

2 μm 波段 InGaAsSb/AlGaAsSb 宽条 多量子阱激光器*

陈高庭 柏劲松 张云妹 耿建新 方祖捷

(中国科学院上海光机所 上海 201800)

李爱珍 郑燕兰 林 春

(中国科学院上海冶金所信息功能材料国家重点实验室 上海 200050)

提要 报道了用 MBE 生长的 InGaAsSb/AlGaAsSb 多量子阱材料做成的宽条激光二极管的性能。室温下以脉冲方式工作,实现了 83 mW 的峰值功率输出,阈值电流为 250 mA,典型峰值波长为 2.00 μm 左右。

关键词 中红外波段激光器,量子阱材料,MBE 生长

高性能中红外波段激光器在眼科医疗、人体组织手术、中红外激光传感、大气污染测量、掺 Ho 固体激光器的泵浦以及中红外材料光学性能测量等领域有着广泛的应用。因为此波段的激光对人眼最安全,在人体组织里有很强的吸收;化学气体对此波段的吸收十分敏感;同时与中红外遥感材料和掺 Ho 材料的吸收带相匹配。因此有关此种激光器的研究早有报道^[1,2]。

用于制作这种激光器的材料有两种:(1) InGaAs 作为有源层,InGaAsP 作为限制层,InP 作为衬底的应变量子阱材料;(2) InGaAsSb 作为有源层,AlGaAsSb 作为限制层,GaSb 作为衬底的量子阱材料。前一种材料具有较低的串联电阻和热阻,并具有良好的制备技术,这种器件的脉冲阈值电流密度较低,已实现室温连续工作,但最大波长限于 2.1 μm ^[3]。而后一种量子阱材料制作的激光器的激射波长可以延伸到 3.9 μm ^[4],这对于应用更有选择的余地。比如用于污染测量,激射波波长愈长,测量的灵敏度愈高。CO₂ 在 1.432 μm 处谱线的吸收灵敏度为 17×10^{-10} ,而在 2.779 μm 处则为 0.25×10^{-12} ,探测灵敏度提高了 6800 倍。

几年前我们已用液相外延(LPE)方法制作了 InGaAsSb/AlGaAsSb DH 激光器^[5]。这种二极管激光器的阈值电流偏高,工作温度偏低,激射波长偏短,离开使用仍然有距离。本文报道用分子束外延(MBE)方法生长的 InGaAsSb/AlGaAsSb 多量子阱材料制作的宽条激光二极管。首先介绍量子阱材料的结构,MBE 生长及器件制备,然后报道器件的性能。制作出的 80 μm 条宽,400 μm 腔长的激光器,室温下以脉冲方式工作,激射波长约为 2.00 μm ,脉冲阈值电流为 250 mA,阈值电流密度为 800 A/cm²。800 mA 下实现了 83 mW 的峰值功率输出。

* 国家 863(715-001-0142) 支持项目资助课题。

1 InGaAsSb/AlGaAsSb 多量子阱材料的 MBE 生长及器件制备

InGaAsSb/AlGaAsSb 多量子阱材料采用国产 MBE 型分子束外延设备进行生长, 结构如表 1 所示。衬底为 (100) 掺 Te 的 GaSb, 纯度为 7N 的 Ga, In, Al, As, Sb 源材料盛于 PBN 坩埚内。所用 GaSb 衬底经有机试剂和溴甲醇化学腐蚀, 去离子水依次处理后用 In 粘于钼块上。外延前, 在 RHEED 监控下去除衬底表面氧化物, 然后依次生长 GaSb 缓冲层, n 型 AlGaAsSb 限制层, 5 个周期的 InGaAsSb/AlGaAsSb 多量子阱有源层, 不掺杂的 AlGaAsSb 隔离层和 p 型 AlGaAsSb 限制层, 顶层为重掺杂 p 型 GaSb 盖顶层, 生长速率控制在 $0.7 \sim 1.0 \mu\text{m}/\text{h}$, 生长温度为 525°C 。图 1 和图 2 分别为 InGaAsSb/AlGaAsSb MQW 材料双晶衍射摇摆曲线 (DCRC) 和傅里叶光致发光谱 (FTPL) 在不同温度下的 PL 谱峰位的变化, 激发功率为 100 mW。从图 1 DCRC 曲线, 可清晰地观察到 0, ± 1 , -2 , $+3$ 级卫星峰。根据图 2 PL 峰位的位置, 求出 InGaAsSb/AlGaAsSb 异质结价带不连续比, 在组分: In 为 $0.2 \sim 0.36$, Al 为 $0.16 \sim 0.45$, Sb 为 $0.95 \sim 1.0$ 范围内 $\Delta E_v/\Delta E_g$ 为 $0.3 \sim 0.4$ 左右。

