

内置 RF 电路对增益开关工作的不利影响*

刘元山 张建国 赵 卫

(中国科学院西安光学精密机械研究所,瞬态光学与光子技术国家重点实验室,西安 710068)

摘 要 对设有内置式 RF 电路的分布反馈(DFB)半导体激光器在增益开关工作状态下出现反常光谱的原因进行了分析. 分别对该激光器在正常工作(即小信号驱动)和增益开关(即大信号驱动)情况下的时域和频域输出结果进行了对比和分析,研究发现内置式 RF 电路的瞬态失效是导致增益开关 DFB 激光器产生多波长光谱的原因.

关键词 增益开关激光器;超短光脉冲;DFB 激光器;多波长光谱;RF 电路

中图分类号 TN248

文献标识码 A

文章编号 1004-4213(2007)01-0013-5

0 引言

超短光脉冲源是实现超高速、大容量全光通信系统与网络的核心部件之一^[1-5]. 它需要具有体积小、结构简单、高重复频率、通用性好、低成本和高可靠性等特点. 另外,该光源还应该具有与其它光学器件(如光延迟线、光合成器/耦合器、电光调制器、光放大器)集成在一起的可能性,以满足超高速时分复用(OTDM)和光码分复用(OCDM)通信对精确延迟时间和窄脉冲定位的严格要求^[1,6-8],并尽可能实现结构紧凑、具有一定功能化的、可批量生产的超高速光发射机及其阵列. 为了满足这些要求,系统设计时应考虑采用商用化的半导体激光器作光源.

半导体激光器的增益开关工作模式是一种公认的简单可靠的超短光脉冲产生技术^[6,9]. 与锁模激光器方案相比,增益开关技术可以方便地应用于现有的商用化半导体激光器中,并能够灵活地输出可变重复频率的皮秒级光脉冲信号,以适应不同的通信接口速率或者网络升级换代等的要求. 虽然增益开关激光器存在着定时抖动和频率啁啾大的问题,但它们可以通过采用光注入锁定和光滤波等方式加以解决^[1,6,10]. 此外,文献[11]指出增益开关激光器比锁模激光器更能适合于在未来的超高速军用光纤机载局域网或航空信息网上的应用.

本文对内置式 RF 电路的 DFB 激光器在增益开关工作(即大信号驱动)状态下出现的光谱反常现象进行了分析,发现内置式 RF 电路的瞬态失效是导致增益开关 DFB 激光器产生多波长光谱的原因.

1 增益开关激光器实验装置

图 1 是增益开关激光器实验装置. 实验中用的

半导体激光器是国产 LDM5S750 型 DFB 激光器,其调制带宽为 2.5 GHz,中心波长为 1546.454 nm,谱线宽度约为 0.3 nm. 该激光器与外部高精度直流源(LDX-3412)和温度控制器(LDT-5412)相连接,以获得所需要的直流偏置电流和工作温度. 增益开关激光器所需的正弦驱动信号是来自 E8257D 射频信号发生器. 在实验中,重复频率为 100 MHz 的正弦信号首先被功分器一分为二,其中一路经高增益电子放大器放大后馈送到激光器的 RF 输入端口,然后它经过内置式 T 型头与直流偏置电流结合后注入到 DFB 激光器,驱动产生光信号. 另一路正弦信号被直接用作 TDS8000D 高速数字采样示波器的外同步信号. 通过适当设置直流偏置电流的大小和正弦信号的幅度,激光器输出端将产生超短光脉冲序列,其重复频率与注入的正弦电流信号频率一致. 所产生的超短光脉冲信号经光分路器一分为二,一路输入给 Q8344A 光谱仪以便监测激光器的输出光谱特性,另一路则经 EDFA 放大后输入到带宽为 45 GHz 的光电探测器中. 经光电转换后,就能通过高速示波器观测到超短脉冲信号波形.

