

文章编号: 0253-2239(2002)09-1063-04

双波长自注入式光纤光栅外腔脉冲半导体激光器*

杨石泉 蒙红云 项 阳 赵春柳 丁 镭 袁树忠 董孝义

(南开大学现代光学研究所, 天津 300071)

摘要: 提出了一种用两个光纤光栅作法布里-珀罗半导体激光器的外反馈元件, 在外加正弦信号的驱动下工作在增益开关状态的双波长自注入式脉冲半导体激光器。对两个波长对应的谐振腔的腔长相同与不同的两种情况进行了实验研究, 并成功地获得了波长为 1555.97 nm 和 1557.9 nm, 脉冲宽度约为 45 ps 和 70 ps, 重复频率约为 2 GHz 的双波长光脉冲信号。

关键词: 光纤光栅; 半导体激光器; 增益开关; 自注入
中图分类号: TN248.4 文献标识码: A

1 引 言

多波长的短脉冲光源在密集波分复用-时分复用(WDM-OTDM)通信系统和光纤传感系统中有着重要的应用。与主动锁模掺铒光纤激光器和分布反馈半导体激光器相比, 利用工作在增益开关状态的自注入式法布里-珀罗半导体激光器产生脉宽为数十皮秒的光脉冲是一种简单有效的方法。其具有输出波长稳定性好、脉冲啁啾小、制作成本低等优点, 因而在近几年一直是人们的研究热点。在已有的相关报道中, 光纤光栅比较多地被用作这种激光器的外腔反馈元件^[1-4], 用来对半导体激光器输出的众多模式进行选择, 但大多数激光器只从这些模式中选择一个模式, 输出单波长的光脉冲信号。本文提出了一种用两个光纤光栅选模, 通过调整外加驱动信号的频率可以实现在一个频率下同时输出两个波长的光脉冲信号的激光器实现方法, 更充分地利用了原法布里-珀罗半导体激光器的功能。

2 实验装置与原理

双波长自注入式光纤光栅外腔脉冲半导体激光器的实验装置如图 1 所示。实验中所用的半导体激光器为带尾纤的普通商用法布里-珀罗激光器, 其输出多纵模激光的中心波长在 1557 nm 处, 纵模间隔

为 0.92 nm, 阈值电流约为 9.2 mA。激光器的外谐振腔由一 3 dB 耦合器和两个光纤光栅(FBG₁ 和 FBG₂)构成, 其中 FBG₁ 的中心反射波长 $\lambda_1 = 1555.97$ nm, 反射率约为 99%; FBG₂ 的中心反射波长 $\lambda_2 = 1557.9$ nm, 反射率约为 97%, 两个光栅的反射波长分别对应于半导体激光器输出的多纵模中的两个模式。在耦合器的 3 端与 FBG₁ 之间 4 端与 FBG₂ 之间分别熔接长度为 L_1 和 L_2 的两根单模光纤, 通过选用不同长度的光纤可以改变对应于两个波长的谐振腔长度。外加直流偏置(DC bias)和高频驱动信号(RF driver)通过一 T 形头(bias tee)同时耦合到半导体激光器上。激光由 3 dB 耦合器的 2 端输出, 经分光后分别由光谱仪(ADVANTEST Q8383)和带光口的示波器(HP 83480A)同时进行检测。

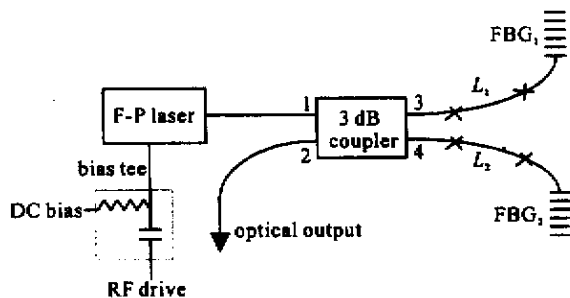


Fig. 1 Experimental setup of dual-wavelength self-seeding F-P laser

自注入式光纤光栅外腔脉冲半导体激光器的工作原理简述如下: 对某一波长的光来说, 当半导体二极管被直接调制在其腔长的基频或正整数倍于基频的谐波频率时, 即外加信号频率 f 满足:

