

光纤激光器自混合干涉效应研究

郝辉 夏巍 王鸣 郭冬梅 倪小琦

Self-mixing interference effect based on fiber laser

Hao Hui Xia Wei Wang Ming Guo Dong-Mei Ni Xiao-Qi

引用信息 Citation: Acta Physica Sinica 63, 234202 (2014) DOI: 10.7498/aps.63.234202

在线阅读 View online: <http://dx.doi.org/10.7498/aps.63.234202>

当期内容 View Table of Contents: <http://wulixb.iphy.ac.cn/CN/volumn/home.shtml>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

780W 全光纤窄线宽光纤激光器

张利明, 周寿桓, 赵鸿, 张昆, 郝金坪, 张大勇, 朱辰, 李尧, 王雄飞, 张浩彬
2014, 63(13): 134205. 全文: [PDF](#) (722KB)

掺铒光纤环形激光器中饱和吸收光栅瞬态特性引发跳模的实验研究

熊水东, 徐攀, 马明祥, 胡正良, 胡永明
2014, 63(13): 134206. 全文: [PDF](#) (524KB)

氧化石墨烯被动锁模掺铒光纤激光器多脉冲现象的实验研究

黄诗盛, 王勇刚, 李会权, 林荣勇, 闫培光
2014, 63(8): 084202. 全文: [PDF](#) (1216KB)

高功率, 红光至中红外可调谐腔内和频光学参量振荡器

张丽梦, 胡明列, 顾澄琳, 范锦涛, 王清月
2014, 63(5): 054205. 全文: [PDF](#) (1419KB)

147 fs 碳纳米管倏逝场锁模全光纤掺铒光纤激光器

董信征, 于振华, 田金荣, 李彦林, 窦志远, 胡梦婷, 宋晏蓉
2014, 63(3): 034202. 全文: [PDF](#) (538KB)

光纤激光器自混合干涉效应研究*

郝辉^{1)†} 夏巍²⁾ 王鸣¹⁾ 郭冬梅¹⁾ 倪小琦¹⁾

1)(南京师范大学物理科学与技术学院, 江苏省光电技术重点实验室, 南京 210023)

2)(北京大学信息科学技术学院, 量子电子学研究所, 北京 100871)

(2014年5月27日收到; 2014年7月10日收到修改稿)

针对光纤激光器自混合干涉传感应用, 研究了光纤激光器自混合干涉特性, 运用四镜法布里-珀罗腔模型对掺铒线形腔光纤激光器自混合干涉效应进行了理论分析, 对不同反馈水平下的自混合干涉信号进行了数值模拟, 获得了光反馈条件下光纤激光器输出特性. 外腔长度的改变会调制激光器的输出强度, 外腔长度变化半个波长, 对应一个干涉条纹, 弱反馈条件下, 由反馈引起的激光器的频率变化可以忽略. 设计了基于光纤激光器的自混合干涉实验, 实验结果和理论分析相符合. 此研究结果为进一步开展光纤激光器的自混合干涉传感应用研究奠定了理论与实验基础.

关键词: 光纤激光器, 自混合干涉, 光纤传感

PACS: 42.25.Hz, 42.62.-b, 42.81.Pa

DOI: 10.7498/aps.63.234202

1 引言

激光自混合干涉是指在激光的应用系统中, 激光器的输出光被外部物体反射或散射后, 其中一部分光反馈回激光器的谐振腔, 反馈光场与腔内光场相互作用, 进而会调制激光器的输出功率及输出频率. 由于其输出信号与传统的双光束干涉信号相似, 因此被称为激光自混合干涉 (self-mixing interference) 效应或光反馈 (optical feedback) 效应^[1-3]. 从激光器研究的初期, 外部光反馈对激光器的影响就受到关注, Peek等^[4]在1967年就将激光自混合干涉效应归结为背向散射场与谐振腔内的驻波场干涉的结果, 在此基础上人们提出了激光自混合干涉系统的理论模型^[5-10], 影响较为广泛的有等效腔模型及多重光反馈理论模型. 由于反馈光携带了外部物体的速度、位移等信息, 自混合技术在速度测量、位移测量、距离测量、形貌测量等领域得到了广泛应用^[11-17].

