

文章编号: 0258-7025(2008)08-1181-04

放大自发辐射注入波长锁定法布里-珀罗激光器

蒙红云^{1,2} 李昌熹²

(¹ 华南师范大学激光加工技术实验室, 广东 广州 510631; ² 韩国高等科学技术院电子工程与计算机科学系, 大田, 韩国)

摘要 波分复用无源光网络(WDM-PON)被认为是接入网的最终解决方案, 基于放大自发辐射(ASE)注入波长锁定法布里-珀罗(F-P)激光器的 WDM-PON 由于其价格低廉和容易实现颜色无关操作而受到极大关注。实验研究了 ASE 注入波长锁定 F-P 激光器的 ASE 增益、边模抑制比(SMSR)和相对强度噪声(RIN)随 F-P 激光器注入电流和 ASE 注入功率的变化关系, 理论模拟了 ASE 注入功率和增益一定时, F-P 激光器注入电流随其前端面反射率的变化关系, 并从实验上进行了验证。研究表明, 当 F-P 激光器的注入电流为阈值电流的 1.3~1.7 倍时, 能获得满足应用需要的相对强度噪声和边模抑制比。对于一定的 ASE 注入功率和输出功率, 存在使注入电流最小的最佳前端面反射率。

关键词 光纤通信; 无源光网络; 波长锁定; 半导体激光器; 波分复用

中图分类号 TN 929.11 文献标识码 A doi: 10.3788/CJL20083508.1181

Amplified Spontaneous Emission Injection Wavelength-Locked Fabry-Perot Laser Diodes

Meng Hongyun^{1,2} Lee ChangHee²

(¹Laboratory of Laser Processing Technology, South China Normal University, Guangzhou, Guangdong 510631, China)
²Department of Electrical Engineering and Computer Science, KAIST, Korea

Abstract The wavelength-division-multiplexing passive optical network (WDM-PON) has been considered as a promising solution for future broadband access networks. The WDM-PON based on the amplified spontaneous emission (ASE) injected wavelength-locked Fabry-Perot (F-P) laser diodes has gained great attention because of its cost-effectiveness and color-free operation. The gain, side-mode suppression ratio (SMSR) and relative intensity noise (RIN) of the wavelength-locked F-P laser diode (LD) have been studied experimentally. And the relationship between injection current and the reflectivity of front facet of F-P LD, for a given ASE and gain, has been studied theoretically and experimentally. The best RIN and SMSR can be got with the injection current which is 1.3~1.7 times of threshold current. And there is an optimum front facet for a given ASE injection power and gain with the smallest injection current.

Key words optical fiber communication; passive optical network; wavelength-locked; semiconductor laser; wavelength-division multiplexing

1 引言

近年来,随着宽带业务的迅猛发展和各种新业务的不断涌现,用户对网络接入宽带的需求大幅度增长。利用光纤丰富宽带资源的无源光网络(PON)被认为是解决这一问题的最佳方案,并在国内外逐步得到应用推广。自 PON 技术问世以来,出现了 APON, EPON, GPON, 波分复用无源光网络(WDM-PON)等^[1~3] 一系列概念,其中 WDM-

PON 由于结合了 WDM 技术和 PON 拓扑结构的优点,被认为是最后 1 km 的最终解决方案。目前, WDM-PON 已有多种解决方案, Hyun Deok Kim 等^[4] 提出了基于放大自发辐射(ASE)注入波长锁定法布里-珀罗(F-P)激光器的解决方案,该方案由于价格相对低廉以及容易实现颜色无关(Color-free 或 Colorless)操作,受到了广泛关注^[5~8]。ASE 注入波长锁定 F-P 激光器的增益(输出激光强度与输

收稿日期:2008-02-18; 收到修改稿日期:2008-03-31

作者简介:蒙红云(1973—),男,江西人,副研究员,博士,主要从事光电子器件、激光器及其应用研究。

E-mail: hymeng@sclu.edu.cn

入 ASE 强度之比)、边模抑制比(SMSR)和相对强度噪声(RIN)受到注入 ASE 强度, F-P 激光器的注入电流和其端面反射率的影响, 并直接影响到 WDM-PON 系统的性能^[9]。本文首先从实验上研究了 ASE 注入波长锁定 F-P 激光器的增益、边模抑制比和相对强度噪声随激光器注入电流和注入 ASE 功率的变化。然后考虑辐射复合系数和俄歇(Auger)复合系数, 从速率方程出发, 根据多光束干涉理论, 模拟了相同 ASE 注入功率和增益的条件下, F-P 激光器的注入电流随其前端面反射率的变化关系, 并从实验上进行了验证。