表 1 InGaAsSb/AlGaAsSb 多量子阱材料结构示意图
Table 1 The structure of the InGaAsSb/AlGaAsSb MQW material

cap	GaSb	$p^+ - 10^{19} \text{ cm}^{-3}$	$0.5 \mu\text{m}$
cladding	AlGaAsSb	$p - 10^{18} \text{ cm}^{-3}$	$1.5 \mu\text{m}$
barrier	AlGaAsSb	undoped	30 nm
well/barrier (5 period)	$\text{In}_{0.25}\text{Ga}_{0.75}\text{As}_{0.02}\text{Sb}_{0.98}/$ $\text{Al}_{0.16}\text{Ga}_{0.84}\text{As}_{0.02}\text{Sb}_{0.98}$	undoped	10 nm 30 nm
cladding	AlGaAsSb	$n^+ - 10^{18} \text{ cm}^{-3}$	$1.5 \mu\text{m}$
buffer	GaSb	$n^+ - 10^{18} \text{ cm}^{-3}$	$1.0 \mu\text{m}$
sub.	GaSb(100)	$n^+ - 10^{18} \text{ cm}^{-3}$	

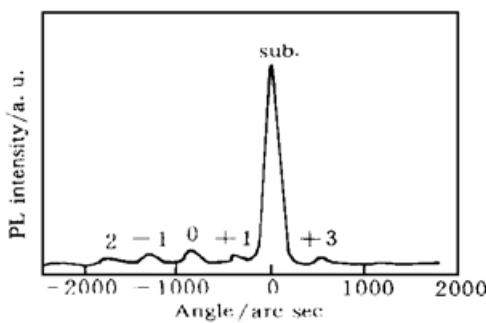


图 1 InGaAsSb/AlGaAsSb 多量子阱 DCRC
Fig. 1 The double crystal rocking curve of the InGaAsSb/AlGaAsSb MQW material

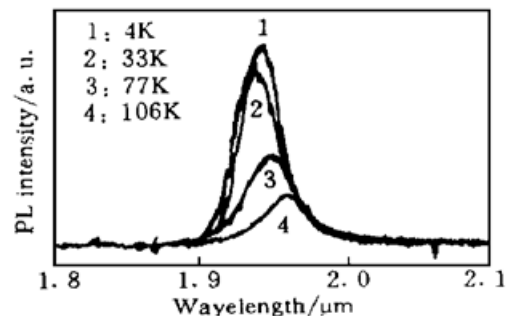


图 2 InGaAsSb/AlGaAsSb 多量子阱材料在 100 mW 功率激发下的 FTPL
Fig. 2 The Fourier Transmission photoluminescence spectra of the InGaAsSb/AlGaAsSb MQW material excited by a 100 mW-power source

然后在外延片表面沉积上 SiO_2 薄膜, 光刻出 $80 \mu\text{m}$ 宽的窗口, 溅射上 Ti-Pt-Au。再把衬底面减薄到 $100 \mu\text{m}$ 左右, 蒸发上 AuGeNi, 并在 300°C 温度下合金化 30 s。最后解理为 $400 \mu\text{m}$ 腔长的管芯, 用 In 作焊料 p 面朝下焊在 Cu 热沉上。然后进行激光器的电学和光学性能测量。