自20世纪70年代以来, 光纤激光器的制造技术日趋成熟, 促进了光纤通信、光纤传感等领域的飞速发展. 由于光纤激光器具有输出功率高、窄线宽、与光纤系统完全匹配等优点, 逐渐成为通信和传感系统的理想光源. 基于光纤激光器的自混合干涉传感技术也引起了众多学者的关注, 如利用光纤激光器自混合干涉进行速度^[18]、位移^[19]及远程振动传感测量^[20]. 目前, 虽然对基于光纤激光器自混合干涉效应的传感技术有一些实验结果, 但在理论上尚未对该复杂的作用过程进行系统的研究, 因此, 关于光纤激光器自混合干涉效应的理论探索以及进一步的实验研究显得尤为重要.

为了进一步了解光纤激光器自混合干涉现象的特点, 本文运用法布里-珀罗 (F-P) 腔模型将线形腔掺铒光纤激光器的内腔和外腔等效为复合腔, 从激光器外腔长度对应的反馈光相位出发, 对其引起的腔内载流子浓度变化并进一步调制激光器的输出特性进行了研究. 理论上对不同光反馈条件对自混合干涉信号的影响进行了分析讨论, 设计了基于

* 国家自然科学基金 (批准号: 91123015, 51405240)、高等学校博士学科点专项科研基金 (批准号: 20113207110004) 和江苏省自然科学基金 (批准号: BK20140925) 资助的课题.

† 通讯作者. E-mail: huihao@njnu.edu.cn

光纤激光器的自混合干涉实验, 实验结果和理论分析相符合, 为开展光纤激光器的自混合干涉传感应用研究奠定了理论与实验基础. 光纤激光自混合干涉信号强, 信噪比高, 可采用长光纤进行传输和复用, 并有望形成全新的基于光反馈的光纤有源传感网络, 实现速度、位移及振动的非接触测量, 在石油化工、航空航天、环境监测和机械工程等领域具有重要应用前景.

2 理论分析

线形腔掺铒光纤激光器基本结构如图 1 所示. 激光器出射光经光纤传输到外部物体, 部分输出光被反射并返回激光器谐振腔, 和激光腔内的光相互作用, 形成自混合干涉, 光纤激光器自混合干涉系统可以用一个四镜 F-P 腔型激光模型来表示.

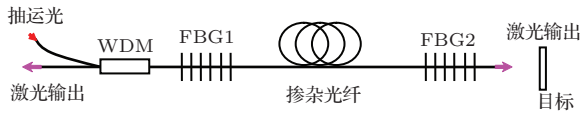


图 1 线形腔掺铒光纤激光器结构示意图

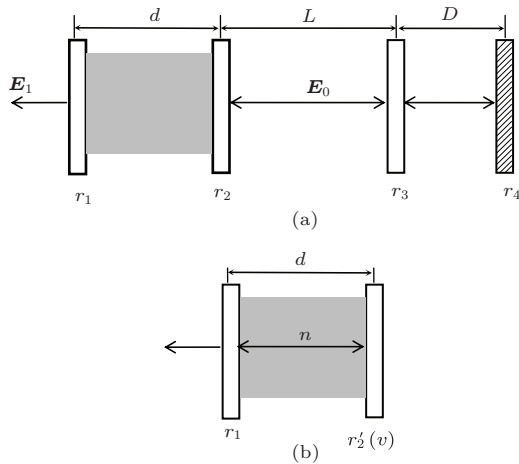


图 2 线形腔掺铒光纤激光器自混合干涉系统的四镜 F-P 腔模型和其等效两镜 F-P 腔模型 (a) 四镜 F-P 腔模型; (b) 等效两镜 F-P 腔模型

激光器中的两个布拉格光栅 (fiber bragg grating, FBG) FBG1 和 FBG2 等效为两个反射镜, 构成激光器的内腔, 输出光纤出射端面 M3 和目标靶面 M4 构成外腔, M3 可以看作系统的参考镜. 如图 2 所示, r_1 和 r_2 分别为激光器反射面 FBG1 和 FBG2 的反射系数; r_3 和 r_4 分别为外腔中光纤端面 M3 和被测靶面 M4 的反射系数; n 为激光腔内的有

效折射率; E_0 和 E_1 分别为激光器的初始电场矢量和出射电场矢量; d 为光纤激光器谐振腔长度; L 为激光器至光纤出射端面这一参考面的距离; D 为参考面和目标之间的距离; r'_2 为存在外腔反馈时的有效反射系数.

