

低阈值的三段复合腔 GaAlAs/GaAs 单模激光器

李玉东 朱东海 刘式墉 苏士昌 张淑芝

(吉林大学电子科学系, 130023)

提要: 本文介绍的低阈值三段复合腔 GaAlAs/GaAs 激光器, 其最低 CW 阈值电流为 18 mA, 具有稳定的单模性, 外微分量子效率为 50~80%, 线性功率可达 30 mW 以上。在 5°C 温度范围内保持单纵模工作不变, 最高 CW 激射温度为 117°C。

关键词: 内条形结构, 三段复合腔

Low threshold three-segmented composite cavity structure GaAlAs/GaAs single-mode laser

Li Yudong, Zhu Donghai, Liu Shiyong, Shu Shichang, Zhang Shuzhi

(Department of Electronics Sciences, Jilin University, Changchun)

Abstract: A low threshold three-segmented composite cavity GaAlAs/GaAs laser is reported with a lowest CW threshold current of about 18 mA. It operates in stable single-mode, external differential quantum efficiency is 50-80% and the best linear relationship between light output and current remains up to 30 mW. Single frequency oscillation locking is achieved over the temperature range of around 5°C and the highest temperature for CW lasing is 117°C.

Key words: inner stripe structure, three segmented composite cavity

近几年来, 半导体激光器的研究越来越趋向于低阈值电流、稳定的单模工作及大功率输出等方向发展。我们设计制做了一种新的三段复合腔激光器, 并在降低阈值电流、提供稳定的单纵模输出方面, 取得了较好的结果。

一、器件结构与制造工艺

器件结构如图 1 所示, 分三段结构, 中间是一个双脊衬底结构内条形激光器, 两端为沟槽衬底内条形激光器, 可称为沟槽双脊衬底内条形复合腔激光器 (Channeled twin-ridge substrate inner stripe composite cavity laser, 或 CTRS-IS 激光器)。双脊部分的腔长为 L_t , 沟槽部分的腔长为 L_c , 一般总选择 $L_t \gg L_c$ 。

器件设计基于下面的考虑: 1. 大光腔结构是降低腔面光密度、增大光输出的一种有效办法, 而我们的器件设计虽然也采用大光腔结构, 但由于利用沟槽衬底和双脊衬底不同的结构和

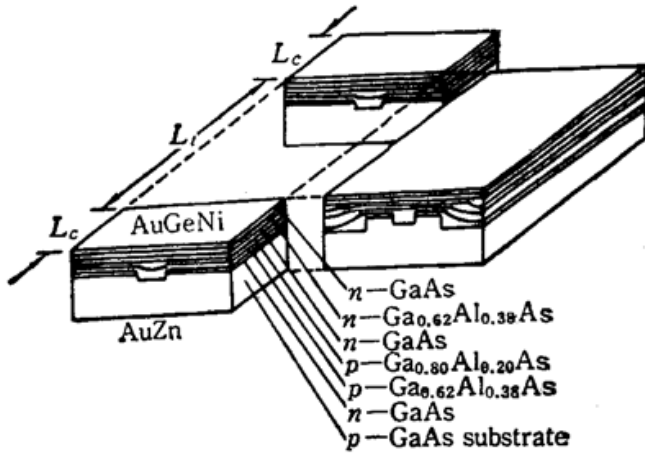


Fig. 1 Schematic representation of a CTRS-IS laser

非平面衬底液相外延的生长特性, 使大光腔结构中的波导层在沟槽衬底区较厚而在双脊衬底区较薄, 从而在腔面处会得到较大的束斑尺寸, 有利于高功率的输出。双脊区薄的波导会加强光限制, 降低器件的阈值电流; 2. 采用内条形结构来限制侧向电流扩展和载流子扩散, 提高电流注入效率; 3. 本器件的侧向模式选择通过折射率导引完成, 在沟槽衬底区, 有源层和波导层的隐埋星月形结构会形成侧向弱折射率限制; 在双脊衬底区, 由矩形沟槽的双脊结构形成的侧向突变折射率抛物面, 也可得到模式限制。因此,

复合腔激光器各部分都有很好的侧向模式选择; 4. 由于结构不同, 沟槽衬底区上的 DH 和双脊衬底区上的 DH 的交界面会产生弱反射率, 引起两个区域之间的干涉效应, 这种干涉效应会使激光器的反射率变为随波长变化的周期函数, 因而处于反射率最大值的波长容易激射, 这种效应主要决定于腔长选择和交界面弱反射率的大小, 器件设计各段腔长比例较大, 容易产生单纵模的。