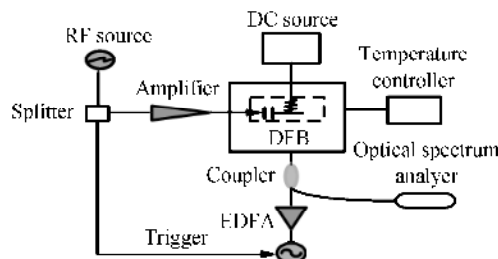


图 1 实验装置
Fig. 1 Experimental setup

实验中超短光脉冲产生的原理是基于半导体激光器的增益开关效应. 当半导体激光器被偏置到阈值门限电流以下并且又被施加了一个大电压幅度的正弦波调制信号时,会导致在每一个正弦波周期里激光器因受到激励而产生出弛豫振荡的第一个尖峰

*中国科学院“百人计划”项目资助

Tel: 029-88887613-8631 Email: bull-0601@opt.ac.cn
收稿日期: 2005-09-21

脉冲,但是通过适当设置直流偏置电流的大小和正弦信号的幅度,该激光器不会在相应的正弦波周期里被激发出弛豫振荡的其余尖峰脉冲^[9].其结果就使得增益开关半导体激光器输出一个周期性的超短光脉冲时钟序列,它的重复频率等于正弦波调制信号的频率.增益开关激光器的一个显著特点就是其输出光脉冲信号的重复频率可以通过简单调节外部正弦波驱动信号的频率而加以改变^[6],这对于设计通用性强的光发射机和支持多种通信协议的应用来讲是非常重要的.当然,增益开关激光器输出的超短光脉冲信号也存在着定时抖动大和频率啁啾大的问题.前者将会影响 OTDM 系统的信道复用性能或系统容量;后者则会限制超高速光纤通信系统的传输距离.但是,这两个问题都可以通过对增益开关半导体激光器采用“自注入种子”(Self-injection Seeding)方式^[1,6]或“外部注入种子”(External-Injection Seeding)方式^[1,11]加以有效解决.

2 实验测试情况及结果分析

超高速光纤传输系统和大容量全光通信网需要使用能够产生超短光脉冲的单纵模半导体激光器作为光源.这可以通过在分布式反馈(DFB)半导体激光器中使用增益开关工作模式来实现^[1,6,12].在正常的连续波工作情况下,DFB 激光器的边模抑制比(Side Mode Suppression Ratio, SMSR)一般都大于 30 dB.当 DFB 半导体激光器工作在增益开关模式时,由于器件有源区里的载流子密度在电子增益开关正弦信号注入期间会产生变化(从而改变了折射率)^[6],故产生的超短光脉冲存在着频率啁啾现象从而导致谱线宽度增加,但是其输出光谱仍然具有近似于单纵模的特性,即在频谱域中存在着一个显著的主纵模和多个低的边纵模分量^[1,10,12-13].由于在增益开关工作状态下电子密度的大幅度波动将导致激光器的边模被激发出来,结果将会显著地降低 DFB 半导体激光器的 SMSR 值,例如, SMSR 的数值只有 15 dB 至 23 dB 左右^[1,12].可是,本文的实验观察显示设有内置式 RF 电路的 DFB 激光器在增益开关工作状态下产生出多波长的光谱.

2.1 增益开关(即大信号驱动)情况下的实验现象

在进行 DFB 半导体激光器的增益开关实验时(见图 1),直流偏置电流为 2 mA 并通过该激光器的直流输入端口注入到器件中.激光器的工作温度是由外部高性能温度控制器设定到 25°C. RF 正弦信号发生器的工作频率被设置为 100 MHz,输出功率为 -13.16 dBm,经高增益电子放大器放大后送入激光器的 RF 输入端口,驱动 DFB 激光器产生增益

开关光脉冲信号.通过 TDS8000D 高速数字采样示波器(外接 45 GHz 的光电探测器)测得该脉冲信号的宽度约为 50 ps,见图 2.增益开关 DFB 激光器的输出光谱经由 Q8344A 光谱仪测得,如图 3.