2 实验装置与原理

应用于 WDM-PON 系统中的 ASE 注入波长锁定 F-P 激光器示意图如图 1 所示, 宽带光源(BLS)经环形器、阵列波导光栅(AWG)光谱分割后注入 F-P 激光器。在注入 ASE 的作用下, F-P 激光器实现模式锁定, 其频率跟注入频率一致, 输出激光经 AWG 从环形器的另一端输出。图中 VOA 为可变光衰减器。

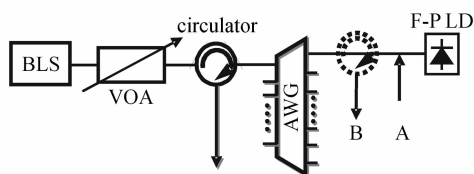


图 1 ASE 注入锁定 F-P 激光器示意图

Fig. 1 Schematic diagram of injection wavelength-locked F-P LD

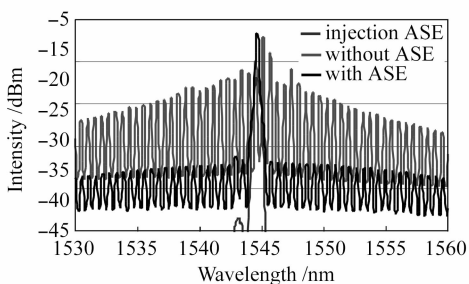


图 2 F-P 激光器和 ASE 光谱图

Fig. 2 Optical spectra of the F-P LD and ASE

为了研究该激光器的特性, 在 F-P 激光器前端增加一个环形器, ASE 注入功率可以通过可调衰减器进行调节, 并在 A 点测量。在 B 点测量其边模抑制比和相对强度噪声。实验中所采用的 F-P 激光器的前端面反射率 R_1 和后端面反射率 R_2 分别为 0.01 和 0.32 (未镀膜情况下, 前后端面反射率均为 0.32), 有源层长度为 $600 \mu\text{m}$, 激光器阈值为

19 mA; AWG 为高斯型, 半宽度为 0.4 nm, 信道间隔为 100 GHz。图 2 表示了注入 ASE, F-P 激光器以及注入锁定 F-P 激光器的输出光谱图。从图中可以看出, 在 ASE 注入后, F-P 激光器的多模输出变成了单模输出, 边模抑制比高达 30 dB。

3 结果与讨论

图 3(a) 和 (b) 表示 ASE 注入波长锁定 F-P 激光器的边模抑制比、相对强度噪声和增益随 F-P 激光器注入电流的变化关系, 其中 ASE 注入峰值功率为 $-13 \text{ dBm}/0.2 \text{ nm}$, ASE 峰值与 ASE 注入时 F-P 激光器振荡模峰值之间的间隔 (即为 Detuning) 为 0 nm 。从图 3(a) 可以看出, 边模抑制比开始随注入电流的增大而增大, 当达到最大值后随电流的增大而减小。这是由于当电流较小时, 由于载流子密度比较低, ASE 被放大的程度比较小 (电流更小时仅仅是损耗, 从图 3(b) 可以看出, 当注入电流为 15 mA 时, 增益小于 0 dB), 所以边模抑制比相对较小, 而随电流的增大, 载流子密度变大, ASE 被放大的程度将提高, 边模抑制比也随之增大。另一方面由于电流的增大, 腔内振荡变强, 所以当电流增大到一定程度后继续增大时, 注入的 ASE 不足以抑制其他边模的振荡, 导致边模抑制比减小。图 3(b) 表明增益随注入电流的增大而增大。

