

# 用于产生微波信号的分布反馈激光器与 Y 形波导 单片集成器件的研究\*

王 路<sup>†</sup> 谢红云 赵玲娟 潘教育 周 帆 边 静 王鲁峰 朱洪亮 王 圩

(中国科学院半导体研究所 集成光电子国家重点实验室, 北京 100083)

**摘要:** 设计并制作了一种在 Y 形波导的两个分支上集成分布反馈(distributed feedback,DFB)激光器的单片集成器件.DFB 激光器的布拉格光栅一次曝光形成,具有相同的光栅周期.当注入电流分别单独加载到两段 DFB 激光器之上时,从 Y 形波导端输出光波长在 1565nm 附近,边模抑制比大于 30dB.当大于阈值且相差大于 20mA 的两个电流同时加载到两段 DFB 激光器上时,从 Y 形波导端输出的光谱具有双模分布,双模频率的差值可以拍频产生微波频段的信号.通过调节两段 DFB 的注入电流,微波信号的频率可以在 13~42GHz 之间快速连续调谐.这种基于 Y 形波导的两段 DFB 并联的拍频光源比传统的双段级联 DFB 器件有较好的光学和电学隔离,可以作为光学拍频源的一种新的实现方法.

**关键词:** 分布反馈激光器; Y 形波导; 单片集成; 量子阱混杂; 拍频; 微波信号产生

**PACC:** 7820; 4265K; 4260B

**中图分类号:** TN248.4

**文献标识码:** A

**文章编号:** 0253-4177(2007)S0-0525-04

## 1 引言

对光通信系统而言,微波信号广泛地应用于高频信号调制、时钟信号恢复等方面<sup>[1]</sup>.利用光学的方法产生光载波的微波信号<sup>[2]</sup>容易达到很高的频率(已有的报道为 200GHz<sup>[3]</sup>),1992 年 Martin Möhrle 和 Bernd Sartorius 的小组利用半导体激光器中自脉动(self-pulsation)的拍频原理制作出两段级联的分布反馈(distributed feedback,DFB)激光器,可以获得 2~10GHz 的微波信号<sup>[2]</sup>.之后,两段级联 DFB 激光器的自脉动受到广泛关注,基于两段级联 DFB 激光器的自脉动拍频理论得到不断完善<sup>[3,4]</sup>.

本文有别于已报道的两段 DFB 激光器的级联结构,设计了一种新的两段 DFB 激光器拍频器件,使用 Y 形波导实现两段 DFB 激光器的集成,它的优点是将两个 DFB 激光器分开,减少了它们之间的光串扰,增强了电学隔离.我们针对 Y 形波导的结构使用束流传播法(beam propagation methods, BPM)方法进行了模拟,利用计算得到的 Y 形波导结构参数实际制作出了两段 DFB 激光器和 Y 形波导单片集成的器件,对其拍频性能做了初步测试,并给出了一定结论.

## 2 器件的设计和制作

### 2.1 Y 形波导的设计

我们采用 S-bend 形式的脊形 Y 形波导结构,其横截面结构和顶视图如图 1 所示.传输损耗主要体现在波导弯曲损耗和散射损耗,而它们决定于宽度  $W$ 、曲率半径  $R$  和间距  $D$ (长度  $L$  由  $R, D$  确定).

只有当  $W \leq 2\mu\text{m}$  时为单模工作,而  $W$  太小则会减小波导与光纤的耦合效率,提高制作工艺的难度,所以取  $W = 2\mu\text{m}$ .

以波导的本征单模入射 DFB 激光器端,在 Y 形波导输出端监测光在波导传输过程中的波导功率(waveguide power)和总功率(total power).

固定  $R = 4\text{mm}$ ,扫描  $D/2$  结果如图 2 所示.在  $D/2$  小于  $5\mu\text{m}$  时,Y 形波导的两个分支存在严重的耦合,而  $D$  若取得过大,则器件尺寸过大,不利于小型化并增加传输损耗,因此我们选取  $D/2 = 10\mu\text{m}$ .

