

一种低阈值波导随机激光器的研制

周富肯, 张永棠

(广东东软学院 计算机科学与技术系, 广东 佛山 528225)

摘要:将聚甲基丙烯酸甲酯(PMMA)和有机染料罗丹明 6G(R6G)的氯仿溶液虹吸到 0.5mm 内径的毛细管内,待溶剂挥发后,制备成一种波导型随机激光器。将干燥后的波导型随机激光器在 532nm 的泵浦光作用下进行实验,发射出了中心波长为 603nm、阈值为 350mJ/cm²、半峰全宽为 4.5nm 和脉冲宽度为 15ns 的随机激光。该激光器易制作、阈值低的优点,为制作新型光电子设备提供了参考。

关键词:随机激光; 中心波长; 阈值; 半峰宽; 脉冲宽度

中图分类号: TN249 **文献标识码:** A **文章编号:** 1002-5561(2018)02-0035-03

DOI: 10.13921/j.cnki.issn1002-5561.2018.02.010

Development of a low threshold waveguide stochastic laser

ZHOU Fuken, ZHANG Yongtang

(Department of Computer Science and Technology,
Guangdong Neusoft Institute, Foshan Guangdong 528225, China)

Abstract: The polymethacrylate(PMMA) and the organic dye rhodamine 6G(R6G) in chloroform were siphoned into a 0.5mm ID capillary tube. After solvent evaporation, a waveguide-type random laser was prepared. Experimental results show that the laser can emit random laser with a central wavelength of 603nm, a threshold of 350 mJ/cm², a full width at half maximum of 4.5nm and pulse width is 15ns. The laser preparation method is simple, the advantages of low threshold, for the production of new optoelectronic devices provide a reference.

Key words: random laser; center wavelength; threshold; full width at half maximum; pulse width

0 引言

自 1968 年 Letokhov^[1]作了随机激光器的相关报道后,随机激光器就开始引起人们的广泛关注。由于谐振腔在介质中的分布是随机的,所以存在着复杂的脉冲特性、辐射对角度的依赖性等缺点,使得在某些检测领域应用时必须改进其光谱特性才能挑战传统激光器的优异性能。近年来,人们利用低维随机系统结构(如光纤)可以改善随机激光器的上述不足。2007 年 Horng 等人^[2-4]研制了第一台光纤随机激光器,通过在光子带隙光纤的纤芯中填充 TW2 纳米颗粒,在侧面泵浦光子带隙光纤情况下,成功实现了一维随机激光输出,在一定程度上确保了激光光束的方向性。但是,该方法技术难度大,不容易实现。利用光纤中的本征无

序性来改善随机激光的属性(单色性、方向性)是目前国外学者研究的热点课题。2013 年,英国阿斯顿大学研究团队^[5,6]通过理论研究和实验分析了光纤中分布式瑞利散射效应对激光纵模结构的影响,发现当抽运光功率和光纤长度达到一定要求时,激光器中的腔镜(光纤光栅)将失去反馈作用。2015 年, Turitsyn 等人^[7]利用光纤中的瑞利散射效应作为反馈机制,成功实现了激光的输出,并首次将其命名为随机分布反馈光纤激光器。该激光器能提供空间不相干的、无模式竞争的连续激光输出,但它具有阈值功率高、转化效率低、输出功率低和光纤长度太长等缺点。目前,国内尚未见相关报道。

为了弥补上述随机激光器的不足,本文采用虹吸方法,制作了一种光纤随机激光器。

1 实验制备

本文选取聚甲基丙烯酸甲酯(PMMA)和有机染料罗丹明 6G(R6G),以氯仿为溶剂。将一定量的 PMMA

收稿日期:2017-09-28。

基金项目:国家自然科学基金(61363047)资助;佛山市科技创新项目(2016AG100792)资助。

作者简介:周富肯(1980-),男,硕士,讲师,主要从事网络通信与信息系统方面的教学和研究。

和 R6G 分别溶解于氯仿溶剂中,制得浓度分别为 100mg/mL 和 5mg/mL 的溶液,将二者按照体积比 1:1 混合,并超声振荡 30 分钟,得到混合溶液。将内径为 0.5mm 的毛细管一端浸入混合溶液,虹吸效应使样品溶液被自动吸入毛细管中。将吸有溶液的毛细管置于干燥通风处,待有机溶剂挥发后,即可得到实验样品。