为简单起见, 忽略外腔中的多重反馈, 考虑单模激光器工作在外腔弱反馈条件下. 系数 $r'_2(v)$ 表示光频为 v , 存在外腔反馈时的等效反射系数,

$$r'_2(v) = r_2 + (1 - |r_2|^2)r_3 \exp\left(-j4\pi v \frac{L}{c}\right) + (1 - |r_2|^2)(1 - |r_3|^2)r_4 \times \exp\left[-j4\pi v \frac{L+D}{c}\right], \quad (1)$$

其中, $(1 - |r_2|^2)$ 和 $(1 - |r_3|^2)$ 两项分别表示光透过激光器出射端面和参考面的透射率. 将 $r'_2(v)$ 用幅值和相位的复值函数来描述:

$$r'_2(v) = |r'_2| \exp(-j\Phi_2). \quad (2)$$

在弱反馈条件下, $|r_3|, |r_4| \ll |r_2|$,

$$|r'_2| = r_2 \left\{ 1 + \xi_3 \cos\left(4\pi v \frac{L}{c}\right) + \xi_4 \cos\left[4\pi v \frac{L+D}{c}\right] \right\}. \quad (3)$$

式中, ξ_3 和 ξ_4 为耦合系数,

$$\xi_3 = \frac{r_3}{r_2}(1 - r_2^2), \quad (4)$$

$$\xi_4 = \frac{r_4}{r_2}(1 - r_2^2)(1 - r_3^2); \quad (5)$$

c 为光速. 在弱光反馈条件下, $\xi_3, \xi_4 \ll 1$. (2) 式中相位 Φ_2 表示为

$$\Phi_2 = \xi_3 \sin\left(4\pi v \frac{L}{c}\right) + \xi_4 \sin\left[4\pi v \frac{L+D}{c}\right]. \quad (6)$$

激光腔中初始的电场矢量 E_0 , 经历了激光腔中完整的往复, 对于稳定的激光振荡应满足以下条件:

$$r_1 r'_2(v) \exp\left(-j4\pi v \frac{n_c d}{c}\right) = 1, \quad (7)$$

其中 n_c 为激光腔内的复折射率. 将 $n_c = n - ig$ 代入 (7) 式, 其中实部 n 为激光腔内的有效折射率, 影响光传播相位, 虚部 g 表示腔损耗和受激辐射增益, 可以得到

$$r_1 |r'_2| \exp(-j\Phi_2) \exp\left(4\pi v \frac{gd}{c} - j4\pi v \frac{nd}{c}\right) = 1. \quad (8)$$

对 (8) 式取对数运算得到

$$\begin{cases} \ln(r_1 |r'_2|) + 4\pi v \frac{gd}{c} = 0, \\ \Phi_2 + 4\pi v \frac{nd}{c} = 2q\pi \quad (q \text{ 为整数}). \end{cases} \quad (9)$$

因为 $\xi_3, \xi_4 \ll 1$, 所以有

$$\begin{aligned} & \ln(r_1|r_2') \\ & \approx \ln(r_1r_2) + \xi_3 \cos\left(2\pi v \frac{2L}{c}\right) \\ & \quad + \xi_4 \cos\left[2\pi v \frac{2(L+D)}{c}\right], \quad (10) \\ gv & = -\left[\ln(r_1r_2) + \xi_3 \cos\left(4\pi v \frac{L}{c}\right) \right. \\ & \quad \left. + \xi_4 \cos\left(4\pi v \frac{L+D}{c}\right)\right] \frac{c}{4\pi d}, \\ & 4\pi v \frac{nd}{c} + \xi_3 \sin\left(4\pi v \frac{L}{c}\right) \\ & \quad + \xi_4 \sin\left(4\pi v \frac{L+D}{c}\right) \\ & = 2q\pi \quad (q \text{ 为整数}). \quad (11) \end{aligned}$$

