

提高二极管激光阵列外腔锁相效率的实验研究

张雪¹, 赵鹏飞², 李强¹, 刘波¹, 马建军¹

(1. 北京工业大学国家产学研激光技术研究中心, 北京 100022; 2. 中国科学院半导体研究所, 北京 100083)

摘要:采用 1/4 Talbot 外腔实现宽条二极管激光阵列的锁相, 在工作电流是 35 A 时, 获得 7.56 W 的锁相输出功率, 输出光束的远场图像是多瓣结构, 锁相前后输出光的光谱宽度从 2.0 nm 压缩到 0.2 nm。腔内插入焦距大约为 5 倍腔长的柱透镜, 在相同电流下获得 8.75 W 的锁相输出功率, 输出光的远场图像是多瓣结构, 输出超模的数目有所减少, 能量向中部集中, 输出光的光谱宽度是 0.2 nm。

关键词:二极管激光阵列; 外腔; 锁相

中图分类号: TN248 **文献标识码:** A

Increasing output power of a phase locking diode laser array

ZHANG Xue¹, ZHAO Peng-fei², LI Qiang¹, LIU Bo¹, MA Jian-jun¹

(1. College of Laser Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100022, China;

2. Institute of Semiconductor, CAS, Beijing 100083, China)

Abstract: Phase locking of a wide aperture diode laser array was achieved with a 1/4 Talbot cavity. Output power of 7.56 W was obtained at an injection current of 35 A, responding to several lobes in the far-field pattern, and the spectrum was narrowed from 2.0 nm to 0.2 nm. Increasing output power was demonstrated by inserting a cylindrical lens, whose focal distance was 5 multiple of cavity length under the same condition, and the far-field pattern was also multi-lobes responding to output power of 8.75 W, and the spectrum of the output radiation was 0.2 nm.

Key words: diode laser array; external cavity; phase locking

1 引言

大功率半导体激光器阵列 (DLA) 由于具有体积小、结构紧凑、电光转化效率高、工作寿命长等特点在材料加工、打孔焊接、泵浦固体激光器等方面越来越受到人们的关注, 但是传统的 DLA 有其自身的缺点, 一方面是光束质量差, 不利于远距离传输, 也不能高效地耦合进光纤^[1]; 另一方面是光谱较宽, 一般是 2~6 nm, 不利于泵浦固体激光器。为了作为系统光源直接应用 DLA, 人们采用很多的方法来改善 DLA 的光束质量和压窄频谱, 可以分为非相干组合和相干组合技术。最具代表性的非相干组合技术是波长组合技术 (WBC & SBC)^[2], 借助一个分光元件和一个共用的外腔可以实现对 DLA 不同发光单元的注入锁定, 使之运转在不同的波长上, 注入锁定后 DLA 的不同发光单元发出的不同波长的光将

沿着同一个方向衍射出来。WBC 存在固有缺陷, 即改善光束质量的同时光谱宽度需要展宽, 在某些场合不适用。相干组合技术可以在改善 DLA 光束质量的同时压窄频谱, 常见的相干组合技术包括 Talbot 腔^[3]、Self-Fourier 腔^[4]以及自聚焦成像腔^[5]等, 共同的特点是 DLA 不同的发光单元共用一个输出耦合镜, 耦合镜提供光反馈实现单元间的相位锁定, 近年来采用 Talbot 外腔锁相改善 DLA 光束质量的文献报道很多, 但锁相的效率, 以及输出功率一直没能得到显著提高^[2,6-9], 本文实验探索了提高外腔

基金项目:国家自然科学基金课题 (No. 10276003); 北京市自然科学基金重点课题 (No. 4051001) 资助。

作者简介:张雪 (1983-), 女, 硕士, 主要从事半导体激光技术研究。E-mail: zxue@emails.bjut.edu.cn

收稿日期: 2009-02-27

锁相效率的途径,采用1/4 Talbot 外腔实现 DLA 锁相,将长焦距透镜(与外腔长度相比较)插入外腔中增强单元间的光耦合,增大 DLA 锁相时的输出功率,实验显示这种方法是有效的。

