

文章编号: 0258-7025(2001)12-1057-04

# 单脊条形可调谐电吸收调制 DFB 激光器<sup>\*</sup>

刘国利 王 圩 张静媛 陈媿兮 汪孝杰 朱洪亮

(中国科学院半导体研究所光电子国家工艺中心 北京 100083)

**提要** 报道了一种波长可热调谐的电吸收调制分布反馈激光器(Electroabsorption modulated distributed feedback laser, EML)。在激光器条形的侧面淀积一薄膜加热器, EML 实现了 2.2 nm 的连续调谐。在调谐范围内, 激光器输出功率的变化小于 3 dB。采用端面有效反射率方法和耦合波理论的计算表明: 采用相调制方法, 可实现调谐范围达 3.2 nm 的 EML。如果热调谐与相调谐方法结合, 可在较宽范围内实现波长快速调谐的 EML。

**关键词** DFB 激光器, 电吸收调制器, 单片集成, 热调谐, 相调谐

**中图分类号** TN 248.4 **文献标识码** A

## Wavelength Tunable Single Ridge Waveguide Electroabsorption Modulated DFB Laser

LIU Guo-li WANG Wei ZHANG Jing-yuan

CHEN Wei-xi WANG Xiao-jie ZHU Hong-liang

(National Research Center for Optoelectronic Technology, Institute of Semiconductors, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100083)

**Abstract** A new type wavelength tunable electroabsorption modulated DFB laser (T-EML) by using a thin-film heater is proposed and successfully fabricated. The EML tuning range amounts to 2.2 nm with a 3.8 nm/W tuning efficiency. In the tuning range, the EML output power variation is less than 3 dB, the extinction ratio variation is very little and the side mode suppression is maintained more than 30 dB. A wavelength fast tunable EML by using phase tuning is also proposed. By using the facet effective reflectivity method and the coupling wave theory, the tuning range of the phase tuning EML is about 3.2 nm from calculation. A wide range and fast tunable EML can be achieved by using thermal and phase tuning.

**Key words** DFB laser, electroabsorption modulator, monolithic integration, thermal tuning, phase tuning

## 1 引 言

动态单模分布反馈激光器(DFB-LD)是高速光纤通讯的首选光源。随着 internet 的迅猛发展,对光纤的传输容量要求越来越大,光信号的传输速率-激光器的调制速率要求达到 2.5 Gbit/s, 10 Gbit/s 乃至 40 Gbit/s。然而传统的电流直接调制方式会引起 DFB 激光器很大的波长啁啾<sup>[1]</sup>, 成为限制高速光信号传输距离的首要因素。例如:在 2.5 Gbit/s 系统中,采用直调 DFB 激光器,在标准的 G. 652 单

模光纤中,其无中继传输距离仅为 ~100 km;在 10 Gbit/s 的系统中,传输距离将降至十几 km 甚至更短。为此,迫切需要减小动态单纵模激光器的波长啁啾。

近年来,DFB 激光器单片集成电吸收调制器(DFB laser monolithic integrated electroabsorptive modulator, DFB + EAM, or Electroabsorption Modulated DFB Laser, EML)成为高速光纤传输系统中一种最有前途的光源。目前, Fujitsu 公司采用 EML 已在传输速率为 2.5 Gbit/s 系统中实现了 1200 km 无整形的传输<sup>[2]</sup>, Lucent 公司实现了 20 × 2.5 Gbit/s 680 km 的传输<sup>[3]</sup>, 这些实验证明:在传输系统中采用 EML 可大大降低成本。因此 EML 成为世界各大通讯公司的研究热点<sup>[4-6]</sup>, 但这些 EML 大都

<sup>\*</sup>“863”高技术计划(编号 307-11-I(15))和国家自然科学基金重大基金(编号 69896260)资助项目。

收稿日期 2000-10-08;收到修改稿日期 2000-11-13

采用半绝缘 InP 掩埋的条形结构以提高激光器与调制器之间的隔离、减小调制器的寄生电容。采用半绝缘 InP, 不仅加大器件的制作难度、影响器件的寿命, 而且增加了器件的成本。我们最近报道了一种结构简单、性能优良的 EML<sup>[7]</sup>。但随着波分复用 (wavelength division multiplex, WDM) 尤其是密集波分复用 (dense WDM, DWDM) 系统的发展, 国际电信联盟 (International Telecom Union, ITU) 不仅把复用信道的间隔从 3.2 nm 降至 1.6 nm, 0.8 nm 甚至 0.4 nm, 而且对信道频率的偏差提出了更为苛刻的要求 ( $\Delta\lambda < \pm 0.1 \text{ nm}$ ) 因此要求 EML 的波长可调谐, 以便于系统的应用。