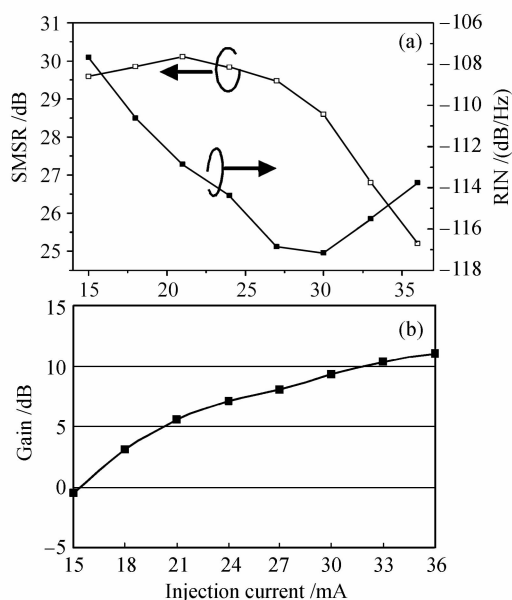


图 3 SMSR, RIN 和增益随 F-P 激光器注入电流的变化

Fig. 3 SMSR, RIN and gain versus injection current of F-P LD

从图 3(a) 可以看出, 波长锁定 F-P 激光器的相对强度噪声要比注入 ASE 的相对强度噪声 (实验测

得为 -108 dB/Hz 低,也就是说 F-P 激光器能抑制注入信号的相对强度噪声。相对强度噪声开始随注入电流的增大而减小,当达到最小值后随电流的增大而增大。这是由于当注入电流较小时,F-P 激光器载流子密度较低,不足以抑制注入 ASE 的噪声,其输出激光的噪声比注入 ASE 的噪声要大;随注入电流的增大,载流子密度增大,抑制效果增强,噪声减小;当电流增大到一定值时,由于边模振荡的增强,噪声又开始增大。值得指出的是,对于一定的 ASE 注入功率,对应边模抑制比和相对强度噪声的最佳注入电流是不一样的。不过,对应最小相对强度噪声的注入电流时,边模抑制比仍然超过 28 dB ,完全满足应用的要求。

图 4 表示边模抑制比、相对强度噪声和增益随 ASE 注入功率的变化,其中,F-P 激光器的注入电流为 25 mA ,Detuning 为 0 。从图 4(a)可以看出,边模抑制比随 ASE 注入功率的增大而增大。这是由于当 F-P 激光器注入电流一定时,ASE 注入功率越大,边模被抑制的程度越大,边模抑制比也就增大。同样地,相对强度噪声随 ASE 注入功率的增大而降低。图 4(b)表明,增益随 ASE 注入功率的增大而减小,这与传统的放大器一致。

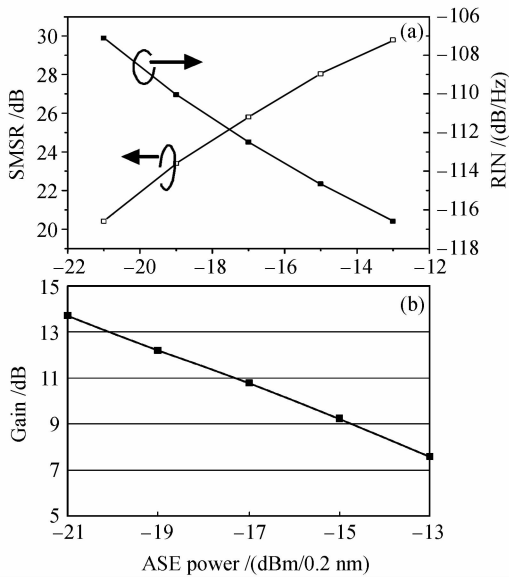


图 4 SMSR, RIN 和增益随 ASE 注入功率的变化
Fig. 4 SMSR, RIN and gain versus injection power of ASE

在 WDM-PON 系统中,每户需要 2 个 F-P 激光器,因此能源消耗是一个非常重要的问题^[10]。考虑辐射复合系数和 Auger 复合系数的影响,从速率方程出发,利用多光束干涉理论,模拟了一定 ASE 注入功率和增益情况下,F-P 激光器的注入电流随其

前端面反射率的变化关系,如图 5 所示。其中 F-P 激光器后端面反射率为 0.32 ,注入 ASE 峰值功率为 $-20 \text{ dBm}/0.2 \text{ nm}$,其他参数与文献[9]一致,增益为 10 dB 。可以看出,对于一定的增益,存在最小的注入电流。一方面,尽管随着前端面反射率 R_1 的减小,增益会增大(如图 6 所示,当注入电流和 ASE 注入功率一定时, R_1 越小,边模振荡越弱,信号增益越大),但是其阈值电流也会随着 R_1 的减小而增大,即需要更大的电流才能达到一定的载流子密度,因此对于一定增益,随 R_1 的减小,注入电流增大;另一方面,随 R_1 的增大,其阈值尽管会减小,即容易实现高的载流子密度,但是其高反射率导致输出能量下降,因此随 R_1 的增大,注入电流也会增大。在计算结果范围内,最大注入电流 (75 mA , $R_1 = 0.05\%$) 比最小注入电流 (66 mA , $R_1 = 1.5\%$) 增大了 13.7% 。实验研究了 R_1 为 0.001 和 0.1 的情况,实验结果与模拟结果相吻合。值得指出的是,对于一定的 ASE 注入功率,不同的 R_1 存在可获得的最大增益,实验中采用 R_1 为 0.32 的 F-P 激光器,ASE 注入峰值功率为 $-20 \text{ dBm}/0.2 \text{ nm}$ 时,即不能获得 10 dB 的增益;同时由于 R_1 的增大,被反射的 ASE 增强,引起噪声增大。

