

非对称补偿条形复合腔 半导体激光器阵列*

王 政 杜国同 高鼎三
(吉林大学电子科学系)

提 要

本文描述了一种新结构半导体激光器阵列——非对称补偿条形复合腔半导体激光器阵列。这种阵列是由7个或9个非对称半腔长交叉错开的条形电极形成7个或9个复合腔结构,光束在腔中以交叉的方式耦合。从该结构阵列得到了直到 $1.6I_{th}$ 、发散角仅为 $3\sim 4^\circ$ 的单瓣远场图样。

关键词: 半导体激光器阵列, 非对称补偿条形

一、引 言

为了得到大功率、单瓣输出的半导体激光输出,当前人们在锁相半导体激光器阵列方面作了大量工作。锁相半导体激光器阵列若处于基模振荡就可以产生衍射限制的单瓣光束。但等间距相同条宽的激光器阵列通常产生我们所不希望的双瓣远场。这是由于在此情况下,基超模和高阶超模的增益阈值差别很小,阵列在几个超模迭加而成的合模下工作,阵列中单个激光器间相互干涉比较弱,远场发散角较大。为了解决这个问题,Kapton等人首先把非均匀结构引入阵列中,形成各超模之间阈值增益的差别,得到了较窄光束的单瓣输出^[1]。此后,人们在这方面作了很多工作,如条间加增益^[2~4]，“啁啾(chirped)”和特殊增益(gain tailored)阵列等^[5~7]。还有非对称补偿条形(Assymmetric Offset Strip Laser Array简称AOS阵列)^[8],这种阵列在近腔面的电极条与中间部分的电极条相互错开,以增加衍射区的增益加强条间的干涉,得到了窄的单瓣远场分布。本文设计和研制了另一种补偿条形激光器阵列。

二、器件结构与制造工艺

与上述非对称补偿条形激光器阵列(AOS)不同的是我们阵列电极条的交错不是在腔面附近,而在谐振腔中部,从而形成复合腔。这样利用腔的两段的增益分布的不同,控制光束束宽的变化,形成交叉耦合,并在耦合区加了增益。所以我们称这种阵列为非对称补偿条形复合腔激光器阵列,简称为COAOS阵列。

这种器件采用氧化物隔离条形结构,由7~9个非对称半腔长电极条在腔中部交叉错开

收稿日期: 1988年1月20日; 收到修改稿日期: 1988年4月11日

* 本课题得到国家科学基金的资助。

组成阵列, 其结构如图 1(a) 所示。图 1(b) 则从正面给出了电极条分布图样, 7 个电极条的器件两段的条宽分别为 4、5、6 μm 和 4、5、6、7 μm , 条中心的间距都是 12 μm 。

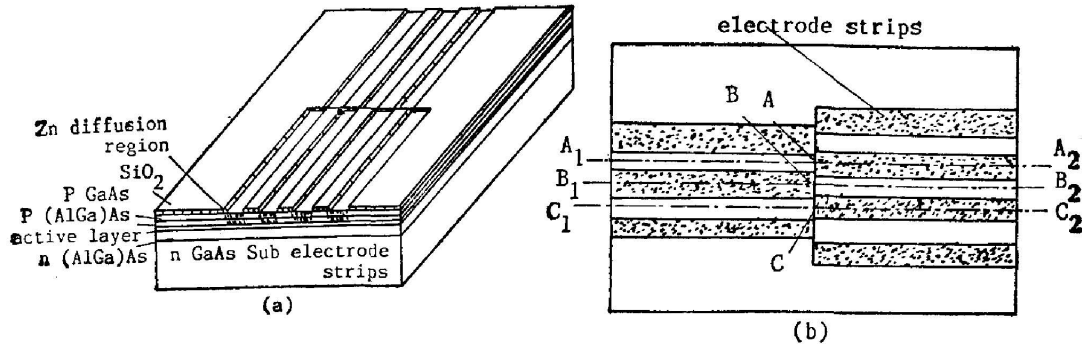


Fig. 1 Schematic drawing of the cross-coupled asymmetric offset strip laser diode array