关于可调谐 EML (tunable EML, T-EML) 器件, 目前仅有两种结构, 即 AT&T 公司的 T. Tanbun-EK 等报道的采用弯曲波导制作的准连续调谐范围达 3.5 nm 的 EML<sup>[8]</sup> 以及法国电信 D. Delprat 等报道的采用可调谐 DBR 激光器制作的调谐范围达 6 nm 的 DBR + EAM<sup>[9]</sup>。

本文报道了一种新的制作 T-EML 的方法。采用单脊波导结构, 在 EML 的 DFB 激光器的脊波导一侧制作一薄膜电阻, 利用温度的变化, 实现对 EML 波长的调谐; 从理论计算可知, 如在有高反射率的 DFB 激光器一端加一段相位调制区, 可实现对 EML 波长的快速调谐。

## 2 器件制作

T-EML 有源区的材料是采用选择区域生长 (selective area growth, SAG) 的多量子阱<sup>[10]</sup>, 通过优化生长条件, 我们在选择区内外同时得到了半宽在 30 meV 左右的高质量的多量子阱, 为实现高性能器件奠定了基础。热调谐 EML 的结构示意图如图 1(a) 所示, 图 1(b) 是该器件的照片。器件分为两大部分: DFB 激光器和 EA 调制器, 以及 EAM 区的 InP 掩埋窗口, DFB 与 EA 之间的隔离区及薄膜加热器等。

采用与单脊条形 EML 相同的工艺制作 T-EML 波导结构、隔离结构及电极, 详细的制作请参见文献<sup>[7]</sup>。薄膜加热器的长度与 DFB 激光器的长度相当, 两端是两个压焊电极, 与 LD 和 EAM 的电极采用带胶剥离技术 (lift-off) 在一次溅射同时制备。随后, 再次采用 lift-off 技术在 DFB 激光器的脊波导边溅射 Pt/Ti 薄膜电阻, 其中 Pt 厚为 40 nm, Ti 厚 200 nm, 宽度为 20  $\mu\text{m}$ , 薄膜电阻的阻值为 17  $\Omega$ 。

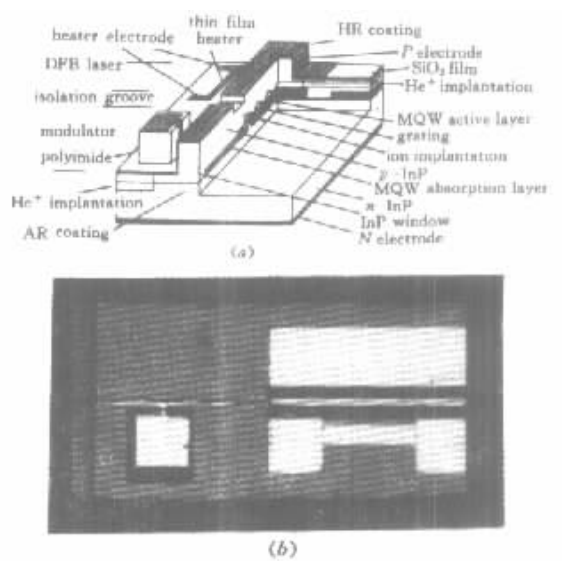


图 1 可调谐 EML 的结构示意图 (a) 及实物照片 (b)  
Fig. 1 Schematic diagram (a) and photography (b) of the tunable EML

## 3 结果与讨论

T-EML 的阈值为  $\sim 20 \text{ mA}$ , 最大输出光功率可达 9 mW, 斜率效率  $\sim 0.1 \text{ mW/mA}$ 。图 2 是 T-EML 的波长和输出光功率随加热器功率的变化曲线。随加热器功率的增加, EML 的激射波长从 1553.4 nm 向长波长方向线性地移动, 当加热器的功率达 580 mW 时, EML 的波长移动至 1555.6 nm, 热调谐的效率为 3.8 nm/W。随加热器功率增加, 激光器的结温升高, 输出光功率减小, 在 100 mA 的驱动电流下, 在调谐范围内, 输出光功率从 7.6 dBm 降至 5.4 dBm, 如图 2 所示; EML 的边模抑制比 (side mode suppression ratio, SMSR) 保持大于 30 dB。

