

单片集成式反应离子刻蚀沟槽耦合腔 AlGaAs/GaAs 激光器

张石桥

谭叔明

(太原工业大学激光所, 太原 030024)

(北方交通大学物理系, 北京 100083)

庄婉如 杨培生 陈季英

(中国科学院半导体所集成光电子学重点实验室, 北京 100083)

提要 利用反应离子刻蚀(RIE)技术刻蚀激光器腔面, 获得集成式沟槽耦合腔 AlGaAs/GaAs 激光器, 在室温下实现 CW 稳定单模运转。单模半宽约为 0.23 nm, 边模抑制比达 19 dB, 模间距约 2.5 nm, 单模运转双腔阈值电流为 52 mA。

关键词 反应离子刻蚀, 集成式沟槽耦合腔激光器, 光电子集成电路

Monolithic reactive ion etched groove-coupled-cavity AlGaAs/GaAs laser

Zhang Shiqiao

(Institute of Lasers, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024)

Tan Shuming

(Department of Physics, Northern Jiaotong University, Beijing 100083)

Zhang Wanru, Yang Peisheng, Chen Jiyang

(National Laboratory of Integrated Optoelectronics, Institute of Semiconductors, Academia Sinica, Beijing 100083)

Abstract Monolithic groove-coupled-cavity AlGaAs/GaAs lasers were fabricated by using the technique of reactive ion etched of laser facets. CW stable single mode operation at room temperature were observed. Typical single mode (FWHM) is about 0.23 nm, mode suppression, 19 dB, mode space, 2.5 nm, and two-cavity threshold current of mode operation, 52 mA.

Keywords reactive ion etching, monolithic groove-coupled-cavity laser, optoelectronic integrated circuits

1 引 言

Coldren^[1] 等人最先利用 RIE 技术研制出 InGaAsP/InP RIE 沟槽耦合腔激光器并实现了动态单模运转,之后,激光器腔面的干法刻蚀和耦合腔激光器受到人们的高度重视。但是,有关 AlGaAs/GaAs 激光器腔面的干法刻蚀直到八十年代中后期才有较成功的报道^[2,3]。这主要是由于,在刻蚀中 AlGaAs/GaAs 层中 Al 与残余空气反应生成 Al_2O_3 吸附于刻蚀表面,不但严重影响了刻蚀表面的光洁度,而且阻止了刻蚀的进一步进行,致使掩膜遭到破坏,刻蚀腔面大大倾斜,形不成 F-P 腔。本文作者^[4,5] 选用 SiCl_4 : Ar 混合气体作为刻蚀气体,利用普通 RIE 技术,极好地抑制了 Al_2O_3 的沾污,刻蚀出的激光器腔面同国际上用反应离子束(RIBE)技术获得的刻蚀腔面同样好。本文首次报道利用反应离子刻蚀及湿法化学腐蚀(RIE+WCE)技术研制出的 AlGaAs/GaAs 沟槽耦合腔激光器,研究了其发射特性。

2 器件结构与制作

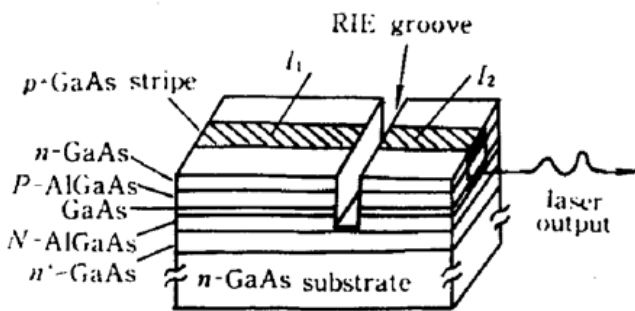
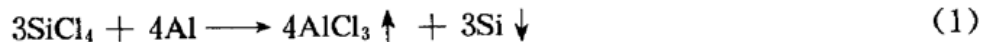