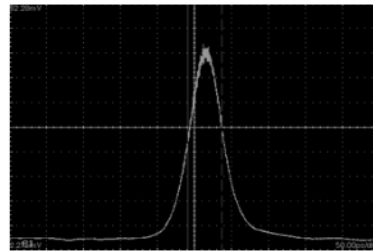


图 2 高速取样示波器上显示的脉冲形状
Fig. 2 The display of pulse on high-speed sampling oscillograph

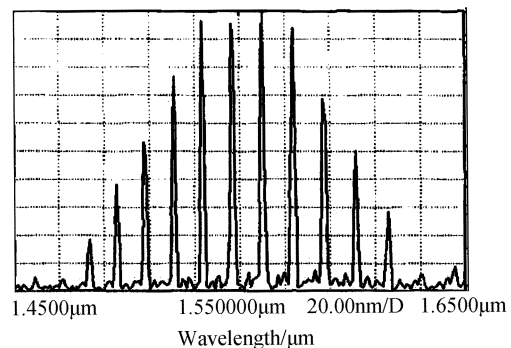


图 3 在大信号驱动下 DFB 增益开关激光器输出的光谱
Fig. 3 The spectrum of DFB gain-switching laser under big signal driving

其峰值处的波长约为 1.560 μm ,但在该波长分量的左右还有三个与它幅值相当的波长分量以及另外七个幅值较低的波长分量,它们之间的间隔大约为 13 nm.因此,实验结果清楚地表明该 DFB 激光器输出的光谱呈现出多波长的现象,其中显著的波长分量共有 11 个,分布范围约为 130 nm.实际上,如果将不太显著的波长分量也考虑进来的话,它们的分布范围将更大,至少有 180 nm(见图 3).这些新观察到的现象不同于已有的关于增益开关 DFB 半导体激光器实验报道的结果^[1,6-7,10,12-13].

为了验证上述实验结果是来自常规的增益开关激光器,而不是由于 DFB 半导体激光器在制造过程中出现的光学缺陷或器件局部损坏的原因所造成的,特地针对该激光器进行了如下的小信号驱动实验,以证明激光器的 DFB 结构功能正常,运行可靠.

2.2 小信号驱动情况下的实验结果

在完成了上面的增益开关 DFB 半导体激光器实验之后,将电子放大器从图 1 的实验装置中去掉,然后改用 RF 信号发生器输出的小幅值正弦波信号驱动 DFB 激光器.当激光器的直流偏置电流为 18 mA, RF 信号发生器的输出功率为 -9.28 dBm,并且其正弦波频率被设置为 100 MHz 的时候,通过光谱仪

测得该激光器的输出光谱特性,见图 4. 在此情况下,激光器输出的光功率信号是一个正弦波信号,经光电转换后,用模拟示波器测得的波形显示在图 5 上. 它与驱动这个激光器的正弦信号波形是一致的. 从图 4 可以很容易地看出在小信号驱动的条件下该激光器产生的光谱仍然是单纵模,所测得的 SMSR 值为 35 dB. 这表明本实验所用的激光器仍能正常工作在 DFB 状态. 同时,这也证明了此时激光器内部的光栅是好的,而且与激光器集成封装于同一管壳内的 RF 耦合电路和直流偏置电路均能正常工作,并没有因为前面的增益开关(即大信号驱动)实验受到破坏.

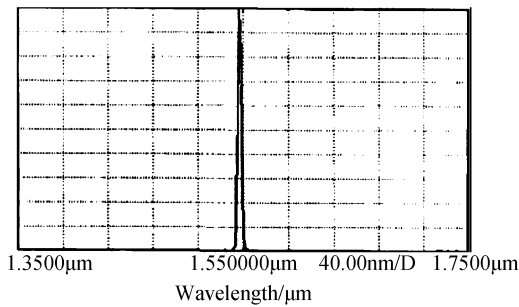


图 4 在小信号驱动下 DFB 增益开关激光器输出的光谱
Fig. 4 The spectrum of DFB gain-switching laser under small signal driving

