

文章编号: 0258-7025(2006)Supplement-0023-03

短波长宽光谱超辐射发光二极管

李 辉, 曲 轶, 张 晶, 高 欣, 薄报学, 刘国军

(长春理工大学高功率半导体激光国家重点实验室, 吉林 长春 130022)

摘要 采用非均匀阱宽多量子阱材料拓宽超辐射器件的输出光谱。利用大光腔结构制作出高功率、宽光谱、低发散角 850 nm 短波长超辐射发光二极管, 在 120 mA 时器件半峰宽可达 26 nm, 室温下连续输出功率达到 6 mW。与单模保偏光纤耦合输出功率达到 1.0 mW。

关键词 激光技术; 超辐射发光二极管; 非均匀阱宽多量子阱; 高功率

中图分类号 TN248.1 **文献标识码** A

Short Wavelength Wide-Spectrum Superluminescent Diode

LI Hui, QU Yi, ZHANG Jing, GAO Xin, BO Bao-xue, LIU Guo-jun

(National Key Laboratory on High Power Semiconductor Lasers, Changchun University of Science and Technology, Changchun, Jilin 130022, China)

Abstract Non-uniform well-thickness multi-quantum wells materials were adopted to widen the output spectrum of superluminescent diodes. 850 nm high-power, wide-spectrum, low-divergence superluminescent diodes with large optical cavity structure were fabricated. The spectral width (FWHM) of 26 nm, continuous wave (CW) output power of 6 mW were achieved at operating current of 120 mA. The pigtail output power when coupled with single-mode polarization maintaining fiber reached 1.0 mW.

Key words laser technique; superluminescent diodes; non-uniform well-thickness multi-quantum wells; high power

1 引 言

超辐射发光二极管与半导体激光器相比有更宽的发光光谱和更短的相干长度, 可以显著地降低由光纤瑞利散射和非线性光克尔效应等引起的噪声以及光纤传输的模式噪声; 与一般的发光二极管相比, 其输出功率更高, 发散角更小, 耦合效率更高, 响应速度更快。因此, 超辐射发光二极管在光纤陀螺 (FOG)、光时域反射仪 (OTDR)、局域网 (LAN)、光学相干层析成像、光波分复用 (WDM) 系统、光处理很多领域得到了广泛的应用。

超辐射发光二极管的结构与半导体激光器类似, 所不同的是在激光器的基础上用各种办法来抑制法布里-珀罗光振荡。采用的方法主要有四种: 1) 在非出光端制作吸收区 (可以是非注入吸收区或质子轰击吸收区)^[1]; 2) 使光输出端面倾斜^[2]; 3) 在光输出面蒸抗反射膜^[3]; 4) 在光腔后部做一个抗反射的窗口结构^[4], 使向后传输的光在该区内散射开, 仅有少量被反射回腔内, 因而只有极少光能返回有源区。

随着陀螺技术的发展, 对宽光谱光源性能要求也不断提高, 即在对其功率指标有较高要求的同时, 也希望其光谱宽度越宽越好。为此提高光谱宽度成为超辐射器件研究的另外一个目标。增加光谱宽度的方法主要有: 叠加具有不同发光中心波长的有源层^[5]; 级联各种不同发光中心波长的有源层^[6]; 利用量子阱不同子能级之间的跃迁发射光谱的叠加来增加谱宽^[7]; 采用不同阱宽的双量子阱结构^[8]等。这些方法的基本思想都是利用不同发光波长介质的叠合来拓宽光谱。

本文采用非均匀阱宽多量子阱大光腔结构的外延材料制得了宽光谱高功率 850 nm 超辐射发光二极管, 谱宽较均匀阱宽器件提高一倍以上。器件的垂直发散角为 28°, 水平发散角为 10°。

2 器件结构原理与外延材料生长

超辐射光是由自发发射光子在增益介质中传播时经历了受激放大过程而得到的。这种放大的自

基金项目: 国家自然科学基金 (60476026, 60477010) 资助课题。

作者简介: 李 辉 (1971—), 女, 吉林人, 主要从事高功率半导体激光器器件的研究。E-mail: lihui8382@126.com

发发射被称作超辐射,是一种强激发状态下定向的辐射现象,当激发密度足够高时,自发发射的光子受激发大而雪崩式倍增,发光强度随激发强度超线性地急剧增加,谱线宽度变窄,其主要特征是由初始的自发发射很快地演变为受激发射。理想的超辐射器件是一种相位不一致的非相干光源。