Fig. 1 Schematic of RIE groove-coupled-cavity laser structure

激光器结构如图 1 所示。利用一次液相外延(LPE)技术在 n -GaAs 衬底上以次生长: $5 \mu\text{m}$ 厚 n^+ -GaAs 缓冲层(掺 Te, 浓度为 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$), $0.8 \mu\text{m}$ 厚 N - $\text{Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As}$ 下限制层(掺 Sn, 浓度为 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$), $0.15 \mu\text{m}$ 厚纯 GaAs 有源层(这时阈值电流密度最小, $J_{th} = 1.5 \times 10^3 \text{ A/cm}^2$ ^[6]), $0.8 \mu\text{m}$ 厚 P - $\text{Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As}$ 上限制层(掺 Ge, 浓度 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$)和 $1 \mu\text{m}$ 厚 n -GaAs(掺 Sn, 浓度为 $2 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$)顶层。应当指出,在顶层生长 n -GaAs,而不是象通常那样生长 p -GaAs 是为了利用 n -GaAs 和 P -AlGaAs 的反向 p - n 异质结来抑制漏电流,以进一步减小阈值电流。然后,利用光刻胶 AZ-1350 作掩膜,光刻 $8 \mu\text{m}$ 宽窗口,扩 Zn($650 \text{ }^\circ\text{C}$, 30 min),获得 $8 \mu\text{m}$ 宽的 p -GaAs 条形 p 面电极接触区。最后利用 AZ-1350 作掩膜($180 \text{ }^\circ\text{C}$ 下坚膜),反离子刻蚀沟槽区腔面。

采用 SiCl_4 : Ar 作为刻蚀气体。其中高能量 Ar 用于对刻蚀表面的物理轰击^[4,5], SiCl_4 与 AlGaAs 层中的 Al 反应,生成易挥发性 AlCl_3 和 Si^[4]:



其中 Si 经 Ar 轰击溅射后与 AlCl_3 等残余物一起被真空泵抽走,这样就保证了刻蚀顺利进行。

为使激光器腔面铅直,光滑如镜,除抑制 Al 的氧化以外,还必须保证在光刻制版、甩胶、曝光、显影和坚膜等各道工序中图形边缘的光滑平直程度,同时要控制各层的刻蚀速率尽量接近,否则会在界面处形成台阶。这就要求选择适当的工艺参数:气体成份比、气压、气体流量、射频(rf)功率密度等。它们是: SiCl_4 : Ar = 1.87: 1, 气压 2.6 Pa , 流量 1.8 sccm , rf 功率密度 0.88 W/cm^2 。图 2 为模拟 RIE 激光腔面的 AlGaAs/GaAs/AlGaAs 三层外延片的 RIE 侧壁的扫描电镜(SEM)照片,为观察之便,图中的 GaAs 层较实际的有源层厚。可见,由于 Ar 的轰击作用,腔面不免有损伤,而且 GaAs 层稍有倾斜,AlGaAs 层倾角较大。典型值分别为 $2^\circ \sim 5^\circ$ (GaAs)和 $12^\circ \sim 20^\circ$ (AlGaAs)。然而实际的腔面是在 GaAs 有源层,AlGaAs 层的倾角对激光器



Fig. 2 SEM pictures of RIE sidewall of AlGaAs/GaAs/AlGaAs

应当指出, GaAs 属闪锌矿结构, 两种原子的价键之间有差别, 使得沿不同晶向的腐蚀速率相异。从而 GaAs 的 $\text{SiCl}_4 : \text{Ar}$ 的刻蚀伴有晶向特征, 但这可通过改善刻蚀条件得到抑制。在低气压大功率、大 Ar 成份比和大流量条件下, 由于增大了入射 Ar 的轰击能量和密度, 可有效地抑制以致消除晶像腐蚀现象, 但这时所得的表面比较粗糙。例如在 $\text{SiCl}_4 : \text{Ar} = 1 : 1, 2$ sccm 流量, 0.26 Pa 气压和 0.5 W/cm^2 功率密度下, 刻蚀侧壁完全垂直, 看不到晶向迹象^[7]。在我们所选择的上述条件下, 晶向腐蚀不明显, 刻蚀侧壁损伤小, 而且 AlGaAs 层和 GaAs 层的刻蚀速度接近。这对于 OEIC 器件的制作工艺有重要意义。

为使 GaAs 层的微小倾角得到补偿, 并消除刻蚀侧壁的轰击损伤, 继 RIE 之后, 采用两步湿法化学腐蚀 (WCE) : $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 : \text{H}_2\text{SO}_4 : \text{HCl} = 3 : 1 : 2$ 和 $\text{H}_2\text{SO}_4 : \text{H}_2\text{O}_2 : \text{H}_2\text{O} = 1 : 8 : 1$ 。前者腐蚀图形具有轻微倒台面, 用于对 GaAs 侧壁的补偿; 后者具有铅直抛光作用, 去掉 RIE 腔面损伤。这样, 由 RIE+WCE 技术, 我们获得了接近解理面的激光腔面^[4,5]。

