

含新型载流子注入光栅的 $1.55\ \mu\text{m}$ $\text{InGaAsP}/\text{InP}$ 应变多量子阱DFB激光器*

罗 毅 文国鹏 甘雨农 张克潜

(清华大学电子工程系 集成光电子学国家重点实验室 北京 100084)

Tsurugi K. Sudoh, Shinya Sudo, Yoshiaki Nakano, Kunio Tada

(Department of Electronic Engineering, The University of Tokyo, Tokyo 113, Japan)

摘要 本文报道了一种含新型载流子注入光栅的 $1.55\ \mu\text{m}$ $\text{InGaAsP}/\text{InP}$ 应变多量子阱分布反馈(DFB)激光器。我们对该器件的掺杂与结构进行了优化,增强了载流子阻挡光栅的作用,得到了很强的增益耦合。利用LPE和MOCVD混合生长,在器件端面无镀膜的条件下获得了很高的单模成品率。

EEACC: 4320J, 0510D

1 前言

由于增益耦合型的分布反馈(DFB)激光器具有高单模成品率、抗端面反射、高速调制下啁啾很小等优越性,所以长波长的增益耦合型DFB激光器是高速长距离光纤通信中极为理想的光源^[1~3]。为了在半导体激光器中引入增益耦合机制,可以采用增益光栅或者吸收光栅。其中采用增益光栅的器件在原理上有可能有更好的动态特性,因而极具研究价值。目前报道的增益光栅的制作方法有三种,即:利用MOVPE直接生长含周期性调制的有源层、直接刻蚀有源层,以及采用载流子阻挡光栅形成非均匀载流子注入的方法^[2~4]。其中第三种方法有可能实现大的增益耦合与折射率耦合之比以及动态光腔。然而,迄今为止报道的这种结构难以得到大的增益耦合系数。

本文提出了一种改进型的载流子阻挡光栅结构,以增强有源层载流子的调制强度,获得大的增益耦合系数(κ_c),利用MOVPE和LPE混合生长的方法成功地制作了含这种结构的 $1.55\ \mu\text{m}$ $\text{InGaAsP}/\text{InP}$ 激光器。

* 自然科学基金杰出青年基金(69525407)和“863”计划(863-307-04-06)资助项目

罗 毅 男,1960年出生,教授,博士生导师,从事半导体光电子学方面的研究

文国鹏 男,1972年出生,博士生,研究方向为增益耦合型DFB激光器/电吸收调制器单片集成器件
1997-12-11 收到,1998-04-23 定稿

2 器件的结构设计与制作

器件横截面的结构简图见图 1, 其中的光栅为重掺杂的 n 型光栅, 掩埋在 p 型的波导层内, 形成了掩埋 pn 结。注入电流只能经过这些掩埋 pn 结的间隙注入到有源层, 使得有源层内产生了周期性的载流子分布, 藉此产生增益耦合。这种激光器的优点是简单地实现增益耦合, 而且在注入电流一定的条件下, 增益耦合的耦合强度与器件长度无关。这种激光器结构的谐振腔是完全动态的。

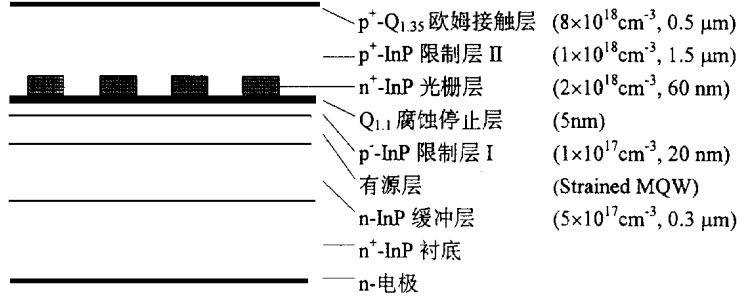


图 1 DFB 激光器横截面的结构简图

反型光栅能否有效地引入增益耦合, 主要取决于注入电流在有源层能够形成的载流子浓度起伏的大小。在注入一定的前提下, 影响有源层载流子分布的因素有:

- (1) 垂直于异质结平面的电场。它引起载流子的垂向(垂直于异质结平面的方向)漂移运动。
- (2) 载流子的横向扩散(沿谐振腔方向的扩散)。
- (3) 掩埋载流子阻挡光栅所形成的周期性内建电场的分布。合理的设计该内建电场的分布有可能抑制载流子的横向扩散。
- (4) 载流子的产生/复合。