*天津科委“160 Gb/s 全光纤 OTDM-WDM 通信系统”项目资助课题。

E-mail: ks0911@sina.com

收稿日期: 2001-08-27; 收到修改稿日期: 2001-11-19

$$f = \frac{mc}{2nL}, \quad (1)$$

式中 m 为谐波的次数, 当 $m = 1$ 时激光器谐振在基频状态下; c 为真空中光速; n 为构成外腔的光纤的有效折射率; L 为谐振腔长度。经光纤光栅反射, 重新注入腔内的光与从半导体激光器发射的光达到同步, 在腔内形成谐振而使该波长的光在腔内成为优势模, 在输出端可以获得这一波长的光脉冲, 并且优势模的光相对于其它模式的光来说, 也具有较大的边模抑制比(SMSR)^[5]。当 f 偏离(1)式的值较大时, 尽管被光栅选择的纵模仍为腔内的优势模, 但注入回腔内的光与从半导体激光器发射的光不同步, 这种情况不能形成窄脉宽的光脉冲, 在输出端只能观察到被直接调制的正弦光信号。

在图 1 所示的双波长激光器情况下, 如果两个波长所对应的腔长相等, 则其基频也相同, 因此当外加信号频率 f 满足其中一个波长的谐振条件时, 也必然满足另一个波长的谐振条件, 这时两个波长可以同时形成光脉冲输出, 而且谐波的次数 m 也是相同的。在两个波长所对应的腔长不等的情况下, 即不同波长的光的谐振基频不同时, 当 f 满足其中一个波长(例如 λ_1)的谐振条件时, 一般不能同时满足另一波长(λ_2)的谐振条件, 因此只能获得其中一个波长(λ_1)的光脉冲输出。只有当两个波长所对应的腔长满足一定条件, 即 $L_{\lambda_2} = kL_{\lambda_1}/m$ 时, 也即 f 为 λ_1 波长的 m 次谐波的同时也是 λ_2 波长的 k 次谐波时, 才能同时获得双波长的光脉冲序列。

3 实验结果与讨论

实验中所加的高频驱动信号由最小调节幅度为 1 Hz 的正弦信号发生器(HP 83711B)提供, 频率从 1 GHz 开始调节, 输出功率为 8 dBm。给法布里-珀罗半导体激光器所加的直流偏置为 8.7 mA。改变 L_1 和 L_2 两根光纤的长度使对应于两个波长的腔长相同, 都等于 4.65 m 时, 由(1)式可计算出此时两个波长的谐振基频为 22.14 MHz。图 2(a)为驱动信号频率为 2014.7 MHz 时(对应 $m = 91$), 从耦合器 2 端检测到的激光光谱图和在示波器上看到的脉冲序列。其中图 2(b)为直接检测从耦合器 2 端输出的两个波长的信号叠加在一起的脉冲序列; 图 2(c)和图 2(d)为从耦合器 2 端输出的光信号先经过掺铒光纤放大器放大, 再通过光分插复用器(插入损耗约为 6 dB)下载, 经衰减后送到示波器的光口检

测到的 λ_1 和 λ_2 各自的光脉冲序列。此时 λ_1 的边模抑制比为 30 dB, 脉冲宽度为 45.5 ps; λ_2 的边模抑制比为 35 dB, 脉冲宽度为 68.2 ps。因为对应于两个波长的谐振腔长度相同, 两个波长的脉冲信号在输出端基本上是同相位的, 所以在图 2(b)中看到两个波长的脉冲序列是叠在一起, 不能分辨开的。实验中注意到, 在腔长相同的情况下, 由于腔内两个波长的光相互之间存在竞争, 高频信号的频率必须比较准确地调到基频的正整数倍时(频率偏差不能超过几十千赫)两个波长才能同时起振, 否则一个波长的光很容易抑制另一波长的光, 成为腔内的优势模。实验中因受半导体激光器自身发射谱的影响, λ_2 比较容易成为腔内的优势模。

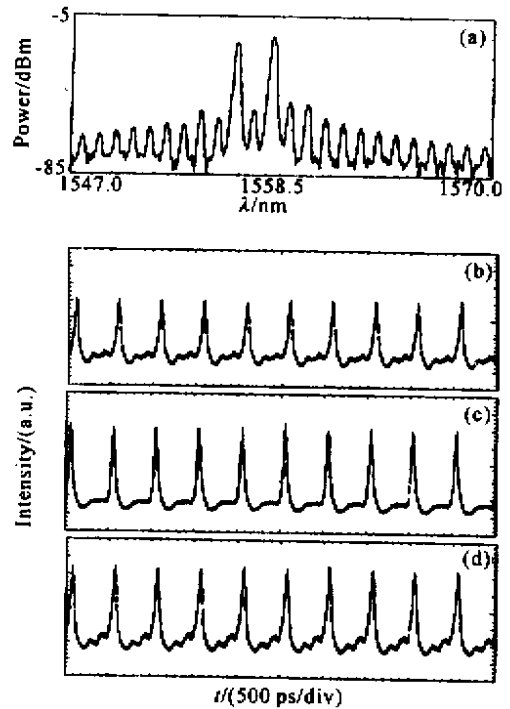


Fig. 2 Output spectrum and waveforms of the laser with equal cavities when driving frequency was 2014.7 MHz.