无光反馈时

$$\begin{cases} g_0v_0 = -\frac{c}{4\pi d} \ln(r_1r_2), \\ 4\pi v_0 \frac{n_0d}{c} = 2q\pi. \end{cases} \quad (12)$$

当外部目标靠近(或远离)激光器时, 会改变反馈光的相位, 同时将引起腔内载流子浓度 N 及折射率 n 发生变化, 出射光频也将发生改变 $v \rightarrow v_0 + \Delta v$. 在 $r_3 = 0$ 及 $r_4 = 0$ 处对 n, g 线性化, 令 N_0 为无光反馈时的载流子浓度, n_0, g_0 分别为初始激光谐振腔折射率和增益介质单位长度的线性增益, 记为 $n_0 = n(N_0), g_0 = g(N_0)$. 当 $r_3 \geq 0$ 且 $r_4 \geq 0$ 时, $n(N), g(N)$ 可以表示为

$$\begin{aligned} n(N_0 + \Delta N) & = n_0 + (dn/dN)_0 \Delta N \\ & = n_0 + \chi \Delta N, \quad (13a) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} g(N_0 + \Delta N) & = g_0 + (dg/dN)_0 \Delta N \\ & = g_0 + \rho \Delta N, \quad (13b) \end{aligned}$$

式中, χ, ρ 分别为复折射率 n_c 的实部和虚部随着载流子密度 N 的变化率. 将 (13) 式代入 (10) 式, 并以 $v \rightarrow v_0 + \Delta v$ 代替 v , 有

$$\begin{cases} (g_0 + \rho \Delta N)(v_0 + \Delta v) \\ = -\left[\ln(r_1r_2) + \xi_3 \cos\left(4\pi v \frac{L}{c}\right) \right. \\ \quad \left. + \xi_4 \cos\left(4\pi v \frac{L+D}{c}\right)\right] \frac{c}{4\pi d}, \\ 4\pi(v_0 + \Delta v) \frac{(n_0 + \chi \Delta N)d}{c} \\ + \xi_3 \sin\left(4\pi v \frac{L}{c}\right) + \xi_4 \sin\left(4\pi v \frac{L+D}{c}\right) \\ = 2q\pi \quad (q \text{ 为整数}). \end{cases} \quad (14)$$

考虑基模 $q = 0$ 的情形, 保留 (14) 式中的 $\Delta N, \Delta v$, 并消去 ΔN 项可得

$$\begin{aligned} \Delta v & = -\frac{c\sqrt{1 + (\chi/\rho)^2}}{4\pi n_0 d \left(1 - \frac{g_0 \chi}{n_0 \rho}\right)} \left[\xi_3 \sin\left(4\pi v \frac{L}{c} - \arctan \frac{\chi}{\rho}\right) \right. \\ & \quad \left. + \xi_4 \sin\left(4\pi v \frac{L+D}{c} - \arctan \frac{\chi}{\rho}\right) \right]. \quad (15) \end{aligned}$$

令 $\alpha = \chi/\rho$, 为激光器的线宽展宽因子; $\tau_l = 2n_0d/c$, 为光束在激光器内腔的往返时间; $\tau_1 = 2L/c$, 为光束在第一重外腔的往返时间; $\tau = 2(L+D)/c$, 为光束在两重外腔的往返时间. 当 $g\chi/(n_0\rho) \ll 1$ 时, 化简 (15) 式, 系统干涉相位变化可以表示为

$$\begin{aligned} \omega_0\tau & = \omega\tau + C_3 \sin[\omega\tau_1 - \arctan \alpha] \\ & \quad + C_4 \sin[\omega\tau - \arctan \alpha], \quad (16) \end{aligned}$$

