

文章编号: 0258-7025(2001)04-0321-04

选区外延制作单片集成单脊条形电吸收 调制 DFB 激光器*

刘国利 王 圩 许国阳 陈媿兮 张佰君 周 帆 张静媛 汪孝杰 朱洪亮

(国家光电子工艺中心 中国科学院半导体研究所 北京 100083)

提要 报道了采用选区外延生长技术制作的可实用的单脊条形电吸收调制 DFB 激光器。激光器的阈值为 26 mA, 最大光功率可达 9 mW, 消光比可达 16 dB。减小端面的光反馈后, 从自发发射谱上观察不到波长随调制电压的变化, 调制器部分的电容为 1.5 pF, 初步筛选结果显示阈值、隔离电阻、消光比基本没有变化, 可应用在 2.5 Gb/s 的长途干线光纤传输系统上。

关键词 选区外延, LP-MOVPE, DFB 激光器, 电吸收调制器, 脊型波导, 单片集成

中图分类号 TN 248.4 文献标识码 A

Monolithic Integrated Single Ridge Stripe Electroabsorption Modulated DFB Lasers Using Selective Area LP-MOVPE

LIU Guo-li WANG Wei XU Guo-yang CHEN Wei-xi ZHANG Bai-jun

ZHOU Fan ZHANG Jing-yuan WANG Xiao-jie ZHU Hong-liang

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

Abstract The monolithic single ridge stripe electroabsorption modulated DFB laser (EML's) fabricated by selective area LP-MOVPE is reported. The threshold current of the EML's is 26 mA; the maximum output power is about 9 mW; the extinction ratio is more than 16 dB; no wavelength shift with modulator bias is observed from the ASE spectrum after the optical feedback being reduced; the capacitance of the modulator part is 1.5 pF. No obvious changes of threshold current, isolation resistance and extinction ratio are observed after the preliminary aging test. The EML's can be used in the 2.5 Gb/s long haul fiber communication systems.

Key words selective area growth, LP-MOVPE, DFB laser, electroabsorption modulator, ridge waveguide, monolithic integration

1 引 言

电吸收调制 DFB 激光器 (electroabsorption-modulated DFB laser, EML) 是利用量子限制 Stark (QCSE) 效应把静态连续工作的分布反馈激光器 (DFB-LD) 与动态工作的电吸收调制器 (EA-MD) 集成在一块芯片上, 由于它体积小, 结构紧凑, DFB-LD 与 EA-MD 之间的耦合效率高, 尤其是低的波长啁啾, 使其作为高速、远距离、波分复用 (WDM) 光通信

系统的光源而在发达国家得到广泛的研究和开发^[1~4]。

制作 EML 主要有两种不同的技术, 即: 激光器与调制器的有源区分别生长的 Butt-joint 技术^[4,6], 和选区外延 (SAG: selective-area-growth) 技术^[1~3,5]。Butt-joint 技术允许分别优化生长激光器和调制器的结构, 但是激光器与调制器的对接部位的晶体质量往往欠佳, 造成激光器与调制器之间的耦合效率低, 亦影响了激光器的可靠性, 而且反复的光刻和外延工艺增加了生产成本。而 SAG 技术则可在氧化物图形衬底上一次外延就能同时生长出具有能带差异的激光器与调制器两个区域。因此, SAG 技术可大大提高 EML 激光器与调制器之间的耦合效率和可

* 863 高技术计划 (项目编号 307-11-1(15)) 和国家自然科学基金 (批准号 69896260) 资助项目。

收稿日期 2000-01-31; 收到修改稿日期 2000-03-24

靠性 ;当然在 SAG 技术中激光器与调制器结构同时优化有一定的困难。本文正是解决了这一难题而得到了较满意的结果。

我们通过优化材料的 SAG 生长条件和激光器的整体结构 制作了低阈值、高消光比、低波长漂移、小电容、可靠性高的可应用于 2.5 Gb/s 的单脊条形结构的 InGaAsP 电吸收调制 DFB 激光器。

2 器件结构及制作

以前我们曾报道过采用 SAG 制作的 BH 结构的 EML^[5],但器件的整体性能不能达到实用要求,阈值较高、消光比低、出光效率低、隔离电阻低、制作工艺复杂,因此我们从材料的生长和结构上对 EML 进行优化。结构上采用单脊条形制作 EML,不同于半绝缘 InP 掩埋异质结构(BH)^[1,2],*p* 型 InP-BH 结构^[3]和 *p*-InP/*n*-InP-BH 结构^[4-6],这种结构具有制作工艺相对简单、易操作、成本低和可靠性、重复性高的特点。器件的整体结构和多量子阱(MQW)能带结构如图 1 所示,我们采用三次 LP-MOCVD 外延生长,制作了单脊条形波导结构 EML。