2 结果分析

我们将制得的实验样品置于 Leica DM300 LED 光学显微镜下观测,得到如图 1 所示的图像。

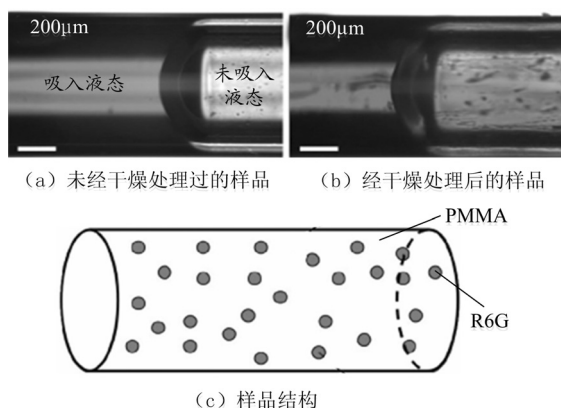


图 1 光学显微镜下的实验样品及样品结构

图 1(a)为未经干燥处理过的样品图像,由于液体表面张力的原因,虹吸入毛细管内的溶液液面凹陷,呈现弧面,弧面左侧部分为吸入液态后的样品图像,弧面右侧部分为未吸入液态的 0.5mm 的毛细管在 Leica DM300 LED 光学显微镜下的图像。图 1(b)为经过干燥处理后的样品图像,经干燥处理后,该弧面并未消失,并且弧面左侧样品经干燥处理后颜色加深,弧面右侧为氯仿溶剂挥发后残留在 0.5mm 毛细管内壁的溶质。图 1(c)为样品的结构示意图,混合溶液经过超声振荡后,PMMA 和 R6G 分子均匀分布在溶液中,被虹吸入毛细管中,待有机溶剂挥发后,R6G 分子均匀分散在 PMMA 圆柱内。

将干燥后的样品置于待测实验台上。实验台装置如图 2 所示,泵浦源为 Nd:YAG 激光器^[8],输出波长为 532nm,脉冲宽度为 30ns,重复频率为 10Hz,单脉冲能量为 10mJ。泵浦光经过衰减片到达分束器后分为两束

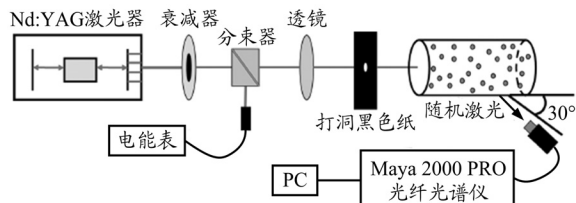


图 2 实验测试示意图

光,使用功率计对其中一束泵浦光进行测量,另一束光经过凸透镜进行汇聚。在透镜焦点后方放置一块有小孔的黑纸片,用于消除多余泵浦光的影响,使光束透过小孔后到达毛细管内激发样品,产生随机激光。出射的随机激光被 Maya 2000 PRO 光谱仪^[9]光纤探头接收,光纤探头与毛细管水平位置夹角为 30°,此时可以观测到出射的随机激光,记录得到的随机激光出射光谱。

在该随机激光器的增益介质中,染料 R6G 颗粒的尺寸能够达到光子波长量级,颗粒与颗粒间距足够小,也由于随机增益介质中存在光的干涉效应,进而形成光子局域化,使得光子在增益介质中沿着闭合的环路传播。这些闭合环提供非相干反馈,类似于一个光学环形腔,如图 3 所示。在这些光学环形腔中,光子发生多次散射,能量不断增大,散射光子的数目也会不断加大。当光子的增益强于其损耗时,产生随机激光。

