

石墨烯锁模掺铒光纤脉冲激光器的实验研究

田 振 刘山亮* 张丙元 郑宏军 孙彦星 闫循领

(聊城大学物理科学与信息工程学院, 山东 聊城 252059)

摘要 利用高分子聚合物聚乙烯醇(PVA)易成膜且机械性能优良的特点,将微米尺寸的石墨烯薄片制成大尺寸的石墨烯-PVA 薄膜。分别测量了石墨烯-PVA 薄膜与石墨烯片的拉曼光谱,发现二者具有同样的特征。研制了用该石墨烯-PVA 薄膜作为饱和吸收体,具有环形腔结构的被动锁模掺铒光纤激光器,获得了峰值波长 1532.75 nm,重复频率 8.7 MHz,脉冲宽度 10.29 ps 的脉冲序列。

关键词 激光器;光纤脉冲激光器;石墨烯锁模;石墨烯-聚乙烯醇膜;掺铒光纤

中图分类号 TN248.1 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/CJL201138.0302004

Graphene Mode-Locked Er³⁺ Doped Fiber Pulse Laser

Tian Zhen Liu Shanliang Zhang Bingyuan Zheng Hongjun Sun Yanxing Yan Xunling

(School of Physical Science and Information Engineering, Liaocheng University, Liaocheng, Shandong 252059, China)

Abstract A graphene-PVA film is fabricated by using polyvinyl alcohol(PVA), which provides excellent mechanical property and easy operation. Raman spectra of the graphene-PVA film and graphene sheets are measured, which show that the spectra have the same characteristics. The passively mode-lock Er-doped fiber laser with graphene-PVA film as saturable absorber is made, which produces the mode-locked pulses with duration of 10.29 ps, peak wavelength of 1532.75 nm, and repetition rate of 8.7 MHz.

Key words lasers; fiber pulse laser; graphene mode-locked; graphene-polyvinyl alcohol film; Er³⁺ doped fiber

OCIS codes 140.3500; 140.3510; 140.3538; 140.3560; 140.4050

1 引 言

被动锁模环形腔掺铒光纤激光器由于其结构简单、起振阈值低、可以实现全光纤集成等优点,已引起人们的极大兴趣^[1,2]。目前被动锁模的主要方法包括腔内插入半导体可饱和吸收体、非线性光纤环镜以及非线性偏振旋转效应作等效可饱和吸收体附加脉冲锁模。石墨烯自 2004 年问世以来,由于其独特的电学与力学性质,获得越来越多的关注^[3]。由于其超宽的饱和吸收带(从可见至中红外)、超快的恢复时间、可控的调制深度、较低的饱和吸收阈值、易于制作并且与光纤耦合性好等特点,多个课题组^[4~8]将石墨烯作为饱和吸收体,利用掺 Er³⁺ 光纤作为增益介质,成功得到了超短脉冲激光。但是,由

于受到实验技术的限制,绝大多数石墨烯的尺寸限于微米大小,大大限制了石墨烯的研究和利用。本文利用高分子聚合物聚乙烯醇(PVA)制成的石墨烯-PVA 薄膜作为掺铒光纤激光器的饱和吸收体,获得了较好的脉冲输出。

2 实验装置

实验装置如图 1 所示。激光腔主要由掺铒光纤(EDF)、隔离器(ISO)、常规单模 G652 光纤(SMF)、偏振控制器(PC)、石墨烯-PVA(graphene-PVA)薄膜、输出耦合器(coupler)、980 nm/1550 nm 波分复用器(WDM)等组成。抽运源采用高稳定性带尾纤的激光二极管(LD),其中心波长为 976 nm。LD

