

沟道台面衬底三段大光腔激光器

李玉东 张崇宁 刘式墉 高鼎三

(吉林大学电子科学系, 长春)

Channeled-mesa substrate three-segmented large optical cavity structure semiconductor lasers

Li Yudong, Zhang Chongming, Liu Shiyong, Gao Dingsan

(Department of Electronic Sciences, Jilin University, Changchun)

提要: 本文报道了一种新型结构的半导体激光器——沟道台面衬底三段大光腔激光器,它具有阈值电流低、高输出功率和易获得基横模单纵模工作的特点。

关键词: 沟道衬底, 台面衬底, 三段, 大光腔激光器

一、引言

为满足激光唱盘、激光记录与印刷和信息处理等领域的需要,稳定的高功率单模激光器一直是人们研究的课题。设计者们通过加强电流限制和光限制^[1]来提高量子效率,减小热效应;在平行结方向引入反导引机制^[2]增加基模的束斑尺寸;用侧向吸收和散射^[3]限制侧向高阶模振荡;采用非吸收窗口^[4,5]减少腔面损伤等办法来获得高功率光输出。在许多高功率激光器中,都尽量减小垂直方向的光功率限制因子,使光进入限制层或波导层内,避免集中在有源层内造成腔面损伤,因而可以提高功率输出。但激光器阈值电流密度与光限制因子成反比关系^[6], $J_{th} \propto 1/\Gamma$, 当光限制因子 Γ 减小时会使 J_{th} 增大,而阈值电流的增加则容易产生热饱和,影响增加功率输出,同时也不利于器件的寿

命和可靠性。

为解决上述矛盾,并能使器件在空间场和频谱上都获得稳定的单模工作,我们提出一种新结构激光器——沟道台面衬底三段大光腔激光器(Channeled-Mesa Substrate Three-Segmented Large Optical Cavity Structure Lasers,或CMS-TSLOC激光器)。这种激光器的结构如图1所示,是在一个台面衬底激光器两端连接两个沟道衬底激光器而形成的一个电学共极光学三段共腔激光器。利用三段腔各自不同的结构,得到不同的光限制因子,即台面衬底区 Γ 较大而沟道区 Γ 较小,这样沟道区的大部分激光可以射入到波导层中增大了出光面积,减少了腔面损伤,提高了输出功率。而中间台面衬底区由于有大的光限制因子,则可以降低器件的阈值电流,从而三段腔互相补充达到低阈值

收稿日期: 1987年4月3日;修改稿收到期: 1988年7月13日。

二、器件制造工艺

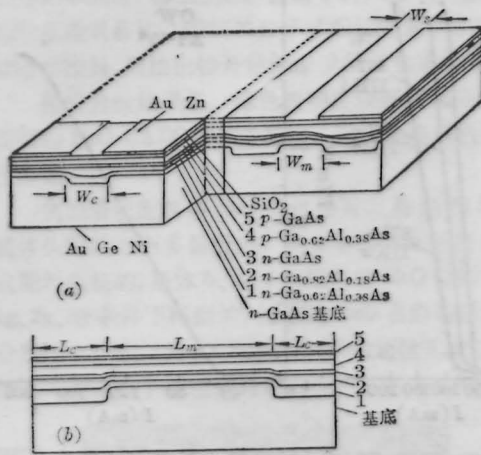


图 1

(a) CMS-TSLOC 激光器示意图; (b) 在 CMS-TSLOC 激光器沟道中心的截面图

高功率的目的。在侧向由有源层和波导层的厚度变化提供弱折射率光限制, 为基横模工作准备了条件, 而三段腔之间的光干涉耦合作用又使激光器易于获得单纵模运行。目前我们研制的这种 CMS-TSLOC 激光器已获得室温连续工作 (CW), 最低直流阈值为 40 mA, 线性功率输出可达 40 mW, 外微量子效率最高为 60% (双面), 获得了 3°C 的直流工作单纵模温度锁定。在 18~70°C 范围内得到了较高的特征温度 $T_0=150^{\circ}\text{C}$, 基横模工作以较窄的远场角 ($30^{\circ}\times 6^{\circ}$) 可保持 16 mW 以上。