图 3 是 EML 的消光比曲线, 在加热器功率为 0 时, MD 的反向偏压为 0 V  $\sim$  -4 V 时, 消光比大于 17 dB ( $I_{\text{LD}} = 100 \text{ mA}$ )。当加热器工作时, EML 的消光比变化很小。这是因为 DFB 的激射波长与 EAM 激射吸收边的间隔有 60 nm, EML 的波长调谐范围为几个 nm, 因此, 在 EML 调谐范围内, EAM 的吸收系数基本没有变化, 不会对 EML 的消光比产生影响。

由图 1(b) 可以看出, 薄膜加热器与 DFB 激光器的脊波导之间的距离  $\sim 30 \mu\text{m}$ , 如果减小它们之间的距离, 3.8 nm/W 的热调谐效率有望得以提高, 调谐范围也将进一步扩大。

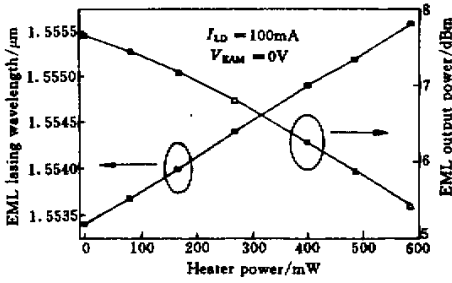


图 2 可调谐 EML 的波长和输出光功率随加热器功率的变化曲线

Fig.2 Lasing wavelength and output power of the tunable EML at different heater power

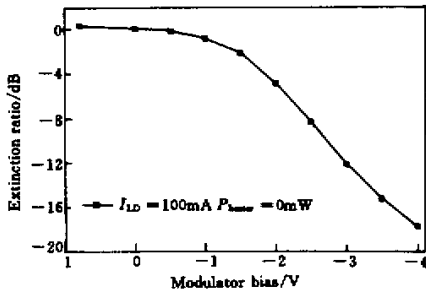


图 3 可调谐 EML 的消光比曲线

Fig.3 Extinction ratio of the tunable EML

热调谐的速率较慢,不适合在波长快速调谐的系统中应用,为此我们提出一种波长可快速调谐的 EML。其原理结构如图 4 所示,在有高反射率的 DFB 激光器一端加一段相位调制区,其余部分与热调谐 EML 没有区别。利用改变相调制区的电流或电压,可以改变该区域的折射率或吸收系数,因此该区域波导中的有效光程将变化,根据端面有效折射率法和耦合波理论<sup>[1]</sup>,这相当于 DFB 激光器在该端面的等效端面相位被改变,因此使 DFB 的激光波长得到调谐。图 5 是根据理论计算得到的 DFB 激光器的激光波长在相调谐时与 Bragg 波长的相对位置关系。从图中可见,对耦合强度( $\kappa L$ )为 3.2 长为 300  $\mu\text{m}$  的 DFB 激光器,当在高反射率一端的端面等效相位在  $2\pi$  范围内变化时,其激光波长可有 3.28 nm 的调谐范围;在图中所示的条件下,当端面相位为  $1.5\pi$  时,DFB 激光器的模式有类似可调谐 DBR 激光器的模式跳变,只是可调谐 DBR 激光器的模式向短波长方向的模式跳变,而 DFB 激光器的

模式只是其 stop-band 两侧的主模之间跳动。

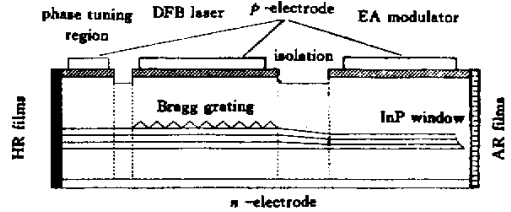


图 4 波长可快速调谐的 EML 的结构示意图

Fig.4 Schematic diagram of the fast tunable EML

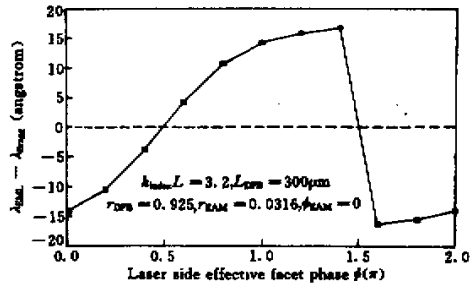


图 5 EML 的波长与相位的关系

Fig.5 EML lasing wavelength at different facet phase

相调谐的波长变换速率完全取决于外调制的速率,由于调相区的尺寸小,因此寄生电容小,其调制速率可大于激光器的调制速率,因而能够满足需要波长快速转换的系统的要求。把热调谐和相调谐结合应用于可调谐 EML,可在较大范围内实现波长的快速调谐。

