

镀膜对 2.0 μm 铟化物激光器性能的提升

黄书山^{1,2**}, 张宇^{1,2*}, 杨成奥^{1,2}, 谢圣文^{1,2}, 徐应强^{1,2}, 倪海桥^{1,2}, 牛智川^{1,2***}

¹中国科学院半导体研究所半导体超晶格国家重点实验室, 北京 100083;

²中国科学院大学材料科学与光电技术学院, 北京 100049

摘要 基于 InGaSb/AlGaAsSb 材料体系, 制备出了一款高性能的镀膜激光器。为了性能对比, 同时制备了未镀膜激光器。未镀膜的器件在注入电流为 3.0 A 时, 室温连续模式下的输出功率达到 300 mW, 最大插头效率为 8.3%。镀膜器件在注入电流为 2.6 A 时, 室温连续模式下的输出功率达到 380 mW, 最大插头效率为 15.6%; 另外, 在 0.3~2.4 A 的注入电流范围内, 镀膜器件的插头效率均大于 10.0%, 激射波长均在 2.0 μm 附近。

关键词 激光器; 红外; 量子阱; 铟化镓

中图分类号 TN2

文献标识码 A

doi: 10.3788/CJL201845.0901005

Performance Improvement of 2.0 μm GaSb Laser Diode by Facet Coating

Huang Shushan^{1,2**}, Zhang Yu^{1,2*}, Yang Cheng'ao^{1,2}, Xie Shengwen^{1,2},
Xu Yingqiang^{1,2}, Ni Haiqiao^{1,2}, Niu Zhichuan^{1,2***}

¹State Key Laboratory of Superlattices and Microstructures, Institute of Semiconductors,
Chinese Academy of Sciences, Beijing 100083, China;

²College of Materials Science and Opto-Electronic Technology, University of Chinese Academy of Sciences,
Beijing 100049, China

Abstract The coated laser with a high performance is fabricated based on the InGaSb/AlGaAsSb material system, and simultaneously the laser without facet coating is also fabricated for a performance comparison. The laser without facet coating working in the continuous-wave (CW) mode and under room temperature (RT) shows an output power of up to 300 mW at the injection current of 3.0 A and the maximum wall plug efficiency (WPE) is 8.3%. The laser with facet coating working in the CW mode and also under RT exhibits an output power of up to 380 mW at the injection current of 2.6 A and the maximum WPE is 15.6%. The WPE of the coated laser is always above 10.0% and the emission wavelength is around 2.0 μm at the injection current range of 0.3-2.4 A.

Key words lasers; infrared; quantum well; GaSb

OCIS codes 140.2020; 140.3070; 300.6260

1 引 言

激射波长在 2.0 μm 附近的半导体激光器在远距离气体检测、自由空间通信、可调谐半导体激光吸收光谱(TDLAS)、医疗治疗和诊断、红外制导和红外对抗(IRCM)等方面有大量的应用需求, 目前已经成为国际的研究热点之一。基于 III-V 族半导体材料的激光器, 尤其是磷化铟(InP)基和砷化镓(GaAs)基激光器, 已经得到长足的发展和充分的研

究^[1-3]。但是, 2.0 μm 波段的激光器难以通过上述两种材料体系获得。而基于铟化镓(GaSb)基的半导体激光器, 激射波长能有效覆盖该波段, 且具有室温(RT)工作、功耗较低、经济易制备、小型化、易集成等优点, 成为实现 2.0 μm 波段室温连续(CW)激光输出的最佳方式之一。国内外有很多关于 GaSb 基半导体激光器的报道, 研究内容主要集中在拓展激光器激射波长和提高激光器性能两个方面^[4-8]。

相比于 InP 基和 GaAs 基激光器, GaSb 基激光

收稿日期: 2018-03-09; 修回日期: 2018-04-23; 录用日期: 2018-05-07

基金项目: 国家自然科学基金(61435012, 61790583)、国家 973 计划 2014CB643903

* E-mail: zhangyu@semi.ac.cn; ** E-mail: shshuang@semi.ac.cn; *** E-mail: zcnium@semi.ac.cn