首先在晶向为 (100) n^+ -GaAs (掺 Si, $(1\sim 3)\times 10^{18}\text{cm}^{-3}$) 衬底片上, 沿 (011) 方向刻蚀单双交错的倒梯形槽, 深度为 $3\sim 4\mu\text{m}$ 。然后依次外延五层结构: 1. n -Ga_{0.62}Al_{0.38}As, (掺 Te $(1\sim 2)\times 10^{18}\text{cm}^{-3}$); 2. n -Ga_{0.82}Al_{0.18}As (掺 Sn, $(3\sim 5)\times 10^{17}\text{cm}^{-3}$); 3. n -GaAs (非故意掺杂); 4. p -Ga_{0.62}Al_{0.38}As (掺 Ge, $(4\sim 6)\times 10^{17}\text{cm}^{-3}$); 5. p -GaAs (掺 Ge, $1\times 10^{17}\text{cm}^{-3}$)。外延生长温度为 $780\sim 800^{\circ}\text{C}$, 生长第一层时有 $6\sim 8^{\circ}\text{C}$ 的过冷度并且降温速率为 $0.8^{\circ}\text{C}/\text{分}$, 避免台面部分尖角回溶。表 1 给出了在电极条中心处沟道区和台面区外延层厚度, 为便于比较同时也给出了两区的外延层高度差和平面区的层厚。其中沟宽 $W_c=10\sim 14\mu\text{m}$, 台宽 $W_m=14\sim 18\mu\text{m}$ 。非平面衬底表面曲率的大小和正负对液相外延影响很大, 凸面生长速率小而凹面生长速率大^[7,8], 由表 1 看到前两层生长中沟道区比台面区几乎快 3~5 倍。正是利用这一特点我们在沟道区和台面区分别得到厚度差异很大的波导层, 而由于光功率限制因子对波导层厚度的依赖, 导致这两个区域的光限制因子的不同。图 2 是沟道区和台面区外延层次剖面的显微镜照片, 可清楚地看到两区厚度

表 1 沟道区和台面区外延层厚度的比较 (μm , 沟深 $3.5\mu\text{m}$)

区 域	外 延 层				
	n -Ga _{0.62} Al _{0.38} As	n -Ga _{0.82} Al _{0.18} As	n -GaAs	p -Ga _{0.62} Al _{0.38} As	p -GaAs
平面	1.2~1.4	0.25~0.3	0.15~0.2	1.5~1.75	0.8~1.0
台面	0.8~1.0	0.15~0.25	0.1~0.2	1.9~2.2	0.7~0.8
沟道	3.1~3.5	1.0~1.2	0.15~0.25	2.0~2.25	0.8~1.0
沟台高度差	-1.2~-1.0	-0.45~-0.05	-0.4~-0.1	-0.3~0	0.1~0.2

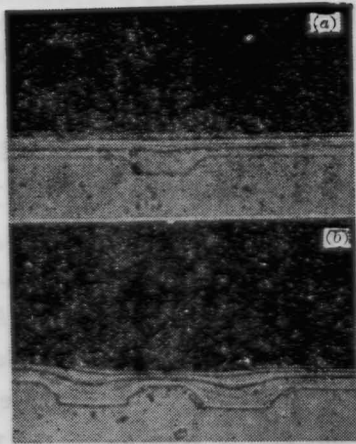


图2 CMS-TSLOC 激光器的横截面照片
(金相显微镜)

(a) 沟道衬底部分; (b) 台面衬底部分

的比例。

制备好的外延片, 经沉积 SiO_2 膜、光刻刻蚀窗口 ($W_s = 8 \sim 10 \mu\text{m}$)、Zn 扩散、蒸发电极等工艺后可解理管芯, 解理位置在沟道区内, 沟道区腔长 $L_c = 30 \sim 50 \mu\text{m}$, 台面区腔长 $L_m = 100 \sim 200 \mu\text{m}$ 。

三、CMS-TSLOC 激光器的特性

1. 阈值特性。腔长为 $180 \mu\text{m} \sim 300 \mu\text{m}$ 的激光器。室温直流工作条件下的阈值电流为 $40 \sim 120 \text{mA}$ 。

