

LD 抽运的 Nd :YAG 陶瓷/KTP 绿光激光器^{*}

兰瑞君^{1,2)} 刘 宏¹⁾ 王正平¹⁾ 任 诤²⁾ 张怀金¹⁾ 王继扬¹⁾
于浩海¹⁾ 吕耀辉¹⁾ 桑元华¹⁾ 许心光¹⁾

1) 山东大学晶体材料国家重点实验室, 济南 250100)

2) 山东大学信息科学与工程学院, 济南 250100)

(2009 年 1 月 4 日收到, 2009 年 2 月 25 日收到修改稿)

报道了一种 LD 端面抽运 Nd :YAG 陶瓷/KTP 腔内倍频的全固态连续波绿光激光器. 当抽运功率为 21.6 W 时, 1064 nm 基频输出达到 11.3 W, 光—光转换效率为 52.3%. 采用 II 类切割的 KTP 晶体作为腔内倍频介质, 在直腔结构下获得了最大功率为 1.86 W 的 532 nm 绿光输出, 光—光转换效率为 7%. 输出光斑具有高斯型强度分布, 1 W 输出时的 M^2 因子约为 1.7.

关键词: 全固态绿光激光器, Nd :YAG 陶瓷, KTP 倍频, 直腔

PACC: 4255R, 4265K

1. 引言

激光二极管抽运的大功率绿光激光器在可调谐激光器的抽运源、激光测距、制导、致盲武器、海洋勘探、水下通信、彩色显示、数据存储、同位素分离等领域具有重要应用. 掺钕钇铝石榴石(Nd :YAG)单晶以其优良的热学和光学特性成为该类激光器中广泛应用的固体激光介质^[1-6]. 然而传统提拉法生长的 Nd :YAG 单晶仍有很多固有缺陷, 如制作费用高, 难以生长大尺寸晶体, 掺杂浓度低以及难以消除生长中心的应力集中区等, 都一定程度上限制了它的应用^[7,8]. 1999 年出现的真空烧结法陶瓷制备工艺使得激光陶瓷的制备取得突破性进展^[9]. 2002 年, Lu 等人利用其制备的 Nd :YAG 纳米粉体烧结了透明 Nd :YAG 陶瓷, 实现了 1.46 kW 的连续激光输出^[10], 从此陶瓷多晶引起了人们越来越多的关注, 成为现在激光研究尤其是高功率激光研究的热点^[11-18]. Nd :YAG 透明陶瓷的光谱特性、物化性能、激光特性与 Nd :YAG 单晶几乎相同, 而在某些方面比单晶更具优势, 如制备时间短、成本低、形状多样、尺寸大、掺杂浓度高、便于大规模生产等. 这些优点使其完全

有希望成为 Nd :YAG 单晶的替代品而在全固态大功率绿光激光器中获得应用.

本文报道了以 Nd :YAG 陶瓷作为激光介质的 LD 端面抽运连续波绿光激光器, 谐振腔采用结构紧凑的双镜直腔, 532 nm 连续输出的最大功率为 1.86 W, 光束的横向分布具有高斯形状, 1 W 输出时光束传输因子 M^2 约为 1.7.

2. 实验装置

图 1 为 Nd :YAG 陶瓷/KTP 腔内倍频激光器的实验装置图. 实验采用端面抽运方式, 所用光纤耦合 LD 的中心波长为 808 nm, 通过透镜系统聚焦到晶体上的抽运光斑半径约为 0.256 mm. 实验所用 Nd :YAG 陶瓷和 KTP 晶体的尺寸分别为 3 mm × 3 mm × 5 mm 和 3 mm × 3 mm × 7 mm. 陶瓷的 Nd³⁺ 掺杂浓度为 2%, 两端面抛光但没有镀膜. KTP 晶体沿 II 类倍频方向切割, 端面抛光并镀有 1064 nm/532 nm 双增透膜. 为了有效地释放晶体中的热量, 两块晶体的侧面均包上铝箔, 放入水冷的铜块内, 水温保持在 5 °C. 入射镜 M_1 为平面镜, 入射端镀 808 nm 增透膜, 另一端镀 808 nm 增透、1064 nm 高反膜. 出射镜 M_2

^{*} 国家自然科学基金(批准号: 50872070, 50702031), 国家自然科学基金创新研究集体(批准号: 50721002), 国家重点基础研究发展计划(973)项目(批准号: G2004CB619002, 2007CB613302)和高等学校学科创新引智计划资助的课题.