$W_m = 8 \mu\text{m}$ 为 SiO₂ 掩蔽区, $W_g = 8 \mu\text{m}$ 为 SAG 生长区, SAG 生长区域是 LD 区域,长为 600 μm ;非选择生长区域为 MD 区域,长为 600 μm 。随后采用 LP-MOVPE 生长如图 1(b)所示的 MQW 结构;依次为非掺杂 InGaAsP 下波导层($\lambda = 1.1 \mu\text{m}$,厚为 150 nm)非掺杂 6 周期量子阱层,非掺杂 InGaAsP 上波导层($\lambda = 1.1 \mu\text{m}$,厚为 150 nm)。其中,量子阱层的垒为 -0.3% 的张应变 InGaAsP(厚为 7 nm, $\lambda = 1.1 \mu\text{m}$)阱为匹配的 InGaAsP 层(厚为 9 nm, $\lambda = 1.6 \mu\text{m}$)。

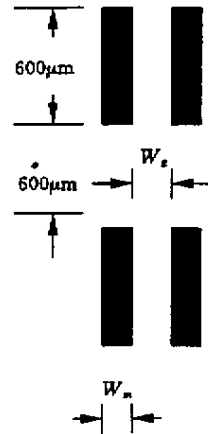


图 2 SAG 生长所用的 SiO₂ 图形
 W_m 代表 SiO₂ 宽度, W_g 代表生长区域宽度
Fig.2 SiO₂ mask pattern for SAG
 W_m : width of SiO₂ mask, W_g : width of growth region

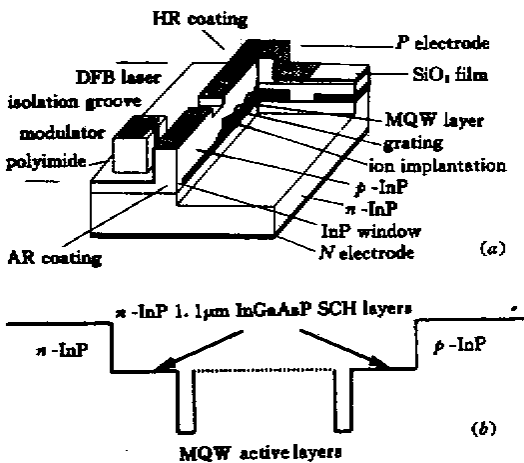


图 1 电吸收调制 DFB 激光器器件结构示意图 (a) 和 EA-MD 有源区能带结构示意图 (b)

Fig.1 Electroabsorption modulated DFB laser schematic of structure (a) and schematic of MQW energy band (b)

2.1 MQW 的选择区域生长

为制作 EML 的有源区,首先在掺 S 的 (100) 晶向 *n*-InP 衬底上用 AIXTRON-200 型 LP-MOVPE 生长 *n*-InP 缓冲层,在其上用 PECVD 淀积一层 SiO₂,沿 [110] 方向刻出如图 2 所示的 SiO₂ 掩膜图形;其中的

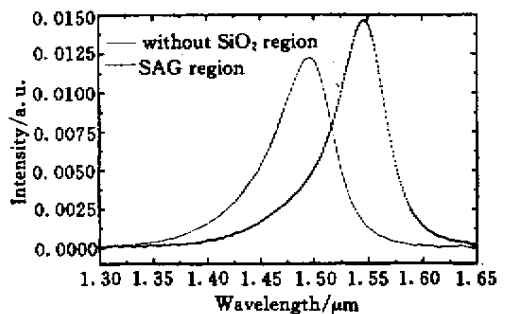


图 3 选区外延结构的 LD 与 MD 区域的室温 PL 谱
Fig.3 PL spectra of MQW by SAG at RT

图 3 是上述结构的室温 PL 谱;实线代表 MD 区域,即非选择生长区,波长为 1.496 μm ,峰值半高宽 (FWHM) 小于 37.2 meV;虚线代表 LD 区域,即选择生长区,波长为 1.547 μm ,FWHM 为 28.7 meV;荧光峰在 LD 区域的位置比在 MD 区域的向长波方向移动了近 50 nm,实现了 MD 和 LD 之间带隙偏调 27 meV,从而可使 EML 在低驱动电压下达到高消光比,