(a) The structure of CCAOS array; (b) The electrode strips of CCAOS array

图 1(a) 所示的该器件多层异质结构是用液相外延法制得的。衬底选用 n 型 GaAs, 第一层为 $\text{Ga}_{0.7}\text{Al}_{0.3}\text{As}$ 层, 厚 4 μm , 掺 Sn, $n=1\sim 3\times 10^{17}\text{cm}^{-3}$; 第二层为 GaAs 有源区, 厚 0.1~0.2 μm , 不掺杂; 第三层为 p 型 $\text{Ga}_{0.07}\text{Al}_{0.3}\text{As}$ 层, 厚 1.5 μm , 掺 Ge, $P=1\sim 2\times 10^{17}\text{cm}^{-3}$; 第四层为 p 型 GaAs 盖层, 厚 0.5 μm , 掺 Ge, $P=1\sim 2\times 10^{17}\text{cm}^{-3}$ 。每个激光器阵列上的 7~9 个半腔长电极条是通过以下几步完成的, 首先是在外延片上沉积上一层约 1500 \AA 的 SiO_2 膜, 然后先刻出所需要的电极条图形, 再进行 Zn 扩散, 最后欧姆接触是在 P 面蒸 Au-Zn-Au, n 面蒸 Au-Ge-Ni。我们注意控制上限制层层厚, SiO_2 膜厚以及扩散 Zn 的温度和时间, 以形成适当的电流通路和载流子的扩散分布, 使得在阵列工作时, 波导 BB_2 段(及其它电极条间的波导)形成的增益分布足够大, 有 $g_m - \alpha > 0$, 以保证光传到 BB_2 段被扩大。这里 g_m 是 BB_2 段倒钟罩形增益分布的最小值。在解理时, 我们让阵列的两段电极相等, 都等于腔长的一半, 这样使整个激光器阵列中的增益分布均匀。实验中我们也发现当两段相等时, 激光器阵列的远场图样较好。

三、器件特性

目前制得的这种激光器阵列阈值为 180 mA~400 mA, 最低的一只为 130 mA, 图 2 给出了该器件在室温下、直流工作时的光功率——电流曲线。图 3 给出了所测得的 CCAOS 激光器阵列的远场分布图样。该器件注入电流从阈值 250 mA 起到 400 mA, 远场分布变化很小, 是在基超模下工作。由图可以看到, 在阈值附近单瓣光峰的半宽是 3° , 当电流增加到 $1.6I_m$ 时, 半宽变到 3.6° , 在左侧 6.2° 处出现了一个很小的亚峰, 这可能是由于高阶超模受激所致。但边模抑制作用比较强, 阵列基本上还是基超模工作。

