

文章编号:1674-2869(2018)01-0114-05

基于线性腔光纤激光器产生可调微波信号的研究

尚海燕¹, 冯德军²

1. 太原工业学院电子工程系, 山西 太原 030008;
2. 山东大学信息科学与工程学院, 山东 济南 250100

摘要: 可调低噪声微波信号在通信、雷达和仪器测量等领域具有广泛的应用, 因此, 理论分析和实验验证了一种可调微波信号产生方案。首先基于稀土元素的能级跃迁, 用980 nm 高功率半导体激光器作为泵浦, 通过线性腔掺铒光纤激光器输出稳定的三波长光信号。然后基于光外差产生微波信号, 利用三波长光信号拍频分别得到频率为10.521 GHz、21.249 GHz、31.770 GHz的微波信号, 且它们各自具有不同的偏振状态。最后通过调整偏振控制器和检偏器, 实现微波信号在三个不同频率间的调谐。该方案结构简单、成本低、输出稳定性好、频率调谐效率高。

关键词: 光纤激光器; 光外差; 微波; 光纤光栅; 频率可调

中图分类号: TN929.11 **文献标识码:** A **doi:** 10.3969/j.issn.1674-2869.2018.01.021

Generation of Tunable Optical Microwave Signal Based on Linear Cavity Fiber Laser

SHANG Haiyan¹, FENG Dejun²

1. Department of Electronic Engineering, Taiyuan Institute of Technology, Taiyuan 030008, China;
2. School of Information Science and Engineering, Shandong University, Jinan 250100, China

Abstract: The tunable low-noise microwave signal has been widely applied in the fields of communication, radar, instrument measurement and so on. A scheme of tunable microwave signal generation was analyzed theoretically and demonstrated experimentally. Firstly, the stable triple-wavelength output was obtained using linear cavity Er-doped fiber laser with 980 nm high power semiconductor laser as a pump, based on energy transition of rare-earth element. Then the microwave signals of 10.521 GHz, 21.249 GHz and 31.770 GHz were obtained respectively by beating triple-wavelength output based on optically heterodyne for generation of microwave signal, which had different polarization states respectively. Finally, the microwave tuning was realized among above three different frequencies by adjusting polarization controller and polarizer. This scheme has the advantages of simple structure, low cost, good output stability and high efficiency of frequency tuning.

Keywords: optical heterodyne; microwave; fiber grating; tunable frequency

联合微波技术和光子技术, 微波光子学在相控阵雷达、传感方面等具备潜在的应用远景^[1]。用光子技术产生微波信号是微波光子学研究的分支, 具有容量高、功耗低、结构简单、抗电磁干扰等

优点^[2-3], 于是得到广泛研究者的关注。近年来, 出现了对微波信号的^[4-14]光学生成许多报道。例如, 用单纵模双频光纤激光器生成微波频率信号^[6]; 用两段级联分布反馈激光器或并联分布反馈激光器

收稿日期: 2016-08-27

基金项目: 太原工业学院青年科学基金(2015LQ07)

作者简介: 尚海燕, 硕士, 讲师。E-mail: shanghaiyan2006@126.com

引文格式: 尚海燕, 冯德军. 基于线性腔光纤激光器产生可调微波信号的研究[J]. 武汉工程大学学报, 2018, 40(1): 114-118.

产生微波信号^[7];基于布里渊效应^[9],然后光处理得到微波信号;利用光调制和滤波得到倍频微波信号^[13]等。这些研究方法大致上分为光外差^[4]、外调制法两大类,外调制法对射频器件要求比较严格,前一种方法结构简单、成本低,更受广大研究者的青睐。为了满足雷达、无线电、仪器测量等各领域的发展需求,研究者们一直在为实现可调微波信号而不断努力。Guan等^[6]用分布式布拉格反射器(distributed bragg reflector, PZT)使得电压变换器(piezoelectric transducer, DBR)光纤激光器受力,通过电压来改变光纤折射率引起波长间隔的变化,从而实现在大范围内可调信号。陈东军等^[8]、周锋^[12]等基于单片机设计了一种温度控制系统,通过温度控制实现 22.055 GHz~22.121 GHz, 10.837 GHz~11.076 GHz 可调微波信号,关键是要调整灵活的温度控制频率。洪蕾等^[7]用 PHB 效应抑制模式竞争,同时用激光的反向传播来稳定输出,通过偏振态的调节实现微波信号的可调。