2 实验装置

实验中采用 nLIGHT 公司制造的 C1-60 阵列,采用三明治封装结构来减小由于封装过程引起的“smile”效应,实验观察由“smile”效应引起的芯片变形在 $2\ \mu\text{m}$ 以内,阵列是 $1\ \text{cm}$ 标准阵列,由 49 个发光单元构成,单元宽度是 $100\ \mu\text{m}$,相邻单元中心间的距离是 $200\ \mu\text{m}$,中心波长是 $808\ \text{nm}$,阵列的后端面镀膜高反膜,前端面镀膜增透膜($>99\%$)以消除子腔对锁相造成的不利影响。图 1 是实验装置示意图,本实验由 DLA 外腔锁相系统和光束测量系统两部分组成,锁相系统由 DLA 1、快轴准直透镜 2、柱透镜 3 和外腔镜 4 构成。快轴准直透镜 2 是 LIMO 公司制造的焦距 $f=91\ \mu\text{m}$,数值孔径 $\text{NA}=0.8$ 的微透镜,表面镀膜对波长 $808\ \text{nm}$ 光束透过率为 99% 的增透膜;柱透镜 3 的焦距是 $130\ \text{mm}$,表面镀膜对波长 $808\ \text{nm}$ 透过率为 95% 的增透膜;外腔镜 4 的反射率是 50% ,距离阵列前端面 $24.5\ \text{mm}$,约等于 $1/4$ Talbot 距离。光束测量系统包括焦距为 $65\ \text{mm}$ 的衍射平凸透镜,在透镜的焦平面上 C 点,可以是频谱仪、功率计和光束质量诊断仪。

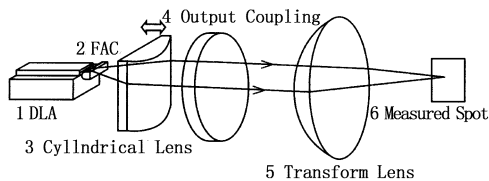
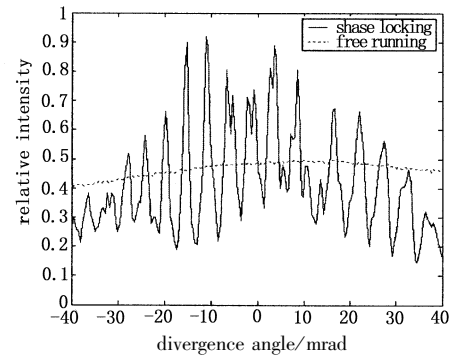


图1 利用柱透镜提高锁相效率实验装置示意图

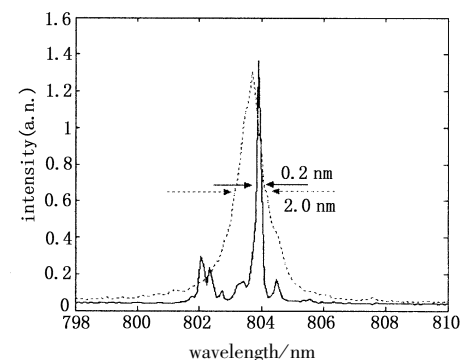
3 实验结果及讨论

在工作电流 $30\ \text{A}$, DLA 热沉温度为 $15\ ^\circ\text{C}$ 的情况下,在未插入柱透镜时,调节锁相装置得到自由运转时与锁相时的远场光强和光谱分布比较如图 2 所示。由图 2(a)锁相时的远场分布可以看出 DLA 并非单模运转,输出光束是多个超模并存时产生的结果。根据文献[10]可以计算出,在工作电流较大时,实验所用 DLA 在外腔锁相时可以同时存在 12 个超模。为了得到尽可能大的输出功率,本实验没有采用偏转外腔、滤波等模式选择手段,因此输出光束是多瓣的。由图 2(b)可以看出锁相前后光谱峰值半宽被压缩了近 10 倍。在电流从 $15\sim 35\ \text{A}$ 的增大过程中 DLA 远场图样有变化——光瓣高低有起伏、位置有变化,可能的原因是在电流不大时起振的超模不足 12 个,随着电

