

# 半导体微腔双稳态激光器

激光器

黄永箴 王世江 杨跃德 肖金龙 胡永红 杜云

(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)

适于光子集成的半导体微腔双稳态激光器, 在高速光存储、光交换等光信息处理方面具有重要的应用价值。模式竞争产生的双稳态半导体激光器, 主要依靠非线性增益抑制实现双稳态的变换, 对应的载流子浓度变化很小, 可以实现高速光交换而引起人们特别重视。在环形腔半导体激光器中, 两个相向传播的行波模式对应两个方向的光输出, 依靠激光模式跳变可以实现模式竞争单向输出光双稳态。

最近, 我们采用半导体平面工艺研制出 1550 nm InP/InGaAsP 三角形微腔激光器, 实现了边长 10~30  $\mu\text{m}$  的三角形微腔激光器电注入室温连续激射<sup>[1,2]</sup>。在等边三角形谐振腔中, 平行于三角形边的模式光线经过在三角形边上的 6 次全反射回到出发点, 而且所经路径正好是三角形的周长, 因此等边三角形是一种类回音壁模式谐振腔。把三角形中折叠传播的全反射模式光线拉直, 可以看出等边三角形谐振腔对应一宽度为三角形高的条形波导。类似于 F-P 腔用横模及纵模描述等边三角形谐振腔的模场分布, 我们给出了等边三角形谐振腔模场分布的解析表达式, 并根据边界条件得出了模式波长解析解, 同时发现相同模数的模式具有对称和反对称两个简并态<sup>[3]</sup>。由于等边三角形谐振腔边界的模式分布受纵模和横模的调制, 其包络曲线反映了横模场分布, 在三角形角区联接一输出波导可以实现高 Q 模式的定向光输出, 而且不同横模和简并态可能有不同的耦合输出效率。

在边长为 30  $\mu\text{m}$  的正三角形微腔激光器上, 我们观测到典型的光双稳态曲线, 即在光双稳态电流区内同一注入电流有两个稳定的输出光功率<sup>[4]</sup>。在 215~235 K 温度范围内光双稳态电流区随温度升高而增大, 激光器输出光谱表明双稳态区对应纵模波长在 1510 nm 处 3 个间隔为 0.3 和 0.63 nm 的横模及对应简并态的模式竞争。激光器纵模波长间隔为 11.6 nm, 当激射模为其他纵模时就没有光双稳态。正三角形微腔激光器侧壁包覆了  $\text{SiO}_2$  绝缘层和 P 面 Au 电极, Au 电极增强了等边三角形谐振腔对模式场的限制作用, 使激光器易于出现多横模激射, 但用于增强 P 电极粘附性的 Ti 则易于引入模式损耗<sup>[5]</sup>。图 1 给出边长为 25  $\mu\text{m}$  的正三角形双稳态激光器在 120 K 的光双稳态曲线, 该激光器能实现近室温连续激射, 但只在低温观察到光双稳态。该光双稳态曲线对应电流增加时由高输出效率模式跳变到

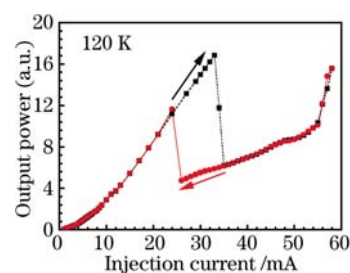


图 1 边长 25  $\mu\text{m}$  的正三角形双稳态激光器的输出光功率与电流关系

低输出效率模式, 而文献 [4] 中的光双稳态曲线则与之相反。我们同样在高输出态和低输出态光谱中观察到双稳态对应的横模跳变。最近, 我们也观测到边长为 10  $\mu\text{m}$  的三角形微腔激光器模式跳变引起的输出光功率跳变现象。

双模速率方程数值模拟表明<sup>[4]</sup>, 如果激光器具有非对称的非线性增益, 在一定非线性增益系数条件下, 非对称的增益抑制可能造成阈值以上激射模式转换。如果两个模式的耦合输出效率不同, 激射模式转换会引起输出光功率的跳变, 当电流增加和减小时模式转换发生在不同电流就会出现光双稳态曲线。

深入研究适于光子集成回路的微腔双稳态激光器, 特别是如何实现可控的光双稳态是双稳态微腔激光器能否具有实用价值的关键。

基金项目: 国家自然科学基金(60777028, 60723002, 60838003) 和国家重大基础研究项目(2006CB302804)资助课题。

通信作者: 黄永箴, E-mail: yzhuang@semi.ac.cn

## 参考文献

- 1 Y. Z. Huang et al.. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 2007, **19**(13): 963~965
- 2 Y. D. Yang et al.. *IEEE J. Sel. Top. Quantum Electron.*, 2009, **15**(3): 879~884
- 3 Y. Z. Huang et al.. *IEEE J. Select. Top. Quantum Electron.*, 2006, **12**(1): 59~65
- 4 Y. Z. Huang et al.. *Opt. Lett.*, 2009, **34**(12): 1852~1854
- 5 Y. D. Yang et al.. *IEEE J. Quantum Electron.*, 2009, **45**(12): 1529~1536