

光纤型电负反馈窄谱自聚焦棒外腔半导体激光器*

张建平

(东南大学电子工程系, 南京, 210018)

李玲 叶培大 陶尚平

(北京邮电学院无线电工程系, 100088)

提要: 本文提出了一种光纤环形腔鉴频的电负反馈压窄线宽半导体激光器新方案, 并用 $1.3\mu\text{m}$ 自聚焦棒外腔 InGaAsPBH 半导体激光器进行了实验验证。输出光的最窄线宽为 850 kHz。

关键词: 半导体激光器, 光通信, 应用光学

Fiber-type negative electrical feedback linewidth narrowed GRECC semiconductor lasers

Zhang Jianping

(Department of Electronic Engineering, Southeast University, Nanjing)

Li Ling, Ye Peida, Tao Shangping

(Department of Radio Engineering, Beijing University of Post and Telecommunications, Beijing)

Abstract: A new configuration of negative electrical feedback linewidth narrowed semiconductor laser using optical fiber ring resonator as frequency discriminator is presented. This scheme has been proved with $1.3\mu\text{m}$ GRINROD external coupled cavity (GRECC) semiconductor laser as light source. The narrowest linewidth output of the laser is 850kHz.

Key words: semiconductor laser, optical communication, applied optics

在相干光纤通信、相干光检测等方面都需要单纵模、窄线宽的半导体激光器作为光源。1985年 M. Ohtsu^[1] 和 S. Saito^[2] 等人提出了用电负反馈技术降低半导体激光器调频(FM)噪声以压窄谱线。在已报道的光学元件鉴频电负反馈半导体激光器实验系统中都是采用 F-P 标准具检测 FM 噪声。系统的各部件, 比如激光器、F-P 标准具以及 APD 等都分开放在光学平台上, 极易受机械振动、温度变化的影响。对环境的要求极严, 难以在相干光纤传输或相干检测系统中应用。本文给出一种用光纤环形谐振腔取代 F-P 标准具作为鉴频器的电负反馈半导体激光器, 系统的各部件由光纤连为一体, 结构稳定、抗干扰能力强。

K. Y. Liou^[3] 以及作者^[4] 研制了自聚焦棒外腔(GRECC)半导体激光器。这种激光器甚至在高速调制之下都能保持单纵模运转状态, 并具有一定的波长调谐能力, 已在长波长相干光纤传输实验系统中得到应用^[5]。但对一些应用领域而言, 它的线宽还远不够窄。本文报道运用电负反馈技术压窄 GRECC 半导体激光器激光线宽的实验结果。

收稿日期: 1990年4月9日。

* 国家自然科学基金委员会资助项目。

一、实验装置

电负反馈窄谱技术利用半导体激光器可直接调频的特点,采用一定的方法提取激光器调频(FM)噪声信号,经放大后直接注入半导体激光器,从而抵消 FM 噪声达到压窄谱线的目的。与外腔光反馈窄谱技术相比,无需改变半导体激光器的腔结构,避免了光反馈所引起的不稳定性。Y. Yamamoto^[6]曾给出了电负反馈激光器的全量子理论。作者^[7,8]建立了更为简单明了的半经典速率方程模型,分析其工作原理;给出电负反馈半导体激光器的频偏特性,并指出残留的 $1/f$ 型 FM 噪声是限制谱线压窄的主要因素。

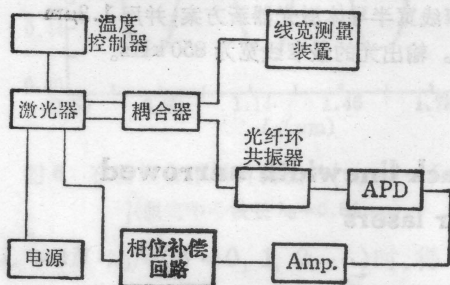


图1 电负反馈半导体激光器实验系统框图

图1是实验系统方框图。从激光器发出的光耦合进入光纤。光纤方向耦合器起光分束器的作用,从其一端出射的光进入自外差延时测谱系统,测量激光器输出光谱线宽度;而另一端的出射光则送入作为鉴频器的光纤环形谐振腔,其腔长为 42.5cm,自由光谱范围及细度分别为 442MHz 和 15。控制激光器工作温度、注入电流,尤其是压电陶瓷电压使其谐振频率处在光纤腔谐振曲线的负斜率段。由一只 Ge-APD 接收光纤环形腔鉴频输出的 FM 噪声信号,经放大后直接注入激光器。放大器增益和带宽分别为 30dB 和 20MHz。相位补偿电路用于仔细调整反馈环路的带宽和增益。

在实验中采用的 $1.3\mu\text{m}$ 自聚焦棒外腔半导体激光器在连续运转状态下主模边模比大于 35dB,调节压电陶瓷电压和工作温度在 11nm 的范围内可选出 8 个单纵模^[4]。外腔(自聚焦透镜)是由芯径 $50\mu\text{m}$ 长约 $180\mu\text{m}$ 的一段多模光纤制成,它的两端分别镀上全反金膜和增透膜。自聚焦透镜粘在压电陶瓷上以实现选模和控制激光器谐振频率。我们采用了一体化结构,激光器芯片、外腔、耦合透镜以及光隔离器等全部固定在同一热沉上,具有良好的温度稳定性及机械稳定性。由半导体致冷器等构成的温度控制环路闭环后,激光器工作温度的起伏小于 0.01°C 。恒流源电流起伏小于 $2\mu\text{A}$ 。

