

InGaAs/InAlAs 量子级联激光器研究*

张权生¹⁾ 刘峰奇²⁾ 张永照¹⁾ 王占国²⁾

Honghai Gao³⁾ A. Krier³⁾

¹⁾中国科学院半导体研究所, 集成光电子学国家重点实验室, 北京, 100083;

²⁾中国科学院半导体研究所, 半导体材料开放实验室, 北京, 100083;

³⁾Physics Department, Lancaster University, UK)

摘要 简要报道了自行研制的 InGaAs/InAlAs 量子级联激光器的制备及其主要特性. 该器件具有增强型脊型波导结构, 在 80K 时阈值电流为 0.5A, 相应的阈值电流密度为 5kA/cm².

关键词 量子级联, 子带跃迁, 激光器.

INVESTIGATION ON InGaAs/InAlAs QUANTUM CASCADE LASERS*

ZHANG Quang-Sheng¹⁾ LIU Feng-Qi²⁾ ZHANG Yong-Zhao¹⁾ WANG Zhang-Guo²⁾

Honghai Gao³⁾ A. Krier³⁾

¹⁾National Integrated Optoelectronics Laboratory, Institute of Semiconductors,
Chinese Academy of Sciences, Beijing 100083, China;

²⁾National Semiconductor Materials Laboratory, Institute of Semiconductors,
Chinese Academy of Sciences, Beijing 100083, China;

³⁾Physics Department, Lancaster University, UK)

Abstract The preparation and main characteristics of the InGaAs/InAlAs quantum cascade laser were given. The device has a reinforced ridge waveguide structure. The threshold current obtained at 80K is about 0.5A, and the corresponding threshold current density is about 5kA/cm².

Key words quantum cascade, subband transition, laser.

引言

量子级联激光器是近年来出现的一种新型半导体激光器. 工作原理与现有双极性半导体激光器完全不同. 它不依靠 p-n 结注入少数载流子, 也不依靠电子空穴对的辐射复合, 而是依靠单极性载流子在级联式耦合量子阱内各子带间的反复辐射跃迁获得光增益并实现受激辐射, 因而是一种单极性半导体激光器. 它的出现开创了利用宽带隙材料制备中、远红外波段半导体发光器件的先河, 而其独特的工作原理也展示出有可能解决现有双极性半导体激光器根本困难的光明前景^[1].

我们采用量子工程原理设计并研制成功一种工作于中红外波段的 InGaAs/InAlAs 量子级联激光器^[2]. 在文献[2]中我们已对器件的结构设计和参数选取作了报导, 本文将重点报导器件的制备及其主要特性.

1 器件制备

器件芯片具有平板波导结构, 系采用 Riber 32p 分子束外延设备、固态源 MBE 方法在 (100) 面 n-InP 衬底上制备的. 由 25 级级联式耦合垂直跃迁三耦合 InAlAs 量子阱激射有源区及渐变带隙层四元合金 InGaAs/InAlAs 超晶格弛豫/注入区构成了波

* 863 计划(编号 863-715-001-0111)及国家自然科学基金(编号 69786002)资助项目

稿件收到日期 2000-08-12, 修改稿收到日期 2000-10-30

* The project supported by the State "863" Plan (No. 863-715-001-0111) and the National Natural Science Foundation of China (No. 69786002)

Received 2000-08-12, revised 2000-10-30

导芯的主要结构, 激励跃迁发生在阱宽为 4.7nm 的最宽 InGaAs 量子阱导带子带之间。

器件被制成具有增强型脊型波导条形结构, 用一对天然平行的(110)解理面构成 Fabry-Perot 谐振腔。对比实验表明, 此种结构器件的阈值特性和功率特性均优于普通脊型波导器件。

器件外延面朝下烧焊在镀 In 无氧铜热沉上, 在其背面压焊上多根引线, 以提高电流荷载能力。

2 器件特性

2.1 $V-I$ 特性

$V-I$ 特性是揭示器件内部量子输运特性的简便方法, 也是检验芯片结构及其质量的快捷手段之一。

实验样管包括宽接触及条形器件。对两种器件均进行了室温及低温/变温测量。制备得当的器件室温及低温 $V-I$ 特性均呈现明显的非对称性。这是器件内级联式量子阱/超晶格结构所决定的。室温 $V-I$ 特性中, 正向转折电压 V_+ 一般为 3~4V (正向电流 10mA 下的数值), 最高可达 5~6V。反向击穿电压 V_- 一般为 1.5~2.5V (反向电流 1mA 下的数值), 最高可达 3~4V。在变温测量中发现 V_+ 和 V_- 均随温度的降低而增大, 其中从 300K 至 100K 变化明显, 77K 后变化较缓慢, 表明液 N_2 温度是较适宜的器件使用温度。

在特殊设计和制作的 InGaAs/InAlAs 级联式多级耦合量子阱/超晶格结构中, 在室温和低温均观测到了十分明显的多级负微分电阻-级联式量子共振隧穿特性, 表明芯片结构中的各级量子阱/超晶格层次之间具有清晰的界面^[3]。详细结果及分析将另文报导。