其中, C_3, C_4 为衡量激光自混合干涉系统外部光反馈量水平的参数, 其表达式为

$$\begin{aligned} C_3 & = \xi_3 \frac{c\sqrt{1 + (\chi/\rho)^2}}{4\pi n_0 d \left(1 - \frac{g_0 \chi}{n_0 \rho}\right)} \\ & = \frac{r_3}{r_2} (1 - r_2^2) \frac{c\sqrt{1 + (\chi/\rho)^2}}{4\pi n_0 d \left(1 - \frac{g_0 \chi}{n_0 \rho}\right)}, \quad (17) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_4 & = \xi_4 \frac{c\sqrt{1 + (\chi/\rho)^2}}{4\pi n_0 d \left(1 - \frac{g_0 \chi}{n_0 \rho}\right)} \\ & = \frac{r_4}{r_2} (1 - r_2^2) (1 - r_3^2) \frac{c\sqrt{1 + (\chi/\rho)^2}}{4\pi n_0 d \left(1 - \frac{g_0 \chi}{n_0 \rho}\right)}. \quad (18) \end{aligned}$$

将 (12) 式代入 (11) 式, 可以得到激光器振荡时, 其增益阈值的变化满足以下条件:

$$\begin{aligned} \Delta G & = gv - g_0v_0 \\ & = -\frac{c}{4\pi d} \xi_3 \cos(\omega\tau_1) - \frac{c}{4\pi d} \xi_4 \cos(\omega\tau) \\ & = -\eta C_3 \cos(\omega\tau_1) - \eta C_4 \cos(\omega\tau), \quad (19) \end{aligned}$$

其中, $\eta = n/(\tau\sqrt{1 + \alpha^2})$, 当外腔长度的变化远小于初始腔长时, η 近似为常数. 根据一般的 F-P 腔激光器的输出光功率表达式, 可以得到光纤激光器自混合系统的输出光强为

$$\begin{aligned} P & = P_0(1 - K\Delta G) \\ & = P_0 [1 + K\eta C_3 \cos(\omega\tau_1) + K\eta C_4 \cos(\omega\tau)] \\ & = P_0 [1 + \mu \cos(\omega\tau_1) + \rho \cos(\omega\tau)], \quad (20) \end{aligned}$$

其中, P_0 为无光反馈条件下的激光输出光强, K 为仅与激光器自身参数有关的常量. 当腔镜 M3 保持

静止, 于是有第一重外腔长 L 为常量, 令 $\varphi = \omega\tau_1$, 弱光反馈条件下激光器的输出光频和光功率满足如下方程:

$$v_0 = v + C_3 \sin(\varphi - \arctan \alpha) + C_4 \sin(\omega\tau - \arctan \alpha), \quad (21)$$

$$P = P_0 [1 + \mu \cos(\varphi) + \rho \cos(\omega\tau)]. \quad (22)$$

式中, μ, ρ, φ 为常量. 由 (21) 和 (22) 式可以看出, 光纤激光器自混合干涉信号的强度调制和其他类型激光器的自混合干涉信号具有相同的特征. 对不同光反馈水平 (C 值不同) 条件下自混合干涉效应对激光输出频率的影响进行了仿真, 仿真结果如图 3 和图 4 所示.

