

文章编号: 0258-7025(2004)Supplement-0483-03

近衍射极限输出的外腔半导体激光器研究

刘崇¹, 葛剑虹¹, 陈军¹, Andreas Hermerschmidt², H. J. Eichler²

(¹浙江大学现代光学仪器国家重点实验室, 浙江 杭州 310027;

²Optisches Institut, Technische Universitaet, D10623, Germany)

摘要 针对宽接触条形半导体激光器(Broad area laser diode),设计了一个新颖独特的外腔结构,通过平面镜和光栅的组合外腔来改善光束质量。实验中在 2.7 倍阈值电流的驱动电流下,获得光瓣宽度(FWHM)为 0.53°,相应于光束质量为 1.3 倍衍射极限,谱宽为 0.7 nm,功率为 320 mW 的激光输出。

关键词 外腔注入; 单瓣近衍射极限; 宽接触条形半导体激光器

中图分类号 TN248.4

文献标识码 A

Investigation of External-Cavity Semiconductor-Laser Emitting Near-Diffraction Limited Beam

LIU Chong¹, GE Jian-hong¹, CHEN Jun¹, Andreas Hermerschmidt², H. J. Eichler²

(¹The State Key Laboratory of Modern Optical Instrumentation, Zhejiang University, Hangzhou, Zhejiang 310027, China;

²Optisches Institut, Technische Universitaet, D10623, Germany)

Abstract A novelty external-cavity is designed to improve beam quality aim at broad area laser diode (BALD). The external-cavity is composed with plane mirror and blazed diffraction grating. With this kind of setup, a laser beam is obtained with 0.53° far field divergence angle, which corresponding to 1.3 times the diffraction limit, 320 mW output power, spectral line width of 0.02nm when drive current is 2.7 times threshold current.

Key words external feedback; near-diffraction limited single-lobed beam; Broad area laser diode (BALD)

1 引言

半导体激光器(LD)由于多横模振荡造成的光束空间相干性较差,使其应用受到很大的限制,如何提高其输出光束的质量一直是近年来研究的热点^[1-3]。

种子激光注入锁定易获得单一频率的激光输出,但实验装置比较复杂,需要一个主激光器产生高质量的种子激光,并对反馈激光进行隔离,同时要精确控制主从激光器的温度。单块非稳腔用于宽接触条形激光器(BALD)可以获得单横模激光输出,通过对高阶横模引入大的损耗抑制其振荡,使激光器振荡在低阶横模上,从而获得高质量的光束。但是非稳腔中的发散透镜采用化学蚀刻的方法加工而成,加工周期长,难以批量生产。

本文针对 BALD 设计了一种新颖的外腔结构,将外腔反馈和非稳腔相结合,获得了单瓣近衍射极限和窄光谱的输出。

2 实验装置

实验中所用的 BALD 是 GaAsP/AlGaAs 材料增益导引结构,发射截面为 100 μm×1 μm,前腔镜镀了增透膜。普通的半导体激光器前腔镜的反射率为 5%,而镀增透膜后其反射率降至 0.1%。BALD 未加反馈时的阈值电流为 964mA,最大输出功率 2 W。

实验装置如图 1 所示。在 BALD 的快轴平面内,柱透镜 L₁ 用于激光在快轴平面内的准直。在慢轴平面内,输出激光束 1 由柱透镜 L₂ 准直后经球面透镜 L₃ 会聚入射至平面反射镜,该平面反射镜被放置于 BALD 的像面上。反馈注入的横模选择是通过倾斜平面镜和前后移动棱镜来实现。当平面反射镜在慢轴平面内旋转时,只有垂直于平面镜入射的那部分光线才能被平面镜沿入射光路原路反射注入回 BALD,在 BALD 内得到放大,形成输出激光。其余模式的激光在腔内来回振荡一周之后就会逸出。输出激光束 2 由一个放置在远场的 45°棱镜反射,经

球面透镜 L_4 会聚后入射至像面位置的闪耀光栅,该光栅的刻划线平行于慢轴方向,在 808 nm 一级衍射的效率为 62%。由此,光栅在慢轴平面内起到一个平面反射镜的作用,同时在快轴平面内,光栅起到了波长选择的作用,只有一级闪耀波长才能被反馈注入回 BALD,从而减少了输出激光的纵模数。