笔者基于线性腔掺铒光纤激光器得到三波长稳定输出,通过对光信号在探测器中拍频得到约 11 GHz, 21 GHz 和 32 GHz 微波信号,可广泛应用于雷达、无线电导航和卫星通讯,未采用其它控制系统和光子滤波器,实现了频率的可调性。

1 实验部分

可调微波信号产生的实验结构如图 1 所示。光纤激光器输出的光信号依次经偏振控制器、检偏器后,输入高速光电探测器,然后在频谱分析仪上显示输出微波信号。为了便于同时观察激光器的输出光谱以及产生微波信号的频谱,实验中在检偏器之后,探测器之前,接入波分比为 8:2 的光耦合器。其中 80% 的输出输入原探测器,另一端作为监测输入光谱仪。

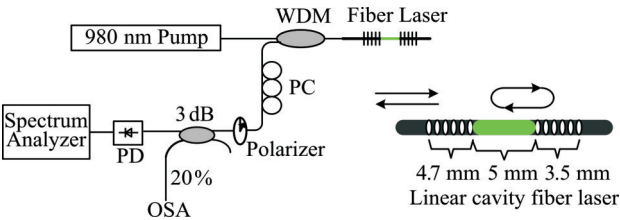


图1 可调微波信号产生示意图
Fig.1 Schematic diagram of generation of tunable microwave signal

光纤激光器^[15]由铒离子作为增益介质,两个长度分别为 4.7 mm、3.5 mm 的光纤光栅构成线性腔结构,总长达 13.2 mm(见图 1)。用宽谱光源测

量该激光器,得到其透射谱和反射谱如图 2 所示。由实验数据分析得出该激光器的中心波长为 1 544.948 nm,透射深度 16.52 dB,谱线宽度 0.112 nm。

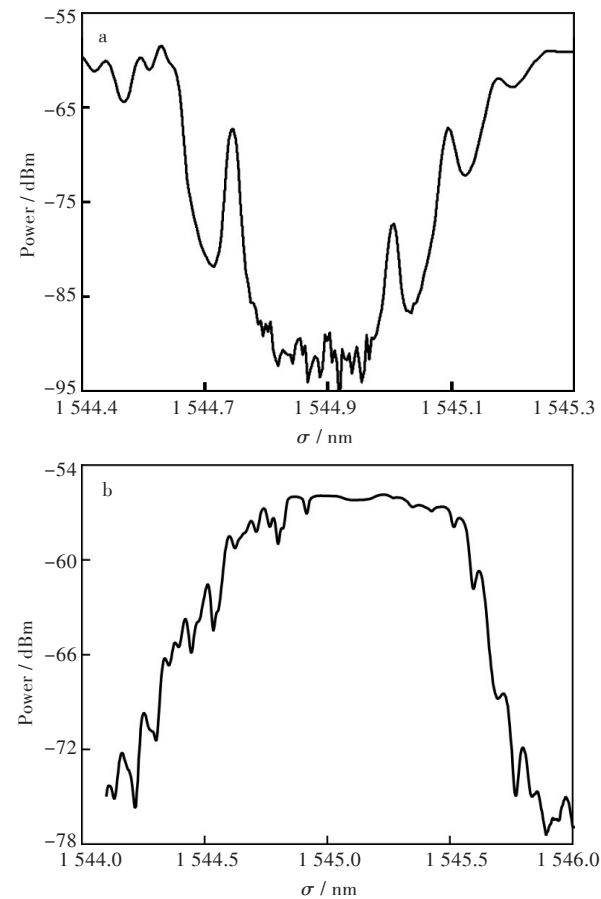


图2 线性腔光纤激光器的透射谱(a)和反射谱(b)
Fig.2 (a)Optical transmission spectrum and (b) optical reflection spectrum of linear cavity fiber laser

掺铒光纤激光器的输出拍频满足式(1):

$$\Delta f=B\frac{c}{n_0\lambda_0} \tag{1}$$

式(1)中, c 为真空中的光的速度, λ_0 为激光的中心波长, n_0 和 B 为光纤的平均折射率和本征双折射。显然,激光器输出拍频跟光纤的本征双折射密切相关,只要能通过一定的方法来改变参数 B , 那么就可得到不同频率的微波信号。