2. 连续输出功率特性。图 3 给出了几个 CMS-TSLOC 激光器室温直流工作条件下输出光功率与注入电流的关系曲线。测得的外微分量子效率一般为 $40 \sim 60\%$ (双面)。图 3(a) 中的几个器件线性功率超过 16mW , 而 (b) 中的激光器输出可达 40mW 保持线性。

3. 光场分布。由于 CMS-TSLOC 激光器具有侧向弱折射率限制和出光面积大的特点, 因此能获得稳定的基横模工作和较窄的光发散角, 图 4 所示的 867-17H4 激光器的远场分布已证实了这一点, 基横模保持到 16mW , 水平与垂直的远场半宽分别为 6° 和 30° 。

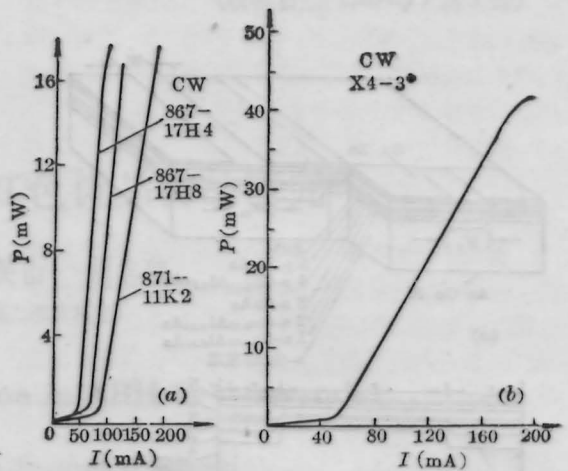


图3 CMS-TSLOC 激光器典型的 $P-I$ 曲线 (CW)

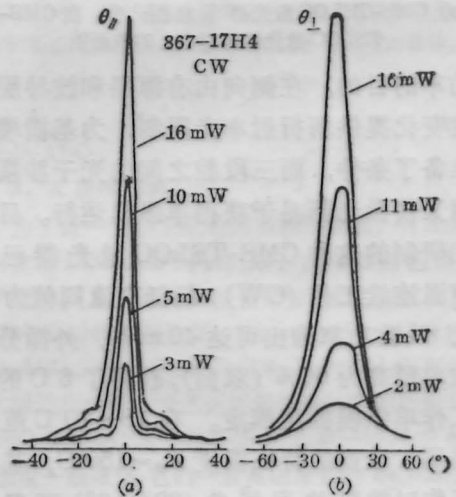


图4 远场图

(a) 平行结平面; (b) 垂直结平面

4. $P-I$ 曲线随温度的变化。图 5 给出了在直流工作时 X4-3# 器件 $P-I$ 曲线随温度变化的实验结果。可以看出随温度升高阈值电流逐渐增大, 但速度不是很快, 在 105°C 时激光器仍然能有 3.7mW 的功率输出。由测得的结果和熟知的经验公式 $I_{th}(T) = I_{th}(T') \exp\left(\frac{T-T'}{T_0}\right)$ (式中 I_{th} 表示阈值电流, T 为工作温度, T' 为参考温度, T_0 是标志激光器温敏性的特征温度)。我们获得的 T_0 在 $18 \sim 70^\circ\text{C}$ 之间约为 150°C , 在 $70 \sim 100^\circ\text{C}$ 绝

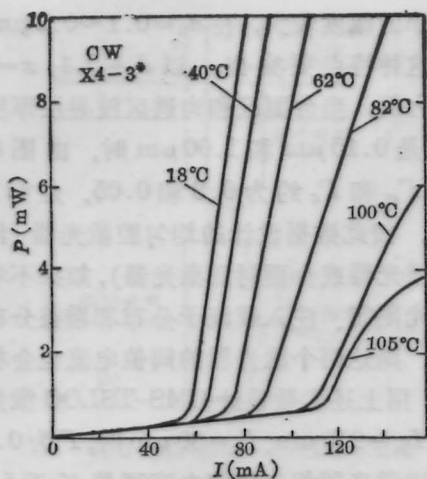


图5 在18~105°C范围内随温度变化的CW P-I特性

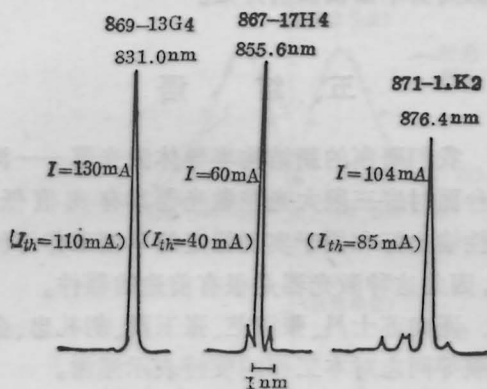


图6 获得单纵模的光谱(CW)