在此实验装置中,我们尽量缩短 Ge-APD 和自聚焦棒外腔半导体激光器之间的光纤,以减小反馈网络的时延。采用频谱分析仪直接观察激光器的 FM 噪声,用自外差时延测谱系统观察线型、测量线宽,其光纤长度为 6km,因而最小线宽分辨率为 15kHz。由于外腔激光器的线宽与谐振频率有关,实验中先在开环(不加电负反馈作用)状态下仔细调节压电陶瓷电压使 GRECC 激光器的输出线宽为最窄,随即闭环得到在电负反馈作用之下的线宽值。

二、实验结果及讨论

图2表示激光器线宽与注入电流的关系,图中曲线 A 是自由运转时的情况。比较曲线 A 与 B,电负反馈的线宽压窄作用是非常明显的。线宽压窄大于 4.4,最小线宽值为 850kHz,线宽功率乘积为 $3.4\text{MHz}\cdot\text{mW}^3$ 。图(a)、(b)分别是 GRECC 半导体激光器在相同工作温度、注

入电流和压电陶瓷电压之下自由运转和加电负反馈后的线型, 图中所示的线宽值为实际值的两倍。

在我们的实验系统中用光纤方向耦合器和光纤环形谐振腔分别代替分束镜以及 F-P 标准具, 系统的所有部件连为一个整体, 减小了外界干扰, 且无需放在光学平台上, 可望在需要窄线宽光源的实验系统中得到应用。由于光纤环形腔的细度可以做得非常高 (大于 1200)^[9], 因此它的鉴频效率高, 从而可望能充分压窄线宽。但在另一方面, 一般说来光纤环形腔时延比 F-P 标准具大, 增加了反馈环路总时延, 限制了线宽压窄率的提高^[4]。实验中用频谱分析仪观察到, 在闭环状态下低频 FM 噪声得到抑制 (抑制深度大于 10 dB), 但在 6 MHz、18 MHz 等处有尖峰。这正是由于环路时延引起的正反馈所形成的, 调整环路增益以及相位补偿电路有所改善, 但未消除尖峰。增益增加虽然可以抑制低频噪声, 但正反馈强度增加更为剧烈, 线宽反而加宽。在此系统中这是限制压窄率提高的主要因素。但我们相信通过尽量缩短光纤环形腔长度以及反馈环路长度, 采用 GeAs 高速放大器等措施是能够进一步压窄线宽的。

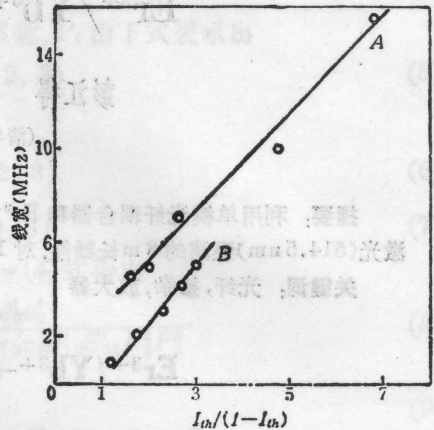


图2 激光器线宽与注入电流关系
 I_{th} 、 I 分别为阈值电流和注入电流; 图中 A、B 分别对应于自由运转和电负反馈时的情形

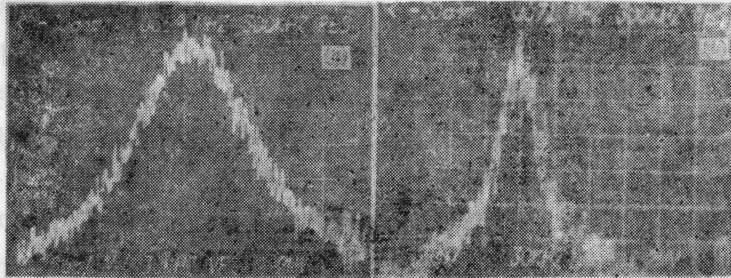


图3 自外差延时测谱系统观察到的激光器线型
(a)、(b) 分别为对应于在同样工作温度、注入电流条件下自由运转与电负反馈时的激光器谱线。
图中所示线宽值为实际值的两倍

参 考 文 献

- 1 M. Ohtsu *et al.*, *IEEE J. Lightwave Technology*, **LT-6** (3), 357 (1988)
- 2 S. Saito *et al.*, *Electr. Lett.*, **20** (7), 703 (1984)
- 3 K. Y. Liou *et al.*, *Appl. Phys. Lett.*, **57** (7), 729 (1984)
- 4 张建平 *et al.*, *中国激光*, **15** (11), 641 (1988)
- 5 张建平 *et al.*, *通信学报*, **11** (2), 60 (1990)
- 6 Y. Yamamoto *et al.*, *IEEE J. Quant. Electr.*, **QE-21** (12), 1919 (1985)
- 7 张建平 *et al.*, *物理学报*, **38** (9), 1436 (1989)
- 8 Zhang Jianping *et al.*, *Microwave and Optical Technology Lett.*, **2** (4), 141 (1989)
- 9 G. Y. Yue *et al.*, *Electr. Lett.*, **249**, 622 (1988)