

大功率分布反馈激光器中光栅优化及试验*

付生辉† 宋国峰 陈良惠

(中国科学院半导体研究所, 北京 100083)

(2006 年 7 月 12 日收到, 2006 年 8 月 3 日收到修改稿)

对于分布反馈激光器来说, 光栅的耦合系数是一个重要参数. 利用改进的耦合波理论计算了具体器件结构中光栅形貌对二级光栅耦合系数的影响. 在此基础上制作的器件功率达到了单面 50 mW, 边模抑制比为 36 dB.

关键词: DFB 激光器, 耦合波理论, 二级光栅, 边模抑制比

PACC: 7280E, 6110D, 6120J

1. 引 言

分布反馈(DFB)激光器广泛应用于光通信, 光谱学, 光盘记录等领域^[1-4]. 对于利用全息干涉技术制作短波长 DFB 激光器来说, 往往需要制作二级光栅. 耦合系数是决定 DFB 激光器性能诸如阈值, 量子效率, 线宽^[5-7]等优劣的一个重要参数. 对于二级光栅 DFB 激光器, 在计算耦合系数时需要考虑光栅对传输模式的一级作用^[8-11]. 有文献指出即便是二级纯折射率耦合的 DFB-LD 在某种程度上说也是复耦合的 DFB-LD^[12], 因为其复耦合系数会使得模式增益差更大, 更有利于器件的单模工作^[5, 8, 13]. 本文利用改进的耦合波理论计算了所述二维结构的光栅形貌(高度, 占空比)对耦合系数的影响, 并在此基础上制作了采用 0.65% 压应变的 AlGaInAs/AlGaAs 量子阱结构和无铝的 GaInP 光栅的 DFB 激光器.

2. 计算方法

对于二级光栅 DFB 激光器, 在改进的二维耦合波理论^[14, 15]中设 $E_0(x, y)R(z)\exp(i\beta_0 z)$ 为沿 +z 方向传播的波(这里只讨论 TE 模式), $E_0(x, y)S(z)\exp(-i\beta_0 z)$ 为沿 -z 方向传播的波. 其中 $E_0(x, y)$ 表示横向场, $R(z)$ 和 $S(z)$ 分别代表沿 +z 和 -z 方向传播的轴向变化情况. 二者满足

$$R' + (-\alpha - i\delta - i\zeta_1)R = (k_2 + \zeta_2)S, \quad (1a)$$

$$-S' + (-\alpha - i\delta - i\zeta_3)S = (k_{-2} + \zeta_4)R, \quad (1b)$$

其中 $\delta = \beta - \beta_0$ 为激光器谐振频率与 Bragg 光栅频率的偏离, α 为模式损耗. $\zeta_1, \zeta_2, \zeta_3$ 和 ζ_4 代表了其他分波的影响. $k_{\pm 2}$ 由

$$k_{\pm 2} = \frac{k_0^2 \iint A_{\pm 2}(x, y) |E_0(x, y)|^2 dx dy}{2\beta_0 \iint |E_0(x, y)|^2 dx dy} \quad (2)$$

给出, 其中 $A_{\pm 2}(x, y)$ 为光栅的 2 级和 -2 级的傅里叶系数. 于是, 光栅耦合系数为^[16]

$$k_{\text{eff}} = \sqrt{(\kappa_2 + \zeta_2)(\kappa_{-2} + \zeta_4)} = |k_{\text{eff}}| e^{i\theta} \quad (3a)$$

$$\theta = \tan^{-1}[\text{Im}(k_{\text{eff}})/\text{Re}(k_{\text{eff}})]. \quad (3b)$$

3. 结果和讨论

文中所考虑的器件结构包括一个 7 nm 0.65% 压应变的 AlGaInAs 量子阱层, 15 nm $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{As}$ 垒层, 70 nm AlGaAs 渐变波导层, 无铝的 GaInP 光栅层和 AlGaAs 盖层. 侧向光场限制采用脊形波导结构, 脊宽 3 μm , 深 1.4 μm . 具体细节参见文献 [17]. 图 1 所示为上述结构的折射率和光场分布, 其中单量子阱的光限制因子约为 0.013.