† 通讯联系人. E-mail: zpwang@icm.sdu.edu.cn

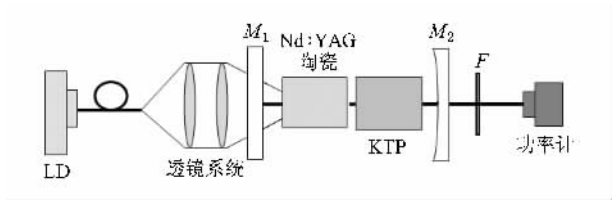


图 1 实验装置图

是曲率半径为 200 mm 的平凹镜,凹面镀 1064 nm 高反、532 nm 增透膜.整个谐振腔腔长约为 19 mm.滤色片 F 用于滤除抽运光,它对 808 nm、532 nm、1064 nm 的透过率分别为 0.7%、82.9%、93.6%.

3. 实验结果及分析

当谐振腔中未放入 KTP 倍频晶体时,我们对陶瓷的 1064 nm 连续激光性质进行了研究.此时的抽运端腔镜 M_1 是曲率半径为 200 mm 的平凹镜.平面镀 808 nm 增透膜,凹面镀 808 nm 增透、1064 nm 高反膜.输出端腔镜是对 1064 nm 部分透过的平面镜,透过率为 8%.激光输出功率与入射抽运功率的关系如图 2 所示.阈值功率为 0.27 W,当抽运功率为 21.6 W 时,获得了 11.3 W 的连续激光输出,相应的光—光转换效率为 52.3%,斜效率为 54.4%.从图中可以看出,基频光的输出线性非常好,在高抽运功率下并未出现饱和现象,说明继续加大抽运功率有望获得更高输出.

更换腔镜如图 1 所示,并放入 KTP 晶体,倍频输出功率随抽运功率的变化如图 3 所示.由图中实验点的二次拟合曲线可以看出,532 nm 绿光输出与抽运功率的平方成正比,随着抽运功率的增加转换效率逐渐增大.当抽运功率为 26.4 W 时,绿光输出

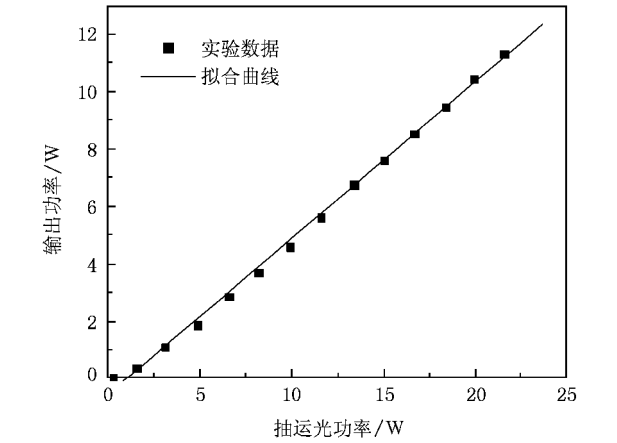


图 2 1064 nm 连续激光输出功率与抽运光功率的关系

功率为 1.86 W,光—光转换效率为 7%.

在绿光输出功率为 1 W 的情况下,我们用针孔法对光斑强度的一维空间分布进行了测量,如图 3 所示,其中实线为高斯拟合曲线.该图表明输出光束质量较好,经过计算光束传输因子 M^2 约为 1.7.