四、讨 论

该器件如何能具有较好的模式耦合特性, 具有发散角较小的单瓣远场呢? 详细的理论分

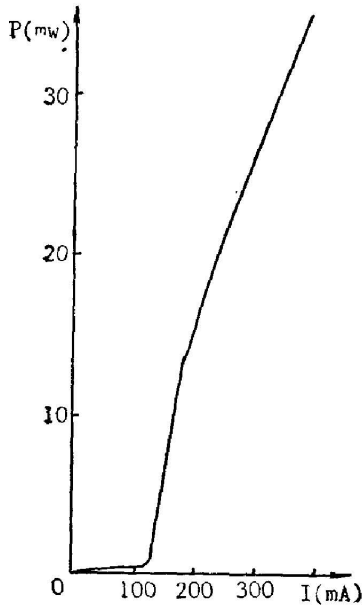


Fig. 2 Light vs current characteristics for a CCAOS array

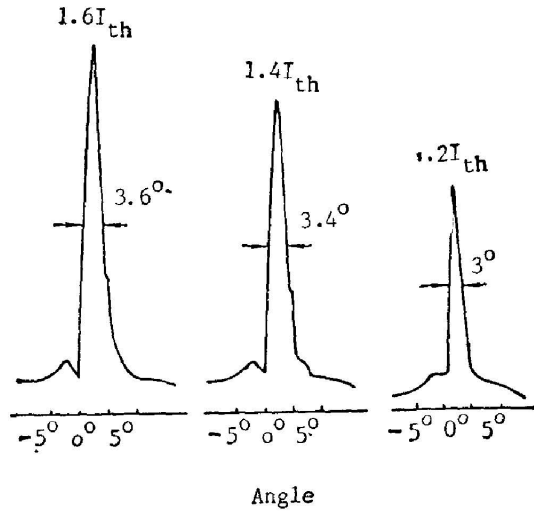


Fig. 3 For-field patterns for CCAOS array in the direction along the P-N junction

析和数学推理的工作我们将在以后进行, 现在我们只简单讨论一下该器件复合腔的形成, 光的交叉耦合方式和在条间加增益的方法。现在沿光路 B_1BB_2 进行一下分析。 B_1B 段是在电极条下面的, 加电流时 BB_1 段的横向载流子分布是正钟罩形的; 而光路的 BB_2 段是在两个电极条 AA_2 和 CC_2 之间的, 加电流时由于载流子的横向扩散效应, 在 BB_2 段载流子的分布是倒钟罩形的。由于载流子密度对电介质常数实部影响是负的, 载流子密度 $N(x)$ 的增加将减少该处的折射率 $\bar{n}(x)$ 。所以在波导 B_1B 和 BB_2 两段分别得到了 $\bar{n}(x)$ 是凹函数的反波导和 $\bar{n}(x)$ 为凸函数的正波导, 从而形成了正反波导互补的复合腔。这种波导互补的复合腔对于激光器的横模和纵模有较好的选择性^[10], 使得阵列中的单个激光器可以更好地工作。由于在 B_1B 段的增益分布是正钟罩形的, 受激时产生近于高斯型的光束; 而 BB_2 段增益分布是倒钟罩形的, 所以当高斯型光束传到 BB_2 时, 光束中心处的放大较小, 而光束中离中心远的边处却得到较大的放大, 这样光束就会变得比原来宽, 很容易与 CC_2 和 AA_2 段的光耦合。我们把这种耦合叫做交叉耦合, 这种交叉错开的电极条相互之间也起到了条间加增益的作用, 加强了光的干涉耦合。

王适在对衍射耦合锁相阵列中的同相锁定问题分析时指出^[9], 一般阵列的条间距小于或等于 $6\mu\text{m}$ 时, 激光器阵列的远场是单瓣的, 而当条间距大到 $9\mu\text{m}$ 时, 就只能产生双瓣光斑的远场。

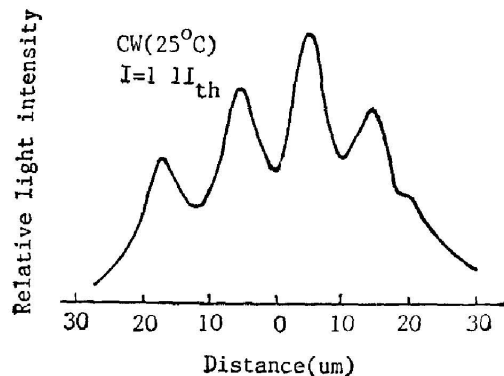


Fig. 4 Near-field intensity distribution for a CCAOS array at $I=1.1I_{th}$

这一结论与报道的实验结果是一致的。而我们设计的这种 CCAOS 列阵, 由于它以交叉方式耦合, 所以在条间距达 $12\mu\text{m}$ 的情况下, 仍得到了单瓣远场。条间距加宽在光刻和其它工艺上都比较容易实现, 从而简化了激光器列阵的制做工艺。