对高温区 $T_0=100^\circ\text{C}$, 从这里可以看出这种器件温敏性较好。

5. 纵模及温度锁定特性。图6是几个CMS-TSLOC激光器在室温直流条件下实现单纵模工作的光谱。获得单纵模的工作电流在 $1.15I_{th}\sim 1.5I_{th}$ 之间。图7是一个CMS-TSLOC激光器在固定工作电流条件下改变热沉温度, 而测得的激光波长随温度变化的结果。工作电流 $I=62\text{mA}$, $I_{th}=55\text{mA}$, 腔长 $L_m=140\ \mu\text{m}$, $L_c=30\ \mu\text{m}$, 总腔长 $L=200\ \mu\text{m}$ 。由图中可以看出, 大约经 3°C 左右模式才发生跳动, 而在锁定范围内单纵模保持不变, 而且波长随温度的变化率也较小, 从图中的三个连续区中, 波长随温度的变化率

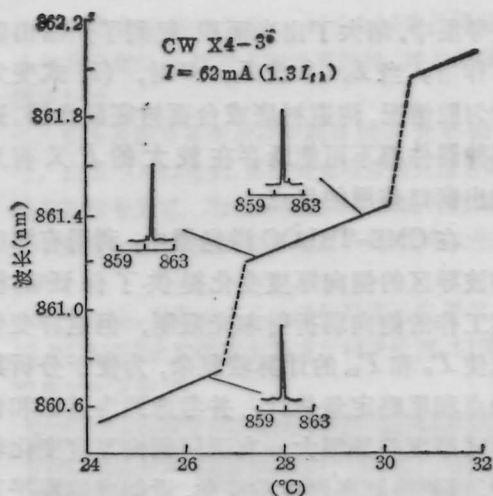


图7 一个CMS-TSLOC激光器在 $1.3I_{th}$ 条件下, 激光波长与温度的关系及在26.5、27.5、和 30°C 时的激光光谱

分别为 $0.092\ \text{nm}/^\circ\text{C}$ 、 $0.073\ \text{nm}/^\circ\text{C}$ 、 $0.102\ \text{nm}/^\circ\text{C}$ 。对于CMS-TSLOC激光器由于沟道区和台面区存在着弱反射界面, 会引起三段腔纵模之间发生干涉和耦合作用, 因此易于实现单纵模和具有一定的温度锁定效应。

四、讨 论

CMS-TSLOC激光器的主要特点之一是在激光器沟道区和台面区中存在着数值不同的光功率限制因子, 因而具有既增加腔面束斑尺寸提高输出功率, 又能降低阈值电流的优点。如用 Γ 表示激光器垂直方向的光限制因子, 则可用下面简单关系来说明沟道区和台面区的作用:

$$\Gamma = \frac{2L_c}{L} \Gamma_c + \frac{L_m}{L} \Gamma_m \quad (1)$$

其中 L_c 、 L_m 、 Γ_c 、 Γ_m 分别为沟道区和台面区的腔长及光限制因子 ($L=2L_c+L_m$)。(1)式是对称情况(两个沟道区腔长相等)。

当 $L_m \gg L_c$, $\Gamma_m \gg \Gamma_c$ 时, 由(1)知 $\Gamma \approx \Gamma_m$, 而设计较大的 Γ_m 无疑会使激光器的阈值电流降低 ($J_{th} \propto 1/\Gamma \approx 1/\Gamma_m$)。而较小的 Γ_c 则使激光器两端的沟道区的光大部分存在于

波导层中,增大了出光面积,起到了光输出窗口作用。当 $L_c=0$ 或 $L_m=0$ 时, (1) 式变为均匀腔情况, 沟道衬底或台面衬底激光器。这两种器件都不可能既存在较大的 Γ 又有光输出窗口作用的优点。