(a) Spectrum; (b) Waveform of dual-wavelength; (c) Waveform of 1555.97 nm; (d) Waveform of 1557.9 nm

改变 L_1 和 L_2 两根光纤的长度, 使对应于 λ_1 的谐振腔长度为 4.81 m, 对应于 λ_2 的谐振腔长度仍为 4.65 m。此时对应的两个波长的基频分别为 21.4 MHz(λ_1)和 22.14 MHz(λ_2)。调整高频驱动信号的频率, 当频率符合某个波长的谐振条件但不符合另一波长的谐振条件时, 腔内符合谐振条件的波长成为优势模, 在输出中占主导地位。用这种改变驱动信号频率的方法可以对这两个模式进行选择。图 3 为驱动信号频率为 1220.2 MHz 时输出激

光的光谱图和光脉冲序列(脉宽为 48.2 ps)。对 λ_1 来说,该频率为 $m = 57$ 次谐波,但对 λ_2 来说,该频率偏离谐振频率较远,所以从输出光谱来看, λ_1 为腔中优势模,相对于 λ_2 来说激光强度高出约 20 dB。图 4 为驱动信号频率为 1018.4 MHz 时的情况(脉宽为 73.9 ps)。该频率对应于 λ_2 的 $m = 46$ 次谐波,但不满足 λ_1 的谐振条件,因此从光谱图上看, λ_2 的激光强度要超过 λ_1 20dB 以上。

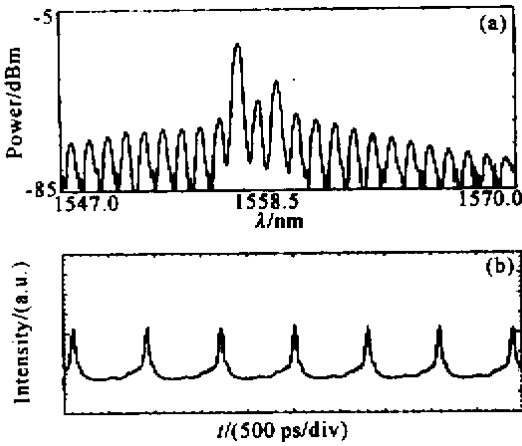


Fig.3 Output spectrum (a) and waveform (b) of laser with unequal cavities when driving frequency was 1220.2 MHz

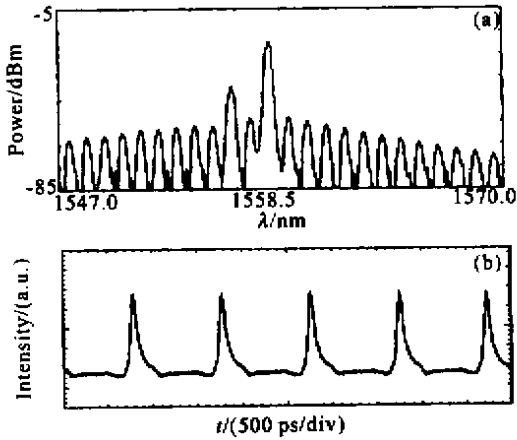


Fig.4 Output spectrum (a) and waveform (b) of laser with unequal cavities when driving frequency was 1018.4 MHz

实验中还注意到,当驱动信号的频率偏离某一波长的谐振频率不大时(一般要小于 10%),该波长的光仍能输出光脉冲,但脉冲的宽度要大于满足谐振条件的情况。因此在调整驱动信号的频率使其在腔长不同的情况下同时满足 λ_1 和 λ_2 的谐振条件时,并不要求它很精确地同时等于两个不同波长的谐振频率,稍有偏差也是可以的。

图 5 (a)为驱动信号频率为 2012.7 MHz 时的输出激光的光谱图和光脉冲序列(检测方法同腔长情况)。该频率对应于 λ_1 的 $m \approx 94$ 次谐波, λ_2 的