流的增大同时并存的超模也在增多引起的。图 2(a)所示的背景是由 DLA 锁相的不完全引起的,由于“smile”效应不可避免,DLA 锁相是局部的,即有一部分单元仍然处于自由运转状态,这部分单元发出的光场形成了锁相的噪声,在光谱图上表现为主峰旁边的小尖峰。在电流变化的过程中输出光束的光谱宽度(FWHM)始终保持在 $0.2\ \text{nm}$ 左右。



(a) 没有锁相时



(b) 有锁相时

图2 锁相和没有锁相时 DLA 的远场光强分布 (图中虚线表示 DLA 在没有锁相时的远场光强分布和光谱分布,实线表示 DLA 在锁相时的远场光强分布和光谱分布)

在实现锁相运转的基础上,插入柱透镜并前后调节透镜的位置,在柱透镜后表面距离腔镜大约为 $8\ \text{mm}$ 时获得如图 3 所示的远场和光谱。结果显示远场的图像仍然是多瓣的,一个显著的特征是光瓣数目减少并向中心集中,两边缘的光瓣强度变小,能量变得更集中。从模式选择的角度来说,长焦距的柱透镜不会显著改变各阶超模在腔内的分布,仅仅在慢轴方向对各阶超模的光场分布进行压缩,调节柱透镜前后距离使柱透镜处于适当的位置,会增大阵列单元间的耦合效率。实验中工作电流从 $10\sim 35\ \text{A}$ 的增大过程中,并没有调节出单瓣或者是双瓣的单一模式,但从实验结果看,起振的超模数目有所减少。从图中可以看到插入柱透镜后锁相的背景没有消失,光谱图主峰右侧的小尖峰也依然存在,表明

锁相仍然是局部的。

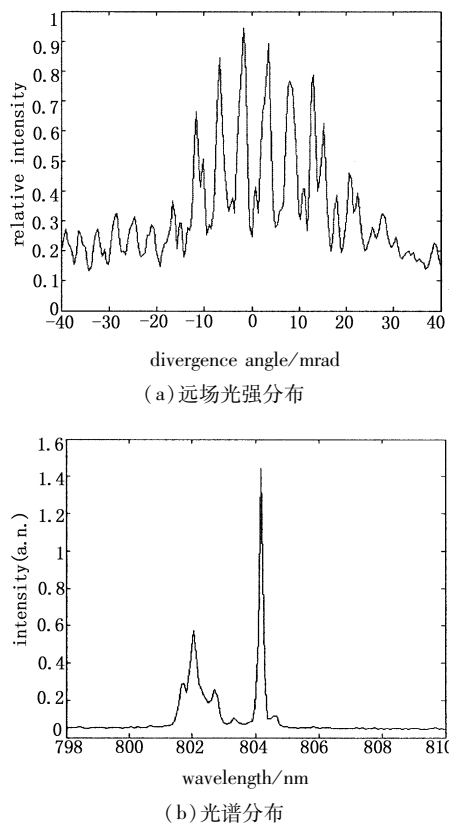


图3 在外腔中插入柱透镜时的远场光强分布和光谱分布

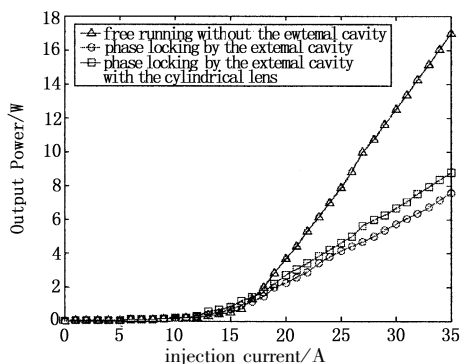


图4 输出功率随电流的变化关系

(三角表示无外腔时的 DLA; 圆表示外腔锁相时的 DLA; 正方形表示带柱透镜的外腔锁相时的 DLA)