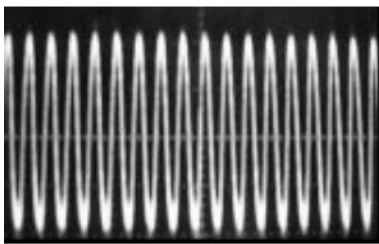


图 5 示波器上显示的脉冲序列
Fig. 5 The display of pulse train on oscillograph

2.3 在仅有直流电流注入激光器的情况下输出功率的测试结果

通过以上分析可以得出,该 DFB 激光器在小信号驱动的情况下工作十分正常. 为了分析实验所用的 DFB 激光器在增益开关工作状态下产生多波长光谱的反常现象,还需要检查这支激光器的直流输入电流与输出功率的关系,在没有 RF 调制信号输入到激光器的情况下,此时注入到激光器的电流仅为直流偏置电流,是由外部高准确度直流源提供的. 当直流偏置电流(I)被设定为某一数值的时候,在 DFB 激光器的输出端可以使用光功率计测出相应的光功率值(P). 然后再改变直流偏置电流的大小,测出激光器的输出光功率值. 通过重复这一测试步骤,就能找到该激光器的直流输入电流与输出功率的关系曲线,即实测的 P-I 曲线,如图 6. 可

以很容易看出这支 DFB 激光器的 P-I 曲线仍然是正常的. 当激光器的直流偏置电流为 23 mA 的时候,用光谱仪测得其输出光信号的光谱特性,如图 7. 因此,可以清楚地看到所用的激光器是工作在单纵模状态下的. 另外,为了进一步确认该 DFB 激光器在有直流电流注入的情况下工作是正常的,还将激光器输出的光信号经光电转换后输入到示波器中进行时域监测,结果表明在此情况下激光器输出的光信号是没有受到任何调制的,反映到示波器的屏幕上只是观察到电平的简单上移,因此该激光器输出的仍然是正常的连续(CW)光.

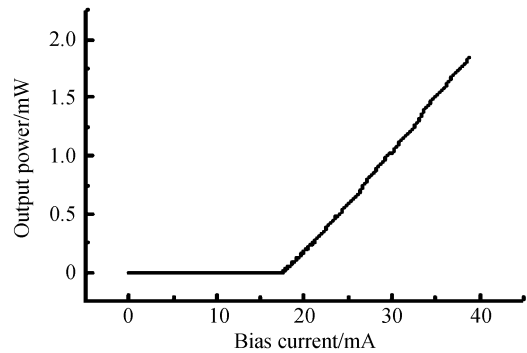


图 6 DFB 激光器的 P-I 曲线
Fig. 6 The P-I curve of DFB semiconductor laser

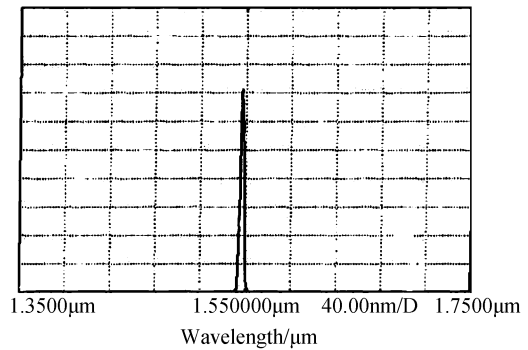


图 7 DFB 半导体激光器输出的光谱
Fig. 7 The spectrum of DFB semiconductor laser

测试结果说明该 DFB 激光器在没有 RF 调制信号输入的时候工作十分正常,激光器输出的是 CW 光并且它的光谱是单纵模. 即使在大的电流偏置电流注入到激光器的情况下,例如 35 mA(对应的输出光功率值为 1.5 mW),该激光器的内置式直流偏置电路也能正常工作.