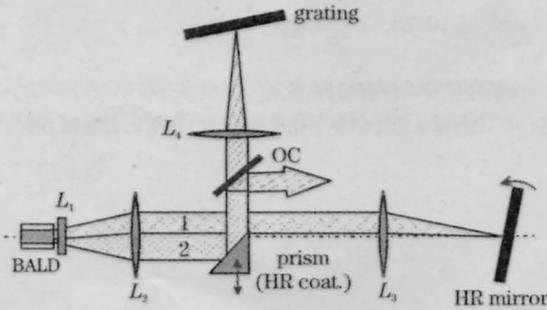


图 1 实验装置图(慢轴平面内)

L_1 : 快轴准直透镜(FAC); L_2 : 柱透镜; L_3 : 球面透镜;
 L_4 : 柱透镜; OC: 输出镜

Fig. 1 Experiment setup (slow axis)

L_1 : fast axis collimating lens; L_2 : cylindrical lens;
 L_3 : spheric lens; L_4 : cylindrical lens; OC: output prism

3 实验结果及分析

3.1 输出激光的远场分布

实验中棱镜位于准直透镜 L_2 的焦平面(傅里叶平面上),在傅里叶平面上 LD 输出激光的各个横模是分离的,这样通过平移棱镜就可以选择反馈注入激光的模式,其他模式的光则被棱镜拦截不能形成振荡,通过这样一个有选择的反馈注入和放大,只有少数模式的激光才能在 BALD 腔内形成振荡,并且抽取了腔内的大部分能量,最终获得单瓣近衍射极限输出的激光。

实验测得输出激光的远场分布如图 2 所示。未加反馈时 BALD 的输出激光在慢轴平面内的远场分布为一个较宽的近对称光瓣,并且光瓣中间没有明显的强度最小值,如图 2(a)所示。当挡住来自光栅的反馈注入,仅允许平面镜的反馈激光通过注入回 BALD 时,在 1.5 倍阈值电流的驱动电流情况下,可以获得一个光束发散角(FWHM)为 0.74° 的改善的激光输出。当同时应用光栅和平面镜形成外腔反馈时,可以进一步改善激光输出获得光束发散角为 0.43° 的激光,相应于获得光束质量为 1.1 倍衍射极限的激光输出。但是当电流继续增大,超过了无外腔反馈时 BALD 的阈值, BALD 本身辐射激光增大,从而使得外腔的反馈注入改善激光输出模式的效应相应减弱。

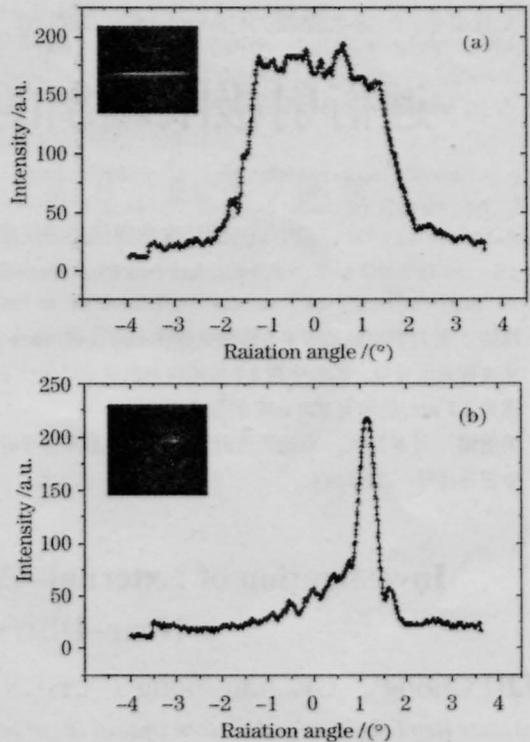


图 2 驱动电流 1.5 A 时(a)自由振荡,(b)带外腔输出激光的远场分布

Fig.2 Far-field distribution of the output laser when drive current is 1.5 A. (a) far-field distribution when free-running;(b) far-field distribution with external feedback