固定  $D/2 = 10\mu\text{m}$ ,扫描  $R$  结果如图 3 所示.在  $R = 4\text{mm}$  时,Y 形波导的 S-bend 弯曲损耗非常严重,而  $R > 9\text{mm}$  时,传输功率基本不随  $R$  变化.考虑器件尺寸和波导内部随传输距离增加的损耗, $R$  不宜过大,我们取  $R = 4\text{mm}$  为宜.

\* 国家自然科学基金资助项目(批准号:90401025)

<sup>†</sup> 通信作者, Email: wanglu@red.semi.ac.cn

2006-11-27 收到

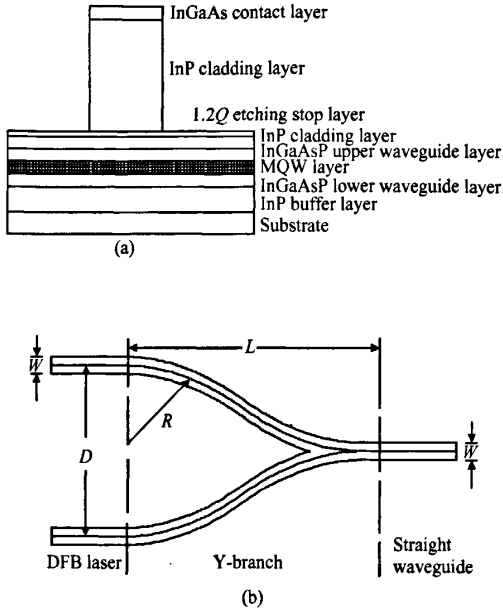


图 1 Y 波导示意图 (a)脊形横结构; (b)Y 波导顶视图  
Fig.1 Sketch of Y-branch (a) Cross-section of the ridge; (b) Planform of Y-branch

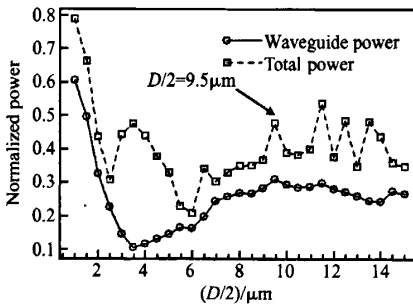


图 2 Y 形波导功率随 D 的变化的模拟结果 (R = 4mm)  
Fig.2 Simulation results of Y-branch power versus D (R = 4mm)

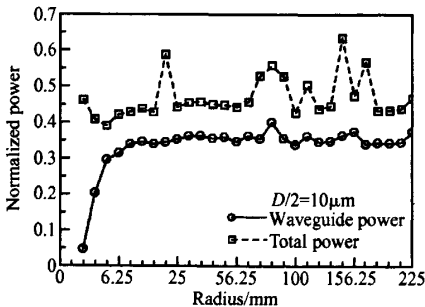


图 3 Y 形波导功率随 R 的变化的模拟结果  
Fig.3 Simulation results of Y-branch power versus R

### 2.2 器件制作

由于需要单片集成,我们选用量子阱混杂 (quantum well intermixing, QWI) 技术实现 Y 形波导区的波长偏调. 量子阱混杂技术是一种生长后处理技术,通常包括 3 个步骤: (1) 在量子阱材料的表层产生大量的点缺陷,例如 P 离子注入; (2) 在某种激励条件下,例如快速热退火 (rapid thermal annealing, RTA) 促使点缺陷向量子阱区域移动; (3) 点缺陷的移动诱导量子阱/垒材料的组分原子在界面处发生互混杂,导致材料组分发生变化,从而使带隙波长蓝移.

