

⑤ 345-348

InGaAsP 多量子阱微盘激光器*

TN/248.4

宁永强 武胜利[†] 王立军 林久龄 刘云 傅德惠 刘育梅 金亿鑫

(中国科学院长春物理研究所, 中国科学院激发态物理开放实验室, 吉林, 长春 130021)

摘要 采用湿法化学腐蚀在气源 MBE InGaAsP 多量子阱材料上制作了微盘型激光器, 直径 $8\mu\text{m}$ 的微盘激光器表现出很好的单模激光特性, 阈值泵浦功率为 $170\mu\text{W}$, 激光线宽为 1.5nm . 对微腔激光器的宽激射线宽作了初步分析.

关键词 微盘激光器, 多量子阱, InGaAsP.

铟镓砷磷
单模激光特性

引言

近年来随着半导体微加工技术的发展和大规模光电集成器件的需要, 微腔激光器正引起人们日益广泛的重视^[1~6]. 微腔激光器一般是指一维或三维尺度在光波长量级上的微型光学共振腔. 由于其体积很小, 可以只有一个或少数几个低损耗模与微腔中激活介质作用, 使光增益区和模体积有很好的重叠, 微腔对光子的三维限制大大改变了自发发射特性和光子态密度分布. 由于这些效应, 微腔激光器可以增大自发发射耦合到受激发射的几率 β ($\beta =$ 自发发射耦合到激射模的速率/总自发发射速率). 在微腔与周围介质的界面上存在的高折射率差使微腔具有很高的 Q 值. 由于以上这些特性, 可以利用微腔实现极低阈值甚至无阈值激光器. 与普通 F-P 垂直腔激光器相比, 微盘型微腔激光器可以免去结构复杂的多层反射镜. 由于 InGaAsP 系材料难于制备高反射率的 DBR 反射镜, 因此制作 $1.5\mu\text{m}$ InGaAsP 系面发射激光器比较困难, 一个可行的途径是微盘结构激光器. 本文初步研究了用 MBE 生长的 InGaAsP 多量子阱材料制备的微腔激光器的发光性质.

我们采用的材料是由气源 MBE 方法在 InP 衬底上制备的 InGaAs/InGaAsP 多量子阱结构, 结构如图 1. 首先在半绝缘 InP 衬底上生长 $200\sim 300\text{nm}$ 厚的 InGaAsP 腐蚀截止层, 以避免腐蚀进入 InP 衬底, 然后生长 $1\mu\text{m}$ 厚的 InP 柱层, 在腐蚀工艺中该层形成支撑微盘的微柱, 在其上再生长由上下 2 层 InGaAsP 包覆的 3 个 InGaAs/InGaAsP 量子阱, 整个厚度为 190nm . 在生长成所设计的微盘量子阱结构后, 用标准光刻技术制成微盘图形, 用湿法化学腐蚀技术经过非选择性和选择性 2 次腐蚀制成微盘激光器, 其直径为 $5\sim 20\mu\text{m}$.

图 2 是 InGaAsP 多量子阱微盘激光器的扫描电镜形貌照片. 由于侧向腐蚀的作用, 微盘的直径由设计的 $10\mu\text{m}$ 减小到 $8\mu\text{m}$. 从照片中可以看出微盘具有光滑的圆周, 从而能减小

* 国家自然科学基金(编号 69577018)、中国科学院“九五”重大项目、中国科学院院长基金和集成光电子学国家重点联合实验室资助项目
稿件收到日期 1997-10-29, 修改稿收到日期 1998-04-06

对光子的散射,保证微盘中 WG 模式光场具有高 Q 值.

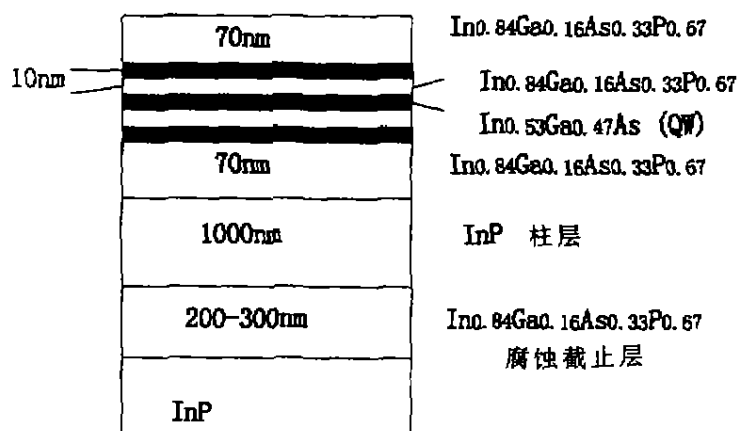


图 1 InGaAs/InGaAsP 多量子阱结构微盘激光器结构示意图
Fig. 1 Layer structure of InGaAs/InGaAsP MQW microdisk laser