这种结构激光器阵列有较强的耦合和干涉作用还可以从图 4 中看到。图 4 给出一列阵的近场光强分布图样。图中我们可以看到四个相距 $12\mu\text{m}$ 的峰。这是在 $I=1.1I_{\text{th}}$ 时观察到的。而在另一腔面观察到的是三个峰, 这说明光的相互交叉耦合作用是相当强的。光从 B_1B 传到到 BB_2 段时由于光束中心区放大很小, 外围部分放大很多, 光束变宽, 从而耦合到两侧的光束中, 传播到腔面时, 三峰值就被掩盖在背景中了。这样在腔的那一端看到的是三个峰, 这一端看到的就是四个峰。

五、结 语

我们的实验还只是初步的, 目前研制的列阵电极条数也很少, 再加上增益饱和等原因, 所得到的输出功率还不很大。当然如果能有几十毫瓦稳定的输出, 在逻辑光路和信息处理方面已经是很有用途了。更重要的是, 本实验为今后研制更大功率锁相激光器列阵摸索到了一种新的方法和途径。

总之, 我们在前人的基础上巧妙地设计了一种激光器列阵, 应用简单的工艺完成了它的制做, 利用载流子扩散效应形成复合腔, 变化光束束宽实现交叉耦合, 并在条间干涉区加泵, 从而得到了窄光束单瓣输出, 远场光峰半宽为 $3^\circ\sim 3.6^\circ$ 。我们相信如果把 CCAOS 列阵的增益导引机制改为折射率导引机制就可以推迟增益饱和, 再进一步增加条数, 是很有希望得到更大功率输出的。

刘海明, 杨健等同志参加了实验工作, 作者在此表示感谢。

参 考 文 献

- [1] E. Kapon, C. P. Lindsey, J. S. Smith, S. Margalit and A. Yariv; *Appl. Phys. Lett.* 1984, **45** (12), 1257.
- [2] S. Mukai, C. Lindsey, J. Katz, E. Kapon, Z. Rarnoy, S. Margalit and A. Yariv; *Appl. Phys. Lett.*, 1984, **45**, 834.
- [3] Y. Twu, A. Dienes, S. Wang and J. R. Whinnery; *Appl. Phys. Lett.*, 1984, **45**, 709.
- [4] W. Streifer, A. Hardly and R. D. Burnham; *Electron. Lett.*, 1985, **21**, 118.
- [5] E. Kapon, C. Lindsey, J. Katz, S. Marghit and A. Yariv; *Appl. Phys. Lett.*, 1984, **45**, 200.
- [6] Y. Twu, K. L. Chen, A. Dienes, S. Wang and J. R. Winnery, *Electron. Lett.*, 1985, **21**, 324.
- [7] C. Lindsey, P. Derry, A. Yariv; *Electron. Lett.*, 1985, **21**, 671.
- [8] D. F. Welch, D. Seifres, P. Cross and H. Kung; *Appl. Phys. Lett.*, 1985, **47**, 1134.
- [9] S. Wang; *Appl. Phys. Lett.*, 1986, **48**, 1770.
- [10] Guotong Du, Jianwei Xiao, Dingsan Gao and Delin Yang; *J. Appl. Phys*, 1987, **61**, 840.

Cross-Coupled Asymmetric Offset Strip Composite Cavity Semiconductor Laser Array

WANG ZHENG, DU GUOTONG AND GAO DINGSAN
(*Department of Electronics Science, Jilin University*)

(Received 20 January 1988; revised 11 April 1988)

Abstract

In this paper, we presented a new structure semiconductor laser array—Cross-Coupled Asymmetric Offset Strip Composite Cavity Semiconductor Laser Array. These arrays were composed of seven or nine asymmetric half electrode strips, whose positions were offseted. They form seven or nine composite cavities and the light in which coupled in a cross way. Single-lobe far-field patterns of $3^\circ \sim 4^\circ$ wide, were obtained from the array upto $I = 1.6I_{th}$.

Key words: semiconductor laser array, asymmetric offset strip, cross-coupled.