

分段压缩平面共腔条形激光器

杜国同 肖建伟 高鼎三

(吉林大学电子科学系)

1984年5月12日收到

本文报道了一种新型结构激光器——分段压缩平面共腔条形激光器的制造与特性。这种激光器易于实现较稳定的基横模和单纵横运行。

一、引言

目前世界各国已经研制出许多结构类型的半导体双异质结激光器。从横向方向即平行于 p-n 结平面方向上提供的波导机制上分，大体可以分为增益导引和内建实折射率导引激光器两大类。几年来我们对增益导引的通常条形激光器和弱自建波导的非平面衬底激光器进行了研制，发现这两大类激光器各有其优缺点。

增益导引激光器的优点是，一般工艺简单，条宽较宽时，在一定的注入电流下可实现基横模振荡。缺点是由于导引机制不稳定，导致光场易横向移动从而产生光功率曲线的扭曲现象。

为了克服光功率-电流曲线扭曲现象，近几年来人们研制了各种内建实折射率导引激光器。文献[1]和我们的实验表明，弱自建波导的非平面衬底激光器确实光场稳定，有良好线性的光功率曲线。但是由于这种激光器的有源区有薄厚变化，引起载流子内扩散。同时有电流向衬底肩角集中的效应。这样若保持条中心为峰值且均匀对称的载流子浓度的横向分布，一般要求较窄的电极条宽。条宽稍宽(对 $0.9\mu m$ 器件 $8\mu m$ 或 $10\mu m$)保持较大功率基横模激射就有困难。因而工艺难度较大。

为使上述两大类激光器的优点能互相补充，实现较大功率范围的基横模振荡。我们提出了研制分段折射率和增益导引共腔结构另一类型激光器的设计方案。用一次外延能完成的结构我们共设计了五种。这五种是：① 压缩形(CDH)和氧化物条形(OS)[或平面条形(PS)]结合成共腔结构，这种结构叫做分段压缩平面共腔条形激光器。用英文可写成 Sectional Constricted Planar Common Cavity DH Lasers. 即命名为 SCP 结构激光器。② 梯形衬底(TS)和氧化物条形(或平面条形)共腔，命名为 STP 结构激光器。③ 沟道衬底(CS)和氧化物条形(或平面条形)共腔，命名为 SCSP 结构。④ 沟道衬底平面条形(CSP)和氧化物条形(或平面条形)共腔，命名为 SCPP 结构。⑤ 改进的掩埋条形和氧化物条形(或平面条形)共腔，命名为 SBP 结构激光器。首先我们对 SCP 结构激光器进行了研制。目前已制出电极条宽 $10\mu m$ ，总腔长 $250—350\mu m$ 脉冲阈值 $60—150mA$ ，室温连续阈值为 $90—200mA$ 的器件。光功率曲线到 $15—20mW$ 无扭曲，单模工作可达 $14mW$ 左右。

二、制造工艺

SCP 激光器的结构如图 1 所示。外延衬底片为 n 型掺 Si ($2-3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$) GaAs 单晶片。生长平面和 (100) 面要偏差 $0.5-1^\circ$ 角。沿 [011] 方向分段腐蚀出深 $4-5 \mu\text{m}$ 的倒梯形槽沟。腐蚀是用 SiO_2 做掩膜, SiO_2 膜光刻出窗口后, 在 $1:8:8(\text{H}_2\text{SO}_4:\text{H}_2\text{O}_2:\text{H}_2\text{O})$ 腐蚀液中 0°C 腐蚀 $4-5$ 分钟。两沟间的距离为 $30-40 \mu\text{m}$ 。去除 SiO_2 膜后, 整个片子再用 $\text{NaOH}:\text{H}_2\text{O}_2$ 水溶液轻轻腐蚀一分钟。外延是用通常的液相外延方法进行。第一层生长时要控制 $3-5^\circ\text{C}$ 的过冷度, 以保持两沟间小平台的肩角不至被全部回熔掉。生长是在 835°C 开始, 用 $1^\circ\text{C}/\text{分}$ 的降温速度进行。第一层 $\text{Al}_{0.35}\text{Ga}_{0.65}\text{As}$ 层生长的厚度大约为 $2 \mu\text{m}$, n 型掺 Sn。第二层有源区不掺杂, 平面部分厚度约 $0.2-0.3 \mu\text{m}$ 。为了减少电流的横向扩展效应^[2], 第三层 $\text{Al}_{0.35}\text{Ga}_{0.65}\text{As}$ 层和第四层 GaAs 层的掺杂和厚度要很好控制。激光器两个腔面的外延层照片如图 2 所示。图 3 是为了清楚的了解 CDH 段有源区的厚度变化情况, 有源区特意长厚的外延层照片。外延片制备好后即进行淀积 SiO_2 膜, 光刻, 扩散, 制做欧姆接触, 解理组装。解理时可根据需要解理出不同腔长, CDH 段和 OS 段两段腔长不同比例的管芯。也可以制成中间一段为一种结构, 两端为另一种结构的三段式

