

量子阱激光器光增益温度关系 及对激射特性的影响*

张敬明 徐遵图 杨国文 郑婉华 钱毅
李世祖 肖建伟 徐俊英 陈良惠

(国家光电子器件工程研究中心 中国科学院半导体研究所 100083)

摘要 计算了不同温度下 GaAs/AlGaAs 量子阱材料光增益与载流子密度的关系. 根据 B-D 条件: $\Delta F > h\nu \geq E_g + E_{cl} + E_{vl}$, 得到了 ΔF 、峰值增益光子能量和 $E_g + E_{cl} + E_{vl}$ 与载流子密度的关系, 并得到不同增益的激光器阈电流温度关系. 计算结果解释了实验出现的阈电流温度的反常特性和波长开关现象, 并且与器件温度特性符合.

PACC: 4255P

1 引言

温度特性是器件实用化所关心的最重要参数之一. 量子阱激光器产生受激发射的最基本条件和其它各种激光器一样, 要求谐振腔内光增益克服损耗, 所以光增益的温度关系是影响器件特性(例如阈值电流、激射波长、调制特性等)的最重要的因素, 对解释激光器特性的温度变化起重要的作用. 除外, 俄歇复合也影响激光器的温度特性, 但在长波长激光器中较为突出.

L. E. Eng 等^[1]测量研究了量子阱激光器 5K 到室温范围激射阈值的变化. K. J. Beernink 等^[2]研究了反变量子阱激光器的波长开关现象. P. P. Zory 等^[3]测量了不同腔长量子阱激光器的阈电流温度关系. 这些有趣的现象与增益温度特性有密切的关系.

本文通过对 GaAs/AlGaAs 量子阱结构增益的理论计算, 得到光增益谱随温度的变化, 从而获得阈电流密度温度关系、增益带宽和峰值能量随载流子浓度及温度的变化.

* 863 高技术资助项目

张敬明 男, 1939 年生, 副研究员, 主要从事光电子器件理论和技术研究

徐俊英 男, 1939 年生, 高级工程师(正研级), 主要从事半导体量子阱光电子器件研究

杨国文 男, 1966 年生, 助研, 在职博士生, 主要从事材料生长、器件制备和特性研究

1994 年 4 月 14 日收到初稿, 1994 年 6 月 16 日收到修改稿

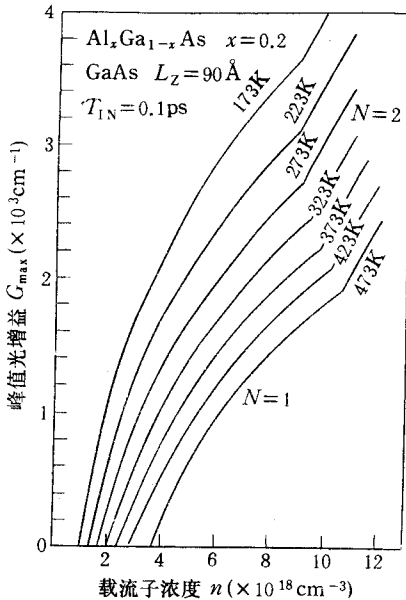


图 1 不同温度下光增益谱峰值
增益随注入载流子浓度的变化

2.2 B-D 条件和增益全带宽的变化

Bernard 和 Duraffourg^[5]提出半导体材料出现增益的条件为 $(F_c - F_v) > h\nu > E_g$, 即要求 $\Delta F > E_g$. 对于量子阱材料的条件为 $\Delta F > h\nu > E_g + E_{c1} + E_{v1}$, E_{c1} 和 E_{v1} 分别为以带边能量为零的导带 $N=1$ 子能级和价带 $N=1$ 重空穴子能级能量. 计算结果如图 2 所示, 当载流子密度增加时, $\Delta F - (E_g + E_{c1} + E_{v1})$ 增加, 增益峰光子能量几乎不随注入载流子密度变化.

2.3 阈值电流密度温度关系

对于 GaAs/AlGaAs 激光器, 假定俄歇复合的影响忽略不计. 由增益作为参变量, 载流子密度与电流密度关系 $J = eMLzBen^2$, 取 $M=1$, $Be = 9 \times 10^{-11} \text{ cm}^3/\text{s}$ 为复合常数, 不同阈值增益的阈值电流密度温度关系如图 3 所示. 可以看出, 阈值增益越低, 阈值电流温度关系越小. 另外, 多量子阱光限制因子正比于量子阱数, 所以一定的模增益多量子阱要求较低的阈值材料增益, 而图 3 中阈值温度关系的曲线簇不是等间距的, 因而多量子阱激光器有较好的温度特性. 在

增益. 阱宽 90 Å , 带内弛豫时间取 0.1 ps , 阱垒材料带隙差在异质结边界上分配到导带和价带不连续比取 0.67 . 从 -100°C 到 200°C 温度范围内, 每隔 50°C 计算一条光增益与载流子密度曲线, 共计七条如图 1 所示. 改变温度可以引起半导体材料带隙、载流子分布以及载流子相互作用和散射的变化, 以致使增益谱能量位置、峰值大小等发生变化. 经计算得到结果如下:

2.1 峰值增益的变化

众所周知, 量子阱中载流子分布呈现子带结构, 由于增益饱和效应, 在计算的每一个温度对应的增益载流子浓度曲线上呈现扭折状, 扭折点以上 $N=2$ 子带光增益超过 $N=1$ 子带的增益. 在扭折点 $N=1$ 和 $N=2$ 子带的光增益峰值相等. 结果表明随着温度的升高量子阱材料的微分增益降低, 而且扭折点向较低增益值和较高载流子密度方向移动. 此外随着温度的升高透明载流子密度提高.