在 CMS-TSLOC 激光器中, 利用有源区和波导区的侧向厚度变化提供了保证基横模工作的侧向弱折射率光限制, 但这种变化也使 Γ_c 和 Γ_m 的计算较复杂, 为便于分析其特点和粗略定量估计, 并考虑到沟道区和台面区厚度差异很大, 有源层侧向厚度变化较缓, 可忽略侧向厚度的变化, 近似成四层平面大光腔波导来分析, 各层折射率为 $n_1=n_4=3.33$ (限制层); $n_2=3.59$ (有源层); $n_3(x)=3.59-0.71x+0.09x^2$ (波导层), x 为波导层组份, d_2 、 d_3 分别为有源层和波导层的厚度。图 8 给出了 TE_0 模的光功率限制因子 Γ 和 d_3 的关系, 这里的 Γ 可以是 Γ_m 也可以是 Γ_c , 差别仅在于 d_3 不同。曲线 1、2 表示波导层组份 x 分别取 0.1 和 0.2 时的情况。可以看到当 d_3 增大时 Γ 逐渐减小, 当 x 值小时,

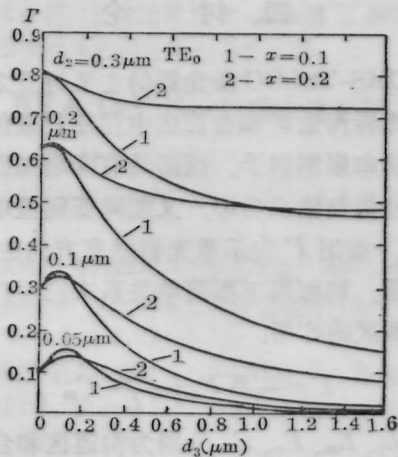


图 8 平面大光腔结构 TE_0 模的光功率限制因子 Γ 与波导层厚度 d_3 的关系

Γ 减小的幅度较大, 在 $d_2=0.1\sim 0.2\ \mu\text{m}$ 范围内这种特点更突出。以 $d_2=0.1$, $x=0.1$ 情况为例, 当台面区和沟道区波导层厚度 d_3 分别是 $0.15\ \mu\text{m}$ 和 $1.00\ \mu\text{m}$ 时, 由图 8 可查出 Γ_m 和 Γ_c 约为 0.3 和 0.05, 是 6:1 的关系。按此数据设计的均匀腔激光器 (沟道衬底激光器或台面衬底激光器), 如果不考虑侧向光限制、注入载流子分布和增益分布的差异, 则这两个激光器的阈值电流也会相差 6 倍, 用上述参数设计 CMS-TSLOC 激光器并取 $L_m=200\ \mu\text{m}$, $L_c=30\ \mu\text{m}$ 时, Γ 为 0.24, 与沟道激光器相比阈值电流可降低近 5 倍。因此 Γ_m 与 Γ_c 相差较大, $L_m \gg L_c$ 对获得低阈值高功率输出极有好处。

五、结 语

我们研制的新结构半导体激光器——沟道台面衬底三段大光腔激光器具有阈值低、线性输出好和便于实现稳定的单模工作等优点, 因此这种激光器是很有前途的器件。

谨向苏士昌、张淑芝、张玉贤、胡礼忠、金恩顺等同志对本工作的支持表示感谢。

参 考 文 献

- 1 R. J. Fu *et al.*, *Appl. Phys. Lett.*, **45**(7), 716 (1984)
- 2 D. Botez, *Appl. Phys. Lett.*, **36**(3), 190(1980)
- 3 K. Hamada *et al.*, *IEEE J. Quant. Electr.*, **QE-21**(6), 623(1985)
- 4 Y. Suzuki *et al.*, *Electron. Lett.*, **20**(9), 383(1984)
- 5 H. Blauveit *et al.*, *Appl. Phys. Lett.*, **40**(12), 1029(1982)
- 6 H. C. Casey, Jr., M. B. Panish, *Heterostructure Lasers* (Academic Press, New York, 1978), p. 183
- 7 K. Funakoshi *et al.*, *J. Crystal Growth*, **45**, 252 (1978)
- 8 D. Botez, *J. Crystal Growth*, **70**, 150(1984)