制作工艺: 首先在晶面(100)的 P^+ -GaAs 衬底上, 沿 [011] 方向刻蚀出台面和平面交错的图形, 台面宽度约 $20\sim 22\ \mu\text{m}$, 用液相外延方法在刻蚀好的衬底上生长出层厚约 $1\ \mu\text{m}$ 的 n^+ -GaAs 电流阻挡层, 然后在一次外延片上利用光刻腐蚀的办法, 刻蚀出沟槽作为电流通路。沟槽的宽度和深度在沟槽衬底区分别为 $6\sim 7\ \mu\text{m}$ 和 $2\sim 2.5\ \mu\text{m}$, 而在双脊区则分别为 $4\sim 5\ \mu\text{m}$ 和 $1.5\sim 2\ \mu\text{m}$ 。选择这样尺寸是为了在二次外延时, 双脊区的窄沟槽能被迅速填平, 利用双脊的矩形结构生长较薄的波导层, 而在沟槽衬底区填平宽沟槽的速度比双脊区要慢一些, 这样可以在相同时间内生长出较厚的波导层。二次外延的各层为: 1. p -Ga_{0.62}Al_{0.38}As 限制层; 2. p -Ga_{0.80}Al_{0.20}As 波导层; 3. n -GaAs 有源层; 4. n -Ga_{0.62}Al_{0.38}As 限制层; 5. n -GaAs 接触层。制备好的外延片, 经电极制备、管芯解理和组装等工艺, 即得到可以测试的器件。一般的激光器总腔长 $L=160\sim 280\ \mu\text{m}$, 其中沟槽衬底区的长度 $L_c=20\sim 30\ \mu\text{m}$ 。

二、CTRS-IS 激光器的特性

1. 阈值特性 已研制出的 CTRS-IS 激光器获得了室温连续工作, 最低阈值电流为 18 mA, CW 阈值电流范围为 $18\sim 80\ \text{mA}$ 。

2. 连续输出特性 CTRS-IS 激光器的光功率与注入电流的关系一般是线性关系, 图 2 是典型的 CTRS-IS 激光器 $P-I$ 曲线, 可以看到器件线性功率输出可保持到 30 mW, 最大功率为 42 mW, 功率输出在线性区以上的变曲部分是由于二极管热饱和造成的, 这种热饱和是由于管芯组装散热不良所产生的。这种解释可以用脉冲电流驱动激光器的实验证明, 已获得的脉冲峰值功率可以达到 500 mW 以上, 说明如果管芯有很好的散热则激光器线性功率输出会