在 InP 衬底上使用金属有机气相外延 (metal organic vapor phase epitaxy, MOVPE) 进行外延生长,在外延片表面热氧化淀积 SiO<sub>2</sub>, 并光刻腐蚀出离子注入掩模图形, SiO<sub>2</sub> 保护 DFB 激光器区不注入,外延结构和注入区域如图 4 所示.

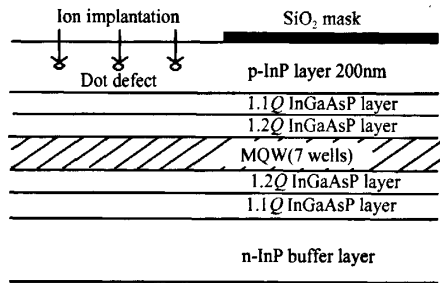


图 4 外延结构和注入区域  
Fig.4 Epitaxial structure and ion implantation area

进行 P 离子注入,之后使用 SiO<sub>2</sub> 保护片子表面进行 RTA. QWI 前后的光致发光谱显示, Y 形波导区波长蓝移 130nm, 而 DFB 激光器区的波长和发光质量没有明显变化. 在 DFB 激光器区的 1.1Q InGaAsP 上限制层上制作一级布拉格光栅, 波长约为 1.55μm. 去掉剩余区域的 p-InP, 使用 MOVPE 进行二次外延, 依次生长的 i-InP 层、1.2Q 刻蚀停止层、p-InP 上包层和 p<sup>+</sup>-InGaAs 接触层. 依据之前 Y 形波导参数的计算结果, 以 SiO<sub>2</sub> 为掩模, 使用反应离子刻蚀 (reactive ion etching, RIE) 和湿法选择腐蚀技术制作出脊形波导. 之后做电隔离和电极. DFB 激光器区长 300μm, Y 形的弯曲波导区长 400μm, Y 形的直波导长 450μm, 器件全长为 1150μm.

### 3 测试结果

当加在两段 DFB 激光器上的电流高于阈值且

相差大于 20mA 时,从光谱上可以清楚地看到两个 DFB 激光器的模式,这两个模式的拍频可以形成微波频段的光载波信号,微波频率为  $f = c\Delta\lambda/\lambda^2$ ,其中  $c$  为真空光速, $\lambda$  为 DFB 激光器中心波长, $\Delta\lambda$  为两段 DFB 激光器模式之差,图 5 为拍频得到的  $f = 26.640\text{GHz}$  的频谱图。

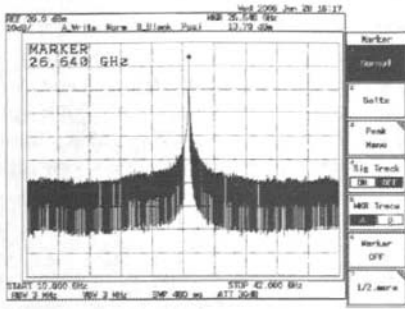


图 5 拍频得到的  $f = 26.640\text{GHz}$  的频谱图  
Fig.5 Spectrum of  $f = 26.640\text{GHz}$  by beat-frequency

当固定一个 DFB 激光器的注入电流,扫描另一个 DFB 激光器的注入电流时, $\Delta\lambda$  随扫描电流而变化,如图 6 所示。

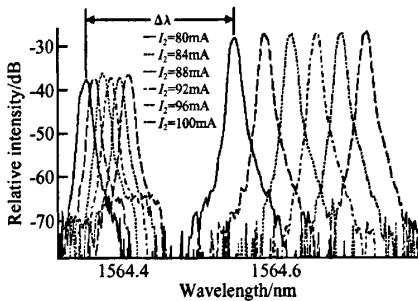


图 6 固定一段 DFB 激光器的电流为 60mA,另一电流从 80 至 100mA 扫描时的光谱  
Fig.6 Spectra of  $I_1 = 60\text{mA}$  and changing  $I_2$  from 80 to 100mA