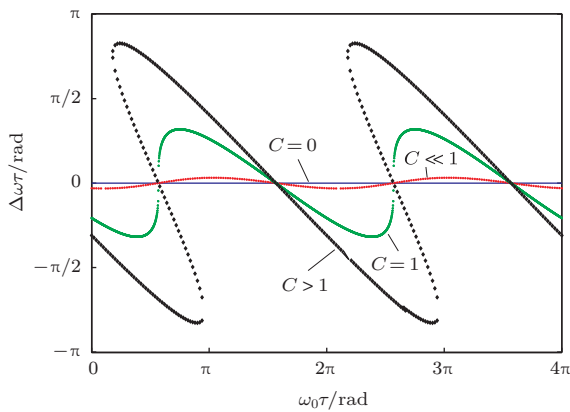


图3 自混合干涉信号频率解

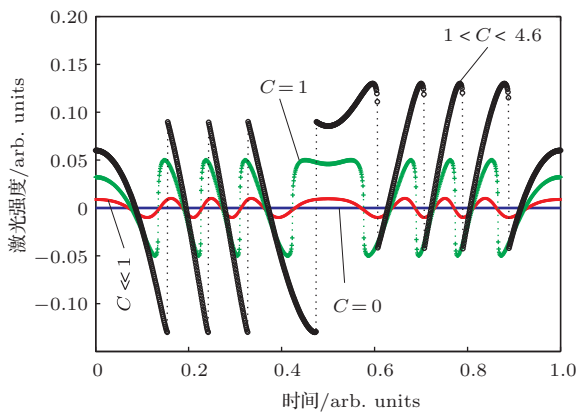


图4 自混合干涉信号功率解

图 3 中横坐标为 $\omega_0\tau$, 纵坐标为 $\Delta\omega\tau$, 激光振荡频率 ω 随外腔长度呈现非线性变化, 可以看出 C 值越大, 激光自混合干涉系统的输出光频较激光器的初始频率的波动也较大. 图 4 为不同反馈强度下数值模拟出的自混合干涉信号, 输出强度 P 是外腔相位 $\omega_0\tau$ 的周期函数. 由于频率的非线性, 干涉

信号表现出非对称性. 当 $C \ll 1$ 时, 光反馈水平低, 此时自混合干涉信号的条纹为余弦波形状; 当 $0.1 < C < 1$ 时, 此时干涉系统为弱光反馈水平, 自混合干涉信号的条纹发生倾斜; 当 $1 < C < 4.6$ 时, 为适度水平光反馈, 在周期 2π 内会出现一次跳变, 此时自混合干涉信号的条纹为非对称的类锯齿波, 激光器的工作模式具有双稳状态; 当 $C > 4.6$ 时, 每个周期会出现不止一个跳变, 这个阶段为高水平光反馈, 此时激光器处于不稳定的工作状态. 从图 4 可以明显看出, 自混合干涉信号随外光反馈水平的不断提高, 由余弦信号向类锯齿波信号转换的过程 [21]. 由 (22) 式可以得到, D 的改变会调制激光器的输出强度, 输出光强的交流变化正比于外腔 D 引起的相位变化. $\phi = 4\pi vD/c = 4\pi D/\lambda$, λ 是激光器的输出波长. 弱反馈条件下, 由反馈引起的激光器的频率变化可以忽略, 利用这个简单的结构, 计数干涉条纹可以测量外腔中目标物体位移, 精度为 $\lambda/2$,

$$|\Delta\phi| = |\Delta 4\pi D/\lambda| = 2\pi \Leftrightarrow |\Delta D| = \lambda/2. \quad (23)$$

3 线形腔掺铒光纤激光器自混合干涉现象观察

为验证以上分析, 搭建了实验系统, 图 5 为实验装置示意图, 980 nm (140 mW) 抽运光源通过波分复用 (WDM) 器抽运一段 10 m 左右的掺铒光纤, 两个 FBG 作为激光器谐振腔的反射镜, 反射波长为 1550 nm, 带宽小于 0.3 nm, FBG1 和 FBG2 的反射率分别为 95% 和 90%. 激光器出射光出射到目标物硅片, 硅片附着在一精密微动平台上 (PI, PZT, P-762.2L) 以产生位移, 反馈光引起自混合干涉效应, 可通过调整输出端面 FC/FC 接头与靶镜的距离来控制反馈光的强度. 干涉信号通过光电探

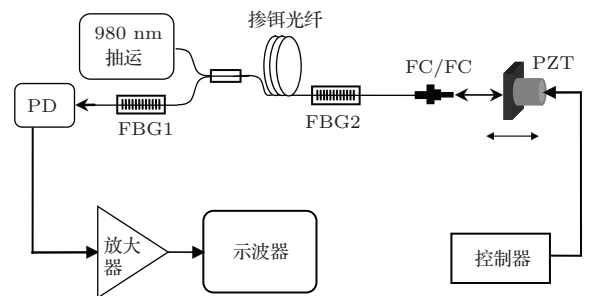


图5 线形腔光纤激光器自混合干涉示意图

测器PD (New Focus, 1611 module) 探测放大, 通过示波器观察自混合干涉信号. 激光器的输出光谱通过光谱分析仪 (AQ6370) 观察. 控制PZT做正弦运动, 幅度为 $4 \mu\text{m}$, 频率为 5 Hz , 图6为在示波器上截取的自混合干涉信号和PZT位移对应的监测信号.