为研究微盘激光器的发光特性,我们对制备的微腔激光器进行了液氮温度下的光致发光测量.泵浦光源为波长 514.5nm 的 Ar 离子激光器,调制成脉冲泵浦微盘激光器,激光脉宽 230ps,占空比为 1:50 左右.用 40 倍显微物镜将泵浦光束聚焦在微盘激光器的表面上,发射光用同一物镜收集到光谱仪中,用锗探测器探测激光器的输出激光光谱.

图 3 是 8 μm 微盘激光器的单模激光谱,发射波长 1.453 μm ,半高全宽 1.5nm.从激光波长可大致估计激光峰的 M 指数为

$$M = \frac{2\pi R n_{eff}}{\lambda} \quad (1)$$

本实验中微盘的直径约为 8 μm ,有效折射率为 2.7 左右,激光波长 $\lambda=1.453\mu\text{m}$,由式 (1)可以得到激光峰的径向指数 M 约为 47.图 4 表示激光功率与泵浦光功率的关系,阈值功率约为 170 μW .考虑微盘的光泵浦面积可以估计出阈值光泵浦功率密度约为 340 W/cm^2 ,远低于普通半导体激光器的泵浦功率密度.随泵浦光功率的增大,微盘激光功率增大,表明在微盘中出现单模激光振荡,自发发射在激光模式上有很好的耦合.从其发射谱可得其微腔品质因数 $Q \equiv \lambda/\Delta\lambda=700$.除单模工作外,部分微腔激光器表现出多模特性,这种多模激光现象可能是由于在器件腐蚀工艺中微盘边缘的光滑程度不同,而导致在微盘中存在几个竞争程度相近的 WG 模式光场.

我们测量了直径 8 μm InGaAsP 微盘激光器在不同泵浦功率下激射线宽,如图 5 所示,



图 2 8 μm 直径 InGaAs/InGaAsP 多量子阱微盘激光器扫描电子显微镜照片
Fig. 2 SEM images of 8 μm -diameter InGaAs/InGaAsP MQW microdisk lasers

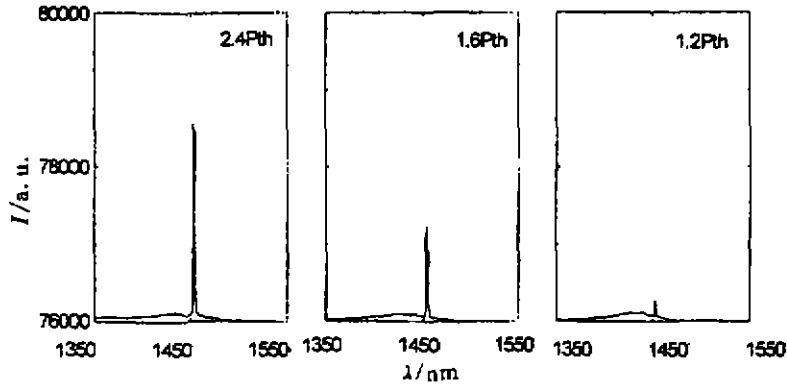


图3 直径 $8\mu\text{m}$ 微盘激光器液氮温度下单模激射光谱, P_0 是阈值泵浦功率, 分别在 2.4、1.6 和 1.2 倍阈值泵浦功率泵浦下测得

Fig. 3 Single mode spectra for a $8\mu\text{m}$ -diameter microdisk laser at 77K. P_0 is the threshold pump power (The microdisk laser is pumped at 2.4, 1.6 and 1.2 times P_0 , respectively)

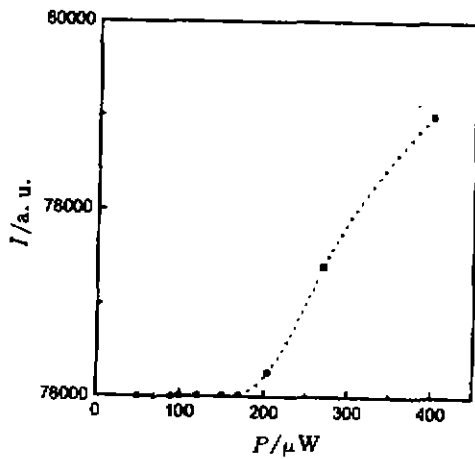


图4 $8\mu\text{m}$ 直径微盘激光器泵浦光功率与激射功率曲线

Fig. 4 Light intensity versus pump power for a $8\mu\text{m}$ -diameter microdisk laser