2 激光器的基本特性

(1) 伏安特性测量 对窄带半导体激光二极管来说,其正向和反向伏安特性是用来表征管芯材料 $P-N$ 结优劣的重要参数,并且依从温度有很大的变化。因此分别测定了低温(13 K)和室温(14°C)下宽条 InGaAsSb/AlGaAsSb 多量子阱激光二极管的正反向伏安特性。有激光输出和无激光输出的芯片的典型伏安特性分别如图 3 (a),(b) 所示,比较分析见表 2。

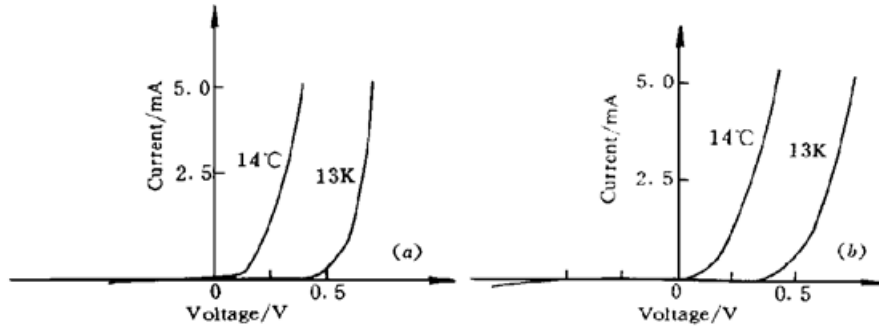


图 3 有激光输出器件 (a) 和无激光输出器件 (b) 的正反向伏安特性

Fig. 3 The $I-V$ characteristics of the devices

(a) A device with which lasing is possible; (b) A device with which lasing is impossible

表 2 13K 和 14°C 下的正反向伏安特性

Table 2 The $I-V$ characteristics at the temperatures 13 K and 14°C

$I-V$ characteristics	forward breakover voltage	reverse voltage with $I = 250 \mu A$	firing point	
temperature				
13 K	lasing device	0.5 V	$\gg 1$ V	very obvious
	not-lasing device	< 0.5 V	< 1 V	obvious
14°C	lasing device	0.25~ 0.3 V	~ 1 V	very obvious
	not-lasing device	< 0.25 V	0.5 V	not obvious

从表 2 的比较可以看出,没有光激射的器件,正反向伏安特性显得较差。测量结果的统计分析表明,伏安性能好的器件获得激光激射的可能性较大。伏安特性测量为挑选芯片提供了实验依据,同时还反映了外延材料的质量。据文献[6]报道,造成器件伏安特性不良的主要原因是 $p-n$ 交界面的位错密度太高,表明应进一步提高 MBE 外延材料的质量。

(2) 激光功率-电流 ($P-I$) 特性曲线如图 4 所示。激光器室温下以脉冲方式工作,脉冲电源脉宽为 $5 \mu s$,周期为 1 kHz。对腔长为 $400 \mu m$ 的激光器,阈值电流为 250 mA,阈值电流密度为 $800 A/cm^2$,800 mA 下光功率输出为 83 mW。

(3) 激光发射光谱如图 5 所示。在室温 14°C 和 17°C,脉冲驱动电流为 500 mA 的条件下,激光波长在 $2.00 \mu m$ 附近。14°C 下有两个模,波长分别为 $1.9866 \mu m, 1.9886 \mu m$ 。17°C 下有四个模,波长分别为 $1.9876, 1.9906, 1.9936, 1.9976 \mu m$ 。单模线宽约一点几纳米。波长随温度升高有红移,两个强度最大模之间红移达到 10 nm,温度红移系数为 $3.3 nm/^\circ C$ 。

(4) 测量激光远场分布,沿结平面方向的发散角为 $6\sim 20^\circ$,垂直于结平面方向的发散角为 $15\sim 36^\circ$ 。图 6 为其中一个器件的测量曲线。

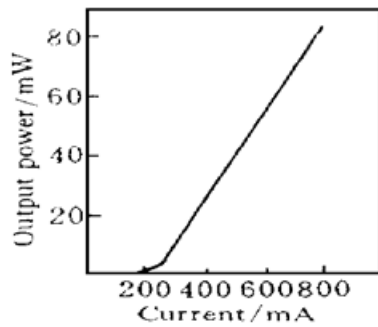
图 4 脉冲工作方式下 $P-I$ 特性

Fig. 4 The characteristics of output power vs current ($P-I$) of the device operating in the pulse model