进入有源区的载流子一方面参与垂向漂移, 另一方面参与横向扩散, 并不断复合。扩散系数和载流子的平均寿命越小, 则载流子纵向扩散距离越短, 因而非均匀注入造成有源区载流子起伏的相对幅度也就越大。这可以用扩散长度 $L_D = \sqrt{D\tau}$ 来理解, D 、 τ 越小, 扩散长度越

小, 载流子起伏的相对幅度变大。另外, 加强垂直于异质结平面的垂向电场可以加强垂向漂移运动, 有助于在该方向上将载流子分布维持一段较长的距离, 也可以增大载流子起伏的相对幅度。

我们通过数值模拟, 发现光栅层与有源层之间的上限制层 I 的掺杂浓度对有源层中注入载流子的浓度起伏幅度有较大的影响。数值模拟是通过 PISCES-2 进行的, 对器件在阈值以下的工作特性进行了分析。图 2 是有源区载流子浓度起伏与上限制层 I 的掺杂浓度之间的关系的结果。由图可见, 随上限制层 I 掺杂浓度的减小, 有源层载流子起伏幅度不断增大; 但

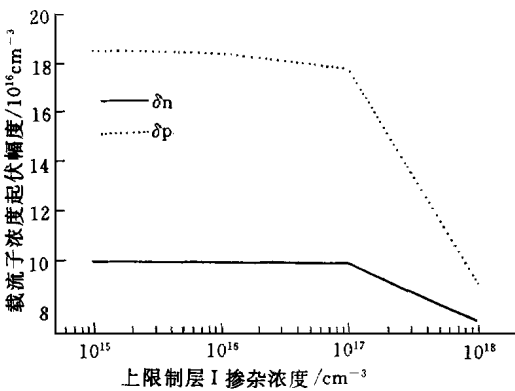


图 2 上限制层 I 掺杂浓度对载流子浓度起伏幅度的影响

是当掺杂浓度低于 $1 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 以后, 有源层载流子起伏幅度变化很小, 出现饱和现象。我们认为, 上限制层 I 的掺杂对有源层载流子浓度起伏幅度产生影响的原因, 是该层的掺杂会影响反型光栅耗尽层的分布。如果该层掺杂太高, 则它与反型光栅构成的 pn 结耗尽层会向光栅一侧推移, 并与上限制层 II 和光栅构成的 pn 结耗尽层相接触, 结果使该掩埋 pn 结的势垒高度下降, 电流阻挡能力削弱。随着上限制层 I 掺杂浓度的降低, 一方面反型光栅层的电流阻挡能力增强, 另一方面使得光栅层造成的耗尽区可以延伸到有源层, 在该耗尽区内建电场的的作用下, 使得在注入时有源层中可以维持住较大的载流子起伏幅度。但如果上限制层 I 掺杂太低, 一方面, 该层的电阻率和分压增大, 减弱了有源层的横向电场, 不利于提高载流子浓度起伏幅度, 另一方面光栅层造成的耗尽区已经穿通有源层, 耗尽区内建电场的作用基本趋于稳定, 结果使得有源层载流子起伏幅度不再随掺杂浓度变化, 出现饱和现象。这一结果表明该层掺杂为 $1 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 时较好。据此我们在重掺杂的 $n^+ - \text{InP}$ 电流阻挡光栅层之下采用一层掺杂浓度为 $1 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 的轻掺杂 $p^- - \text{InP}$ 层, 这是本文与参考文献[4]的不同之处。我们希望引入这层轻掺杂的 $p^- - \text{InP}$ 层, 获得较大的增益耦合系数。

器件采用 MOVPE 和 LPE 混合生长的方法制作。首先利用 MOVPE 在 $n^+ - \text{InP}$ 衬底上依次外延了: $n^- - \text{InP}$ 缓冲层 ($5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$, $0.3 \mu\text{m}$), 应变多量子阱有源层 (5 个周期, 阱为 10nm 的 $\text{In}_{0.75} \text{Ga}_{0.25} \text{As}_{0.8} \text{P}_{0.2}$ 层, 垒为 10nm 的 $\text{Q}_{1.25}$ 层), $p^- - \text{InP}$ 限制层 ($1 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$, 15nm), $p^- - \text{Q}_{1.1}$ 腐蚀停止层 (5nm) 和 $n^+ - \text{InP}$ 光栅层 ($2 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$, 100nm)。接着在 $n^+ - \text{InP}$ 光栅层上制作光栅。光栅为周期 240nm 、深度 100nm 的一级光栅。制作时分两步刻蚀, 首先利用干法进行刻蚀, 然后用选择性湿法腐蚀刻蚀到腐蚀停止层。我们用这种方法得到了形状很好的光栅, 并将光栅的占空比控制为约 0.4, 接近最优值 0.5, 这有助于得到最大的增益耦合系数 K_0 。接下去, 利用 LPE 生长 $p^+ - \text{InP}$ 限制层 ($1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$, $1.5 \mu\text{m}$) 和 $p^+ - \text{Q}_{1.35}$ 欧姆接触层 ($8 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$, $0.5 \mu\text{m}$)。生长过程中仔细控制了过冷度, 以保持光栅的形状和占空比。