3 器件性质

耦合腔激光器可看作由两个电隔离光耦合的子腔激光器组成。两子腔中的激光相互干涉只有那些同时满足两子腔和耦合槽所成腔的谐振条件的模式才能干涉相长, 大部分其它模式则相消, 与 Gauss 型增益谱共同作用实现单模运转。本文作者^[8]经理论分析得出, 耦合腔激光器在耦合槽宽 $L_g = 2N(\lambda_0/4)$ (λ_0 为单模波长) 这些个别点上单模稳定性不太好外, 都能实现稳定单模运转。这样, 在耦合槽的刻蚀过程中, 就不必要严格控制 $\lambda_0/4 \approx 0.2 \mu\text{m}$ 精度的槽宽, 而且这在目前的工艺条件下也是很难实现的。

图 3 和图 4 为典型 AlGaAs/GaAs 耦合腔激光器 ($\text{T8}^\#$) 的特性曲线。 $\text{T8}^\#$ 激光器的两子腔长和耦合槽宽的设计值分别为 $L_1 = 200 \mu\text{m}$, $L_2 = 40 \mu\text{m}$, $L_g = 1.0 \mu\text{m}$ 。在测试中, 将两子腔激光器的 P 面电极接在一起 (这样便于封装), 即两个子腔是并联接入电路中的。图 3 中 $L-I$ 曲线有一个较宽较平坦的扭曲段。据子腔激光器模型, 由于两个子腔腔长不同, 从而一般两子腔的阈值电流不同, 阈值低的子腔先激射, 如图 3A 段, 随着电流增加, 曲线出现扭曲段 B, 直到阈值高的子腔开始激射。在 A、B 段只有一个子腔激射, 为多模运转如图 4。当高阈值子腔中电流大于其阈值时, 如图 3 C、D 段, 激光器输出迅增, 两子腔激光相干涉, 实现稳定单模运转。 $\text{T8}^\#$ 管多模输出阈值为 28 mA, 第二阈值为 52 mA, 这时为单模输出。注意这两个值并不是两子腔激光器的阈值, 因为它们是并联接入电路中的, 每个管子都有分流, 这两个值都是两子腔分流的

总和。由图 4 可见,对应于图 3 A 段,多模振荡峰值波

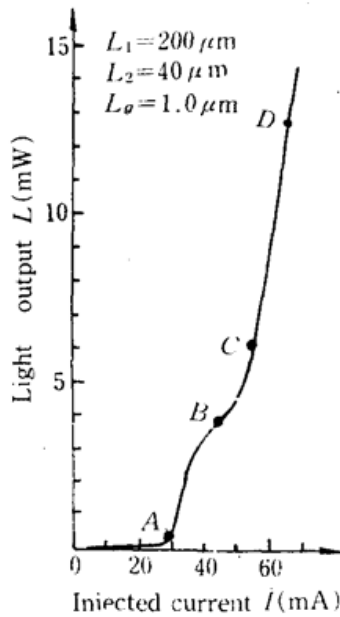


Fig. 3 Typical $L-I$ curve of groove-coupled-cavity lasers ($20\text{ }^{\circ}\text{C}$)

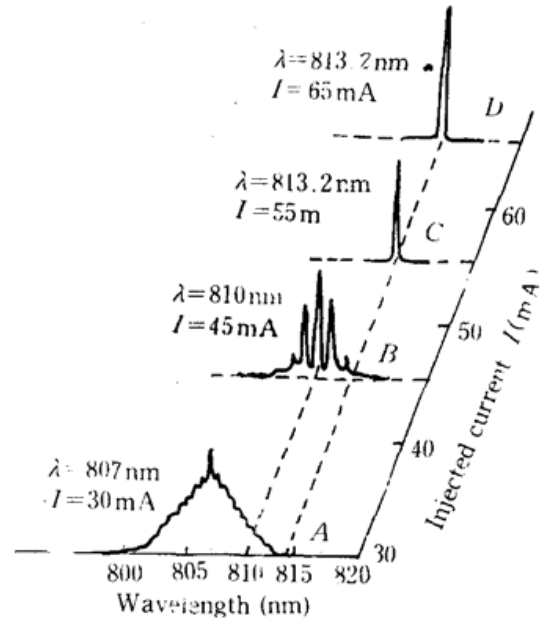


Fig. 4 Typical laser spectra of groove-coupled-cavity lasers ($20\text{ }^{\circ}\text{C}$)