又可降低 EA 的插入损耗。

2.2 EML 的制作

首先采用全息曝光技术在 LD 区域制作周期为 240 nm 的一级 Bragg 光栅,使激光器的激射峰与材料的增益谱的峰位吻合,以使激光器的增益达到最大,降低阈值。

采用 LP-MOVPE 在光栅上生长 p -InP 覆盖层和 p^+ -InGaAs 接触层,确保调制器有较高的反向击穿电压,激光器有低的串联电阻。随后采用常规工艺制作宽度为 $2\ \mu\text{m}$ 的单脊条形波导及电极,在 MD 区域制作高频电极图形并在电极下填充 polyimide 以减少 MD 的寄生电容,提高调制速率。在 LD 与 MD 之间宽度为 $50\ \mu\text{m}$ 的区域,采用化学腐蚀方法和选择离子注入相结合,形成电学隔离沟以减小激光器与调制器之间的电学串扰。

为减小调制器端的光反馈,在 MD 的出光端面采用图 1(a)所示的 InP 掩埋窗口结构,并镀增透膜(AR),在 LD 端镀高反射膜(HR),最后把 EML 解理成 LD 腔长为 $300\ \mu\text{m}$,MD 腔长为 $200\ \mu\text{m}$ 的管芯。

3 器件结果测试及讨论

MD 的反向击穿电压大于 12 V,激光器的串联电阻 $\sim 5\ \Omega$,激光器与调制器之间的电隔离电阻在采用离子注入后大于 $100\ \text{k}\Omega$,可以满足降低激光器与调制器之间的电学串扰要求^[4]。

EML 的调制速率是由 MD 部分的电容所决定的,我们采用 HP4284A 电容仪在 1 MHz 的频率测试 EML 的电容。图 4 是 EML 的 MD 部分的 C - V 曲线。在 0 V 时,电容为 2.2 pF, -5 V 时电容等于 1.49 pF,因此可以满足 2.5 Gb/s 传输系统的要求。

EML 的激射波长在 1 mW 的输出时为 $1.55264\ \mu\text{m}$,此时激光器的边模抑制比(SMSR)大于 32 dB。采用大面积 Ge 探测器测量 EML 的调制器端的输出光功率。图 5 是 EML 的输出在不同 MD 反向偏压下的光强-电流曲线(a)及消光比曲线(b)。图 5(a)中 EML 的阈值为 26 mA,0 V 时最大光功率为 9 mW,斜率效率为 $0.082\ \text{mW}/\text{mA}$;图 5(b)中,偏压在 $0\sim -3\ \text{V}$ 时,消光比大于 12 dB($I_{\text{LD}} = 150\ \text{mA}$),当 MD 的反向偏压为 $0\sim -4\ \text{V}$ 时,消光比大于 16 dB($I_{\text{LD}} = 150\ \text{mA}$)。

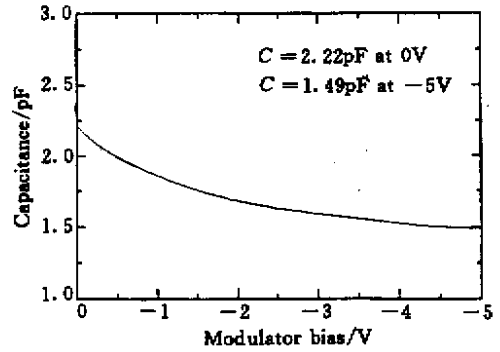


图 4 EML 的电容-电压曲线

Fig.4 C-V curve of EML

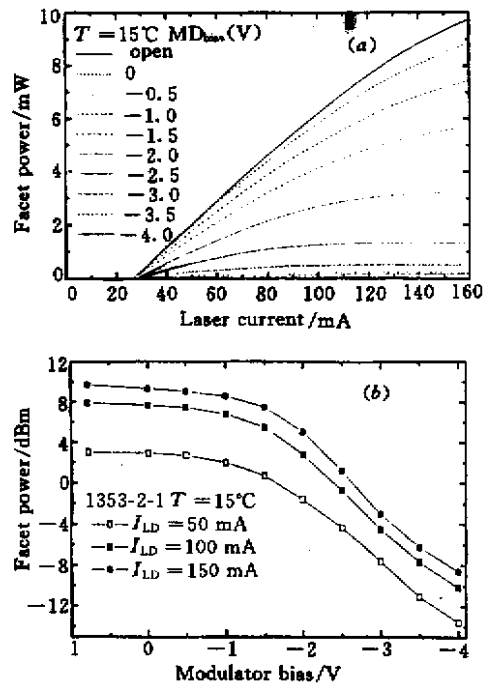


图 5 EML 的光强-电流曲线(a)和消光比曲线(b)