根据有限深势阱理论^[9],导带量子阱中分立能级 E_{cn} 本征方程可表示为

$$\sqrt{\frac{m_{cb}^*}{m_{cw}^*} \frac{\Delta E_c - E_{cn}}{E_{cn}}} = \begin{cases} \tan\left(\frac{d_w \sqrt{2m_{cw}^* E_{cn}}}{2\hbar}\right), & n \text{ 为偶数} \\ -\cot\left(\frac{d_w \sqrt{2m_{cw}^* E_{cn}}}{2\hbar}\right), & n \text{ 为奇数} \end{cases} \quad (1)$$

其中 m_{cb}^* 和 m_{cw}^* 分别为导带垒和阱中电子的有效质量,在阱内被记作 m_{cb}^* ,在阱外被记作 m_{cw}^* 。 ΔE_c 为势阱深度即导带不连续值; E_{cn} 为量子化能级 ($n = 0, 1, 2, 3, \dots$),该能量的参考点以阱区导带底为准。 d_w 为阱宽度。因为电子在阱内沿平行于异质结平面的方向仍然是不受限制的,所以电子的总能量

$$\epsilon_n = \frac{\hbar^2 k_{c\parallel}^2}{2m_{cw}^*} + E_{cn}. \quad (2)$$

通过求解该超越方程,可以求出导带势阱中分立能级 $E_{c0}, E_{c1}, E_{c2}, \dots$ 。用同样的方法可以求得价带中空穴(重)的分立能级 $E_{v0}, E_{v1}, E_{v2}, \dots$ 。

这种计算方法同样适用于重空穴和劈裂的价带。子带之间的跃迁遵守 $\Delta n = 0$ 的准则。其发光带边波长

$$\lambda = \frac{1.24}{E_{tr0}} = \frac{1.24}{E_g + E_{c0} + E_{v0}} \quad (\mu\text{m}), \quad (3)$$

其中 E_{tr0} 为跃迁能量,单位为 eV, E_g 为阱区的禁带宽度。量子阱的导带与价带子能级之间的跃迁能量随阱宽度变窄而增加。拟采用三种不同宽度的量子阱叠合来拓宽光谱。为了提高器件与光纤的耦合效率,优化设计器件的波导结构,设计了大光腔结构低垂直发散角、宽光谱的器件的外延结构,利用分子束外延(MBE)生长高质量低发散角量子阱材料。采用三阱结构,阱宽分别为 8 nm, 11 nm 和 13 nm。外延结构如下:材料在 GaAs 衬底上生长,首先生长 1.5 μm n-型 GaAs 缓冲层,再生长 1.5 μm n-型 AlGaAs 限制层,0.15 μm AlGaAs 渐变波导层,之后生长 3 个 GaAs 非均匀阱宽的量子阱,AlGaAs 垒层厚度为 0.15 μm ,最后生长 p-型 0.15 μm AlGaAs 渐变波导层,1.5 μm p-型 AlGaAs 限制层,

0.10 μm p-型高掺 GaAs 欧姆接触层。

3 器件结构与制作工艺

为了有效地限制在腔长方向上的激射振荡,采用倾斜条形结构而后在器件的出光腔面上镀制抗反射膜的方法。器件结构如图 1 所示。采用常规光刻技术制作倾斜条形结构,倾斜角度为 5.7°,条宽为 5 μm ,腐蚀深度为 1.4 μm 的脊形波导器件,p 面溅射 Ti/Pt/Au, n 面减薄后溅射 AuGe/Ni/Au,并在 400 $^{\circ}\text{C}$ 时 H_2 保护下形成合金。随后利用电子束镀膜设备在一端蒸镀抗反射膜,透过率范围为 96%~99.8%,利用解理划片机解理成腔长 800 μm 的单个管芯,倒装在 AlN 热沉上。最后通过综合测试仪进行测试。

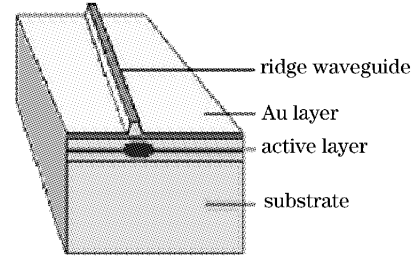


图 1 非均匀阱宽多量子阱大光腔超辐射发光二极管结构示意图

Fig. 1 Schematic of non-uniform well-thickness multi-quantum wells (MQWs) large optical cavity superluminescent diodes