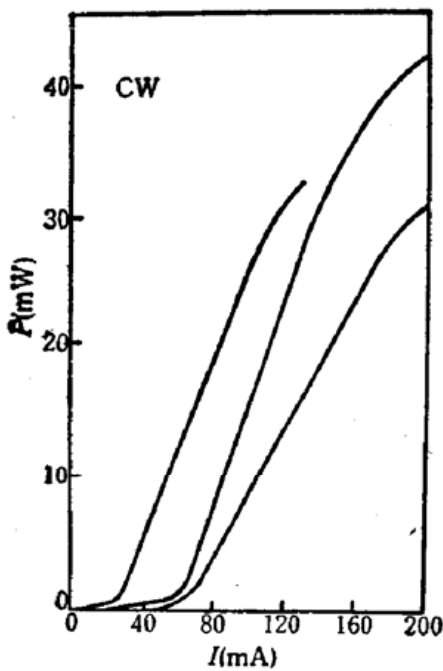


Fig. 2 Typical $I-L$ characteristics of CTRS-IS lasers at CW operation

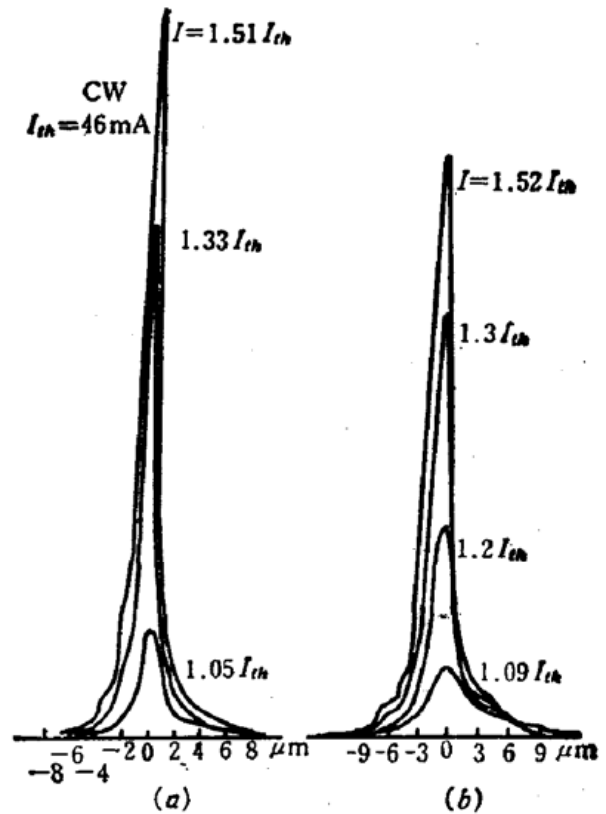


Fig. 3 Near field spot size patterns (a) perpendicular to the junction plane; (b) parallel to the junction plane.

提高很多。在线性工作区激光器的外微量子效率为 50~80%。由于 CTRS-IS 激光器采用了较好的电流限制,提高了电流注入效率,所以外微量子效率较高。

3. 近场束斑特性 为了分析空间模式,我们测量了激光器的近场光强分布,图 3 是典型的 CW 测试结果,可以看出器件是以基横模工作,半极大功率全宽度在垂直结平面方向约 $1.3 \mu\text{m}$,在平行结平面方向约 $3.1 \mu\text{m}$ 。

4. $P-I$ 曲线随温度变化特性 CTRS-IS 激光器的光输出随温度变化特性已被测量,图 4 是实验结果,图 (a) 为直流情况,整个温度变化区域中基本是线性输出,最高激射温度为 117°C ,测得的特征温度 (T_0) 在 $27\sim 65^\circ\text{C}$ 内为 200 K,在 $65\sim 90^\circ\text{C}$ 内为 125 K,而在 $90\sim 117^\circ\text{C}$ 内为 56 K。可以看出这种器件温敏性较好。图 (b) 是脉冲电流驱动的结果,直到 154°C 激光器仍能以 60 mW 的峰值功率工作,由于管芯是由 In 焊料组装到热沉上的,受到 In 熔化温度 156.2°C 的限制,更高温度的脉冲测量没有得到。

5. 纵模特性 图 5 所示为一个阈值电流为 18 mA 的激光器 $P-I$ 特性和在三个确定电流下的光谱。从 26 mA ($1.4 I_{th}$) 开始到 45 mA ($2.5 I_{th}$),激光器一直保持单纵模工作,无跳模现象,在 12 mA 电流变化范围内,边模抑制比大于 30 (功率比),其波长随电流的变化率为 $0.041 \text{ nm}/\text{mA}$ 。

6. 纵模的温度锁定特性 图 6 是一个 CTRS-IS 激光器在固定工作电流条件下改变热沉温度,测试的激光波长随温度变化的结果,温度由 24°C 变化到 35°C ;工作电流为 52 mA; $I_{th} = 40 \text{ mA}$;总腔长 $L = 139 \mu\text{m}$,其中 $L_i = 105 \mu\text{m}$, $L_o = 15, 19 \mu\text{m}$ 。可以看到波长跳动发生在 26.2°C 和 31°C ,多模振荡仅发生在这两个跳动区域内,温度锁定范围约 5°C ,在锁定区域