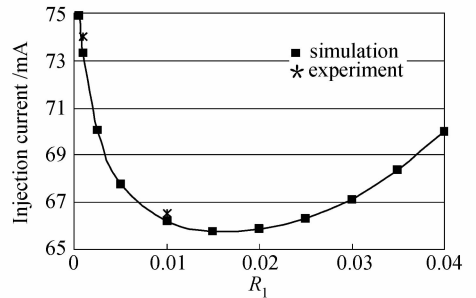


图 5 ASE 和增益一定时注入电流与前端面反射率的关系
Fig. 5 Injection current versus R_1 for a given ASE and gain

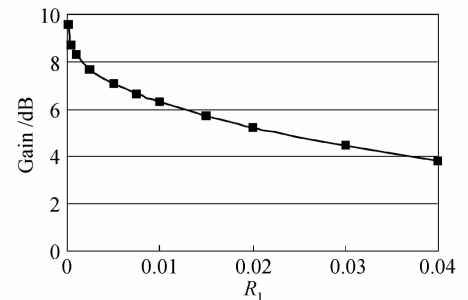


图 6 ASE 和注入电流一定时增益与前端面反射率的关系
Fig. 6 Gain versus R_1 for a given ASE and injection current

4 结 论

实验研究了 ASE 注入波长锁定 F-P 激光器的边模抑制比、相对强度噪声和增益随注入电流与 ASE 注入功率的变化。结果表明,当注入电流为阈值电流的1.3~1.7倍时,能获得满足应用要求的相对强度噪声和边模抑制比。利用多光束相干理论,理论模拟了当 ASE 注入功率和增益一定时,注入电流与 F-P 前端面反射率的关系,结果表明存在使注入电流最小的最佳前端面反射率。因此,必须根据应用需要进行优化设计。

Acknowledgement: This work was partially supported by Korea Ministry of Science and Technology under the National Research Laboratory and Brain Korea 21 Project.

参 考 文 献

- 1 Dong Dasheng, Chi Zeying, Chen Wenjian. Design and implementation of physical layer of APON system termination equipment ONT [J]. *Chinese J. Lasers*, 2005, **32**(4):537~543
董大圣,迟泽英,陈文建. APON 系统网络终端物理层的设计原理与实现[J]. *中国激光*, 2005, **32**(4):537~543
- 2 Luo Renxiang, Liu Weiping, Li Xueyi *et al.*. Progress and technology of ethernet passive network [J]. *Laser & Optoelectronics Progress*, 2005, **42**(1):12~15
罗任翔,刘伟平,李学易等. 以太无源光网络技术及其进展[J]. *激光与光电子学进展*, 2005, **42**(1):12~15
- 3 N. J. Frigo, P. P. Iannone, P. D. Magill *et al.*. A wavelength-division multiplexed passive optical network with cost-shared components [J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 1994, **6**(11):1365~1367
- 4 Hyun Deok Kim, Seung-Goo Kang, Chang-Hee Lee. A low-cost WDM source with an ASE injected Fabry-Perot semiconductor laser [J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 2000, **12**(8):1067~1069
- 5 Jin-Serk Baik, Kun-Youl Park, Tae-Won Oh *et al.*. Wavelength self-managed optical WDM source using polarization-multiplexed Fabry-Pérot laser diodes [J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 2004, **16**(10):2347~2349
- 6 Sang-Mook Lee, Ki-Man Choi, Sil-Gu Mun *et al.*. Dense WDM-PON based on wavelength-locked Fabry-Pérot laser diodes [J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 2005, **17**(7):1579~1581
- 7 Ki-Man Choi, Jin-Serk Baik, Chang-Hee Lee. Color-free operation of dense WDM-PON based on the wavelength-locked Fabry-Perot laser diodes injecting a low-noise BLS [J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 2006, **18**(10):1167~1169
- 8 Xiaofei Cheng, Yang Ying Wen, Yi Dong *et al.*. Optimization of spectrum-sliced ASE source for injection-locking a Fabry-Pérot laser diode [J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 2006, **18**(18):1961~1963
- 9 Kun-Youl Park, Sil-Gu Mun, Ki-Man Choi *et al.*. A theoretical model of a wavelength-locked Fabry-Perot laser diode to the externally injected narrow-band ASE [J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 2005, **17**(9):1797~1799
- 10 Chang-Hee Lee, Wayne V. Sorin, Byoung Yoon Kim. Fiber to the home using a PON infrastructure [J]. *J. Lightwave Technol.*, 2006, **24**(12):4568~4583