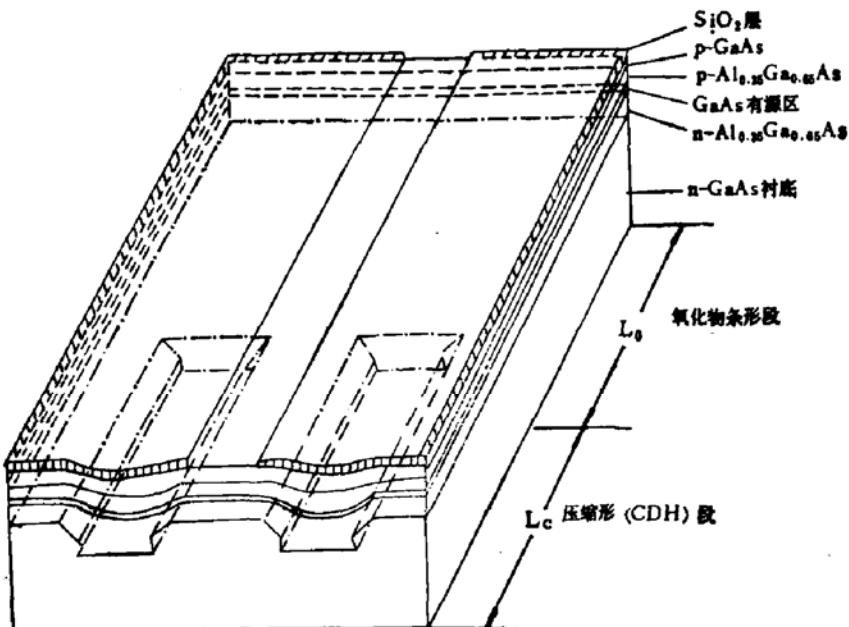


图 1 SCP 激光器结构示意图

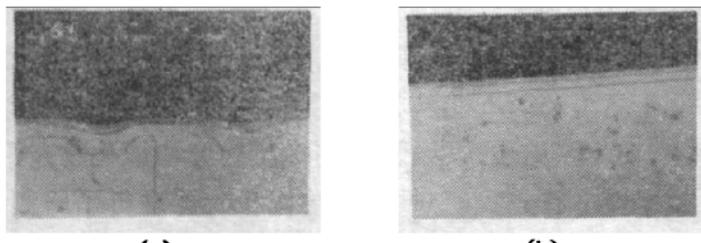


图 2 SCP 结构激光器两端面外延层照片
(a) CDH 面 (b) OS 面

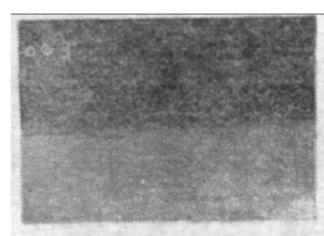


图 3 CDH 段有源区特意长厚的断面照片

结构。

三、SCP 激光器的一些特性

1. 伏安特性 SCP 结构激光器和通常 GaAs—Al_xGa_{1-x}As 双异质结激光器伏安特性一样，正向导通电压为 1.1—1.3V，反向击穿电压为 6—15V。

2. 光-电特性 连续工作的光功率—电流曲线如图 4 所示，可以做到 15mW 以下呈良好的线性。外微分量子效率最高为 60%（双面）左右。尽管目前我们的欧姆接触工艺还不稳定，器件串联电阻较大，但仍然可以实现两倍阈值以上的室温连续激射，输出可达 35mW。如图 5 所示的 S-483# SCP 激光器光功率曲线。

3. 阈值特性 目前我们制得的器件条宽 10μm，腔长 250—350μm，脉冲阈值为 60—150mA，还测到过脉冲阈值为 30—40mA 的几个管芯。室温直流阈值为 90—200mA。由于初步的实验结果，阈值水平还有待进一步提高。