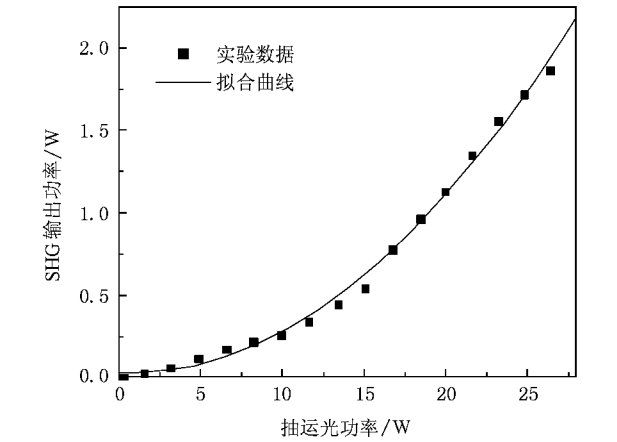


图 3 532 nm 连续激光输出与抽运光功率的关系

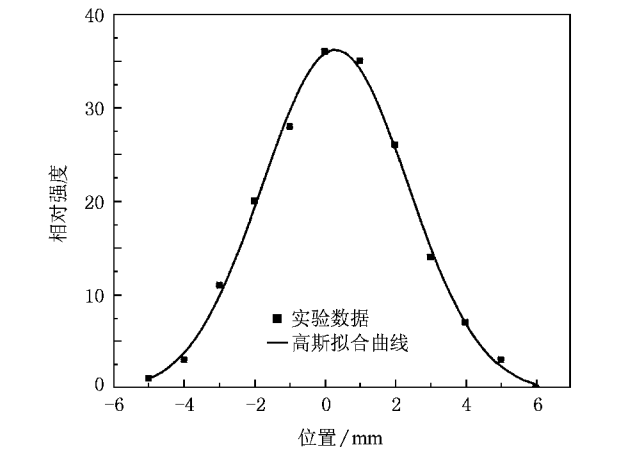


图 4 绿光光斑的一维强度分布

4. 结 论

本文利用 LD 抽运实现了 Nd:YAG 陶瓷作为激光介质的倍频绿光输出.最大输出功率为 1.86 W,光斑强度具有很好的高斯分布特性,1 W 输出时 M^2 因子约为 1.7.据我们所知,利用 Nd:YAG 陶瓷实现 LD 端面抽运高功率连续波绿光输出,在国内尚属首次,显示了该材料在大功率绿光激光器中的应用前景.相信随着多镜腔、主动调 Q 等技术的应用,基于 Nd:YAG 陶瓷的绿光激光器必将获得更大输出和更高效率.