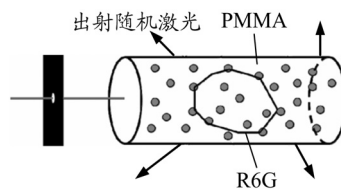
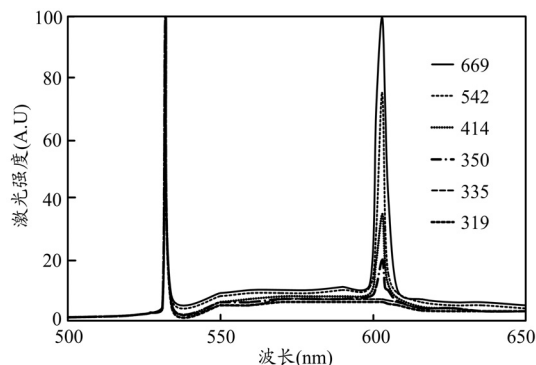
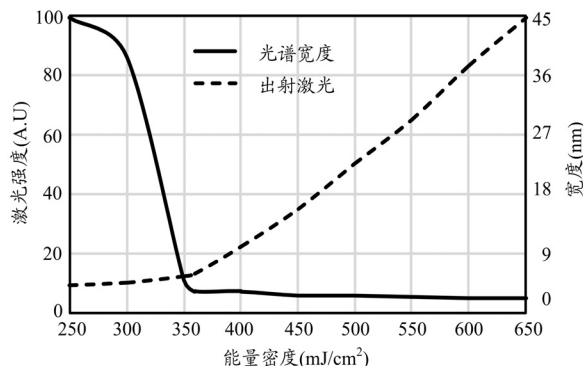


图 3 随机激光出射原理

为了进一步探究随机激光特性,图 4(a)给出了出射随机激光强度随泵浦能量的变化关系,图 4(b)为半



(a) 随机激光强度与泵浦能量密度之间关系



(b) 随机激光强度、半峰全宽与泵浦能量密度关系

图 4 随机激光特性光谱

峰全宽、出射随机激光强度与泵浦能量密度之间的关系曲线。出射随机激光的出射强度随泵浦能量增大而增大。当泵浦能量低于阈值($350\text{mJ}/\text{cm}^2$)时,样品的发射光谱为放大自发辐射(Amplified Spontaneous Emission, ASE)^[10]。当泵浦能量增加至 $350\text{mJ}/\text{cm}^2$ 时,出射光在原有 ASE 位置(603nm)处,出现一条窄而细的尖峰,此尖峰即为随机激光,但此时的出射随机激光强度较低。随着泵浦能量密度的不断增加,随机激光强度也不断增加。如图 4(b)所示,在阈值前后,出射随机激光的半峰全宽迅速降至 4.5nm ; 出射随机激光强度统计值和斜率发生明显变化,表明随机激光的产生。

为了进一步得到随机激光器的脉冲宽度参数,本文选用的实验仪器为光电倍增管 (ET Enterprises QL3019/RFI)^[11]和数字示波器(Tektronix DPO4054)^[12]。实验装置如图 5 所示,光电倍增管采用高压电源供电,将采集到的光信号转化为电信号,并将电信号放大,随后传输给数字示波器,由数字示波器将接收的电信号记录下来。

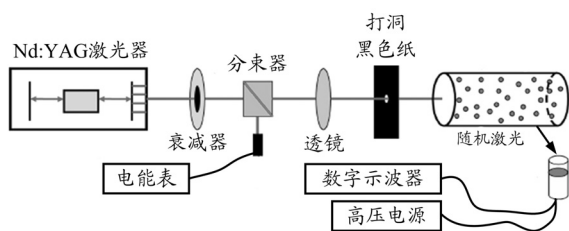


图 5 随机激光器的脉宽测量装置示意图

图 6 所示为泵浦光脉冲和出射随机激光的时间特性图。YAG 激光器输出 532nm 的泵浦光,泵浦光子在无序增益介质中形成闭合回路,从而形成多重散射,产生光放大效果,进而形成随机激光。一般而言,随机激光的脉冲宽度受增益介质荧光寿命的影响,即与 R6G 分子跃迁时间有关。本文经多次测量得出结