2.4 实验结果分析

从以上的实验结果,不难看出,在仅有直流电流注入激光器的情况下,该 DFB 激光器输出的是 CW 光. 当直流偏置电流超过了激光器的阈值门限电流时,所产生的光谱是单纵模的(见图 7). 在此情况下,如果再施加一个小幅值的正弦波电流信号驱动这支 DFB 激光器,那么它输出的光功率信号仍然是一个与电驱动信号波形保持一致的正弦波信号(见

图5),并且该激光器产生的光谱仍然是单纵模,如图4.针对激光器的这两种电流驱动情况,实验结果表明内置式RF耦合电路和直流偏置电路均能正常工作,而且所使用的激光器是工作在正常的DFB状态.可是,当这支DFB激光器工作在增益开关情况下,虽然它能产生皮秒级的光时钟脉冲信号,但其输出的光谱呈现出多波长的新现象,如图3.从图中可以看到大约有11个显著的波长分量,分布在约为130nm的范围内,这些波长分量的间隔大约为13.3nm至14.4nm.不同于激光器的前两种电流驱动情况,增益开关工作模式需要将一个大幅度的正弦电压信号输入到激光器的内置式T型头的RF端口,而它的直流输入端口则被施加了一个小的直流偏置电流(远低于激光器的阈值门限电流).结果说明内置式RF电路是造成该激光器输出多波长光谱的主要原因.这是因为在使用同一个激光器实验装置的情况下,如果简单地将RF驱动信号的幅度减小,同时将直流偏置电流增加到超过激光器的阈值门限电流,则该激光器又能恢复正常的强度调制光输出,所产生的光谱仍然是单纵模的,如图4.这也清楚地表明该DFB激光器在光谱仪所测试的一个宽波长范围内(例如1.35 μm 至1.75 μm)仅输出了一个单波长的光信号.

针对上述实验现象,一种可能的解释是当设有内置式RF电路的DFB激光器工作在增益开关状态时,由于输入的正弦电压信号幅度远大于激光器在正常小信号驱动时所需要的幅值,而该RF耦合电路一般是被设计用来支持小信号工作的,因此这就使得内置式RF耦合电路在增益开关(即大信号驱动)情况下出现瞬态失效,从而使得激光器的电流注入情况与小信号驱动时的状况相比发生了改变.这就可能引起了器件激活区里载流子密度的空间分布情况发生变化.由于DFB激光器的光栅与激活区是相连在一起的,故反馈作用是分布在整个激活区里.在正常的小信号驱动时,该激光器通过内置光栅的频率选择性产生出单纵模光.可是,当这支激光器工作在增益开关模式时,由于内置式RF耦合电路在大电压正弦波信号输入的情况下出现了瞬态失效,其结果可能导致激活区里的载流子密度的空间分布发生明显变化,从而影响到器件激活区的折射率分布和半导体激光器的增益频谱特性.在此情况下,该激光器的内置光栅无法按照原来设计的布拉格反射条件进行波长选择以确保工作在单频输出状态.一般来讲,半导体激光器有一个很宽的增益频谱曲线^[12].如果DFB激光器腔内的等效光学滤波器在多个波长处都具有带通滤波的特性,则该

增益开关DFB激光器的输出光谱就呈现出多波长的现象.

3 结论

本文针对设有内置式RF电路的DFB半导体激光器在增益开关工作状态下所出现的光谱反常现象进行了实验研究.这表现为在增益开关情况下该DFB激光器的单纵模输出光谱特性不复存在.不同于已有的关于增益开关DFB半导体激光器实验报道的结果,实验中观察到了所使用的增益开关DFB激光器在产生超短光脉冲信号时输出光谱呈现出多波长的新现象大约有11个显著的波长分量,分布在约为130nm的范围内,这些波长分量的间隔大约为13.3nm至14.4nm.通过对该激光器在正常工作(即小信号驱动)和增益开关(即大信号驱动)情况下的时域和频域输出结果进行对比和分析,发现内置式RF电路的瞬态失效是导致增益开关DFB激光器产生多波长光谱的原因.

致谢 感谢程光华博士和陈国夫研究员的帮助.