Fig.5 L - I characteristics (a) and attenuation characteristics (b) of EML

光反馈是影响 EML 动态波长啁啾的主要因素之一,因此成为 EML 的一个重要参数。随 MD 偏压的改变,反馈光的大小不仅影响 DFB 激光器的激射阈值条件,而且改变了光子密度在 DFB 激光器谐振腔内的分布,在光子与电子的相互作用下,DFB 激光器的纵向折射率随之改变,激射波长将随 MD 偏压的改变而发生漂移。静态下,如果光反馈较大,则通过自发发射谱(ASE)可以观察到波长随 MD 偏压的漂移。我们用 Anritsu MS9001B1 型光谱仪在静态下测量 EML 在不同 MD 偏压下的自发发射谱(ASE),在采用 InP 窗口前,即使采用 1% AR 镀膜,波长的漂

移也大于 0.1 nm ;而采用 InP 窗口加 AR 镀膜后 ,波长漂移大大减小 ,图 6 是采用窗口加 AR 镀膜后 ,EML 的波长与 MD 偏压的曲线。在 0 ~ -3 V 之间 ,观察不到波长漂移 ,在 MD 开路到 -3 V 之间 ,波长移动仅为 0.02 nm。表明采用 InP 窗口 ,已经解决了 MD 出光端面的反馈问题 ,能够得到低啁啾的 EML。

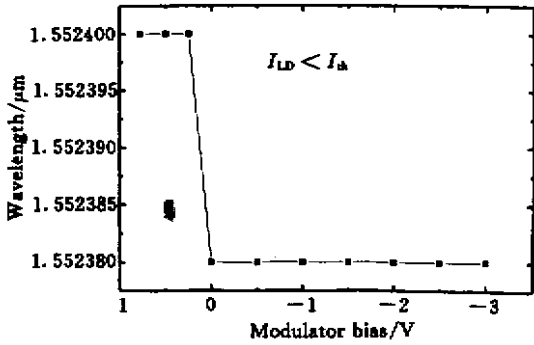


图 6 在 ASE 谱中波长随调制器偏压变化的漂移曲线

Fig.6 Wavelength shift with modulator bias measured from ASE spectrum

对 EML 进行了初步高温热应力筛选 ,条件为 100℃ ,100 mA ,144 h ,EML 的阈值、隔离电阻及光谱没有变化 ,出光功率及消光比仅有不到 0.2 mW 和 0.1 dB 的变化。

从测试结果可看到 ,采用选择区域生长技术 ,制作出结构简单、性能可靠的可用于 2.5 Gb/s 传输系统的电吸收调制 DFB 激光器。

4 结 论

用 SAG 技术可制作用于 2.5 Gb/s 传输系统的

单脊条形波导电吸收调制 DFB 激光器 ,阈值为 26 mA ,消光比达 16 dB ;0 偏压时 ,最大输出 9 mW ;LD 与 MD 的隔离电阻达 100 kΩ ;激光器 MD 部分的电容为 1.5 pF ;减小 MD 出光端面的光反馈后 ,从自发发射谱中没有观察到波长漂移现象。在高温大电流筛选中没有观察到阈值、隔离电阻的变化 ,出光功率的变化小于 0.2 mW ,消光比变化小于 0.1 dB。

参 考 文 献

- 1 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
- 2 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
- 3 H. Yamazaki , Y. Samata , K. Yamaguchi *et al.* . Low drive voltage (1.5 Vp. p.) and high power DFB-LD/modulator integrated light sources using bandgap energy controlled selective MOVPE. *Electron. Lett.* , 1996 , **32** (2) :109 ~ 111
- 4 M. Suzuki , Y. Noda , H. Tanaka *et al.* . Monolithic integration of InGaAsP/InP distributed feedback laser and electroabsorption modulator by vapor phase epitaxy. *J. Lightwave Technol.* , 1987 , **LT-5** (9) :1277 ~ 1285
- 5 Xu Guoyang , Wang Wei , Yan Yuejin *et al.* . Monolithic integration of DFB laser and electroabsorption modulator by selective area growth technology. *Chinese J. Semiconductors* (半导体学报) , 1999 , **20** (8) :706 ~ 709
- 6 Yan Xuejin , Xu Guoyang , Zhu Hongliang *et al.* . Monolithic integration of MQW DFB laser and EA modulator in 1.55μm wavelength. *Chinese J. Semiconductors* (半导体学报) , 1999 , **20** (5) :412 ~ 415