为了改善电极的欧姆接触, 对外延片进行了 400°C 、 90s 的快速热退火。最后, 将外延片制作成条形激光器, 条宽 $20 \mu\text{m}$, 器件长度约 $200 \sim 500 \mu\text{m}$, 两端面均无镀膜。

3 实验结果与讨论

图 3 是一个典型的未镀膜的器件在室温脉冲条件下的激射特性, 在不同注入条件下的激射谱也显示在该图中, 很明显器件在 $1.54 \mu\text{m}$ 处单模激射。图 4 显示器件在不同工作温度下的激射谱, 器件激射波长的温度系数约为 $0.067 \text{nm}/^\circ\text{C}$ 。这些器件的单模成品率超过 80%, 而未能单模激射的器件均处于 FP 模式和 DFB 模式同时工作的状态。在未加端面镀膜的条件下, 仅靠载流子注入光栅能够获得如此大的单模成品率, 说明我们的器件具有相当大的增益耦合系数。

我们也制作了具有同样结构, 而有源层为体材料的器件, 获得了大体相同的工作特性。

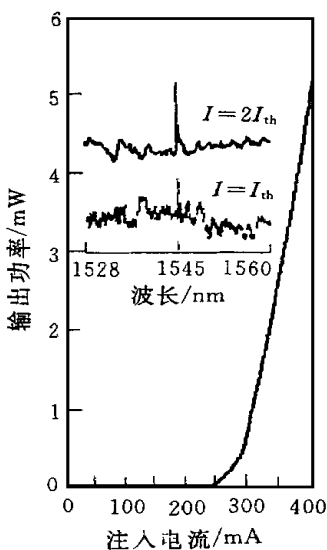


图 3 典型的未镀膜器件的激射特性

4 总结

本文介绍了一种利用载流子注入光栅的 1.55 μm InGaAsP/InP 应变多量子阱DFB 激光器的设计与制作. 通过优化器件参数, 得到了较大的增益耦合系数, 在两端面未镀膜条件下得到了高达 80% 的单模成品率

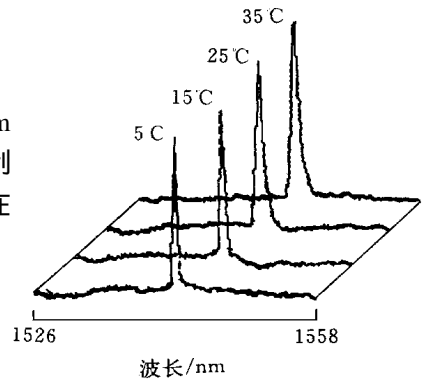


图 4 DFB 激光器在不同工作温度下的激光谱

参 考 文 献

- [1] Y. Luo *et al* , Appl Phys Lett , 1991, **59**: 37~ 39
- [2] K. Tada *et al* , United State Patent, Patent Number 5077752
- [3] Y. Luo *et al* , IEEE Photon Technol Lett , 1992, **4**: 692~ 695
- [4] C. Kazmierski *et al* , Tech Dig 14th IEEE Int Semiconductor Laser Conf , Paper PD 11.

1.55 μm InGaAsP/InP Strained MQW Gain-Coupled DFB Laser With an Improved Injection-Carrier Grating

Luo Yi, Wen Guopeng, Gan Yunong, Zhang Keqian

(State Key Laboratory on Integrated Optoelectronics, Department of Electronic Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084)

Tsurugi K. Sudoh, Shinya Sudo, Yoshiaki Nakano, Kunio Tada

(Department of Electronic Engineering, The University of Tokyo, Tokyo 113, Japan)

Received 11 December 1997, revised manuscript received 23 April 1998

Abstract A 1.55 μm InGaAsP/InP strained multiquantum well (MQW) distributed feedback (DFB) laser with a periodically modulated injection-carrier is described. In this laser structure, a current blocking grating is improved by using optimized doping for large pure gain coupling. The device is fabricated by hybrid growth of MOVPE and LPE. High single-mode oscillation yield is achieved under the condition of cleaved facets.

EEACC: 4320J, 0510D