实际计算中考虑了从 -10 级到 8 级的分波. 光栅的耦合系数 k_{eff} 随光栅深度 d 和占空比 Δ 的变化如图 2 和图 3 所示. 计算结果表明随着光栅深度的

* 国家自然科学基金(批准号: 10374085)资助的课题.

† E-mail: fushenghui@semi.ac.cn

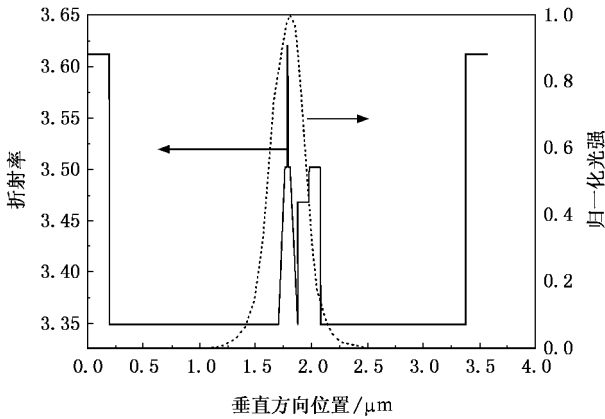


图 1 器件折射率和光场分布

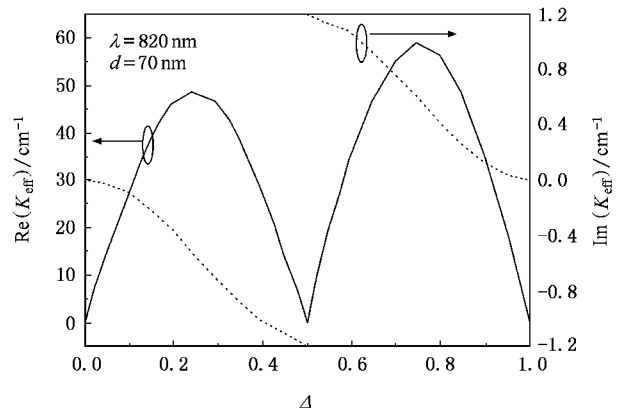


图 3 光栅的耦合系数与光栅占空比的关系

增加, 耦合系数 k_{eff} 的大小也增加. 同时也可以看到当二级光栅占空比为 0.25 和 0.75 时耦合系数的实部 $Re(k_{eff})$ 取得极大值. 另一方面, 占空比为 0.5 时耦合系数的虚部 $Im(k_{eff})$ 的大小取得极大值. 越大的相位会导致越大的模式阈值增益差, 这样激光器能够更易于稳定的单模激光^[8, 13, 18]. 另外, 需要注意的是二级光栅的耦合系数的实部 $Re(k_{eff})$ 在此处理论值为 0. 因此在对二级 DFB 半导体激光器进行优化设计时要综合考虑选取合适的光栅占空比, 既要保证耦合系数具有足够大的实部提供光反馈, 同时最好又具有足够大的虚部提供模式间的阈值损耗差, 以利于单模激光.

