

文章编号: 0258-7025(2002)Supplement-0167-03

InGaAs/AlGaAs 单量子阱激光器低阈值激射*

宁永强¹ 高欣² 刘云¹ 王立军¹ Peter Snowton³ Peter Blood³

{	¹ 中国科学院激发态物理开放实验室, 长春 130021
	¹ 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 长春 130021
	² 长春光学精密机械学院高功率激光国防重点实验室, 长春 130022
	³ Astronomy and Physics Department, Cardiff University, UK

摘要 研究了用 MOCVD 方法生长的 InGaAs/AlGaAs 单量子阱(SQW)激光器阈值、温度依赖特性及光增益谱。在 300 K 下 2000 μm 腔长的激光器的激射阈值电流密度为 200 A/cm²。在 250 K 到 400 K 范围内,激光器表现出很好的激射阈值温度稳定性,其阈值电流密度特征温度为 179 K。在 160~220 K 范围内激光器的阈值电流随温度升高而减小,表现出负特征温度现象。

关键词 InGaAs/AlGaAs, 单量子阱, 负特征温度, 低阈值电流密度, 光增益

中图分类号 TN248.4 **文献标识码** A

Low Threshold Current Density Lasing of InGaAs/AlGaAs Single Quantum Well Laser

NING Yong-qiang¹ GAO Xin² LIU Yun¹ WANG Li-jun¹ Peter Snowton³ Peter Blood³

{	¹ Laboratory of Excited States Processes, The Chinese Academy of Sciences, Changchun 130021
	¹ Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, The Chinese Academy of Sciences, Changchun 130021
	² National Key Laboratory on High Power Semiconductor Lasers, Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics, Changchun 130022
	³ Astronomy and Physics Department, Cardiff University, UK

Abstract The threshold current density, temperature dependence and gain spectra of InGaAs/AlGaAs single quantum well (SQW) laser grown by MOCVD were studied. A low threshold current density of 200 A/cm² for a 2000 μm long stripe laser was achieved. The laser showed good thermal stability with a characteristic temperature T_0 of 179 K. In low temperature region of 160 ~ 220 K the threshold current density of InGaAs/AlGaAs SQW laser decreased with temperature, indicating a negative characteristic temperature.

Key words InGaAs/AlGaAs, single quantum well, negative characteristic temperature, low threshold current density, optical gain

1 引言

高功率半导体激光器广泛用于固体激光抽运、光纤激光抽运、激光打印、焊接和材料处理等方面。在 940 nm, 980 nm 等波段激光器中广泛采用 InGaAs/GaAs 应变量子阱结构。与 InGaAs/GaAs 结构相比, InGaAs/AlGaAs 量子阱结构由于采用宽带

隙 AlGaAs 材料作势垒,对载流子可以提供更好的限制,可望大大降低阈值电流密度,实现高功率输出^[1,2]。

本文用 MOCVD 方法生长了 InGaAs/AlGaAs 单量子阱(SQW)结构,实现了低阈值激射,而且在室温至 400 K 范围内具有极好的阈值电流密度稳定性。在低温下 InGaAs/AlGaAs 激光器表现出负的特征温度特性,通过研究增益与温度的关系对负特征温度现象的机制进行了探讨。

* 国家自然科学基金(69976032、19974047)及吉林省自然科学基金资助课题。

2 实 验

用 MOCVD 方法生长制备了 InGaAs/AlGaAs 分别限制单量子阱结构材料,其各层组分和能带结构如图 1 所示。首先在 GaAs 衬底上生长 500 nm 厚的掺 Si n 型 GaAs 缓冲层和 1200 nm 厚的 n -Al_{0.6}Ga_{0.4}As 盖层,然后生长不掺杂的 80 nm 厚的 Al_{0.15}Ga_{0.85}As 波导层,再继续生长 10 nm 厚的 In_{0.22}Ga_{0.78}As 量子阱有源区。其后继续生长相应厚度的 Al_{0.15}Ga_{0.85}As 波导层、掺 Be p 型 Al_{0.6}Ga_{0.4}As 覆盖层和 300 nm 厚的 p -GaAs 高掺杂欧姆接触层。

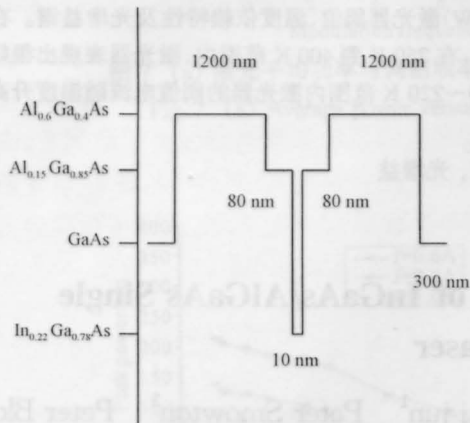


图 1 InGaAs/AlGaAs 分别限制单量子阱激光器材料能带结构

Fig. 1 Energy band profile of InGaAs/AlGaAs separate confinement single quantum well (SC-SQW) laser

