材料相比,金刚石晶体不但具有已知拉曼晶体中最大的拉曼频移( $1332.3\text{ cm}^{-1}$ )和高拉曼增益系数(约  $10\text{ cm/GW}@1\text{ }\mu\text{m}$ ),而且具有超高热导率

( $>2000\text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ )和极宽的光谱透过范围(从  $0.23\text{ }\mu\text{m}$  至  $>10\text{ }\mu\text{m}$ ),这使得金刚石拉曼振荡器在获得高功率、宽波段以及稳定的结构光束输出方面具有巨大潜能。

近日,本课题组以高斯激光光束作为泵浦源,采用双通离轴泵浦的方式,首次通过外腔金刚石拉曼振荡器直接获得了拓扑荷( $m$ )可调谐的高阶 LG 宇称叠加模式  $LG_{0,m}$  激光输出,即  $\sqrt{1/2}(LG_{0,+m} \pm LG_{0,-m})$ 。

振荡器结构如图 1 所示。采用双凹近共心腔结构,将尺寸为  $2\text{ mm}\times 2\text{ mm}\times 7\text{ mm}$  的金刚石晶体置于谐振腔束腰处,其中输出镜(OC)对  $1\text{ }\mu\text{m}$  泵浦光高反射且对一阶 Stokes 光部分透射(透射率  $T=0.37\%$ )。在实验中,通过对输出镜在水平和垂直平面进行旋转调节来达到离轴泵浦的效果,最终得到了波长为  $1.2\text{ }\mu\text{m}$ 、 $m$  可调谐范围为  $0\sim 9$  的  $LG_{0,m}$  一阶 Stokes 激光输出。图 2(a)~(c)为部分实验光斑图样。在实验中观察到,该振荡器的调谐范围  $m$  主要受输出镜偏转角度的制约(即拉曼产生阈值会发生变化),在最大泵浦功率为  $350\text{ W}$  时获得了最大功率为  $12\text{ W}$  的  $LG_{0,m}$  ( $m=0\sim 6$ )模式的激光输出,且全过程无模式跳变。图 2(d)为泵浦光和高阶 LG 激光的光谱及光束空间分布,图中可见高阶 LG 激光相对泵浦光的频移量(约为  $40\text{ THz}$ )满足金刚石的拉曼频移。

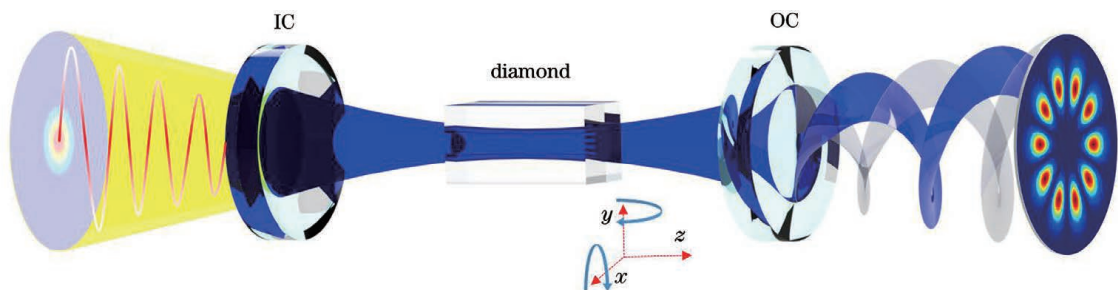


图 1 高阶 LG 金刚石拉曼谐振腔结构示意图

Fig. 1 Schematic of high-order LG diamond Raman cavity

本研究是国际上首次在金刚石拉曼激光器中实现高阶 LG 模式激光输出,有力地证明了金刚石拉曼激光器在直接产生高功率、高稳定结构光方面的巨大前景。未来深入结合金刚石晶体优异的光、

热特性及非线性性质(级联拉曼、布里渊转换等),有望进一步拓展金刚石激光器在光场调控应用上的界限,突破当前结构光工作波长、功率和相干性的极限。

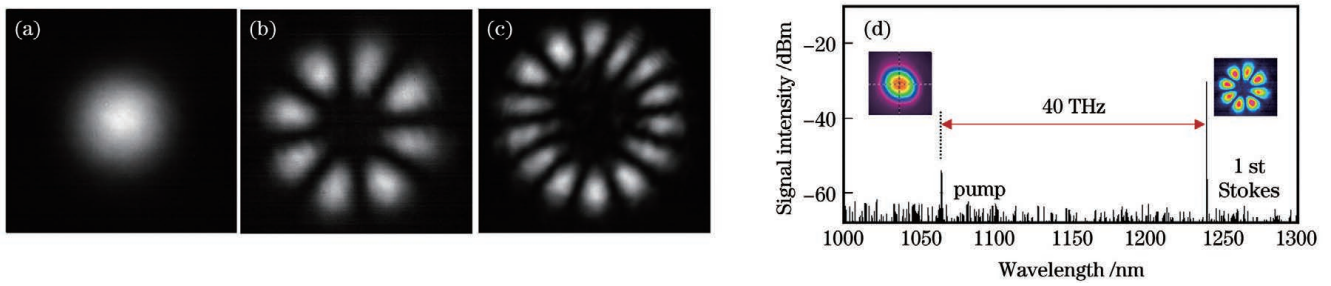


图 2 实验得到的部分输出光斑图样以及光谱图。(a)~(c) 部分输出光斑图样;(d) 光谱图  
 Fig. 2 Part of output beam patterns in experiment and output spectrum. (a)–(c) Part of output beam patterns;  
 (d) output spectrum

白振旭<sup>1,2\*</sup>, 陈晖<sup>1,2</sup>, 朱智涵<sup>3</sup>, 吕家琪<sup>1,2</sup>, 齐瑶瑶<sup>1,2</sup>, 丁洁<sup>1,2</sup>, 颜秉政<sup>1,2</sup>, 王雨雷<sup>1,2</sup>, 吕志伟<sup>1,2\*\*</sup>

<sup>1</sup>河北工业大学先进激光技术研究中心, 天津 300401;

<sup>2</sup>河北省先进激光技术与装备重点实验室, 天津 300401;

<sup>3</sup>哈尔滨理工大学大珩中心-黑龙江省量子调控重点实验室, 黑龙江 哈尔滨 150080

通信作者: \*zxbai@hebut.edu.cn; \*\*zhiweilv@hebut.edu.cn

收稿日期: 2022-08-12; 修回日期: 2022-08-18; 录用日期: 2022-08-29