$m \approx 91$ 次谐波。从光谱上看,两个波长的光的边模抑制比分别为 25 dB(λ_1)和 30 dB(λ_2)。从脉冲序列图 5 (b)上看,因为两个波长的光的腔长不同,形成的脉冲在输出端存在相位差,所以两个波长的脉冲信号并没有叠加在一起,而是分离开的。经光分插复用器下载后可以看到单独一个波长光的脉冲序列,图 5 (c)是 λ_1 的光脉冲序列,其脉冲宽度为 47.6 ps;图 5 (d)是 λ_2 的光脉冲序列,其脉冲宽度为 75.9 ps。当驱动信号的频率偏离该频率很小,不超过几千赫时,输出能保持在双波长状态,当频率偏离超出这个范围时,某一波长的光(大多数情况下是 λ_2)会成为腔内的优势模而抑制另一波长的光。

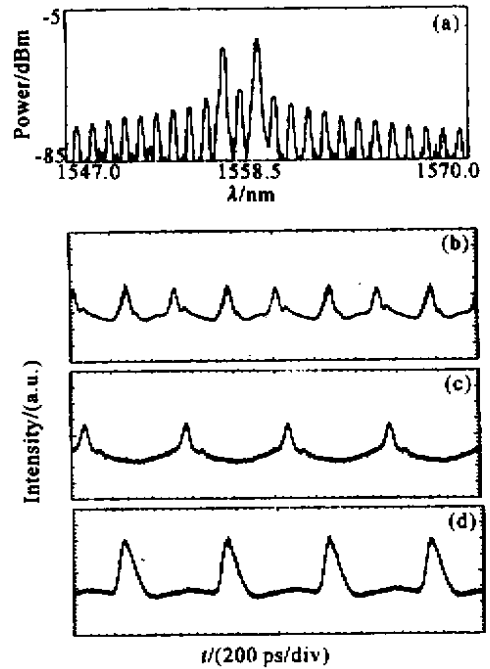


Fig.5 Output spectrum and waveforms of the laser with equal cavities when driving frequency was 2012.7 MHz. (a) Spectrum; (b) Waveform of dual-wavelength; (c) Waveform of 1555.97 nm; (d) Waveform of 1557.9 nm

结论 本文提出了一种双波长自注入式光纤光栅外腔脉冲半导体激光器的实现方法,并对两个波长的腔长相同和不同的情况下作了实验研究,在两种情况下都能获得重复频率为 2 GHz 的双波长光脉冲信号。较以往的单波长脉冲激光器来说,这种激光器更充分利用了原法布里-珀罗半导体激光器的潜能,而且这种成本低廉的多波长脉冲光源在今后光时分复用-波分复用光通信系统和多点分布式光传感系统中有一定的应用前景。

参 考 文 献

- [1] Li Shenping , Chiang K S , Gambling W A . Wavelength tuning in self-seeded gain-switched Fabry-Perot laser diode with Moire grating. *Electron. Lett.* , 1999 , **35** (25) : 2209 ~ 2210
- [2] Ding Hao , Li Shenping , Fang Zujie *et al.* . Wavelength switching of semiconductor laser pulses by self-seeding from a chirped fiber Bragg grating. *IEEE Photon. Technol. Lett.* , 1997 , **9** (7) : 901 ~ 903
- [3] Li Shenping , Chen K T , Lou Caiyun . Wavelength-tunable picosecond pulses generated from stable self-seeded gain-switched laser diode with linearly chirped fiber Bragg grating. *Electron. Lett.* , 1998 , **34** (12) : 1234 ~ 1235
- [4] Lemieux J F , Bellemare A , Latrasse C *et al.* . Step-tunable (100 GHz) hybrid laser based on Vernier effect between Fabry-Perot cavity and sampled fibre Bragg grating. *Electron. Lett.* , 1999 , **35** (11) : 905 ~ 906
- [5] Huhse D , Schell M , Utz W *et al.* . Dynamics of single-mode formation in self-seeded Fabry-Perot laser diodes. *IEEE Photon. Technol. Lett.* , 1995 , **7** (4) : 351 ~ 353

Dual-Wavelength Picosecond Pulses Generated from Self-Seeded Gain-Switched Laser Diode with Fiber Bragg Grating

Yang Shiquan Meng Hongyun Xiang Yang Zhao Chunliu Ding Lei
Yuan Shuzhong Dong Xiaoyi

(*Institute of Modern Optics , Nankai University , Tianjin 300071*)

(Received 27 August 2001 ; revised 19 November 2001)

Abstract : A simple self-seeding scheme for generating dual-wavelength single mode picosecond pulses at a fixed repetition rate with a Fabry-Perot (F-P) laser diode is proposed. The F-P laser diode was self-seeded from two fiber gratings that act as wavelength filters. About 2 GHz dual-wavelength pulses were achieved in the cases of the length of external cavities corresponding to different wavelength were equal or different.

Key words : fiber grating ; semiconductor laser diode ; gain-switched ; self-seeded