图4是 DLA 在没有外腔、外腔锁相和锁相时插入柱透镜三种情况下输出功率的比较图。三角表示在没有外腔时带准直透镜的 DLA 输出光功率随着注入电流的变化关系曲线,圆圈表示外腔锁相后的输出光功率随着注入电流的变化关系曲线,正方形表示插入柱透镜后输出光功率随着注入电流的变化关系曲线。由图可以看出锁相后的阈值电流从15 A下降为12 A,输出功率与没有外腔时相比较从17 W下将为7.5 W,下降了55%,主要是由于外腔镜的反射损耗和 DLA 在慢轴方向的发散引起的,在外腔中插入柱透镜可以减小慢轴发散引起的损耗,使光束变的更集

中,有利于加强阵列单元间的耦合,从而提高锁相的效率增大输出光的功率。从图中可以看出加入柱透镜后对锁相后的电流阈值没有影响,斜率效率稍有提高,输出功率由7.56 W 提高到8.75 W。

4 结论

在 Talbot 腔内插入柱透镜能提高锁相的效率、增大锁相的输出功率,工作电流在10~35 A 的增大过程中测得的最大锁相输出功率比没有插入柱透镜提高了15.74%,表明锁相后腔内插入适当焦距的柱透镜可以减小阵列慢轴发散的损耗,增强单元间的耦合。同时,腔内柱透镜减少了锁相时同时起振超模的数目,使远场的光场变得更为集中,有利于模式的选择。实验的目的是采用柱透镜减小慢轴发散的损耗,增强单元间的耦合,并没有考虑它对反馈模式的影响,因此,进一步地分析和实验将去研究腔内柱透镜对模式选择的影响,以便采用合适的模式选择元件去选择同相模。

参考文献:

- [1] Friedrich G Bachmann. Chances and limitations of high-power diode lasers[J]. Proceedings of SPIE,2004,5336: 95 - 106.
- [2] Chann B, Huang R K, Missaggia L J, et al. Near-diffraction-limited diode laser arrays by wavelength beam combining[J]. Opt. Lett.,2005,30:2104 - 2106.
- [3] Leger J R, Mowry G, Li X. Mode control of an AlGaAs laser array in a Talbot cavity [J]. Appl. Phys. Lett.,1989,55(4):334 - 336.
- [4] Corcoran C J, Pasch K A. Modal analysis of a self-Fourier laser cavity [J]. J. Opt. A.,2005,7(5):1 - 7.
- [5] Liu L, Zhou Y, Kong F, et al. Phase locking in a fiber laser array with varying path lengths [J]. Appl. Phys. Lett.,2004,85(21):4837 - 4839.
- [6] 王克俊,李强,郭渭荣,等. 二极管激光阵列在 Talbot 外腔中同相模的选择[J]. 强激光与粒子束,2006,18(2):177 - 180.
- [7] Li Q, Zhao P F, Guo W R. Amplitude compensation of a diode laser array phase locked with a Talbot cavity[J]. Appl. Phys. Lett.,2006,89(23):1120 - 1122.
- [8] Zhao P F, Li Q, Guo W R, et al. In-phase output beam from broad-area diode array using Talbot cavity [J]. Chin. Opt. Lett.,2007,5(5):284 - 285.
- [9] Zhao Peng-fei, Li Qiang, Guo Wei-rong, et al. Phase locking of a high power diode laser array in an external cavity [J]. Journal of Optoelectronics. Laser, 2007, 18(6): 672 - 674. (in Chinese)
- [10] Apollonov V V, Sergei I D, Vladimir A F, et al. High power laser diode array phase-locking[J]. SPIE,2000,3889: 134 - 146.