收稿日期: 2010-11-08; 收到修改稿日期: 2010-12-15

基金项目: 国家自然科学基金(60778017)、山东省优秀中青年科学家科研奖励基金(BS2009DX014)和聊城大学科研基金(X09024)资助课题。

作者简介: 田 振(1974—),女,硕士,讲师,主要从事非线性光纤光学方面的研究。E-mail: tianzhen@lcu.edu.cn

* 通信联系人。E-mail: liushanliang@lcu.edu.cn

抽运光通过 980 nm/1550 nm 波分复用器耦合进入环形腔,增益介质为掺 Er^{3+} 光纤。ISO 可以保证环形腔内的光单向运转,消除腔内后向散射光波。225 m 普通单模光纤增大了腔长,使腔内在未达到锁模状态时的纵模增加,容易实现锁模。另一方面,由于光纤非线性使光脉冲频谱展宽,在反常色散区使脉冲时域宽度变窄,长的光纤腔可以使脉冲的时域宽度得到足够的压缩。耦合器的耦合比为 90 : 10,其中 10% 端为输出端;光纤环形腔总长度 L 约为 235 m,腔的基频 $f_c = c/(nL)$ 为 0.87 MHz。在输出端分别采用光谱仪、自相关脉冲分析仪、光接收机和示波器来对输出脉冲的光谱、脉冲宽度和脉冲序列进行测量。

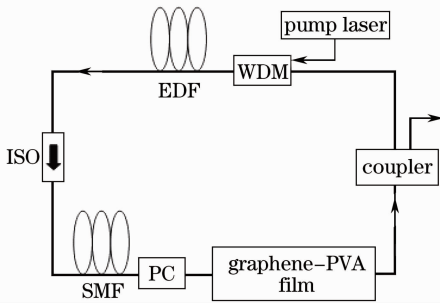


图 1 石墨烯锁模光纤激光器示意图

Fig. 1 Experimental setup of graphene mode-locked ring fiber laser

通过石墨烯的光波与光波强度有关。由于光脉冲的中心和两翼光强不同,因此它们通过石墨烯时,中心和两翼具有不同的透射率。脉冲的波峰经历大的透射率,而前后沿经历小的透射率,这种过程在环形环中来回运转,从而使脉冲的前后沿光强越来越弱,峰值光强越来越强,最后形成稳定的短脉冲序列。这就是利用石墨烯的饱和吸收效应产生短脉冲的锁模机理。

3 石墨烯-PVA 薄膜的制备与测试

先将 120 mg 石墨烯(南京先锋纳米科技有限公司)与 500 mg 去离子水混合,超声振荡 30 min,再加入质量分数为 10% 的 PVA 溶液 500 mg,超声振荡 60 min,然后静置 24 h,使大颗粒的石墨烯沉淀,将下部带颗粒的溶液舍弃,将其余石墨烯-PVA 溶液超声振荡 30 min 后,取适量涂于石英玻璃片上,制成石墨烯-PVA 薄膜。将制成的薄膜置于真空干燥箱,室温下干燥 24 h,机械剥离后,置于两个光纤 FC/PC 光纤接头之间,作为本激光器的饱和吸收体。

为了检验制成的石墨烯-PVA 薄膜,将石墨烯和制成的薄膜分别放入拉曼光谱仪,测量其拉曼散射光。图 2 中强度较大的谱线是石墨烯的拉曼谱,较强的 D 峰说明石墨烯薄片的尺寸较小,与有关报道一致^[9,10]。图 2 中强度较小的谱线是石墨烯-PVA 薄膜的拉曼谱,二者的特征峰一致,说明石墨烯-PVA 薄膜未改变石墨烯的能级结构。

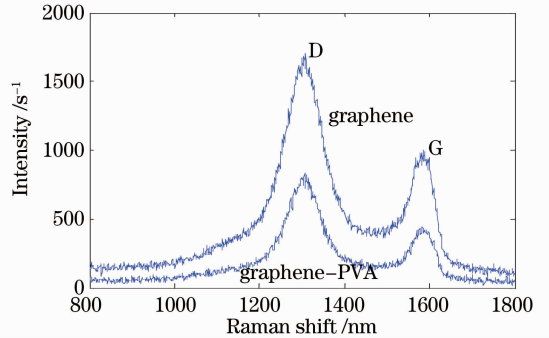


图 2 石墨烯以及石墨烯-PVA 薄膜的拉曼光谱
Fig. 2 Raman spectra of graphene sheets and graphene-PVA film