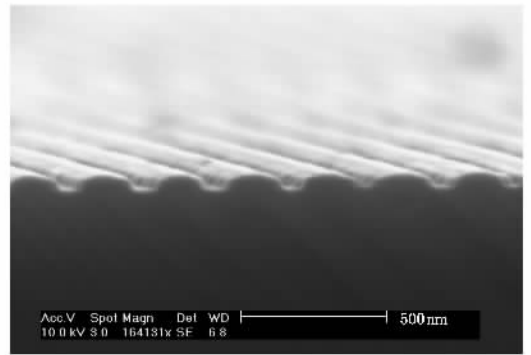


图 4 光栅的扫描电镜截面图

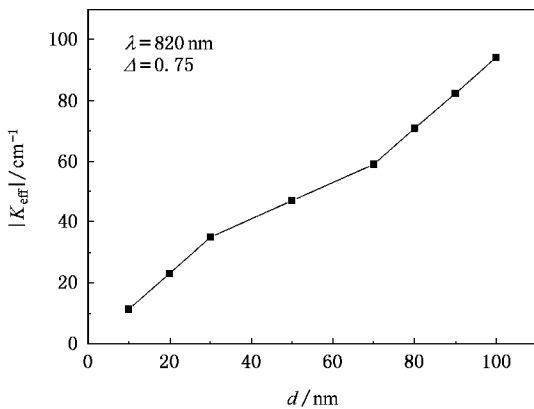


图 2 光栅的耦合系数与光栅深度的关系

期为 244 nm. 经过试验优化后光栅深度可达 70 nm, 占空比 Δ 接近 0.75. 从前边的理论计算可知, 光栅深度为 70 nm, 占空比 Δ 为 0.75 时, 既可以提供较强的光场反馈, 又可以在一定程度上利于单模工作.

我们按照上述的结构制作了器件, 其中光栅是采用全息干涉加干法刻蚀的方法在无铝的 GaInP 材料上制备而得的. 引入无铝光栅是为了克服含铝光栅始终存在的易氧化的问题^[19].

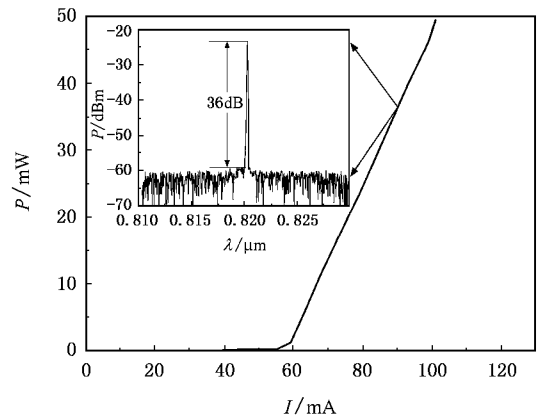


图 5 腔长为 400 μm 的 DFB 激光器室温下的功率特性曲线

图 5 为室温下腔长 400 μm 的未镀膜 DFB 激光器连续工作的功率特性 ($P-I$) 曲线. 从图中可以看

光栅的扫描电镜 (SEM) 形貌图如图 4 所示, 周

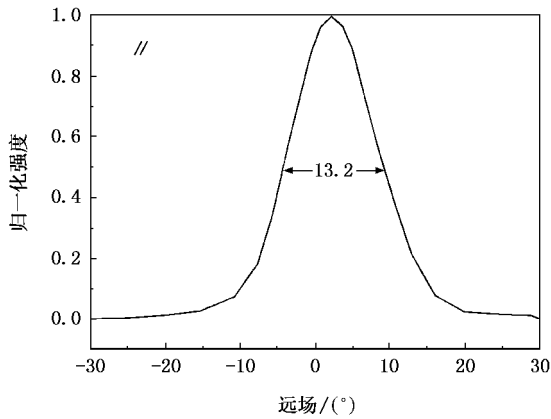


图6 器件的水平远场发散角

出器件的阈值电流为 57 mA,单面输出功率可达 50 mW,外微分量子效率为 75%。腔长为 600 μm 和 800 μm 下的阈值电流,分别约为 68 mA,80 mA。从图 5 的插图中可以看到在 90 mA 电流下,激光器的激射波长约为 0.82 μm ,边模抑制比可达 36 dB。远场

发散角如图 6 所示,90 mA 电流下的水平发散角为 13.2°。

4. 结 论

本文采用改进的耦合波理论对光栅形貌对耦合系数的影响进行了分析。结果表明当二级光栅占空比为 0.25 和 0.75 时耦合系数的实部取得极大值,耦合系数的虚部在占空比为 0.5 时取得极大值。故占空比为 0.75 时既保证了耦合系数具有足够大的实部提供光反馈,同时又具有足够大的虚部,利于 DFB 半导体激光器的单模激射。在此基础上制作的无铝光栅 DFB 激光器功率可达到了单面 50 mW,边模抑制比为 36 dB。