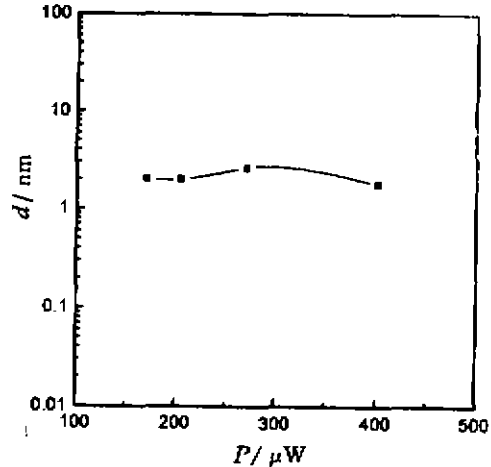


图5 直径 $8\mu\text{m}$ 微盘激光器泵浦光功率与激射线宽的关系

Fig. 5 Lasing linewidth versus pump power for a $8\mu\text{m}$ -diameter microdisk laser

光谱仪分辨率为 0.26nm . 从图中可以看出微盘型微腔激光器的激射光谱线宽比一般半导体激光器的线宽 ($0.2\sim 2\text{\AA}$) 宽得多. 我们可以用普通激光器的线宽公式粗略分析微腔激光器激射线宽增大的原因. 对于典型的单模半导体激光器, 激射线宽为

$$\Delta\nu_L = \frac{R}{4\pi I_0} = \frac{\pi h\nu C^2 n_{sp}}{P_{out}} (1 + \alpha^2), \quad (2)$$

式中 $\Delta\nu_c = \gamma C/2\pi$ 是腔共振线宽, P_{out} 是激光器总的输出功率, α 是 Henry 因子. 由式(2)可以看出 $\Delta\nu_L$ 与 n_{sp} 成正比, n_{sp} 是粒子数分布反转因子 ($n_{sp} = N_{u0}/(N_{u0} - N_{g0})$), 与自发发射 β 成正比, 在微腔激光器中由于 β 比普通半导体激光器的 β 值大几个数量级, 因此导致激射线

宽比较宽.

我们对 MBE 方法生长的 InGaAsP 多量子阱微盘激光器的激射特性进行了初步研究, 结果表明: 直径 $8\mu\text{m}$ 微盘激光器表现出很好的单模激射特性, 器件的阈值光泵浦功率为 $170\mu\text{W}$, 激射线宽为 1.5nm .

REFERENCES

- 1 McCall S L, Levi A F J, Slusher R E, *et al.* *Appl. Phys. Lett.*, 1992, **60**(3): 289
- 2 CHU D Y, CHIN M K, Sauer N, *et al.* *IEEE Photo. Tech.*, 1993, **5**(12): 1353
- 3 Jewell J L, Harbison J P, Scherer A. *Scientific American*, 1991, November: **86**
- 4 Levi A F J. *Physics World*, 1993, October: **33**
- 5 Yamamoto Y, Machida S, Bjork G. *Optical and Quantum Electronics*, 1992, **24**: S215
- 6 Yokyama H. *Science*, 1992, **256**: 66

InGaAsP MQW MICRODISK LASER *

NING Yong-Qiang WU Sheng-Li WANG Li-Jun LIN Jiù-Ling

LIU Yun FU De-Hui LIU Yu-Mei JIN Yi-Xin

(Laboratory of Excited State Processes, Changchun Institute of Physics,
Chinese Academy of Sciences, Changchun, Jilin 130021, China)

Abstract InGaAsP MQW microdisk lasers were fabricated by using standard photolithography and wet etching. A $8\mu\text{m}$ -diameter microdisk laser demonstrates an excellent single mode lasing characteristics. Its threshold pump power is $170\mu\text{W}$ and the linewidth is 1.5nm .

Key words microdisk laser, multiquantum well, InGaAsP.

* The project supported by the National Natural Science Foundation of China, the key project of Chinese Academy of Sciences (CAS) for the Ninth Five-year plan and the project supported by the Foundation of President of CAS and National Integrated Optoelectronics Laboratory
Received 1997-10-29, revised 1998-04-06