因此  $f$  能通过电流快速连续调谐,我们的器件可以达到 13~42GHz 的连续调谐,测试结果如图 7 所示.这种器件由于 Y 形波导的存在而减少了 DFB

激光器之间的串扰,但同时也引入了一定的相位不确定性,测试显示此器件的相位噪声稍大,这将在今后的工作中加以改进。

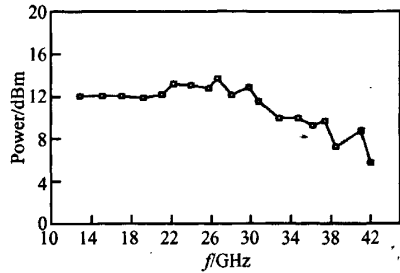


图 7 集成器件拍频产生的连续调谐的微波频谱  
Fig.7 Continuous tunable microwave frequency produced by the integrated device

### 4 结论

本文通过采用 Y 形波导集成了两段 DFB 激光器,提出了一种新型拍频微波源结构.通过对 QWI 中离子注入的计算和 RTA 的试验,获得 130nm 的带隙偏调.通过对 Y 形波导结构的 BPM 模拟和 RIE 刻蚀工艺研究,获得良好的 Y 波导传输性能.最终的器件结果可以得到 13~42GHz 快速连续调谐的微波信号。

致谢 感谢北京大学王子宇教授在拍频测试方面的帮助,感谢北京大学陈妮兮教授在器件测试方面的悉心指教。

### 参考文献

- [ 1 ] Wang Xinhong, Mao Weiming, Al-Mumin M, et al. Optical generation of microwave/millimeter-wave signals using two-section gain-coupled DFB lasers. IEEE Photonics Technol Lett, 1999, 11(10):1292
- [ 2 ] Möhrle M, Feiste U, Horer J, et al. Gigahertz self-pulsation in 1.5μm wavelength multisection DFB lasers. IEEE Photonics Technol Lett, 1992, 4(9):976
- [ 3 ] Möhrle M, Sartorius B, Bornholdt C, et al. Detuned grating multisection-RW-DFB lasers for high-speed optical signal processing. IEEE J Sel Topics Quantum Electron, 2001, 7 (2):217
- [ 4 ] Al-Mumin M A, Li G F. Self-consistent simulation of self-pulsating two-section gain-coupled DFB lasers. IEEE J Quantum Electron, 2005, 41(4):525

## Investigation on Monolithic Integration of Distributed Feedback Lasers and Y-Branch for Microwave Generation\*

Wang Lu<sup>†</sup>, Xie Hongyun, Zhao Lingjuan, Pan Jiaoqing, Zhou Fan, Bian Jing,  
Wang Lufeng, Zhu Hongliang, and Wang Wei

(*Institute of Semiconductors, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100083, China*)

**Abstract:** Two distributed feedback (DFB) lasers, which have the same period grating, integrated monolithically with Y-branch waveguide are designed and fabricated. The peak wavelength of 1565nm and side mode suppression ration (SMSR) of over 30dB is realized on the Y-branch side at the driving current injected into DFB lasers separately. The two different longitudinal mode wavelengths are detected at the 20mA difference of the driving current simultaneously injected into two DFB lasers and the two modes can generate a microwave by beat-frequency. The microwave frequency can be rapidly tuned between the range of 13 and 42GHz by varying driving current from 10 to 20mA. The Y-branch based microwave generation device of twin DFB lasers has better optical and electrical isolation compared with traditional device of two-section DFB lasers, so it can be considered as a novel approach of beat-frequency.

**Key words:** distributed feedback laser; Y-branch; quantum well intermixing; beat-frequency; microwave generation

**PACC:** 7820; 4265K; 4260B

**Article ID:** 0253-4177(2007)S0-0525-04

\* Project supported by the National Nature Science Foundation of China (No.90401025)

<sup>†</sup> Corresponding author. Email: wanglu@red.semi.ac.cn

Received 27 November 2006