激光器样品通过常规的半导体激光器工艺制作成条形边发射结构,条宽 50 μm ,激光器腔长 320 μm 到 2000 μm 。 p 面欧姆接触采用电子束蒸发 Ti/Pt/Au 薄膜, n 面接触采用热蒸发 AuGe/Ni/Au 薄膜。考虑到条形结构中存在的电流扩散问题,在计算注入电流密度时取条宽为 60 μm 。

为测量 InGaAs/AlGaAs 单量子阱材料的增益特性,采用多段(multisection)单程放大方法,每个 section 长度为 30 μm 。在相邻 section 之间沿横向刻出宽度仅为 2~3 μm 左右的隔离沟槽,深入到 p 型 AlGaAs 覆盖层内,使不同的 section 之间电学上隔离,以便保证在电流注入到某个 section 时没有电流扩散到相邻的 section 内。

其增益测试原理如下所示^[3]

$$G = \frac{1}{L} \left[\ln \left(\frac{I_{2L}}{I_L} - 1 \right) \right]$$

式中 L 是增益长度, G 是净模增益($\Gamma g - \alpha_i$), I 是放大自发发射谱(ASE)强度。比较增益长度分别为 L 和 $2L$ 的两个放大自发发射谱 I_L 和 I_{2L} 就可以由上

式得到净模增益谱 G 。在条形欧姆接触电极表面通过刻蚀方法刻出沿腔长方向、宽约 10 μm 的窗口,其深度穿透 p 型高掺杂 GaAs 和 AlGaAs 欧姆接触层。在测量端面放大自发发射时同时测量从表面窗口发射的自发发射谱强度和谱峰形状以保证不同 section 之间具有同样的注入电流密度和相同的费米能级分布。

量子阱激光器特性及增益测量均采用电脉冲抽运方式。脉冲宽度 300 ns,重复频率 1 kHz。这样的电注入条件可以尽量避免有源区中的热效应而导致的费米能级分布变化。测试温度范围为 140 K 至 400 K。

3 结果和讨论

图 2 表示一个腔长为 2000 μm 的 InGaAs/AlGaAs 单量子阱激光器在不同温度下的激射阈值电流密度。在室温直到 400 K 范围内,随着温度升高,由于载流子热分布变化,阈值电流密度表现出指数式增加。与普通 InGaAs/GaAs 量子阱激光器相比,InGaAs/AlGaAs 量子阱激光器表现出极好的温度稳定性,拟合得到的阈值电流密度特征温度 T_0 为 179 K。而且表现出很低的激射阈值,在 300 K 下腔长 2000 μm 激光器的阈值电流密度约为 200 A/cm^2 。

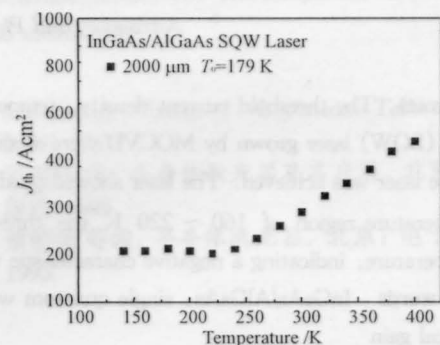


图 2 InGaAs/AlGaAs 单量子阱激光器阈值电流密度与温度的关系。激光器以脉冲方式抽运,脉冲宽度 300 ns、重复频率 1 kHz

Fig. 2 Temperature dependence of threshold current density of InGaAs/AlGaAs SC-SQW laser. The laser is pumped in pulse mode with a pulse width of 300 ns and a cycle rate of 1 kHz

由图 2 还发现在低温下(160~220 K)激光器的激射阈值电流密度随温度升高而减小,与普通量子阱激光器正相反,表现出负的特征温度。为研究其机制,测量了在不同温度下 InGaAs/AlGaAs 单量子

