



·强激光物理与技术·研究快报·

半导体泵浦射流型亚稳态氩激光国际首次出光*

杨子宁^{1,2,3,4}, 王蕊^{1,2}, 刘青山^{1,2}, 孙健勇^{1,2}, 袁茂辉^{1,2,3}, 杨未强^{1,3,4},
华卫红^{1,2,3,4}, 韩凯^{1,2,3}, 王红岩^{1,2,3,4}, 许晓军^{1,2,3,4}

(1. 国防科技大学 前沿交叉学科学院, 长沙 410073; 2. 国防科技大学 量子信息学科交叉中心, 长沙 410073;
3. 脉冲功率激光技术国家重点实验室, 长沙 410073; 4. 高能激光技术湖南省重点实验室, 长沙 410073)

摘 要: 半导体泵浦亚稳态惰性原子激光是高能光泵浦气体激光领域具有潜力的新方案。已有报道均在约束的放电空间内产生亚稳态原子, 功率放大受到多因素制约。为突破现有方案的局限, 采用大气压等离子体射流方式在羽流区域产生高浓度亚稳态氩原子(10^{14} cm^{-3} 量级), 将放电和激光区域空间分离, 利用 811 nm 窄线宽半导体激光器作为泵浦源, 基于泵浦、激光和气流相互垂直的结构实现 912 nm 激光输出, 有效拓展了该型激光体系的功率定标放大能力。

关键词: 高能激光; 光泵浦气体激光器; 半导体激光器; 亚稳态原子; 等离子体射流

中图分类号: O461.2

文献标志码: A

doi: 10.11884/HPLPB202234.220012

Demonstration of a diode pumped metastable argon laser in a plasma jet

Yang Zining^{1,2,3,4}, Wang Rui^{1,2}, Liu Qingshan^{1,2}, Sun Jianyong^{1,2}, Yuan Maohui^{1,2,3}, Yang Weiqiang^{1,3,4},
Hua Weihong^{1,2,3,4}, Han Kai^{1,2,3}, Wang Hongyan^{1,2,3,4}, Xu Xiaojun^{1,2,3,4}

(1. College of Advanced Interdisciplinary Studies, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China;
2. Interdisciplinary Center for Quantum Information, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China;
3. State Key Laboratory of Pulsed Power Laser Technology, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China;
4. Hunan Provincial Key Laboratory of High Energy Laser Technology, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract: Diode pumped metastable rare gas laser (DPRGL) is a potential candidate for single aperture scaled extremely high energy lasers. In the current studies, the metastable atoms were generated in confined discharge gaps, which limited the high power output. In this paper, a DPRGL in a plasma jet is firstly proposed and demonstrated. A high concentration of metastable argon atoms (about 10^{14} cm^{-3}) is produced in the plume of an atmospheric plasma jet, which separates the discharge and gain regions. By using a 811 nm linewidth narrowed diode laser as pumping source, based on a “pump, laser and flow” mutually orthogonal configuration, the system realizes 912 nm laser output. The plasma jet type DPRGLs have the potential to break through the limitations of the existing schemes, and significantly improve the power scaling ability.

Key words: high energy laser; optically pumped gas laser; diode laser; metastable noble gas atom; plasma jet

半导体泵浦亚稳态惰性气体激光(DPRGL)是一种新型的光泵浦气体激光体系,综合电能驱动、高量子效率、气体流动散热和惰性激光工质等特点,具有面向高能激光的发展潜力。自2012年美国Emory大学的M. C. Heaven团队首次提出概念并验证出光以来^[1-2],美国物理科学公司^[3]、空军研究实验室^[4]、俄罗斯列别捷夫物理研究所^[5]和国内华中科技大学^[6]等单位相继实现激光输出。目前,研究的重点在于如何在大气压量级下产生大体积、高浓度($10^{13} \sim 10^{14} \text{ cm}^{-3}$)的亚稳态($1s_5$)惰性气体原子,研究人员相继对直流、射频和微波等放电方式开展研究,但放电等离子体均被约束在狭窄的放电空间内,放电体积难以有效拓展,存在拉弧、电极损伤、原子空间分布不均等

* 收稿日期:2022-01-06; 修订日期:2022-01-20
联系方式:杨子宁, yangzining09@nudt.edu.cn。
通信作者:王红岩, wanghongyan@nudt.edu.cn;
许晓军, xuxiaojun@nudt.edu.cn。

限制,并且强光泵浦还会干扰放电状态并存在极间寄生振荡等问题。基于这一现状,国防科技大学首次提出基于等离子体射流的 DPRGL 概念,旨在将亚稳态原子产生区域和放电空间分离,从物理层面彻底规避上述限制因素,有望拓展功率放大潜力。