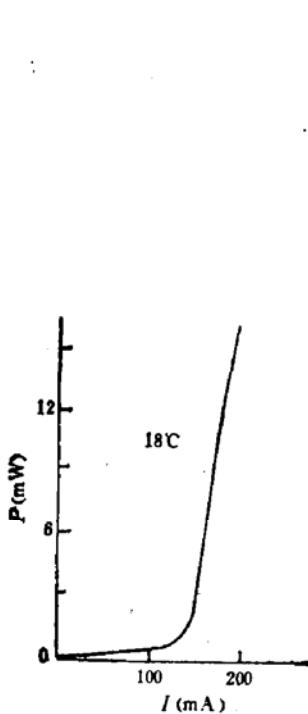


图 4 S-466# 激光器 CW 光功率-电流曲线， $L = 290\mu\text{m}$ ， $L_c = 170\mu\text{m}$

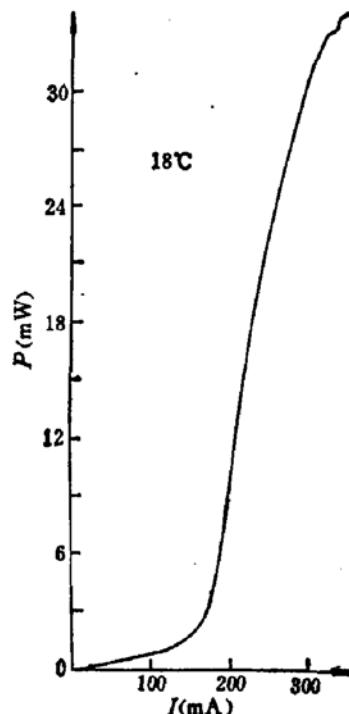


图 5 S-483# SCP 激光器光功率-电流曲线 (CW)， $L = 330\mu\text{m}$ ， 18°C ， $L_c = 140\mu\text{m}$

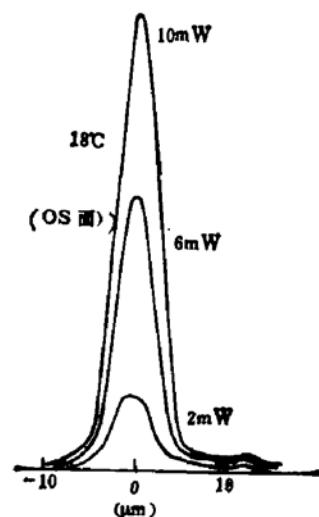


图 6 SCP 激光器近场光强分布 (CW)， $L = 290\mu\text{m}$ ， $L_c = 170\mu\text{m}$

4. 激射特性

(1) 横模 SCP 激光器可以实现较大功率范围的基横模激射，如图 6 所示的 SCP 激光器直流近场光强分布。同时和我们制造的 CDH 激光器相比，得到的基横模激射的器件比例增多。

(2) 纵模 基横模振荡的 SCP 激光器的纵模行为一般呈现为对称多纵模和单纵模激射。图 7 给出了 SCP 激光器不同功率下两个腔面的直流光谱分布。图 6、图 7 为同一