器的器件性能还有很多方面需要提高,比如在光电转换效率和器件光输出功率等方面。由于 InGaSb/AlGaAsSb 材料体系特有的能带结构,外延结构的改变对器件光电转换效率的提高作用有限,进一步提高器件的光电转换效率将主要依靠器件制备方面的工艺改善。比如通过镀膜等工艺,能够有效提高器件的光电转换效率和光输出功率性能。本文在稳定的材料外延和器件制备工艺的基础上,通过镀膜工艺有效提高了器件的性能,得到了性能良好的 2.0 μm 激光器。

2 实验内容

利用固体源的分子束外延设备(MBE),在 [100]晶向 n 型 GaSb 衬底上外延生长激光器结构。外延过程如下。首先生长 500 nm 厚的 GaSb 缓冲层,然后是 2.0 μm 厚的 $\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{As}_{0.02}\text{Sb}_{0.98}$ 的 n 型下限制层。有源区包括非参杂的 10 nm 厚的单 $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{Sb}$ 量子阱,以及量子阱上下两个 270 nm 厚的 $\text{Al}_{0.25}\text{Ga}_{0.75}\text{As}_{0.02}\text{Sb}_{0.98}$ 波导层。接着生长的是 2.0 μm 厚的 $\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{As}_{0.02}\text{Sb}_{0.98}$ 的 p 型上限制层。外延结构最后是 250 nm 厚的高掺杂 GaSb 接触层,可以获得良好的欧姆接触。

外延过程后,利用标准接触曝光技术和电感耦合等离子体刻蚀技术(ICP),在外延片上制备出波导结构。波导结构包括两个部分,后面部分为长 1500 μm 、宽 5 μm 的窄条波导,前面部分为长 3500 μm 、整体张角为 3°的锥形波导。再利用等离子体增强化学气相沉积技术(PECVD)沉积了厚度为 250 nm 的二氧化硅(SiO_2)电介质层,作为绝缘层。通过二次光刻和 ICP 技术,在 SiO_2 绝缘层上制备出电流注入窗口。然后利用磁控溅射,在表面溅射一层 Ti/Pt/Au 作为 p 面欧姆接触电极。在把衬底剪薄和抛光后,热蒸发 Au/Ge/Ni/Au,并高温退火,以作为 n 面欧姆接触电极。

然后把外延片解理成巴条,利用电子束蒸发设备蒸镀膜透膜和高反膜。锥形部分为出光面,蒸镀一层三氧化二铝(Al_2O_3)作为增透膜;窄脊条部分为后腔面,分别蒸镀两对 SiO_2/Si 作为高反膜,其反射率分别如图 1、2 所示。镀膜后,将巴条解理成单个的器件。利用铟(In)作为焊料,把未镀膜的器件和镀膜后的器件分别倒装在铜热沉上。

3 器件性能

在室温连续工作状态下,对器件进行测试。

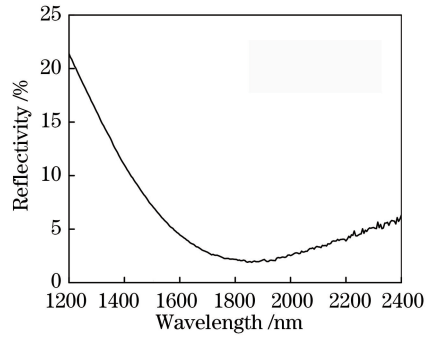


图 1 增透膜的反射率和波长间的关系

Fig. 1 Reflectivity of antireflection film versus wavelength

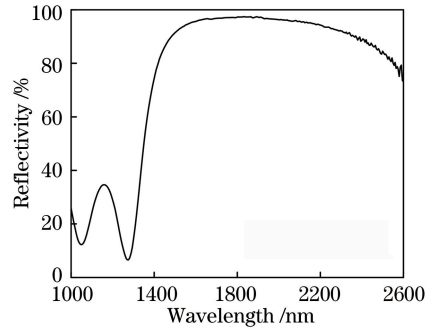


图 2 高反膜的反射率和波长间的关系

Fig. 2 Reflectivity of high-reflection film versus wavelength

图 3 所示为未镀膜器件的功率-电流-电压-插头效率(L-I-V-WPE)曲线。激光器阈值电流为 0.40 A。当注入电流为 3.0 A 时,器件的光输出功率为 300 mW。在注入电流为 1.6 A 时,器件达到最大插头效率(8.3%),对应的光输出功率为 144 mW。在注入电流在 1.0~3.0 A 的范围内变化时,器件的插头效率均大于 7%。