### 4 结 论

报道了采用热调谐方法制作的 EML,调谐范围达 2.2 nm,在调谐范围内输出光功率的变化小于 3 dB,边模抑制比保持大于 30 dB,消光比的变化很小。提出采用相调谐方式制作波长可快速调谐的 EML,并采用端面有效折射率法和耦合波方程,计算得到调谐范围可达 3.2 nm 的相调谐 EML。若结合热调谐和相调谐两种方法,可在较大的范围内实现波长可快速调谐的 EML。

### 参 考 文 献

1 R. A. Linke. Modulation induced transient chirping in single frequency lasers. *IEEE J. Quantum Electron.*, 1985, **QE-21**(6): 593~597

- 2 N. Kobayashi , A. Noda , T. Watanabe *et al.* . 2.5 Gb/s-1200-km transmission of electroabsorption modulator-integrated DFB laser with quarter-wavelength-shifted corrugation. *IEEE Photon. Technol. Lett.* , 1999 , **11**( 8 ) : 1039 ~ 1041
- 3 L. J. P. Ketelsen , J. E. Johnson , D. A. Ackerman *et al.* . 2.5 Gb/s transmission over 680 km using a fully stabilized 20 channel DBR laser with monolithically integrated semiconductor optical amplifier , photodetector and electroabsorption modulator. in 25th Anniversary Optical Fiber Communication Conference ( OFC' 2000 ) Technical Digest , Baltimore Maryland , March 2000 , Post deadline Papers PD14
- 4 M. Aoki , M. Suzuki , H. Sano *et al.* . InGaAs/InGaAsP MQW electroabsorption modulator integrated with a DFB laser fabricated by band-gap energy control selective area MOCVD. *IEEE J. Quantum Electron.* , 1993 , **29**( 6 ) : 2088 ~ 2096
- 5 T. Tanbun-Ek , Y. K. Chen , J. A. Grenko *et al.* . Integrated DFB-DBR laser modulator grown by selective area metalorganic vapor phase epitaxy growth technique. *J. Cryst. Growth* , 1994 , **145** : 902 ~ 906
- 6 H. Takeuchi , K. Tsuzuki , K. Sato *et al.* . Very high speed light-source module up to 40 Gb/s containing an MQW electroabsorption modulator integrated with a DFB laser. *IEEE J. Selective Topics in Quantum Electron.* , 1997 , **3**( 2 ) : 336 ~ 343
- 7 LIU Guo-li , WANG Wei , XU Guo-yang *et al.* . Monolithic integrated single ridge stripe electroabsorption modulated DFB lasers using selective area LP-MOVPE. *Chinese J. Lasers* ( 中国激光 ) , 2001 , **A28**( 4 ) : 321324 ( in Chinese )
- 8 T. Tanbun-Ek , R. People , T. Fullowan *et al.* . Tunable electroabsorption modulated laser integrated with a bent waveguide distributed-feedback laser. *IEEE Photon. Technol. Lett.* , 1997 , **9**( 5 ) : 563 ~ 565
- 9 D. Delprat , A. Ramdane , L. Silvestre *et al.* . 20-Gb/s integrated DBR laser-EA modulator by selective area growth for 1.55- $\mu\text{m}$  WDM applications. *IEEE Photon. Technol. Lett.* , 1997 , **9**( 7 ) : 898 ~ 900
- 10 LIU Guo-li , WANG Wei , ZHANG Bai-jun *et al.* . High quality InGaAsP MQW by selective area growth. *Chinese Journal of Semiconductors* ( 半导体学报 ) , 2001 , **22**( 5 ) : 609612 ( in Chinese )
- 11 LIU Guo-li , WANG Wei , WANG Xiao-jie *et al.* . Low wavelength shift electroabsorption modulated DFB laser. *Chinese Journal of Semiconductors* ( 半导体学报 ) , 2001 , **22**( 5 ) : 609612 ( in Chinese )