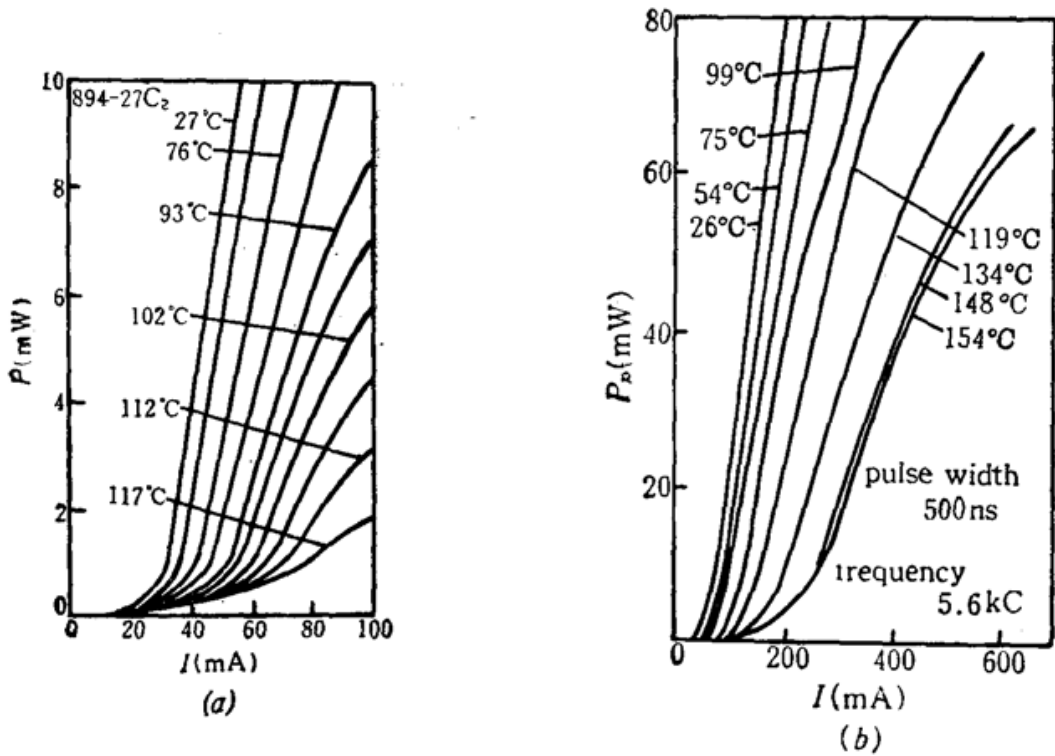


Fig. 4 (a) CW light/current characteristics at temperatures ranging from 27 to 117°C; (b) pulse light/current characteristics at temperatures ranging from 26 to 154°C

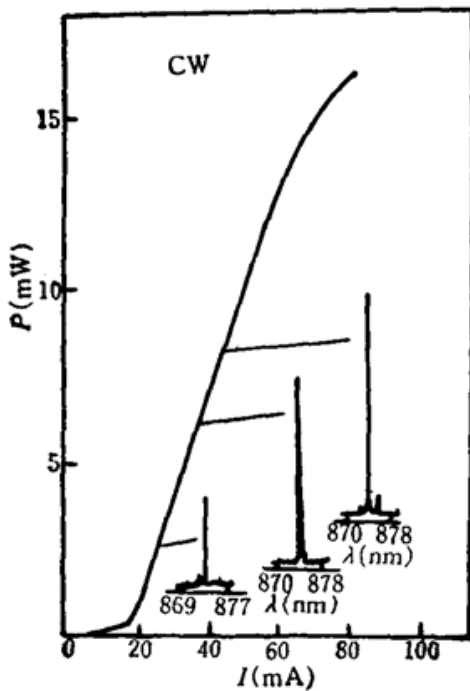


Fig. 5 CW light/current characteristics of a CTRS-IS laser and its lasing spectra at the indicated currents

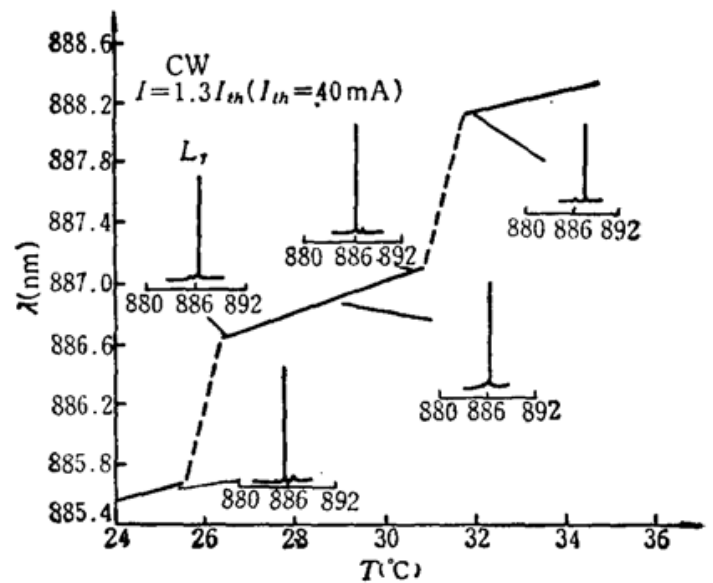


Fig. 6 Temperature dependence of lasing wavelength of a CTRS-IS laser ($L_i = 105 \mu\text{m}$; $L_o = 15, 19 \mu\text{m}$; $L = 139 \mu\text{m}$) operated at $1.3 I_{th}$ under direct current pumping. Also shown are lasing spectra at 25.4, 26.5, 29, 31 and 32°C

内, 激光器保持单纵模工作, 边模抑制比大于 30 (功率比), 其波长随温度的变化率为 $0.087 \text{ nm}/^\circ\text{C}$ 。