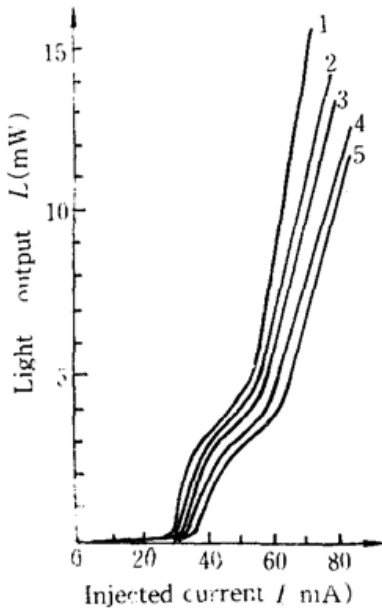


Fig. 5 $L-I$ curves of lasers with different grooves but the same length and short cavity lengths

长 807 nm, 光谱半宽 6 nm, 模间距 0.42 nm; B 段多模振荡中央峰值波长 810 nm, 光谱半宽减至约 2.2 nm, 模间距增至约 1.1 nm, 此时高阈值子腔已接近或开始激射, 在 C 段, 两子腔都激射, 实现单模运转, 峰值波长 813.2 nm, 谱宽减至 0.23 nm, 模间距增至 2.5 nm, 边模抑制比 16 dB; 在 D 段, 光谱与 C 段相同, 峰值波长 813.2 nm, 谱宽 0.23 nm, 模间距 2.5 nm, 但边模抑制比增至 19 dB。可见, 在 C、D 段已实现稳定单模运转。

应该注意到, 这里激射波长为 813 nm 左右, 而不是纯 GaAs 的 850 nm 左右。这是因为 LPE 设备的石墨舟不够严密, 在多层外延时实际上存在混延现象, 即由有源层中实际上带有少量的 Al 所致。

图 5 所示为长、短两子腔长分别相同而 L_g 不同的一组管子的 $L-I$ 曲线。曲线 1~5 的耦合槽宽 (L_g) 依次为 1.0 μm , 1.5 μm , 2.0 μm , 2.5 μm 和 3.5 μm 。随着 L_g 增大, 阈值电流增大, 外微分量子效率减小, 这是因为 L_g 增大后该区的光散射损耗增大之故。各管子的光谱测试情况与图 4 相似, 只是激射波长相异, 这是因为本激光器的运转单模是由两子腔模式的相长干涉所致, 由于解理所带来的误差和 L_g 不同, 两子腔长不可能对应严格全光相同。

对由同一片子所制的解理—解理腔面和刻蚀—解理腔面激光器输出特性的比较结果表明, 用本文所报道的 RIE+WCE 法刻蚀激光器腔面已获得同国际上用 RIBE 法同样好的效果^[5]: 刻蚀—解理腔面激光器的平均阈值电流为 45 mA, 仅为解理—解理腔面激光器 38 mA

的 1.2 倍;平均外微分量子效率为 46%,较解理—解理腔面的 60%仅下降 14%。

参 考 文 献

- 1 L. A. Coldren *et al.*, *IEEE J. Quant. Electr.*, **QE-19**, 1057(1983)
- 2 M. Mannoh *et al.*, *Electr. Lett.*, **21**, 769(1985)
- 3 P. Tihanyi *et al.*, *Electr. Lett.*, **23**, 772(1987)
- 4 张石桥 *et al.*, 吉林大学自然科学学报, 特刊, 217(1990)
- 5 庄婉如 *et al.*, 半导体学报, **12**, 477(1991)
- 6 张石桥 *et al.*, 量子电子学, **7**, 147(1990)
- 7 J. Li *et al.*, *J. Vac. Sci. Technol.*, **B3**, 406(1985)
- 8 张石桥 *et al.*, 中国激光, **17**(激光器件专集), 91(1990)