由于光纤的本征双折射,激光器输出为 n_x 、 n_y 双偏振模式。实验中激光器的输出经偏振分束器后,得到图 3 所示光谱图。当调节激光器的输出为图 3(a)状态时,在偏振分束器的两个端口分别得到图 3(b)所示,其中 1 表示一个端口的输出,2 表示另一端。显然,激光器的两个输出波长呈现正交,那么只要能引起激光器偏振状态的改变,就可以实现微波频率的可调。

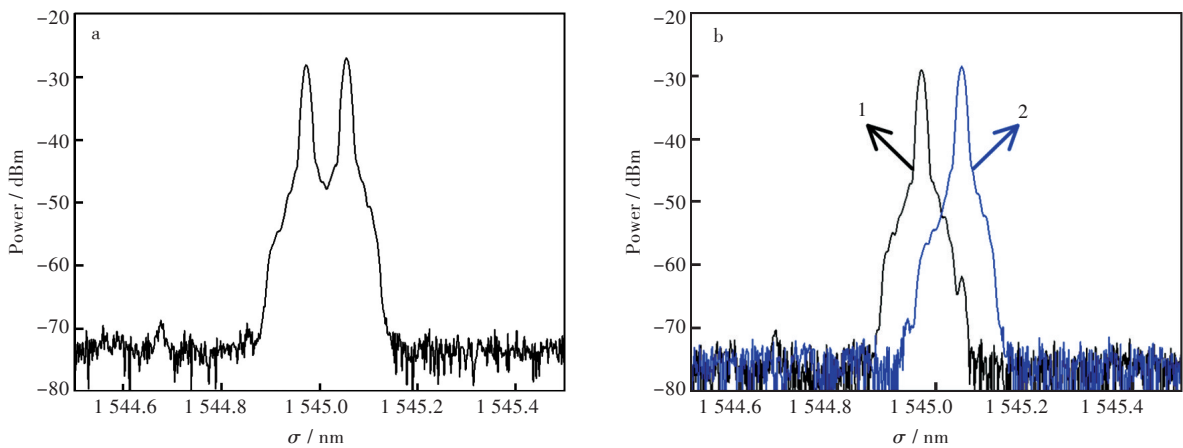


图3 (a)光纤激光器的双波长输出光谱,(b)通过偏振分束器后得到的光谱
Fig.3 (a) Dual-wavelength output optical spectrum and
(b) optical spectrum obtained by polarization beam splitter of optical fiber laser

2 结果与讨论

在实验中,逐渐增加泵浦功率至适当值,可在光谱仪和频谱仪上观察到激光器的输出光谱和拍频信号。当泵浦功率为 241.8 mW 时,测得光谱以及相应的频谱如图 4 所示。由图 4(a)得出激光器输出波长依次为 1 544.782 nm、1 544.948 nm、1 545.032 nm,此输出波长与图 2 中透射谱中的一致,且此时 3 个波长的强度分布比较均匀。按照经

典拍频理论,波长间隔分别为 0.166 nm、0.084 nm、0.25 nm 可得到 20.75 GHz、10.5 GHz、31.25 GHz 微波信号。由图 4(b)得到频率依次为 10.521 GHz、21.249 GHz、31.770 GHz 的信号,相应信号强度依次为 38.497 dBm、44.926 dBm、59.785 dBm。显然随着频率增高,信号强度呈现递减趋势,这种现象主要是由于光电探测器(20 GHz)带宽有限所致,若能改善实验条件,就可消除这种功率被抑制的现象。