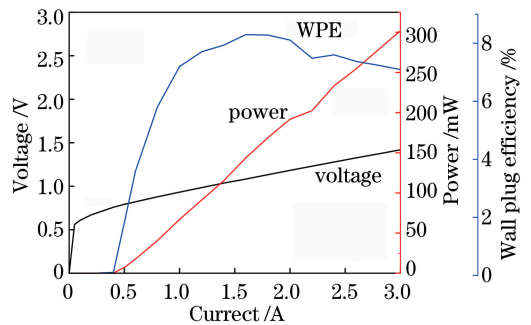


图 3 室温下未镀膜器件的 L-I-V-WPE 曲线

Fig. 3 L-I-V-WPE curves of uncoated laser under room-temperature

在室温连续工作模式下,测量了未镀膜器件的激光光谱与注入电流的关系,结果如图 4 所示。当注入电流为 0.3 A 时,器件的激光中心波长为 1992.9 nm,随着注入电流的增加,激光中心波长向

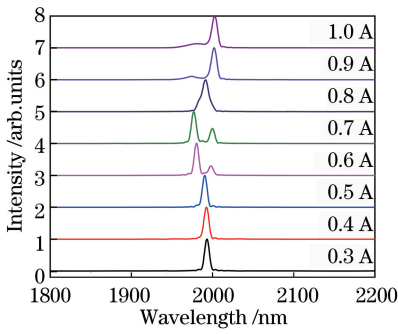


图 4 室温下未镀膜器件的激光光谱与注入电流间的关系

Fig. 4 Emission spectrum versus injection current of uncoated laser under room temperature

短波方向移动(蓝移)。当注入电流为 0.7 A 时, 激光中心波长达到最短, 为 1976.9 nm。随着注入电流继续增加, 激光中心波长向长波方向移动(红移)。当注入电流为 1.0 A 时, 激光中心波长为 2002.9 nm。

镀膜器件的 L-I-V-WPE 曲线如图 5 所示。镀膜器件的阈值电流为 0.15 A。当注入电流为 2.6 A 时, 器件的光输出功率为 380 mW。当注入电流为 0.6 A 时, 器件的插头效率达到最大(15.6%), 对应的光输出功率为 84 mW。当注入电流在 0.25~2.6 A 的范围内变化时, 器件的插头效率均大于 9%。

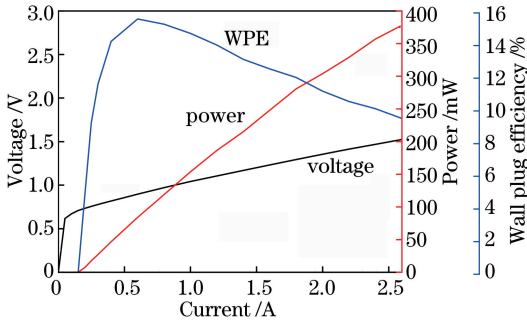


图 5 室温下镀膜器件的 L-I-V-WPE 曲线

Fig. 5 L-I-V-WPE curves of coated laser under room temperature

4 分析与讨论

镀膜器件和未镀膜器件的光输出功率和插头效率随注入电流的变化趋势如图 6 所示。通过曲线可以看出, 相比于未镀膜器件, 镀膜器件的性能有大幅度提高。主要体现在相同注入电流下, 镀膜器件的光输出功率更高, 插头效率更高, 而阈值电流更低。当注入电流为 2.0 A 时, 镀膜器件的光输出功率相比于非镀膜器件的功率提高 58.6%。器件的最大插