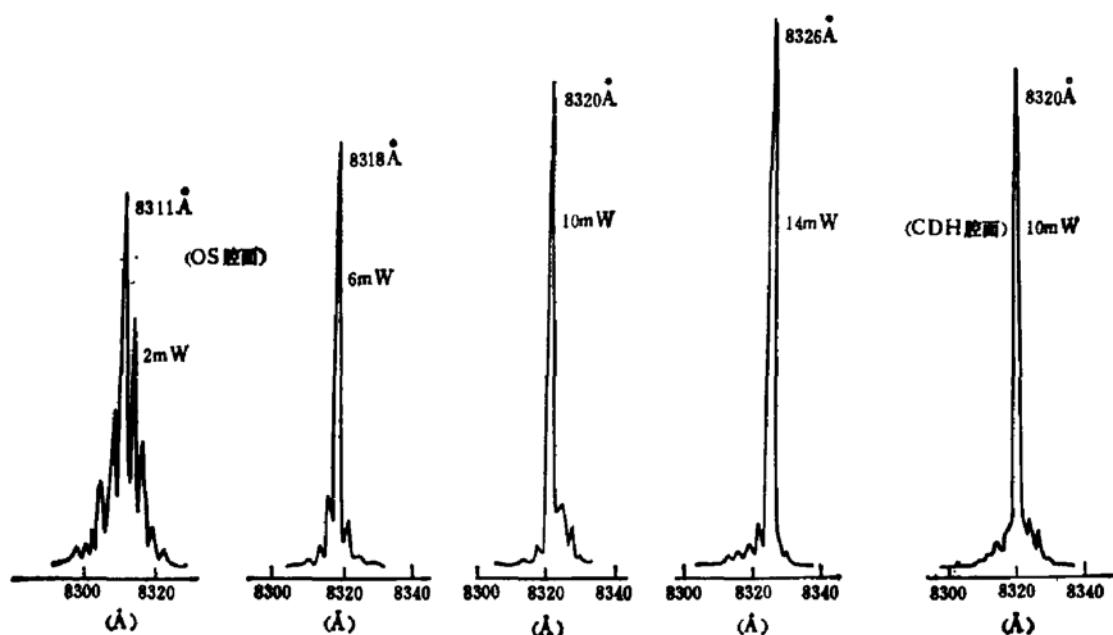


图 7 SCP 结构激光器两个腔面不同功率下 CW 光谱(18°C)

个器件,从这两个图中可估计出 SCP 激光器基横模和单纵横工作可以保持 15mW 左右。峰值波长随着电流的增加略向长波方向移动,这是由于热效应引起有源区禁带宽度变窄所致。

四、讨 论

1. 阈值问题 SCP 结构激光器是两种结构的组合,接口处就存在一个耦合问题,耦合效率有多大?再有,外延层的生长速度在大平面上和小台面上是不同的,这样两段的有源区要有 $0.5\text{--}1\mu\text{m}$ 的高低差异,在接口处产生弯曲。谐振腔就不是一个很平直的腔了,会不会增加损耗呢?这两个问题会不会影响器件的阈值是人们所担心的。当然这两个问题以后我们还要通过详细的理论计算来解决。就目前实验所观察到的结果来看,基横模的耦合效率是很高的,谐振腔的略微弯曲所增加的损耗也是可以忽略不计的。我们曾把管芯沿着电极条方向解理开观察有源区弯曲情况。观察表明,两段接口处的过渡区大约为 $20\text{--}30\mu\text{m}$ 。在这样长的范围内有源区前后高低只差 $1\mu\text{m}$,光的损耗是完全可以忽略的。现将同一外延片相邻部分解理制成的三种结构激光器(CDH 结构, OS 结构, SCP

表 1 同一外延片制成的三种结构激光器管芯脉冲阈值

CDH 结构		OS 结构		SCP 结构		
腔长 $L(\mu\text{m})$	阈值 $I_{th}(\text{mA})$	腔长 $L(\mu\text{m})$	阈值 $I_{th}(\text{mA})$	总腔长 $L(\mu\text{m})$	CDH 腔长 $L_c(\mu\text{m})$	阈值 $I_{th}(\text{mA})$
210	50	330	150	290	170	60
210	70	220	70	290	170	40
210	60	220	80	290	170	50
210	120	220	70	330	140	60
210	60	220	200	330	140	90

结构)的管芯脉冲阈值列于表 1。可以看出 SCP 激光器的阈值水平和 CDH 激光器的阈值水平相当。这就有力的说明了上述两个因素对器件的阈值都没有多大影响。

2. 模式控制问题 改善激光器的模式特性,要解决模式的稳定性和选择性两个问题。CDH 结构激光器侧向模式的稳定性问题 Botez 做了论述^[3],由于在小台面上生长的有源区厚度的变化,使有效折射率随之变化,这样就形成一个脊背波导腔,光被稳定的聚焦在腔内。OS 结构激光器是增益导引机制。SCP 激光器的两段不同结构的不同导引机制通过测量两个腔面的近场分布和束腰位置可以很清楚的观察到。典型的结果如图 8 所示,该激光器两个腔面光斑尺寸差别较大,其束腰位置也不同。前腔面(OS 面)的束腰位置在腔内 43 μm 处,后腔面(CDH 面)的束腰位置就在腔面上。这就说明了 OS 段的增益导引机制和 CDH 段的折射率导引机制。SCP 激光器在谐振腔内有一段 CDH 的脊背波导结构,就足以使光场聚焦稳定,克服氧化物条形结构随着电流的增加光场移动产生 Kink 的缺点。