参考文献

- [1] BARRY L P, GUIGNARD P, DEBEAU J, *et al.* A high-speed optical star network using TDMA and all-optical demultiplexing techniques[J]. *IEEE J Select Areas Commun*, 1996, **14**(5):1030-1038.
- [2] BARRY R A, CHAN V W S, HALL K L, *et al.* All-optical network consortium-ultrafast TDM networks [J]. *IEEE J Select Areas Commun*, 1996, **14**(5):999-1013.
- [3] SUZUKI K, IWATSUKI K, NISHI S, *et al.* 160 Gb/s sub-picosecond transform-limited pulse signal generation utilizing adiabatic soliton compression and optical time-division multiplexing[J]. *IEEE Photon Technol Lett*, 1994, **6**(3):352-354.
- [4] ZHANG J G. Meeting the need for fiber-optic transmission speed-Ultrafast all-optical switching techniques for TDMA fiber-optic networks[J]. *IEEE Circuits & Devices*, 1997, **13**(5):17-33.
- [5] WANG An-bin, WU Jian, ZHANG Fan. Generation of ultrashort optical pulse based on single and tandem ea modulator [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2004, **33**(1):53-56.
王安斌, 伍剑, 张帆. 基于单个和级联电吸收调制器超短脉冲的产生[J]. *光子学报*, 2004, **33**(1):53-56.
- [6] DUDLEY J M, BARRY L P, HARVEY J D, *et al.* Complete characterization of ultrashort pulse sources at 1550 nm[J]. *IEEE J Quantum Electron*, 1999, **35**(4):441-450.
- [7] ZHANG J G, CHEN L K, KWONG W C, *et al.* Experiments on high-speed all-optical code-division multiplexing systems using all-serial encoders and decoders for 2n prime code[J]. *IEEE J Select Topics Quantum Electron*, 1999, **5**(2):368-375.
- [8] LUN Xiu-jun, HUANG Yong-qing, REN Xiao-min. Study on self-pulsation of DFB laser devices[J]. *Acta Photonica Sinica*,

- 2003, **32**(3):290-292.
伦秀君,黄永清,任晓敏. DFB 激光器自脉动的研究[J]. 光子学报, 2003, **32**(3):290-292.
- [9] LAU K Y. Short-pulse and high-frequency signal generation in semiconductor lasers[J]. *J Lightwave Technol*, 1989, **7**(2):400-419.
- [10] NIEMI T, ZHANG J G, LUDVIGSEN H. Effect of optical filtering on pulses generated with a gain-switched DFB laser [J]. *Optics Commun*, 2001, **19**(2):339-345.
- [11] ZHANG J G, SHARMA A B. Aeronautical use of semiconductor lasers for short optical pulses [J]. *IEEE Aerospace and Electronic Systems Mag*, 2004, **19**(3):26-32.
- [12] CUTRER D, PEPELJUGOSKI P, LAU K. Noise properties of electrically gain-switched 1.5 μm DFB lasers after spectral filtering[J]. *Electron Lett*, 1994, **30**(17):1418-1419.
- [13] CHUSSEAU L, KAZMIERSKI C. Optimum linear pulse compression of a gain-switched 1.5 μm DFB laser[J]. *IEEE Photo Technol Lett*, 1994, **6**(1):24-26.

The RF Circuit Embedded in DFB Laser Negative Effect Under Gain-Switching Operation

LIU Yuan-shan, ZHANG Jian-Guo, ZHAO Wei

State Key Laboratory of Transient Optics Technology, Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710068

Received date: 2005-09-21

Abstract The abnormal spectrum phenomenon of distributed feedback (DFB) laser embedded with RF circuit generates under gain-switching operation was analyzed. Time-domain and frequency-domain output of the laser with normal condition (small signal driving) and gain-switched condition (larges signal driving), were compared and respectively analyzed. The results show that instantaneous invalidation of the DFB laser under gain-switching operation directly causes multi-wavelength spectrum phenomenon.

Key words Gain-switched laser; Ultra short pulse; DFB laser; Multi-wavelength spectrum; RF circuit



LIU Yuan-shan was born in Shanxi on July 8, 1976. He received the bachelor degree in physics from Northwest University in September, 1999. Now he is a Ph. D. student of Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics of CAS. His main research involves high-speed pulse generation and OTDM transmission system.