4 实验结果与分析

实验中,当抽运光输入到环形腔内,经 EDF 后的功率达到 17.15 dBm 时,调节 PC,激光器就可以产生稳定的脉冲输出。激光器工作完全是自启动的,不需要外界触发。图 3 是将耦合器 10% 端口的输出接入光接收机,由 Tektronix 示波器测量到的脉冲序列图像,其重复频率为 8.7 MHz,为基频的 10 倍。图 4 是将耦合器 10% 端口的输出接入光谱仪测得的激光脉冲的光谱图,脉冲的峰值波长为 1532.75 nm,3 dB 谱宽为 2.77 nm。

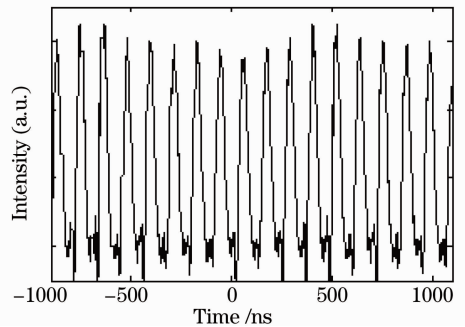


图 3 示波器测得的激光脉冲序列

Fig. 3 Oscilloscope trace of optical pulse

将耦合器 10% 端口的输出,经掺铒光纤放大器(EDFA)放大后,接入脉冲分析仪 HR200,图 5 是测量得到的脉冲时域波形曲线^[11~13]。图中横坐标是时间,纵坐标是归一化的脉冲强度;虚线是双曲正割

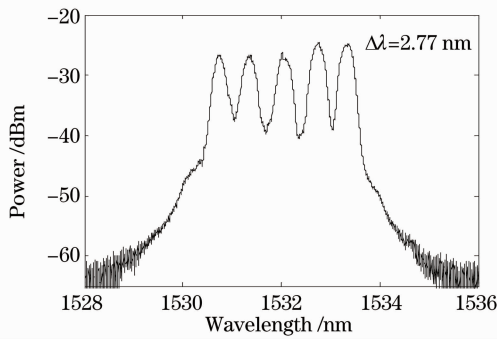


图4 激光脉冲光谱(分辨率为0.01 nm)

Fig. 4 Output spectrum of optical pulses (spectral resolution is 0.01 nm)

曲线,点划线是高斯曲线,实线是实验测量得到的脉冲时域波形曲线。由图5可见,输入脉冲前沿下降比高斯和双曲正割曲线下下降快,而后沿下降比高斯和双曲正割曲线下下降慢。测量结果表明掺铒光纤放大器输出的光脉冲的半峰全宽 T_{FWHM} 为 10.29 ps。

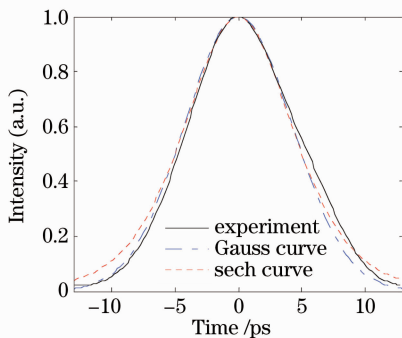


图5 脉冲分析仪所测脉冲时域波形

Fig. 5 Temporal shape of optical pulse

5 结 论

利用PVA将微米尺寸的石墨烯薄片制成了大尺寸的石墨烯-PVA薄膜,该薄膜与石墨烯具有相同的能级结构。用该石墨烯-PVA薄膜作为饱和吸收体,具有环形腔结构的被动锁模掺铒光纤激光器能够产生自起振皮秒脉冲输出,输出脉冲峰值波长1532.75 nm,重复频率为8.7 MHz,脉冲宽度为10.29 ps。说明利用PVA将石墨烯制成大尺寸的石墨烯-PVA薄膜,是研究石墨烯锁模的一种有效方法。若进一步优化腔的结构,改进石墨烯-PVA薄膜的质量,有望获得更稳定的激光输出。