头效率也由未镀膜时的 8.3% 提高到镀膜后的 15.6%。器件性能结果见表 1。未镀膜器件借助解理面作为谐振腔的反射面, 解理面的反射率较低, 造成较大的腔面损耗。而对于 2.0 μm 波段的激光输出, 镀膜器件的后端面反射率高达 96.3%, 有效降低了光损耗, 提高了光输出功率, 这也同时解释了镀膜器件的阈值电流相比未镀膜器件有明显降低的原因。

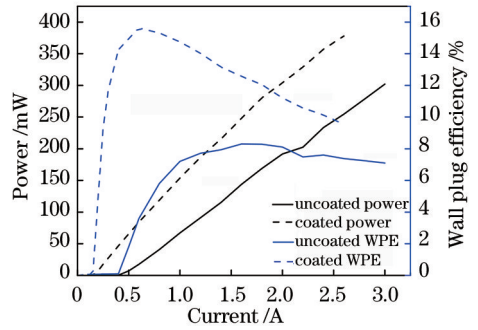


图 6 镀膜器件和未镀膜器件的 L-I-WPE 曲线

Fig. 6 L-I-WPE curves of coated and uncoated lasers

表 1 器件性能的对比

Table 1 Performance comparison of lasers

Parameter	Uncoated laser	Coated laser
Maximum WPE /%	8.3	15.6
Threshold current /A	0.40	0.15
Output power at 2.0 A /mW	192	304

5 结 论

在稳定的外延技术和器件制备工艺的基础上, 通过镀膜工艺进一步优化了 GaSb 基半导体激光器的性能。当注入电流为 2.6 A 时, 室温连续工作镀膜激光器的光输出功率为 380 mW。当注入电流为 0.6 A 时, 镀膜器件的插头效率达到最大, 为 15.6%。而镀膜器件的阈值电流只有 0.15 A。相比于未镀膜器件, 镀膜器件的性能指标都有较大幅度的改善, 可以有效满足 2.0 μm 波段的红外激光需求。

参 考 文 献

- [1] Liao Y P, Zhang Y, Xing J L, *et al.* GaSb-based quantum wells 2 μm high power laser diode[J]. Chinese Journal of Lasers, 2015, 42(s1): s102006. 廖永平, 张宇, 邢军亮, 等. 铋化镓量子阱 2 μm 大功率激光器 [J]. 中国激光, 2015, 42(s1): s102006.
- [2] Rouillard Y, Genty F, Perona A, *et al.* Edge and vertical surface emitting lasers around 2.0~2.5 μm

- and their applications[J]. Philosophical Transactions of the Royal Society A, 2001, 359 (1780): 581-596.
- [3] Scholle K, Fuhrberg P, Koopmann P, *et al.* 2 μm laser sources and their possible applications[M]. Rijeka: Intech Open Access Publisher, 2010: 437-441.
- [4] Liao Y P, Zhang Y, Xing J L, *et al.* High power laser diodes of 2 μm AlGaAsSb/InGaSb type I quantum-wells[J]. Journal of Semiconductors, 2015, 36(5): 50-53.
- [5] Wang Y, Liu G J, Li J C, *et al.* Study of the ohmic contact of GaSb-based semiconductor laser[J]. Chinese Journal of Lasers, 2012, 39(1): 0102010.
王跃, 刘国军, 李俊承, 等. GaSb 基半导体激光器功率效率研究[J]. 中国激光, 2012, 39(1): 0102010.
- [6] Xing J L, Zhang Y, Liao Y P, *et al.* Room-temperature operation of 2.4 μm InGaAsSb/AlGaAsSb quantum-well laser diode with low-threshold current density[J]. Chinese Physics Letters, 2014, 31(5): 054204.
- [7] Chai X L, Zhang Y, Liao Y P, *et al.* High power GaSb-based 2.6 μm room-temperature laser diodes with InGaAsSb/AlGaAsSb type I quantum-wells [J]. Journal of Infrared and Millimeter Waves, 2017, 36(3): 257-260.
- [8] Zhang Y G, Zheng Y L, Lin C, *et al.* Continuous wave performance and tunability of MBE grown 2.1 μm InGaAsSb/AlGaAsSb MQW lasers [J]. Chinese Physics Letters, 2006, 23(8): 2262-2265.