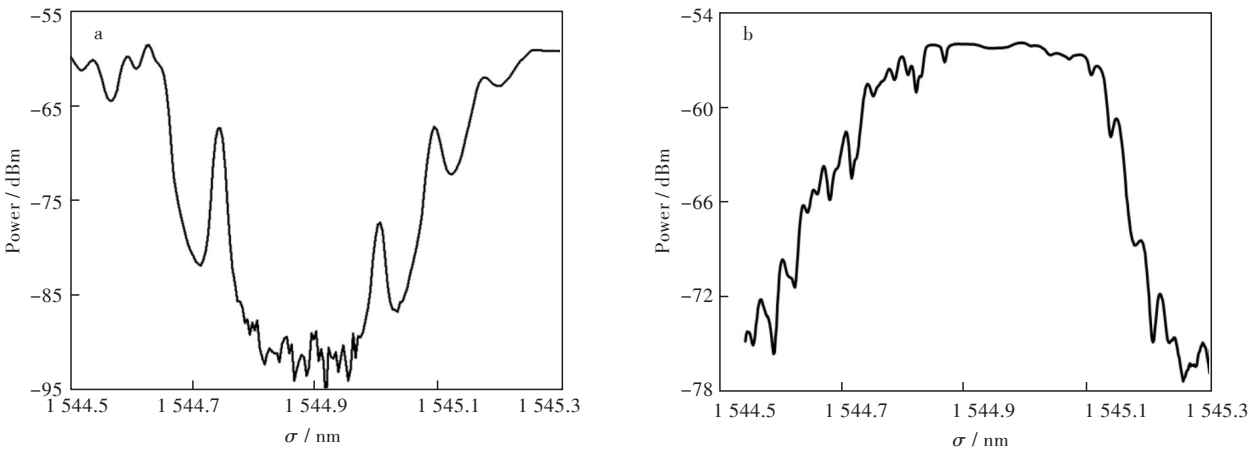


图4 光纤激光器(a)三波长输出光谱和(b)拍频信号
Fig.4 (a)Triple-wavelength output optical spectrum and (b) corresponding beat signals of optical fiber laser

经过合理微调偏振方向,从而转换中心波长,同时得到不同频率信号,实现频率调谐,如图 5 所示。实验过程中,激光器的任意一种输出都很稳定,而且拍频频谱清晰无干扰。只要调整偏振控制的方向,就可实现微波信号频率的快速可调谐性。

