

文章编号: 1007 - 4252(2000)03 - 0263 - 03

大功率半导体激光光束整形技术 及其在泵浦方面的应用

薄报学^{1,2}, 宋晓伟², 王玲², 曲轶², 高鼎三¹

(1. 吉林大学电子工程系光电子与集成光学国家重点实验室, 长春 130023

2. 长春光学精密机械学院大功率半导体激光国家重点实验室, 长春 130022)

摘要: 在分析大功率半导体激光器的光束输出特性的基础上, 针对 Nd: YVO₄/KTP 腔内倍频激光器的泵浦光源要求, 研究了大功率半导体激光器光束输出的多种整形方法, 同时比较了不同泵浦光束形状对 Nd: YVO₄/KTP 腔内倍频激光器输出效率的影响。

关键词: 光束整形; 半导体激光器; 腔内倍频; 转换效率

中图分类号: TN36 **文献标识码:** A

1 前言

近年来以 Nd: YVO₄ 为增益介质的腔内倍频的绿光输出激光器成为大功率半导体激光器在泵浦方面的一个研究应用热点, 目前报道的器件的光 - 光转换效率高达 20% 以上^[1]。半导体激光器的激射波导存在较大的非对称性, 因而其光输出的远场呈现为一窄条状椭圆形光斑。固体激光器的泵浦效率是与泵浦光束在激光介质中的激发体积和激光腔模体积的重叠程度直接相关的, 因此有必要对半导体激光器的输出光束进行适当整形, 以满足 LD 泵浦固体激光器光 - 光转换效率的有效提高。

2 大功率半导体激光器的光束整形

大功率半导体激光器的波导结构经过特殊优化以后, 其光输出在垂直于结平面方向的发散角 (FWHM) 约为 30°, 呈现较为光滑的近高斯强度分布, 而平行于结平面方向的发散角约为 7°~8°(宽条形器件), 强度分布常有明显不规则。对于半导体激光器的光束整形视应用要求不同, 一般可采用以下方式:

(1) 自聚焦透镜法。自聚焦透镜是利用具有径向连续变化折射率的柱状材料对入射光进行连续折射而具有成像功能, 具有结构简单、可在输出面上形成实象的特点。由于自聚焦透镜的简单的折射光线原理, 其对半导体激光器的光束分布不会有明显改进, 只能对 LD 输出光束进行简单的会聚收集。图 1 为自聚焦透镜对半导体激光器输出光束进行收集会聚的

收稿日期: 2000 - 07 - 20; 修订日期: 2000 - 09 - 04

基金项目: 大功率半导体激光国家重点实验室基金资助项目(98JS36. 4. 4. ZS3607)

作者简介: 薄报学(1964 -), 男, 现为吉林大学在读博士生。

光线传输示意图。

(2) 光纤耦合输出法。此方法的特点是较为复杂,难于压缩系统体积,但半导体激光输出经过一段距离的光纤传输在输出的截面上强度得到匀化,可实现对称性较好的功率输出。光纤耦合一般采用以下方案:a. 用微型柱透镜压缩垂直于结平面方向的较大的光束发散角至 $1^{\circ}\sim 5^{\circ}$,使之远小于光纤的孔径角;b. 平端光纤与压缩后的激光束对准。该方法主要用于对系统性能有较高要求的泵浦场合。图 2 给出了一支大功率半导体激光器分别在自由出射和光纤输出条件下的远场强度分布。

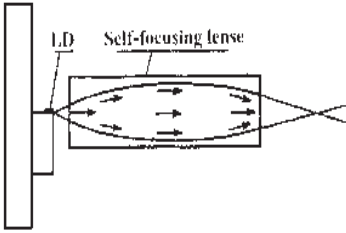


Fig. 1 LD light focusing system by self - focusing lens

图 1 自聚焦透镜收集会聚 LD 输出的光线传输示意图

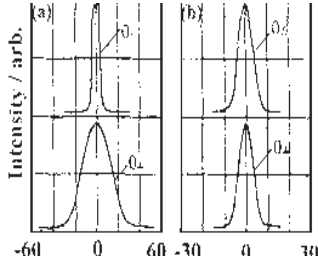


Fig. 2 Farfield intensity profile under (a) freely emitting and (b) fiber coupling output