- [1] Mukhopadhyay P K , Sharma S K , Ranganathan K , Gupta P K , Nathan T P S 2006 *Opt . Commun .* **259** 805
- [2] Kojima T , Fujikawa S , Yasui K 1999 *IEEE J . Quantum Electron .* **35** 377
- [3] Zhang H Y , Zhang Y P , Zhong K , Wang P , Li X F , Yao J Q 2008 *Chinese Journal of Lasers* **35** 3 (in Chinese) [张会云、张玉萍、钟凯、王 鹏、李喜福、姚建铨 2008 中国激光 **35** 3]
- [4] Yao Z Y , Jiang J F , Tu B , Zhou T J , Cui L L 2005 *Chinese Journal of Lasers* **32** 1459 (in Chinese) [姚震宇、蒋建锋、涂 波、周唐建、崔玲玲 2005 中国激光 **32** 1459]
- [5] Tang C , Gao Q S , Tong L X , Chen X L , Li D M , Cai Z , Wu D Y , Tu B , Yao Z Y 2005 *Chinese Journal of Lasers* **32** 1455 (in Chinese) [唐 淳、高清松、童立新、陈晓琳、李德明、蔡 震、武德勇、涂 波、姚震宇 2005 中国激光 **32** 1455]
- [6] Xu D G , Yao J Q , Guo L , Zhou R , Zhang B G , Ding X , Wen W Q , Wang P 2004 *Acta Optica Sinica* **7** 0253 (in Chinese) [徐德刚、姚建铨、郭 丽、周 睿、张百钢、丁 欣、温午麒、王 鹏 2004 光学学报 **7** 0253]
- [7] Monchamp R R 1971 *J . Cryst . Growth .* **11** 310
- [8] Xu J 2006 *Laser & Optoelectronics Progress* **43** 17 (in Chinese) [徐 军 2006 激光与光电子学进展 **43** 17]
- [9] Ikesue A , Aung Y L , Taira T , Kamimura T , Yoshida K , Messing G L 2006 *Annu . Rev . Mater . Res .* **36** 397
- [10] Lu J R , Ueda K , Yagi H , Yanagitani T , Akiyama Y , Kaminskii A A 2002 *J . Alloys and Compounds* **341** 220
- [11] Lu J H , Lu J R , Murai T , Takaichi K , Uematsu T , Xu J Q , Ueda K , Yagi H , Yanagitani T , Kaminskii A A 2002 *Opt . Lett .* **27** 1120
- [12] Kaminskii A A , Bagaev S N , Ueda K , Takaichi K , Lu J R , Shirakawa A , Yagi H , Yanagitani T , Eichler H J , Rhee H 2005 *Laser Phys . Lett .* **2** 30
- [13] Takaichi K , Yagi H , Lu J R , Shirakawa A , Ueda K , Yanagitani T , Kaminskii A A 2003 *Phys . Stat . Sol . (a)* **200** R5
- [14] Strohmaier S G P , Eichler H J , Bisson J F , Yagi H , Takaichi K , Ueda K , Yanagitani T , Kaminskii A A 2005 *Laser Phys . Lett .* **2** 383
- [15] Zhu H T , Lou Q H , Qi Y F , Ma H X , Dong J X , Wei Y R 2005 *Acta Physica Sinica* **54** 5648 (in Chinese) [朱洪涛、楼祺洪、漆云凤、马海霞、董景星、魏运荣 2005 物理学报 **54** 5648]
- [16] Zhu H T , Lou Q H , Qi Y F , Dong J X , Wei Y R , 2006 *Acta Physica Sinica* **55** 5221 (in Chinese) [朱洪涛、楼祺洪、漆云凤、董景星、魏运荣 2006 物理学报 **55** 5221]
- [17] Yang C W , Huo Y J , He S F , Feng L C 2005 *Chinese Journal of Lasers* **32** 593 (in Chinese) [杨成伟、霍玉晶、何淑芳、冯立春 中国激光 2005 **32** 593]
- [18] Zhou Y , Chen Y H , Zong N , Wang G L , Bao Y , Peng Q J , Cui D F , Xu Z Y , Wu Y S , Li J , Pan Y B , Feng X Q , Li J , Fan F D , Yu A F , Zhu Y , Hu Z G 2008 *Chinese Journal of Quantum Electronics* **25** 257 (in Chinese) [周 勇、陈亚辉、宗 楠、王桂玲、薄 勇、彭钦军、崔大复、许祖彦、吴玉松、李 江、潘裕柏、冯锡琪、李 军、范飞镝、于爱芳、朱 镛、胡章贵 2008 量子电子学报 **25** 257]

LD pumped Nd :YAG ceramic/KTP green laser^{*}

Lan Rui-Jun^{1,2)} Liu Hong¹⁾ Wang Zheng-Ping^{1)†} Ren Quan²⁾ Zhang Huai-Jin¹⁾ Wang Ji-Yang¹⁾
Yu Hao-Hai¹⁾ Lü Yao-Hui¹⁾ Sang Yuan-Hua¹⁾ Xu Xin-Guang¹⁾

¹⁾ *State Key Laboratory of Crystal Materials, Shandong University, Jinan 250100, China*

²⁾ *School of Information Science and Engineering, Shandong University, Jinan 250100, China*

(Received 4 January 2009 ; revised manuscript received 25 February 2009)

Abstract

A CW green laser was reported with ceramic Nd :YAG as gain material and KTP crystal as frequency doubler. When the pump power was 21.6 W, the 1064 nm fundamental output was 11.3 W, corresponding to an optical conversion efficiency of 52.3%. When a type-II cut KTP crystal was inserted in the straight cavity as a frequency doubler, the maximum 532 nm green output was 1.86 W, and the optical conversion efficiency was 7%. The one-dimensional intensity distribution of the green facula was of Gaussian type, and the M^2 factor was measured to be 1.7 when the output power was 1 W.

Keywords : all-solid-state green laser, Nd :YAG ceramic, KTP frequency doubling, straight cavity

PACC : 4255R, 4265K

^{*} Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant Nos. 50872070, 50702031), Innovation Research Group of the National Natural Science Foundation of China (Grant No. 50721002), the National Basic Research Program of China (Grant Nos. G2004CB619002, 2007CB613302), and the Program of Introducing Talents of Discipline to Universities in China (111 Program).

[†] Corresponding author. E-mail : zpwang@icm.sdu.edu.cn