近期,项目组首次实现基于等离子体射流的半导体泵浦亚稳态氩原子激光出光,系统结构见图 1 所示。泵浦源为体光栅耦合的窄线宽半导体激光器,中心波长 811.5 nm,光谱宽度 0.15 nm(FWHM)。激光工质为 Ar 和 He 的混合气体,其中 Ar 摩尔分数 5%,总气压 0.1 MPa;放电源为 20 kHz 中频交流源,输出电压 9 kV,采用裸级弧光放电和旋流气体驱动等离子体射流直喷大气,在喷管出口处形成尺寸约 1 mm(直径)×6 mm(高度)的射流区,通过 TDLAS 方法测得 $1s_5$ 态 Ar^* 的峰值浓度达到 $1 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$;选择泵浦、激光和气流相互垂直的泵浦和散热结构,将半导体激光聚焦后入射至射流区泵浦 Ar^* 形成增益介质,利用平凹稳定腔提取功率,谐振腔长 16 cm,耦合输出镜曲率半径 50 cm,反射率 70%。

在半导体连续泵浦条件下,当吸收泵浦功率为 500 mW 时,获得 34.8 mW 的 912 nm 激光输出,光光转换效率 7%,激光光谱和光斑形貌分别见图 2 所示。现有实验条件下,由于放电周期(50 μs)大于 Ar^* 原子寿命(约 10 μs),激光为脉冲输出,并且增益长度较短(约 1 mm),限制了转换效率。后期,通过优化放电方式、增益长度、背景气体、光谱匹配等一系列因素,预期能够显著提升激光功率和效率。

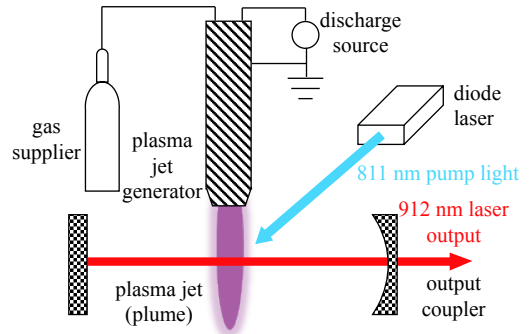


Fig. 1 Scheme of diode pumped metastable rare gas laser in a plasma jet configuration

图 1 等离子体射流型 DPRGL 系统结构示意图

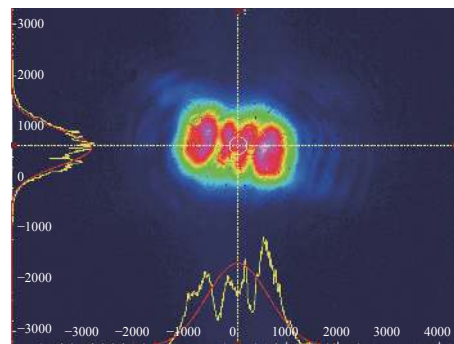
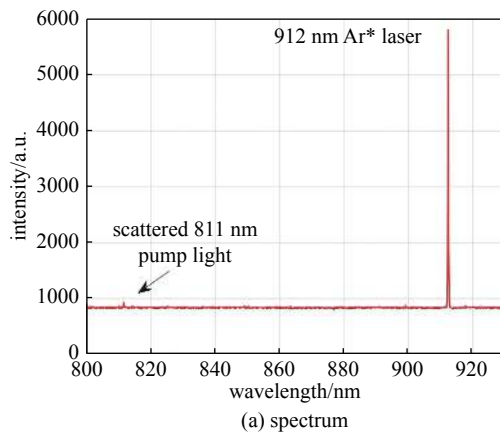


Fig. 2 Spectrum and mode pattern of output laser

图 2 激光输出光谱和光斑形貌

等离子体射流型 DPRGL 解决了当前在约束空间内进行气体放电的一系列物理和工程局限,适合于通过阵列方式产生体积可扩展的高浓度亚稳态原子,有望满足高功率 DPRGL 发展需求,为该型激光的发展提供全新的体系架构。

参考文献:

- [1] Han J, Heaven M C. Gain and lasing of optically pumped metastable rare gas atoms[J]. *Opt Lett*, 2012, 37(11): 2157-2159.
- [2] Han J, Heaven M C, Moran P J, et al. Demonstration of a CW diode-pumped Ar metastable laser operating at 4 W[J]. *Opt Lett*, 2017, 42(22): 4627-4630.
- [3] Rawlins W T, Galbally-Kinney K L, Davis S J, et al. Optically pumped microplasma rare gas laser[J]. *Opt Express*, 2015, 23(4): 4804-4813.
- [4] Moran P J, Lockwood N P, Lange M A, et al. Plasma and laser kinetics and field emission from carbon nanotube fibers for an advanced noble gas laser (ANGL)[C]//Proc of SPIE. 2015: 97290C.
- [5] Mikheyev P A, Chernyshov A K, Svistun M I, et al. Transversely optically pumped Ar: He laser with a pulsed-periodic discharge[J]. *Opt Express*, 2019, 27(26): 38759-38767.
- [6] 高俊, 张秩凡, 雷鹏, 等. 半导体光泵浦亚稳态氩气激光器实现激光振荡[J]. *强激光与粒子束*, 2018, 30: 010102. (Gao Jun, Zhang Zhifan, Lei Peng, et al. Continuous wave diode pumped metastable Ar laser[J]. *High Power Laser and Particle Beams*, 2018, 30: 010102)