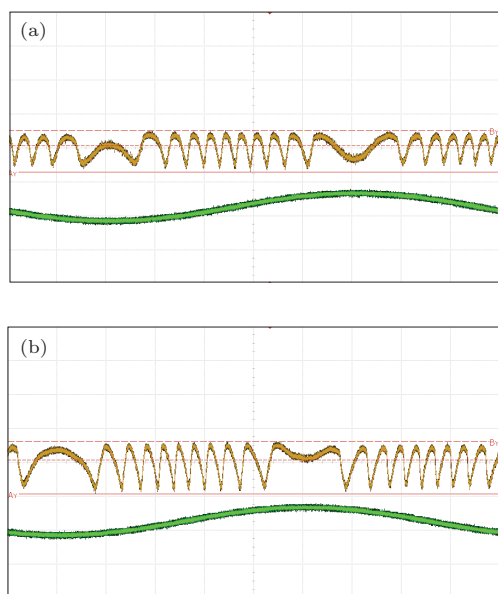


图6 自混合干涉信号, 平移台正弦运动频率为 5 Hz , 幅度为 $4 \mu\text{m}$ (a) 弱反馈; (b) 适度反馈

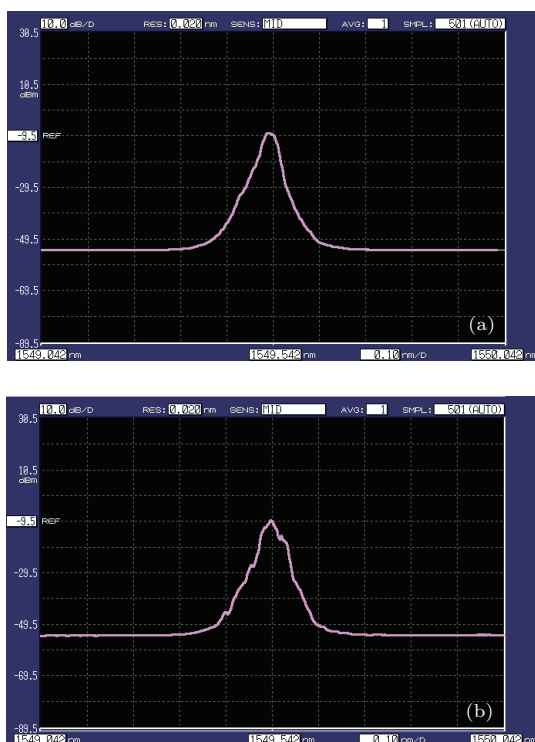


图7 激光器输出频谱 (a) 无光反馈; (b) 弱反馈

从图6可以看出, 自混合干涉信号一个干涉条纹对应于半个波长, 当外部光反馈量增大时 (即 C 值变大), 自混合干涉条纹的波动深度变大, 且干涉信号波形由原来的反馈较弱时的类正弦形变为类锯齿波形, 该现象和我们仿真分析的结果相符合. 图7是激光器的光谱, 图7(a)为靶镜不移动时对应的光谱, 图7(b)为靶镜做正弦运动时对应的频谱, 可以看出, 弱反馈条件下, 没有观察到激光器中心波长的改变, 自混合干涉对激光器的频谱影响很小.

4 结 论

本文研究了光纤激光器自混合干涉特性, 运用驻波理论及四镜腔模型分析, 建立线形腔光纤激光器自混合干涉的理论模型, 外腔长度的变化会改变激光器的增益, 得到了自混合干涉系统的功率及频率解. 设计了线形腔激光器自混合干涉实验系统, 外腔长度变化半个波长会产生一个干涉条纹, 实验结果与理论分析符合. 掺铒光纤激光器由于其自身的易于集成, 单模工作稳定, 传输方便, 易于形成新型光传感网络等特点, 结合自混合干涉技术, 能满足对传感器的微小型化、高精度和光纤复用功能的要求, 有可能形成一种新型的有源光纤传感网络, 具有重要的应用前景.