除此之外,相位噪声是影响微波可调的一个重要因素。由于本实验注重于微波信号的可调以及结构简单这两方面的问题,因此不便与其他方案作出比较。

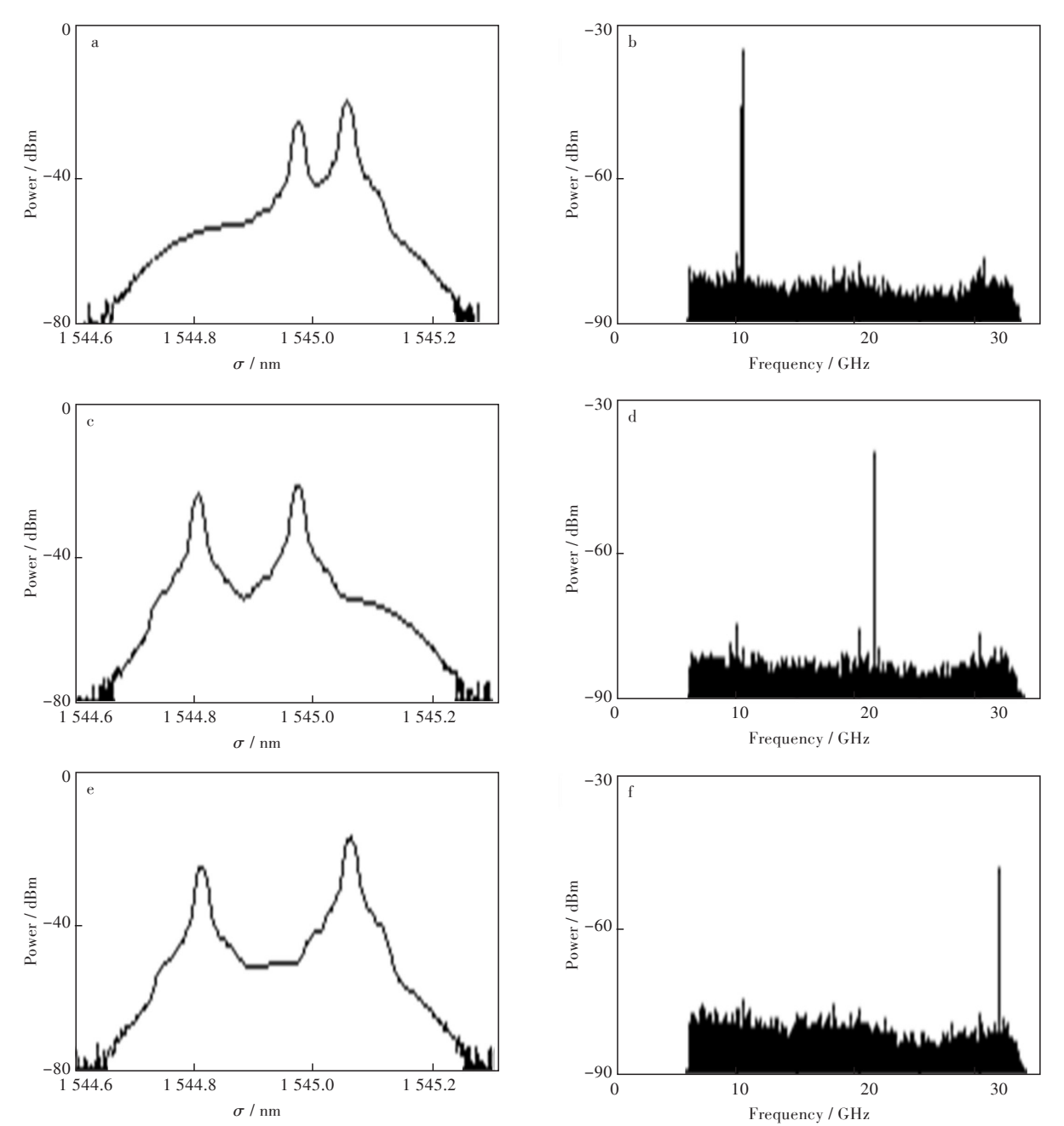


图5 光纤激光器(a)输出1 544.948 nm,1 545.032 nm波长的光谱和相应的拍频(b)和(d)光纤激光器;(c)输出1 544.782 nm,1 544.948 nm波长的光谱和相应的拍频;(e)输出1 544.782 nm,1 545.032 nm波长的光谱和相应的拍频(f)最后一张的拍频

Fig. 5 (a)The optical spectrum of optical fiber laser output at 1 544.948 nm and 1 545.032 nm and (b) corresponding beat signals; (c) the optical spectrum of optical fiber laser output at 1 544.782 nm, 1 544.948 nm and (d) corresponding beat signals; (e) the optical spectrum of optical fiber laser output at 1 544.782 nm, 1 545.032 nm and (f) corresponding beat signals

3 结 语

以上经过理论分析并实验验证了一种基于线性腔掺铒光纤激光器产生可调微波信号的方法,获得了良好的效果。此方法避免了复杂的环形设计、调制器件和控制装置,简化了系统装置结构,

同时不需要光陷波滤波器,即可实现微波信号调谐输出。在实验中,合理调整激光器的输出状态,实现了微波信号在 10.521 GHz、21.249 GHz、31.770 GHz的频率可调。此方案降低了系统成本,且操作简单,实验结果表明该线性腔光纤激光器易调谐、频谱纯度高。