感谢半导体研究所集成光学重点实验室的王宝军、王鲁峰在测试上给予的帮助。感谢纳米光电子实验室钟源、杨国华等同学的有益讨论。

- [1] Keisuke K, Susumu N, Kazumasa M 1986 *Journal of Lightwave Technology* **4** 507
- [2] Luo Y, Cao H L, Dobashi 1991 *IEEE Trans. Photonics Tech. Lett.* **3** 1052
- [3] Wang C L, Wu J, Lin J T 2003 *Chin. Phys.* **12** 528
- [4] Zhao Q, Pan J Q, Zhang J, Li B X, Zhou F, Wang B J, Wang L F, Bian J, Zhang L J, Wang W 2006 *Acta Phys. Sin.* **55** 1259 (in Chinese) [赵 谦、潘教青、张 靖、李宝霞、周 帆、王宝军、王鲁峰、边 静、张玲娟、王 圩 2006 物理学报 **55** 1259]
- [5] Makino T, Glinski J 1998 *IEEE Journal of Quantum Electronics* **QE-24** 73
- [6] Keisuke K, Kazuo K, Takashi N 1985 *Journal of Lightwave Technology* **3** 1048
- [7] Wenzel H, Braun M, Fricke J, Klehr A, Knauer A, Ressel P, Erbert G, Trankle G 2002 *IEEE 18th Semiconductor Laser Conference* 169
- [8] Streifer W, Burnham R D, Scifres D R 1976 *IEEE Journal of Quantum Electronics* **QE-12** 737
- [9] Streifer W, Scifres D R, Burnham R D 1977 *IEEE Journal of Quantum Electronics* **QE-13** 134
- [10] Shams-Zadeh-Amiri A M, Hong J, Li X, Huang W P 2000 *IEEE Journal of Quantum Electronics* **QE-36** 1431
- [11] Shams-Zadeh-Amiri A M, Hong J, Li X, Huang W P 2000 *IEEE Journal of Quantum Electronics* **QE-36** 1421
- [12] Baet R G., David K, Morthier G. 1993 *IEEE Journal of Quantum Electronics* **QE-29** 1792
- [13] Kazarinov R F, Henry C H 1985 *IEEE Journal of Quantum Electronics* **QE-21** 144
- [14] Streifer W, Scifres D R, Burnham R D 1977 *IEEE Journal of Quantum Electronics* **QE-13** 134
- [15] Zhong Y, Zhu X P, Song G F, Huang Y D, Chen L H 2004 *Semiconductor Science and Technology* **19** 971
- [16] Chen C H, Chen L H, Wang Q M 1996 *Electron Lett.* **32** 1288
- [17] Fu S H, Zhong Y, Song G F, Chen L H 2006 *Chinese Journal of Semiconductor* **27** 966 (in Chinese) [付生辉、钟 源、宋国峰、陈良惠 2006 半导体学报 **27** 966]
- [18] Makino T, Glinski J 1988 *IEEE Journal of Quantum Electronics* **QE-24** 73
- [19] York P K, Connolly J C, Highes N A 1992 *J. Cryst. Growth* **124** 709

Grating optimization and experiment on high-power distributed feedback lasers^{*}

Fu Sheng-Hui Song Guo-Feng Chen Liang-Hui

(*Institute of Semiconductor, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100083, China*)

(Received 12 July 2006 ; revised manuscript received 3 August 2006)

Abstract

Coupling coefficient is an important parameter for distributed feedback lasers. Modified coupled-wave equations are used to calculate the effect of grating shape on coupling coefficient of the second-order gratings. Corresponding devices demonstrate that the maximum kink-free power per facet reaches 50 mW and the sidemode suppression ratio is 36 dB.

Keywords : DFB lasers , coupled-wave theory , second-order gratings , sidemode suppression ratio

PACC : 7280E , 6110D , 6120J

^{*} Project supported by the National Natural Science Foundation of China(Grant No.10374085).