参考文献

- [1] Zhang P, Tan Y D, Liu N, Wu Y, Zhang S L 2013 *Opt. Lett.* **38** 4296
- [2] Ren C, Tan Y D, Zhang S L 2009 *Chin. Phys. B* **18** 3438
- [3] Liu G, Zhang S L, Xu T, Zhu J, Li Y 2005 *Acta Phys. Sin.* **54** 4701 (in Chinese) [刘刚, 张书练, 徐亭, 朱钧, 李岩 2005 物理学报 **54** 4701]
- [4] Peek T H, Bolwijn P T, Alkemade C T J 1967 *Amer. J. Phys.* **35** 820
- [5] Olsson A, Tang C 1981 *IEEE J. Quantum Elect.* **17** 1320
- [6] Mork J, Tromborg B, Mark J 1992 *IEEE J. Quantum Elect.* **28** 93
- [7] Yu Y G 2000 *Ph. D. Dissertation* (Harbin: Harbin Institute of Technology) (in Chinese) [禹延光 2000 博士学位论文 (哈尔滨: 哈尔滨工业大学)]
- [8] Wang W M, Grattan K T, Palmer A W, Boyle W J 1994 *J. Lightwave. Technol.* **12** 1577
- [9] Ovaryn B, Andrews J H 1998 *Opt. Lett.* **23** 1078
- [10] Ovaryn B, Andrews J H 1999 *Appl. Opt.* **38** 1959
- [11] Gouaux F, Servagent N, Bosch T 1998 *Appl. Opt.* **37** 6684

- [12] Shinohara S, Yoshida H, Ikeda H, Nishide K I, Masao S 1992 *IEEE Trans. Instrum Meas.* **41** 40
- [13] Wang W M, Boyle W J, Grattan K T, Palmer A W 1993 *Appl. Opt.* **32** 1551
- [14] Giuliani G, Norgia M, Donati S, Bosch T 2002 *J. Opt. A: Pure Appl. Opt.* **4** S283
- [15] Liu G, Zhang S L, Zhu J 2003 *Opt. Commun.* **221** 387
- [16] Scalise L, Yu Y G, Giuliani G 2004 *IEEE Trans. Instrum. Meas.* **53** 223
- [17] Guo D M, Wang M, Tan S Q 2005 *Opt. Express* **13** 1537
- [18] Han D F, Wang M, Zhou J P 2007 *IEEE Photon. Technol. Lett.* **19** 1398
- [19] Lu L, Cao Z G, Dai J J, Xu F, Yu B L 2012 *IEEE Photon. Technol. Lett.* **24** 392
- [20] Dai X J, Wang M 2009 *Opt. Express* **17** 16543
- [21] Plantier G, Bes C, Bosch T 2005 *IEEE J. Quantum. Elect.* **41** 1157

Self-mixing interference effect based on fiber laser*

Hao Hui^{1)†} Xia Wei²⁾ Wang Ming¹⁾ Guo Dong-Mei¹⁾ Ni Xiao-Qi¹⁾

1) (Key Laboratory for Opto-Electronic Technology of Jiangsu Province, School of Physical Science and Technology, Nanjing Normal University, Nanjing 210023, China)

2) (Institute of Quantum Electronics, School of Electronics Engineering and Computer Science, Peking University, Beijing 100871, China)

(Received 27 May 2014; revised manuscript received 10 July 2014)

Abstract

For the sensing applications based on the self-mixing interference technology of fiber laser, the self-mixing interference in the linear cavity fiber laser is theoretically analyzed through a four-mirror cavity model. The output power and frequency equation are deduced, and the behaviors of the laser under different optical feedback strengths are analyzed and simulated as well. The intensity of the laser is modulated by the length of the external cavity, and one fringe of the signal corresponds to the displacement of half wavelength of the target. Experimental setup is developed to validate the theoretical analysis. The obtained results provide both the theoretical and experimental basis for further studying self-mixing interferometric sensing applications of fiber lasers.

Keywords: fiber laser, self-mixing interference, fiber sensing

PACS: 42.25.Hz, 42.62.-b, 42.81.Pa

DOI: 10.7498/aps.63.234202

* Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant Nos. 91123015, 51405240), the Specialized Research Fund for the Doctoral Program of Higher Education of China (Grant No. 20113207110004), and the Natural Science Foundation of Jiangsu Province, China (Grant No. BK20140925).

† Corresponding author. E-mail: huihao@njnu.edu.cn