2.2 光功率/电流特性

在文献[4]中, 我们曾对量子级联激光器的阈值

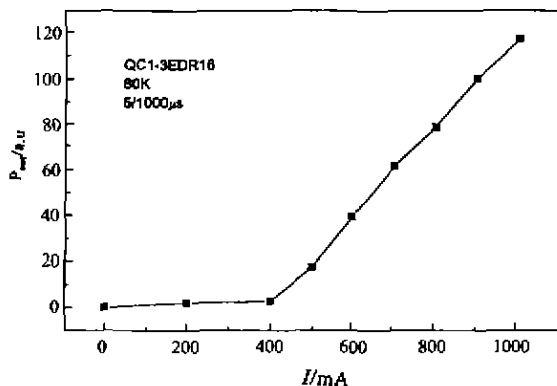


图1 输出光功率/输入电流特性

Fig. 1 Output optical power vs input current

特性、功率特性等进行过一般性分析^[4], 这里仅给出部分实验结果。

将测量器件置于真空杜瓦瓶内, 偏置电流由 HP214A 型脉冲发生器提供, 用 OS4040 数字存储示波器监控。器件的输出光信号用液 N_2 制冷 InSb 探测器接收, 用 SR810DSP 锁相放大器读取。图 1 给出了器件 QC1-3EDR16 在 80K 温度下的测量结果。测量是在脉宽 5 μ s、周期 1ms 条件下完成的。由图可知, 该器件光功率/电流曲线显示出明显的阈值特性, 阈电流低于 0.5A, 相应的阈电流密度约 5kA/cm²。

我们对部分器件进行了变温光功率/电流特性测量。测量是在脉冲电流占空比为 1/1000 条件下进行的, 取液 N_2 自然升温方式。对器件 QC1-3EDR18 的测量结果是: 当温度升至 290K 时, 该器件的光功率/电流曲线仍显示出明显的阈值特性, 且阈值电流和量子效率均较 77K 时下降得不甚明显, 显示出该器件良好的温度特性。

2.3 发光特性

利用双线示波器同时读取电流脉冲和发光波形, 研究了器件的发光特性。图 2 给出了器件 QC1-3EOR27 的测量结果, 下部为驱动器件的矩形电流脉冲, 上部为用 InSb 探测器接收到的器件辐射光脉冲。图中光脉冲相对于电脉冲的较大延迟 (~1 μ s) 是由于探测器响应时间较慢 (~1 μ s) 造成的, 器件的真实响应时间应在 ns 量级。

利用双光栅光谱仪对器件的发光波长进行了初步研究。实验中器件紧靠入射狭缝, 中间未加准直透镜。一台微型计算机与系统相联并进行数据处理。图 3 给出了对器件 QC1-3EDR32R 的测量结果。鉴于测量系统分辨能力较差, 致使模式重叠十分严重, 但仍可看出主峰波长处于 5.125 μ m 处, 与设计值符合

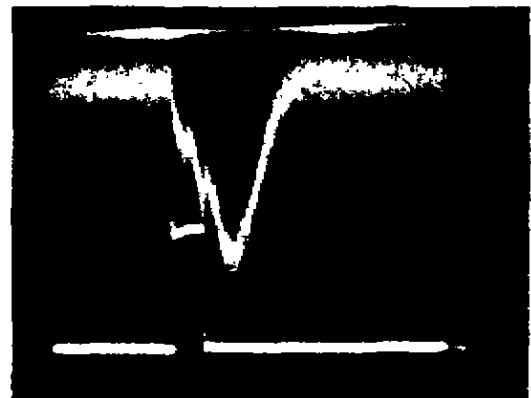


图2 电脉冲波形(下)与光脉冲波形(上)

Fig. 2 Current pulse (lower) and optical pulse (upper)

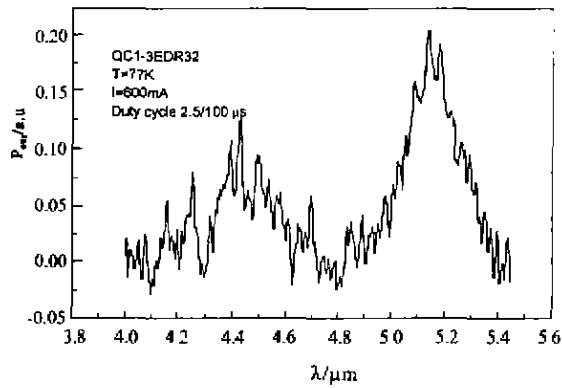


图 3 发光光谱

Fig. 3 Emission spectrum

得较好,也与同一芯片的吸收谱测量结果相吻合.

3 结语

本文简要报道了自行研制的 InGaAs/InAlAs 量子级联激光器的制备及其主要特性.

致谢:作者感谢北京大学郭长志教授,清华大学陈水

莲教授,香港科技大学葛惟昆教授和杨志宇教授在物理分析和测试方面的帮助.

REFERENCES

- [1] Faist J, Capasso F, Sivco Sirtori D L, *et al.* Quantum cascade laser, *Science*, 1994, **264**: 553
- [2] ZHANG Quan-Sheng, LIU Fen-Qi, GUO Chang-Zhi, *et al.* Design of InGaAs/InAlAs quantum cascade lasers, *Chinese Journal of Luminescence* (张权生, 刘峰奇, 郭长志, 等. InGaAs/InAlAs 量子级联激光器结构设计和参数选取, *发光学报*), 1999, **20**(suppl): 55
- [3] Capasso F, Sen S, Beltram F, *et al.* Quantum functional devices: resonant-tunneling transistors, circuits with reduced complexity, and multiple-valued logic, *IEEE Transactions on Electron Devices*, 1989, **36**: 2065
- [4] ZHANG Quan-Sheng, LIU Feng-Qi, LIANG Ji-Ben, *et al.* Some problems on quantum cascade laser design, *Proceedings of the Chinese National Conference on GaAs and Related Compound Semiconductors*, Zhangjiajie (张权生, 刘峰奇, 梁基本, 等. 量子级联激光器设计中的几个问题, 1977 年砷化镓及有关化合物会议论文集, 张家界) 1997: 245