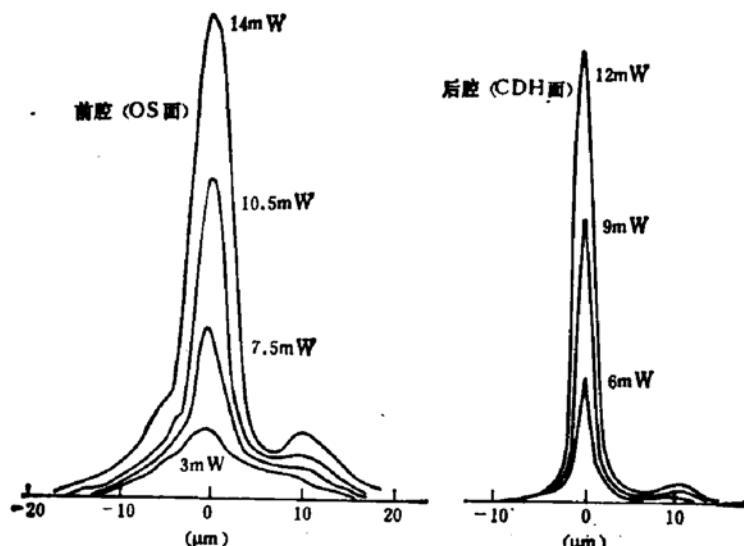


图 8 典型的 SCP 激光器前后腔面不同功率下近场光强分布 (CW),
 $L = 330 \mu\text{m}$, $L_c = 140 \mu\text{m}$, 18°C

反之,由于 OS 段的存在又可以改善激光器侧向模式的选择性,有助于克服 CDH 结构易出现高阶横模的缺点。某个模式的激励条件是该模式增益等于损耗,即

$$G_m = \frac{1}{\Gamma} \left(\alpha_m + \frac{1}{L} \ln \frac{1}{R_m} \right). \quad (1)$$

有源区无厚度变化的通常条形激光器,载流子浓度的分布中心位置比较高,呈钟型分布。这样的分布易于和基横模耦合,高阶横模的模式增益较低。而有源区有厚度变化的非平面衬底激光器(如 CDH 结构),由于载流子横向的内扩散和电流向衬底肩角集中的效应,使得载流子浓度分布在中心处比较平坦,甚至出现凹陷。这样的分布易于和高阶横模耦合,高阶横模的模式增益较高。而 SCP 结构器件的模式增益是两段模式增益之和,即

$$G_m = \frac{L_c}{L} G_{cm} + \frac{L_o}{L} G_{om} = \frac{1}{\Gamma} \left(\alpha_m + \frac{1}{L} \ln \frac{1}{R_m} \right). \quad (2)$$

其中 G_{cm} 代表 CDH 段 m 阶模增益, G_{0m} 代表 OS 段 m 阶模增益。由于 G_{0m} 较小, 就会使得 m 阶模的总模式增益 G_m 拉低。适当调解 OS 段和 CDH 段腔长比例就会适当控制高阶横模出现的功率水平。另外, SCP 激光器的 CDH 段有源区横向方向不但厚度有变化, 而且是弯曲的。在小台面的中心处两段有源区高低差别最小, 越往旁边高低差别越大, 在沟里高低差别最大。这样引起的损耗就是一个横向位置的函数, 小台面中心区最小, 越往旁边越大。这种随横向位置变化的损耗形式将有助于抑制横向高阶模的出现。这两个因素的存在都会改善激光器侧向模式的选择性, 使得 SCP 结构器件单模输出的功率水平(10—15mW)比单纯脊背波导 CDH 结构器件的单模功率水平(3—7mW)^[3] 提高许多。详细的理论分析我们将在今后给出。

五、结语

以上报道了一种新型的分段压缩平面共腔条形结构激光器的制造和特性。这种新结构激光器和单纯压缩式激光器相比, 它可以保持阈值以上较大功率范围的基横模和单纵模激射。由于实验次数有限, 目前器件的阈值特性和模式特性还没有达到最好水平, 但其特点已充分表现出来了。预计这种 SCP 结构器件是一种很有前途的器件。SCP 激光器的研制为今后研制一系列分段(双区)折射率增益导引共腔另一类(有别于世界现有的两大类激光器)结构激光器做了初步的尝试。

徐辉、杨健、扈广荣、李正庭、马晓宇、张洪涛、张素芝等同志参加了部分实验工作; 金恩顺、曲世茂同志为我们测试了直流光谱; 本文的实验工作得到了邓希敏老师的大力支持在此一并表示感谢。

参 考 文 献

- [1] Shyh Wang, et al, *IEEE, J. Q. E.*, 17, 453, (1981).
- [2] 杜国同、全宝富等, 半导体学报, 4, 306(1983).
- [3] D. Botez, *IEEE, J. Q. E.*, 17, 2290 (1981).

Sectional Constricted Planar Common Cavity DH Lasers

Du Guotong, Xiao Jianwei and Gao Dingsan

(Department of Electronics Science, Jilin University)

Abstract

A report on the fabrication and the characteristics of a new structural laser—the sectional constricted planar common cavity DH laser is given. This structural laser operates easily in stably single longitudinal and lateral mode.