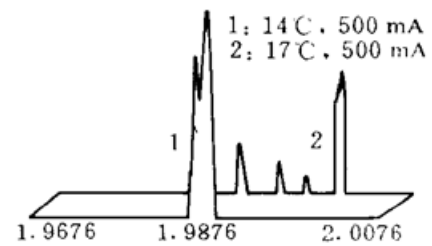


图 5 激光发射光谱图

Fig. 5 The spectra of the lasing device

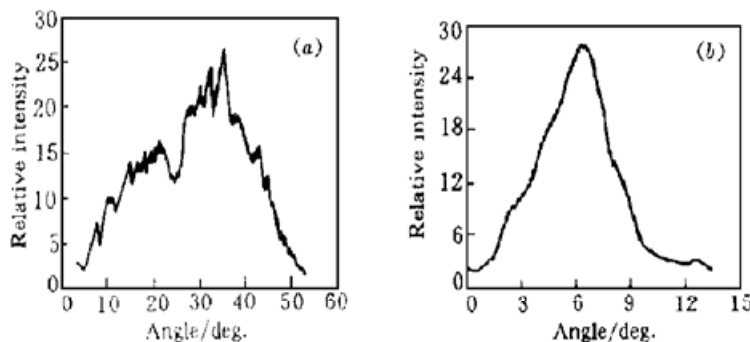


图 6 器件远场特性

(a) 垂直于结平面方向;
(b) 平行于结平面方向

Fig. 6 The farfield characteristics of the lasing device

(a) vertical to the junction plane;
(b) parallel to the junction plane

参 考 文 献

- 1 C. Caneau, J. L. Zyskind, J. W. Sulhoff *et al.*. 2.2 μm GaInAsSb/AlGaAsSb injection laser with low threshold current density. *Appl. Phys. Lett.*, 1987, **51**(10): 764~ 766
- 2 J. L. Zyskind, J. C. Dewinter, C. A. Burrus *et al.*. Highly uniform, high quantum efficiency GaInAsSb/AlGaAsSb double heterostructure lasers emitting at 2.2 μm . *Electron. Lett.*, 1989, **26**(9): 568~ 570
- 3 H. K. Choi, G. W. Turner, M. K. Connors *et al.*. High-power, high-temperature operation of GaInAsSb/AlGaAsSb ridge-waveguide lasers emitting at 1.9 μm . *IEEE Photonics Technology Letters*, 1995, **7**(3): 281~ 283
- 4 H. K. Choi, G. W. Turner. InAsSb/InAlAsSb strained quantum-well diode lasers emitting at 3.9 μm . *Appl. Phys. Lett.*, 1995, **67**(3): 332~ 334
- 5 Cao Gendi, Zhu Xiaochun, Wang Hailong *et al.*. GaInAsSb/AlGaAsSb DH lasers. *Quantum Electron.* (量子电子学), 1991 (1): 172~ 174 (in chinese)
- 6 Hong. K. Choi, Stephen J. English. High-efficiency high-power GaInAsSb/AlGaAsSb double-heterostructure lasers emitting at 2.3 μm . *IEEE J. Quantum Electron.*, 1991, **27**(6): 1555~ 1559

A 2 μm Waveband InGaAsSb/AlGaAsSb Wide Stripe MQW Diode Laser

Chen Gaoting Bai Jingsong Zhang Yunmei Geng Jianxin Fang Zujie
(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, The Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800)

Li Aizhen Zheng Yanlan Lin Chun

(State Key Laboratory of Functional Materials of Informatics, Shanghai Institute of Metallurgy, The Chinese Academy of Sciences, Shanghai, 200050)

Abstract The performance of a wide stripe InGaAsSb/AlGaAsSb MQW diode laser grown by MBE is reported. Output pulse power of the laser diode at room temperature is 83 mW, the threshold current is 250 mA, and the typical peak wavelength is about 2.00 μm .

Key words mid-infrared semiconductor laser, quantum-well material, MBE growth