3.2 激光器振荡的阈值电流及输出功率

自由振荡情况下激光器的阈值电流密度可以由下式来表示^[6]

$$J_{th} = \frac{8\pi n^2 e \omega \cdot \Delta \nu}{Z(T) \lambda^2 \eta} \left(\alpha_{int} + \frac{1}{2l} \ln \frac{1}{R_1 R_2} \right) \quad (1)$$

其中 α_{int} 为内部损耗, R_1 和 R_2 分别为全反端面和输出端面的反射率。在外腔作用下,由于光反馈使得等效的输出端面反射率 R_2 增大,这样激光器振荡的阈值电流就会降低。实验中测量 BALD 在自由振荡时的阈值电流为 964 mA,在外腔注入下,其阈值电流降低到 800 mA。

激光器处于稳定状态时,其输出功率可以表示为^[6]

$$P = \mu \frac{\Omega}{G_{th}} (I - I_{th}) \quad (2)$$

其中 μ 是由实验装置所决定的系数, Ω 为振荡频率, G_{th} 为阈值增益。在无外腔的情况下,输出功率随注入电流线性变化。在外腔反馈作用下,由以上分析可知, I_{th} 随着反馈强度的增加而降低,这样输出功率就随之而增加。

实验中测得外腔反馈注入及自由振荡时的 LD 激光输出功率如图 3 所示。当 BALD 驱动电流小于 1.5 A 时,带外腔反馈的激光器输出功率高出自由振荡激光器的输出功率很多。当驱动电流增大到超过 1.5 A,两种情况下的输出功率基本相同。

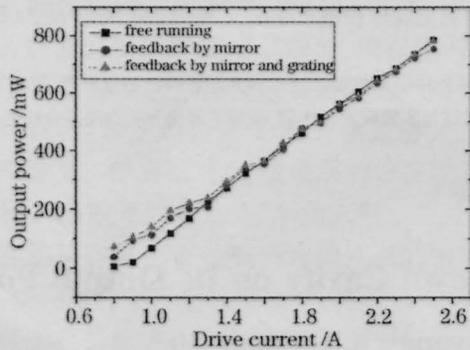


图3 BALD 在自由振荡和外腔反馈时的输出功率
Fig.3 Output power of BALD when free-running and with external feedback

4 结 论

从以上实验结果和分析可以看出,由平面镜和闪耀光栅共同组成的外腔对 BALD 的反馈结合了二者的优势,平面镜的反馈通过对未选择的模式引入高的损耗而使 LD 只以少数横模起振,光栅的反馈又

选择了 LD 的纵模,从而得到了单瓣近衍射极限输出的激光光束,并有效的控制了光谱线宽。试验中得到了光瓣宽度(FWHM)为 0.53° ,相应于光束质量为 1.3 倍衍射极限,谱宽为 0.7 nm,功率为 320 mW 的激光输出,相对于自由振荡时 BALD 输出激光的光束质量大为改善。

参 考 文 献

- 1 C. J. Chang-Hasnain, A. Dienes, J. R. Whinnery *et al.*. Characteristics of the off-centered apertured mirror external cavity laser array[J]. *Appl. Phys. Lett.*, 1989, **54**(6): 484-486
- 2 J. H. Osmundsen, N. Gade. Influence of optical feedback on laser frequency spectrum and threshold conditions[J]. *IEEE J. Quantum Electron.*, 1983, **EQ-19**(3): 465-469
- 3 L. Goldberg, M. K. Chun. Injection locking characteristics of a 1 W broad stripe laser diode[J]. *Appl. Phys. Lett.*, 1988, **53**(20): 1900-1902
- 4 J. Salzman, A. Yariv. Phase-locked arrays of unstable resonator semiconductor lasers [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 1986, **49**(8): 440-442
- 5 Cai Borong *et al.*. Semiconductor Laser[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry. 40-43, 57-59
蔡伯荣等. 半导体激光器[M]. 北京: 电子工业出版社, 40-43, 57-59
- 6 H. Kakiuchida, J. Ohtsubo. Characteristics of a semiconductor laser with external feedback[J]. *IEEE J. Quantum Electron.*, 1994, **30**(9): 2087-2097