阱的光增益特性。

图3表示通过采用 Multisection 方法,由不同电抽运长度的端面 ASE 计算得到的不同温度下的光增益谱,注入电流为 200 mA,相应的注入电流密度约为 1 kA/cm^2 。图中各增益谱的温度分别为 145 K, 180 K, 200 K, 250 K 和 300 K。随着温度升高,光增益谱峰向长波长方向移动,同时光增益谱展宽。这主要是由于温度导致带隙收缩、载流子在能带内的分布展宽等原因造成的。由图3还可以发现在较低的温度下,随着温度升高,光增益谱峰值增益首先增加,达到最大后才逐渐减小。这个结果与低温下 InGaAs/AlGaAs 单量子阱激光器的阈值电流密度负特征温度现象相符。

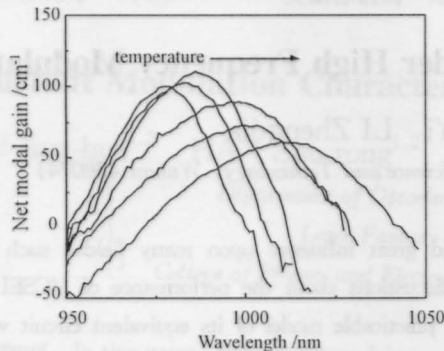


图3 InGaAs/AlGaAs 单量子阱在不同温度下的光增益谱。温度分别为 145 K, 180 K, 200 K, 250 K 和 300 K。注入电流密度为 1 kA/cm^2

Fig.3 Gain spectra of InGaAs/AlGaAs SQW at different temperature. The temperature are 180 K, 200 K and 300 K respectively. The injected current density is 1 kA/cm^2

图4表示 InGaAs/AlGaAs 单量子阱在三个不同注入电流下的峰值增益随着温度变化的曲线。三个注入电流密度分别为 350 mA/cm^2 , 500 A/cm^2 和 1 kA/cm^2 , 分别略高于激励阈值和远在激励阈值之上。随着温度升高,峰值增益均表现出增大-减小的现象。同时还可以发现随着注入电流密度增加,这种低温下增益随温度增大的幅度更为显著。

这种量子阱中阈值电流负特征温度现象及光增益随着温度升高而增大还是首次发现。近年来 InGaAs/AlGaAs 量子点激光器研究已经报道阈值电流负特征温度现象^[4]。我们对 InGaAs/AlGaAs 量子

点光增益的研究也发现在低温下光增益随着温度升高而增大。对量子点中的这种现象主要认为是由于量子点间缺少隧穿而使低温下量子点之间载流子分布不平衡^[4]。对量子阱结构出现这种现象很难用现有的 Fermi-Dirac 热平衡分布来解释。一个可能的原因是材料生长过程中的波动等使 InGaAs 量子阱的厚度不均匀,低温下载流子在阱内的分布不容易实现平衡。

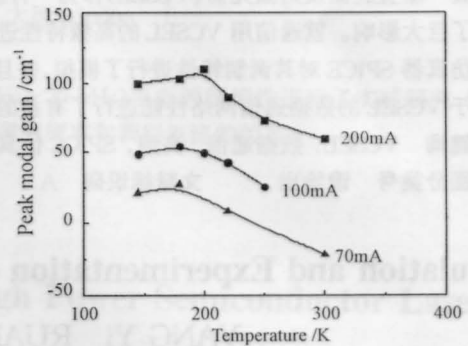


图4 InGaAs/AlGaAs 单量子阱峰值增益与温度的关系。注入电流分别为 70 mA, 100 mA 和 200 mA, 相应的注入电流密度分别为 350 A/cm^2 , 500 A/cm^2 和 1 kA/cm^2

Fig.4 Temperature dependence of peak modal gain of InGaAs/AlGaAs SQW. The injected currents are 70 mA, 100 mA and 200 mA, corresponding to current densities of 350 A/cm^2 , 500 A/cm^2 and 1 kA/cm^2 respectively

参 考 文 献

- 1 X. He, S. Srinivasan, S. Wilson *et al.*. 10.9 W continuous wave optical power from 100 μm aperture InGaAs/AlGaAs (915 nm) laser diodes. *Electron. Lett.*, 1998, **34**(22):2126~2127
- 2 E. J. Wilson, J. J. Lewandowski, B. K. Nayar *et al.*. 9.5 W CW output power from high brightness 980 nm InGaAs/AlGaAs tapered laser arrays. *Electron. Lett.*, 1999, **35**(1):43~44
- 3 J. D. Thomson, H. D. Summers, P. J. Huyler *et al.*. Determination of single pass optical gain and loss using a multisection device. *Appl. Phys. Lett.*, 1999, **75**:2527~2529
- 4 A. E. Zhukov, V. M. Ustinov, A. Yu. Egorov *et al.*. Negative characteristic temperature InGaAs/AlGaAs quantum dot injection laser. *Jpn. J. Appl. Phys.*, 1997, **36**:4216~4218