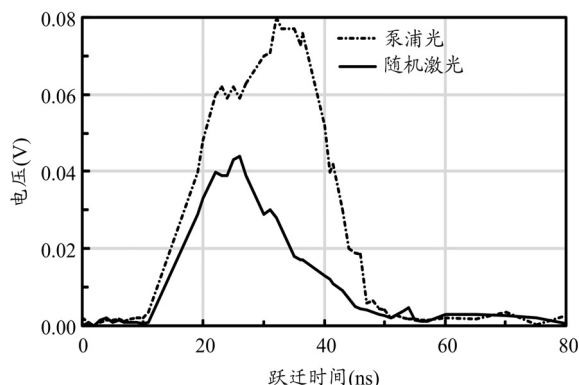


图 6 泵浦光和随机激光的时间特性光谱

果:出射随机激光的脉冲宽度约为 15ns ,泵浦光YAG激光器输出 532nm 的脉冲宽度为 30ns 。

3 结束语

本文通过将 PMMA 和 R6G 溶于氯仿溶液制得的混合溶液虹吸至内径为 0.5mm 的毛细管中,有机溶剂挥发后得到了光纤染料随机激光器。以 Nd:YAG 激光器作为泵浦源,泵浦光子进入到样品中,激发 R6G 分子发射荧光,荧光在样品内形成光学环形腔,形成干涉,能量不断增加,进而达到出射阈值,出射随机激光。通过测量发现,出射随机激光的中心波长为 603nm 、半峰全宽约为 4.5nm 、阈值为 $350\text{mJ}/\text{cm}^2$ 。我们还对该出射光脉冲宽度进行了测量,约为 15ns 。此随机激光器具有制备方法简单、阈值低的优点,为随机激光的应用提供了参数。

参考文献:

- [1] LETOKHOV V S. Generation of Light by a Scattering Medium with Negative Resonance Absorption [J]. Soviet Journal of Experimental & Theoretical Physics, 1968, 2(6): 835-840.
- [2] HORNG C T, MA C L, LEE C R, et al. Electrically and Thermally Controllable Nanoparticle Random Laser in a Well-Aligned Dye Doped Liquid Crystal Cell [J]. Optical Materials Express, 2015, 10(5): 1469-1481.
- [3] CAO H, REDDING B, CHOMA M A. Physics and Applications of Random Lasers. European Conference on Optical Communication [J]. 2014, 12(2):1-2.
- [4] REDDING B, CHOMA M A. Speckle-Free Laser Imaging Using Random Laser Illumination [J]. Nature Photonics, 2012, 90(6): 355-359.
- [5] POLSON R C, VARDENY Z V. Random Lasing in Human Tissues [J]. Applied Physics Letters, 2004, 85(1): 1289-1291.
- [6] YURLOV V, LAPCHUK A, YUN S, et al. Speckle Suppression in Scanning Laser Display[J]. Applied Optics, 2008, 47(10):179-187.
- [7] WANG Chen, DENG Lingui. Electrically Controlled Plasmonic Lasing Resonances with Silver Nanoparticles Embedded in Amplifying Nematic Liquid Crystals [J]. Laser Physics Letters, 2015, 11(8): 1112-1120.
- [8] 张永棠,洗敏仪. 中红外 $2\mu\text{m}$ Tm:YLF 激光热效应分析[J]. 激光与红外, 2017, 47(7): 813-816.
- [9] SHANG Zhen. RANDOM Lasing Assisted by CuSO_4 and Au Nanoparticles in Random Gain Systems [J]. Optical Materials Express, 2015, 27(7): 1848-1857.
- [10] ZHANG Yongtang. Erbium-Doped Fiber Laser Based on the Noise-like Square Wave Pulse [J]. Acta Photonica Sinica, 2017, 46(6): 164-168.
- [11] ELDARDIRY R G, LAGENDIJK A. Tuning Random Lasers by Engineered Absorption[J]. Applied Physics Letters, 2011, 98(3): 18-19.
- [12] ZHAI TINGRU. A Plasmonic Random Laser Tunable through Stretching Silver Nanowires Embedded in a Flexible Substrate [J]. Nanoscale, 2015, 33(7): 2235-2240.