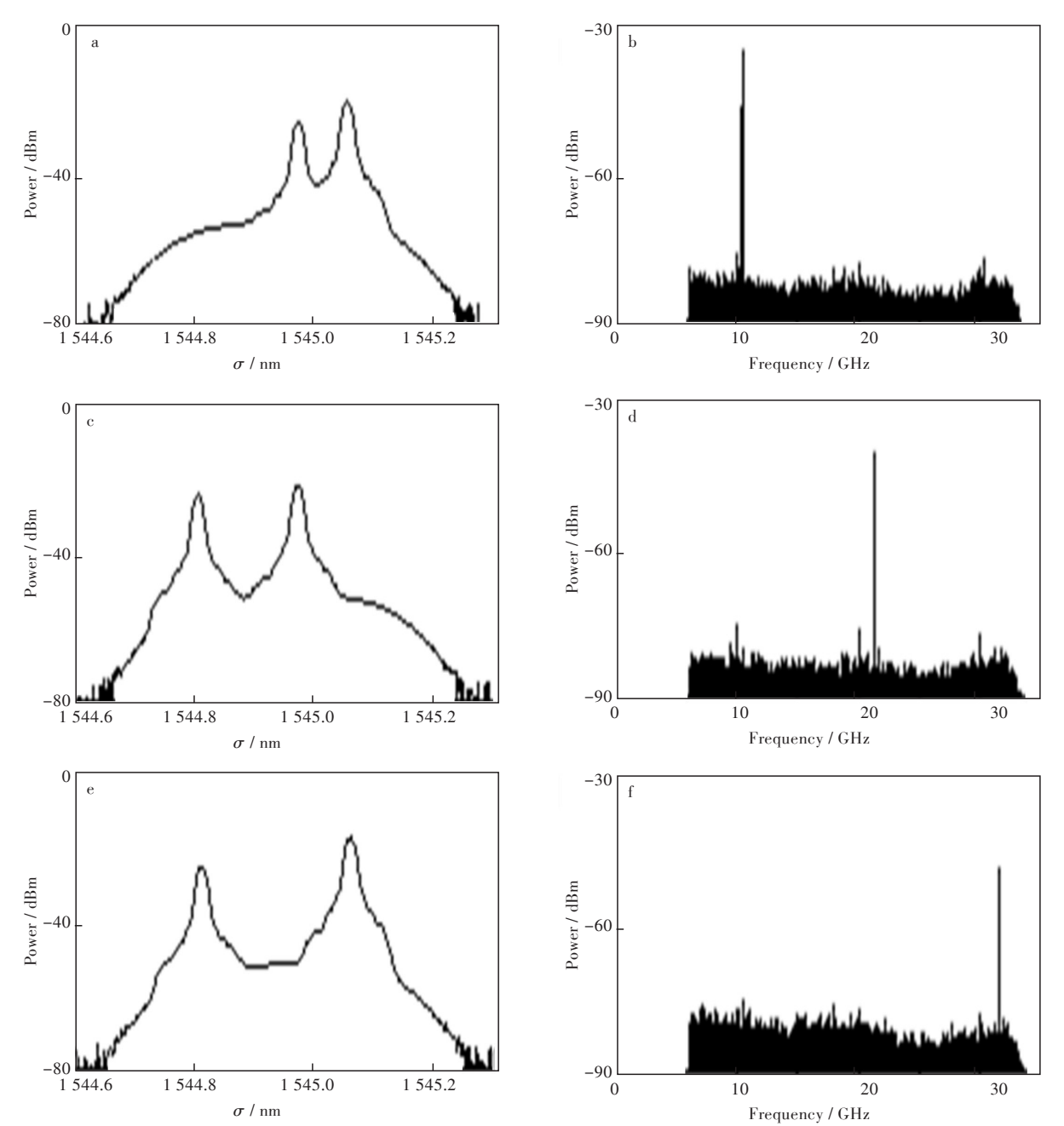


图5 光纤激光器(a)输出1 544.948 nm,1 545.032 nm波长的光谱和相应的拍频(b)和(d)光纤激光器;(c)输出1 544.782 nm,1 544.948 nm波长的光谱和相应的拍频;(e)输出1 544.782 nm,1 545.032 nm波长的光谱和相应的拍频(f)最后一张的拍频

Fig. 5 (a)The optical spectrum of optical fiber laser output at 1 544.948 nm and 1 545.032 nm and (b) corresponding beat signals; (c) the optical spectrum of optical fiber laser output at 1 544.782 nm, 1 544.948 nm and (d) corresponding beat signals; (e) the optical spectrum of optical fiber laser output at 1 544.782 nm, 1 545.032 nm and (f) corresponding beat signals

3 结 语

以上经过理论分析并实验验证了一种基于线性腔掺铒光纤激光器产生可调微波信号的方法,获得了良好的效果。此方法避免了复杂的环形设计、调制器件和控制装置,简化了系统装置结构,

同时不需要光陷波滤波器,即可实现微波信号调谐输出。在实验中,合理调整激光器的输出状态,实现了微波信号在 10.521 GHz、21.249 GHz、31.770 GHz的频率可调。此方案降低了系统成本,且操作简单,实验结果表明该线性腔光纤激光器易调谐、频谱纯度高。

参考文献:

- [1] CAPMANY J, NOVAK D. Microwave photonics combines two worlds [J]. Nature Photonics, 2007, 1 (6): 319-330.
- [2] 董毅. 微波光子技术[J]. 光学与光电技术, 2016, 14(1): 5-10.
- [3] 李海鸥, 李思敏, 陈明, 等. 微波光子技术的研究进展[J]. 光通信技术, 2011, 15(8): 24-28.
- [4] 王沁泉, 陈福深. 光学外差法产生微波信号特性的研究[J]. 半导体光电, 2009, 30(6): 955-957, 965.
- [5] 赵俊杰, 金明录, 孙鹏. 基于光外差理论的毫米波 RoF 系统研究[J]. 光传输技术, 2011, 35(3): 33-35.
- [6] GUAN B O, ZHANG Y, ZHANG L W, et al. Electrically tunable microwave generation using compact dual-polarization fiber laser [J]. IEEE Photonics Technology Letter, 2009, 21(11): 727-729.
- [7] 洪蕾, 苏觉, 杨利, 等. 一种频率可调的光学生成微波毫米波波源[J]. 光电子激光, 2011, 22(1): 64-66.
- [8] 陈东军, 袁鑫, 王如刚. 基于布里渊散射的高频可调谐微波信号产生技术的研究[J]. 盐城工学院学报(自然科学版), 2015, 28(3): 52-55.
- [9] 沈颖, 王荣, 蒲涛. 基于高阶受激布里渊散射的高频微波信号产生技术[J]. 光学学报, 2010, 30(6): 1571-1575.
- [10] 贾青松, 王天枢, 张鹏, 等. 基于双波长布里渊光纤激光器的微波信号产生[J]. 中国激光, 2014, 41(7): 145-148.
- [11] 朱海玲, 潘伟, 陈吉欣, 等. 基于单通带微波光子滤波的多倍频微波信号产生[J]. 中国激光, 2013, 40(1): 154-158.
- [12] 周锋, 王如刚, 纪正飏, 等. 基于高精度 TEC 温度控制器的可调光子微波信号产生的研究[J]. 光电子激光, 2014, 25(9): 1691-1694.
- [13] 吴波, 于晋龙, 刘毅, 等. 基于低速光调相信号注入 DFB-LD 产生 4~6 倍频的 40 GHz 和 60 GHz 毫米波信号[J]. 中国激光, 2011, 38(11): 150-156.
- [14] 李晶, 宁提纲, 祁春慧, 等. 基于光学倍乘法产生光毫米波的全双工毫米波光纤传输系统设计[J]. 中国激光, 2009, 36(3): 607-613.
- [15] FU S, SHI W, FENG Y, et al. Review of recent progress on single-frequency fiber lasers Invited [J]. Journal of the Optical Society of America B, 2017, 34(3): A49-A62.

本文编辑: 陈小平



(上接第 108 页)

参考文献:

- [1] 刘森, 刘渊, 杨洋. 云计算技术扩散与经济增长—基于 DSGE 的模型分析[J]. 科研管理, 2016, 37(9): 49-58.
- [2] 黎春兰, 邓仲华, 张文萍. 云服务的定价策略分析[J]. 图书与情报, 2013(1): 36-41.
- [3] 董誉, 郭树行, 杨帆. 面向产品生命周期理论的云计算定价模式探讨[J]. 科技创新导报, 2015, 30(2): 157-163.
- [5] 陈立勇, 殷秀叶, 朱海. 云环境下的动态分段定价策略[J]. 武汉工程大学学报, 2013, 35(8): 78-85.
- [6] 窦一凡, 肖永波. “云计算”模式下软件最优定价策略分析[J]. 中国管理科学, 2011(19): 142-146.
- [7] 肖鹏, 胡志刚. 云环境中基于混合博弈的虚拟资源定价模型[J]. 计算机集成制造系统, 2014, 20(1): 199-206.
- [8] 李玥, 王念新, 葛世伦. IaaS 云服务定价机制的仿真研究[J]. 计算机与现代化, 2014, 10(11): 21-26.
- [9] 吴良刚, 周赛军. 两种常见的云计算服务定价机制的对比研究[J]. 计算机应用研究, 2016, 33(1): 123-125.
- [10] 陈长彬, 陈泉, 程丹. 基于 IDIC 模型的 CRM 优化研究—以淘宝平台为例[J]. 工业技术经济, 2016(7): 144-153.
- [11] 杜美学, 唐星, 解正品. 考虑消费者偏好的再制造产品定价策略研究[J]. 工业工程与管理, 2016, 21(6): 84-89.
- [12] 叶飞, 林强, 郑银粉. 基于决策者风险偏好特性的供应链竞合策略研究[J]. 运筹与管理, 2017, 26(5): 81-88.
- [13] SINGH N, VIVES X. Pricing and quantity competition in a differentiated duopoly [J]. The RAND Journal of Economics, 1984, 15(4): 546-554.
- [14] SUNDARARAJN A. Managing digital piracy: pricing and protection [J]. Information System Research, 2004, 15(3): 287-308.
- [15] 史新和, 刘东. 基于激励相容约束的宽带薪酬合意带宽[J]. 中国人力资源开发, 2012(4): 31-35.

本文编辑: 陈小平