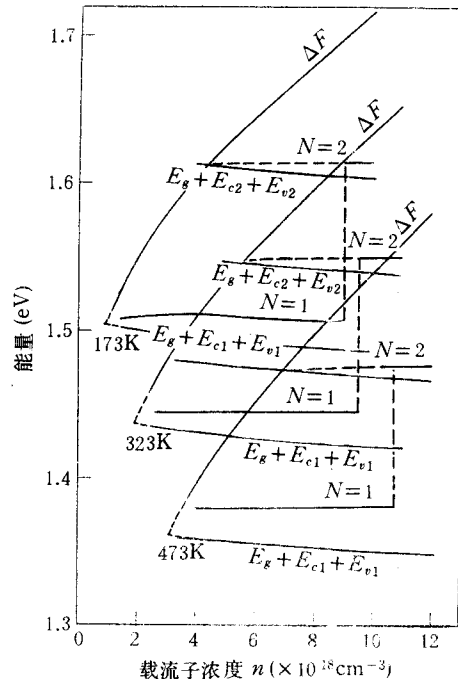


图 2 不同温度下, $E_g + E_{c1} + E_{v1} \Delta F$ 和
增益峰光子能量随注入载流子浓度的变化

一个子带内, $J_{th} \sim T$ 关系可以表示为 $J_{th} = a + b \times T^c$ 的形式.

2.4 激射波长

在确定温度下, 当注入载流子密度增加时, 增益峰值能量基本不变, 这是由于带填充与带收缩效应相抵消, 显然温度降低, 由于禁带宽度增加使增益峰向高能移动. 对于高阈值增益的激光器由于 $N=1$ 的光增益不能达到阈值, 所以增益峰移到 $N=2$ 的子带达到激射阈值, 因此对于不同腔长或不同温度工作的激光器阈值增益不同, 当增益变化跨越增益从 $N=1$ 到 $N=2$ 转移时, 激光器阈电流温度特性出现异常规律, 对于脉冲工作会出现激射波长开关现象.

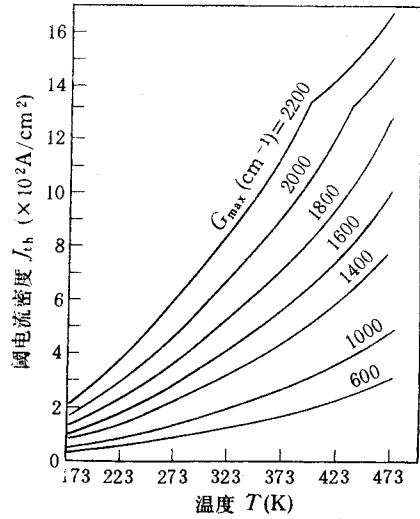


图3 激射阈电流密度随温度和激光腔不同阈值增益的变化

3 结论

我们已经计算了量子阱材料的增益载流子浓度关系, 以及增益峰能量、 ΔF 和 $E_g + E_{c1} + E_{v1}$ 随载流子浓度变化的温度特性. 同时得到了具有不同阈值增益的激光器的阈电流温度曲线, 计算结果与文献[3]中不同腔长激光器的阈电流温度实验符合, 解释了波长开关效应和阈电流温度特性的异常规律. 结果对改善器件温度特性进行的结构设计有指导性意义.

参 考 文 献

- [1] L. E. Eng *et al.*, Appl. Phys. Lett., 1991, **58**(24): 2752—2754.
- [2] K. J. Beernink *et al.*, Appl. Phys. Lett., 1991, **58**(19): 2076.
- [3] P. S. Zory *et al.*, 11th IEEE International Semiconductor Laser Conference, Boston, Massachusetts, 1988, 34.
- [4] 张敬明等, 半导体学报, 1992, **13**(2): 67.
- [5] M. G. A. Bernard and G. Duraffourg, Phys. Status Solidi, 1961, **1**: 699.

Temperature Dependence of Gain and Its Influence on Lasing Characteristics in Quantum Well Lasers

Zhang Jingming, Xu Zuntu, Yang Guowen, Zheng Wanhua, Qian Yi
Li Shizu, Xiao Jianwei, Xu Junying and Chen Lianghui

*(National Engineering Research Center for Optoelectronic Devices,
Institute of Semiconductors, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100083)*

Received 14 April 1994, revised manuscript received 16 June 1994

Abstract The relation of gain versus carrier density at different temperatures in GaAs/Al-GaAs quantum well material has been calculated. According to the B-D condition ($\Delta F > \hbar\nu \geq E_g + E_{c1} + E_{v1}$), the ΔF , gain peak energy and $E_g + E_{c1} + E_{v1}$ as a function of carrier density for several temperatures were also calculated, the temperature dependence of threshold current in laser diodes with variant gain values have been obtained. The results can explain anomalous threshold current dependence on temperature and the phenomenon of wavelength switching appeared in the experiments, and are in good agreement with the device temperature characteristics.

PACC: 4255P