4 器件特性

用功率计和光谱仪对研制的 850 nm 超辐射发光二极管进行了参数测试,器件典型光谱特性和输出功率与电流之间的关系特性曲线如图 2,图 3 所示。器件波长为 848~851 nm,在激励电流为 120 mA 时半峰宽可达 26 nm,室温下连续输出功率为 6 mW,器件

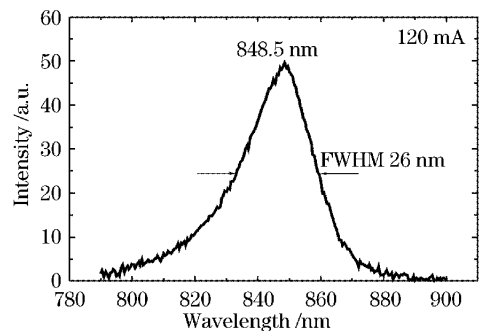


图 2 850 nm 超辐射发光二极管的发射光谱图
Fig. 2 Spectrum of 850 nm superluminescent diode

的垂直发散角为 28° ，水平发散角为 10° 。由于器件具有较小的发散角，与光纤耦合时具有较高的耦合效率，单模保偏光纤耦合输出功率达到 1.0 mW。

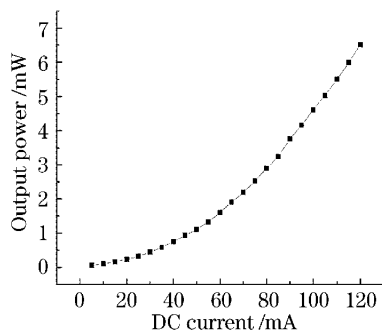


图 3 典型 5.7° 倾斜条结构超辐射发光二极管的功率-电流特性曲线

Fig. 3 P - I curve of typical superluminescent diode with the 5.7° tilted stripe structure

5 结 论

采用非均匀阱宽多量子阱外延结构，利用倾斜条形结构的方法，通过在出射端蒸镀抗反射膜制作器件。器件中心波长为 848.5 nm，在激励电源为 120mA 时半峰宽为 26nm，室温下连续输出功率为 6 mW，垂直发散角为 28° ，水平发散角为 10° 。单模

保偏光纤耦合输出功率达到 1.0 mW。

参 考 文 献

- 1 C. S. Wang, W. H. Cheng, C. J. Hwang *et al.*. High-power low-divergence superradiance diode [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 1982, **41**(7): 587~589
- 2 Gerard A. Alphonse, Dean B. Gilbert, M. G. Harvey *et al.*. High-power superluminescent diodes [J]. *IEEE J. Quantum Electron.*, 1988, **24**(12): 2454~2457
- 3 Bruce D. Patterson, John E. Epler, Bruno Graf *et al.*. A superluminescent diode at 1.3 μm with very low spectral modulation [J]. *IEEE J. Quantum Electron.*, 1994, **30**(3): 703~712
- 4 Norman S. K. Kwong, Kam Y. Lau, Nadav Bar-Chaim *et al.*. High power, high efficiency window buried heterostructure GaAlAs superluminescent diode with an integrated absorber [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 1987, **51**(23): 1879~1881
- 5 Osamu Mikami, Hiroshi Yasaka, Yoshio Noguchi. Broader spectral width InGaAsP stacked active layer superluminescent diodes [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 1990, **56**(11): 987~989
- 6 Yoshio Noguchi, Hiroshi Yasaka, Osamu Mikami. Tandem active layer superluminescent diode with a very wide spectrum [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 1991, **58**(18): 1976~1978
- 7 A. T. Semenov, V. R. Shidlovski, S. A. Safin. Wide spectrum single quantum well superluminescent diodes at 0.8 μm with bent optical waveguide [J]. *Electron. Lett.*, 1993, **29**(10): 854~856
- 8 Ching-Fuh Lin, Bor-Lin Lee, Po-Chien Lin. Broad-band superluminescent diodes fabricated on a substrate with asymmetric dual quantum wells [J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 1996, **8**(11): 1456~1458
- 9 Masahiro Asada, Atsushi Kameyama, Yasuharu Suematsu. Gain and intervalence band adsorption in quantum-well lasers [J]. *IEEE J. Quantum Electron.*, 1984, **QE-20**(7): 745~753