致谢 感谢南洋理工大学电机与电子工程学院博士生张晗对本工作的帮助和指导。

参 考 文 献

- Zhong Yihui, Zhang Zuxing. Research progress of passively mode-locked fiber laser[J]. *Laser & Optoelectronics Progress*, 2008, **45**(8): 46~51
- 钟义晖, 张祖兴. 被动锁模光纤激光器的研究进展[J]. *激光与光电子学进展*, 2008, **45**(8): 46~51
- Song Chuangxing, Xu Wencheng, Luo Zhichao *et al.*. Tunable mode-locked pulsed erbium-doped fiber ring laser[J]. *Acta Optica Sinica*, 2009, **29**(5): 1292~1295
- 宋创兴, 徐文成, 罗智超等. 可调谐锁模脉冲环形腔掺铒光纤激光器[J]. *光学学报*, 2009, **29**(5): 1292~1295
- A. K. Geim, K. S. Novoselov. The rise of graphene[J]. *Nature Materials*, 2007, **6**(3): 183~191
- Qiaoliang Bao, Han Zhang, Yu Wang *et al.*. Atomic-layer graphene as a saturable absorber for ultrafast pulsed lasers[J]. *Advanced Functional Materials*, 2009, **19**(10): 3077~3083
- Qiaoliang Bao, Han Zhang, Jiatiang Yang *et al.*. Graphene-polymer nanofiber membrane for ultrafast photonics [J]. *Advanced Functional Materials*, 2010, **20**(3): 782~791
- Zhipai Sun, Tawfique Hasan, Telice Torrisit *et al.*. Graphene mode-locked ultrafast laser [J]. *ACS Nano*, 2010, **4**(2): 803~810
- Yong-Won Song, Sung-Yeon Jang, Won-Suk Han *et al.*. Graphene mode-lockers for fiber lasers functioned with evanescent field interaction[J]. *Appl. Phys. Lett.*, 2010, **96**(5): 051122
- Han Zhang, Dingyuan Tang, R. T. Knize *et al.*. Graphene mode locked, wavelength-tunable, dissipative soliton fiber laser[J]. *Appl. Phys. Lett.*, 2010, **96**(11): 111112
- Hailiang Wang, Xinran Wang, Xiaolin Li *et al.*. Chemical self-assembly of graphene sheets[J]. *Nano Research*, 2009, **2**(4): 336~342
- Longhua Tang, Ying Wang, Yueming Li *et al.*. Preparation, structure, and electrochemical properties of reduced graphene sheet films[J]. *Advanced Functional Materials*, 2009, **19**(9): 2782~2789
- Liu Shanliang, Zheng Hongjun. Experimental research on the characteristic measurement of the short pulses before and after propagating in dispersion-flattened fiber[J]. *Chinese J. Lasers*, 2006, **33**(2): 199~205
- 刘山亮, 郑宏军. 短脉冲在色散平坦光纤中传输前后波形、相位和啁啾测量的实验研究[J]. *中国激光*, 2006, **33**(2): 199~205
- Liu Shanliang, Zheng Hongjun. Experimental research on evolution of optical pulses into solitons in standard single mode fiber[J]. *Acta Optica Sinica*, 2006, **26**(9): 1313~1318
- 刘山亮, 郑宏军. 光脉冲在标准单模光纤中演化形成孤子的实验研究[J]. *光学学报*, 2006, **26**(9): 1313~1318
- Zheng Hongjun, Liu Shanliang. A novel method for measuring and analyzing optical pulse characteristics[J]. *Study on Optical Communications*, 2007, (1): 60~63
- 郑宏军, 刘山亮. 光脉冲特性测量和分析的新方法[J]. *光通信研究*, 2007, (1): 60~63