图 2 LD 分别在自由出射(a)和光纤输出光束条件(b)下的远场强度分布

3 泵浦光束形状对 Nd: YVO₄/KTP 腔内倍频激光器输出效率的影响

实验采用流行的 Nd: YVO₄/KTP 腔内倍频激光器结构,主要对上述的两种半导体激光光束整形方法及自由出射方式的泵浦效果进行评价。Nd: YVO₄ 晶体的掺杂浓度为 1at% ,沿 a 轴方向切割,制成 3mm × 3mm × 1mm 的泵浦晶体。泵浦晶体端面分别镀相应波长的增反、增透膜。倍频用 KTP 晶体按 II 类相位匹配方向切割,尺寸为 2mm × 2mm × 5mm,端面镀以相应波长的增反、增透膜,作为固体激光器的输出腔面。激光晶体的 c 轴与倍频晶体的快轴成 45° 夹角,并安装在无氧铜加工的散热块上。实验装置如图 3 所示。其中元件 1 为实验室研制的条宽 150 μ m 的 808nm 波长无铝材料大功率激光器件。元件 2 分别为自由出射、自聚焦透镜、耦合光纤/球透镜的泵浦条件。自聚焦透镜的节距为 0.22,直径为 1.8mm,最大入射角(2θ)为 72°。耦合光纤的芯径为 200 μ m,数值孔径(NA)为 0.22。经测试,自聚焦透镜的光传输效率基本与耦合光纤/球透镜的传输效率近似一致,约为 80%。图 4 给出了半导体激光器分别经过自由出射、自聚焦透镜、光纤耦合/球透镜泵浦腔内倍频固体激光器的 532nm 光输出曲线。从图 4 中可以看出,三种泵浦条件下的绿光输出效率和极限输出功率有着明显差别。自由出射条件下的泵浦效率很差,在很小的输出功率下就出现饱和现象。这是因为,该条件下的泵浦光发散角很大且严重不对称,使得泵浦体积远大于激光腔的模式体积,大部分泵浦光转变为热量增加了腔模的不稳定性。此泵浦条件下的绿光输出在较小功率下为椭圆状光斑,并很快变为两瓣或多瓣图样。自聚焦透镜法具有较高的泵浦输出效率,光-光转换效率约为 9%,其绿光输出基本为基模单瓣,并略有不对称性。可以认为,自聚焦透镜有效地压缩了半导体激光器的输出远场,使大部分泵浦光进入到固体激光器的腔模之内,起到了提高固体激光输出效率的作用。但由于泵浦光的光斑对称性很差,不能均匀激发固体激

光器的腔模,使激光器的模增益受到影响,故固体激光器的泵浦效率仍然有较大提高余地。由于泵浦光的热效应会对材料的折射率产生影响,泵浦产生的光输出基本为椭圆状光斑。光纤耦合/球透镜输出泵浦效率最高,在泵浦功率较大时出现了输出饱和现象。输出饱和现象的产生有以下两个可能的原因:(1)固体激光晶体和 KTP 倍频晶体的温升。(2)半导体激光器输出波长的温漂^[2]。

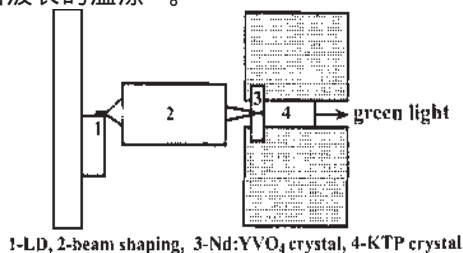


Fig. 3 Schematic assembly of intracavity frequency-doubled lasers by LD pumping

图 3 LD 泵浦腔内倍频激光器的结构示意图

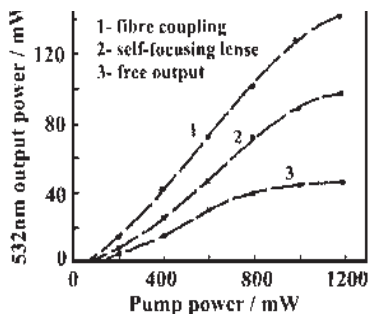


Fig. 4 Output properties under different pumping conditions

图 4 三种光束泵浦条件下的光输出曲线

4 结论

分别介绍了大功率半导体激光器在泵浦方面应用的两种光束整形方法 – 自聚焦透镜法和光纤耦合输出法,并采用大功率半导体激光器的自由出射、自聚焦透镜法和光纤耦合输出法分别进行了 Nd: YVO₄/KTP 腔内倍频结构激光器的泵浦试验,简单分析了三种泵浦条件下的光输出特性,比较了其优缺点。

参考文献:

- [1] WANG Chang-qing, SHEN De-yuan. [J]. Acta Optica Sinica, 1996, 16(10): 1393 – 1396.
- [2] GAO Xin, BO Bao-xue. [J]. Proceedings of SPIE, 1998, 3547: 118 – 120.

Beam shaping methods of high power semiconductor lasers and its application on LD pumping

BO Bao-xue^{1,2}, SONG Xiao-wei², WANG Ling², QU Yi², GAO Ding-san¹

(1. National Key Lab of Optoelectronics and Integrated Optics,
Department of Electronic Engineering, Jilin University, Changchun 130023, China;

2. National Key Lab of High Power Semiconductor Lasers,
Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics, Changchun 130022, China)

Abstract: Several beam shaping methods of high power semiconductor lasers have been studied for the pumping demand of Nd: YVO₄/KTP intracavity frequency-doubled lasers, based on the analysis of the beam output characteristics of high power semiconductor lasers. Some comparison among three kinds of beam shaping methods has been completed with a Nd: YVO₄/KTP intracavity frequency-doubled laser.

Key words: Beam shaping; LD; Intracavity-doubled; Conversion efficiency