

布儒斯特角结构 16.8 W 半导体抽运铷蒸气激光器

谭彦楠 李义民 刘 通 贾春燕 徐 志 刘万发

中国科学院大连化学物理研究所化学激光重点实验室, 辽宁 大连 116023

摘要 为了获得高效半导体抽运碱金属蒸气激光器,采用布儒斯特角结构的增益池,有效地提高了激光的单程透射率, p偏振的激光单程透射率达到97%。采用长度为1 cm的增益池,其内填充碱金属铷蒸气作为增益介质和压强为79.99 kPa的甲烷作为缓冲气体。采用中心波长为780 nm,线宽为0.1 nm,功率为48 W连续输出的半导体激光器作为抽运源。为了降低增益池内的热效应,采用斩波器将抽运光转化成脉冲形式输出,脉冲宽度为1.85 ms,重复频率为15 Hz,占空比2.77%。采用12 cm的平凹谐振腔,利用输出耦合率分别为41%、58%、76%的输出镜进行了优化实验。在增益池温度为160 ℃时,采用输出耦合率为76%的输出镜,获得了峰值功率最高为16.8 W的中心波长为795 nm的铷激光输出,光-光转换效率为35%,斜率效率为44.2%。

关键词 激光器; 碱金属蒸气; 半导体抽运; 铷激光

中图分类号 TN248.2

文献标识码 A

doi: 10.3788/CJL201643.0302004

16.8 W Diode Pumped Rubidium Vapor Laser with Brewster Angle Structure

Tan Yannan Li Yimin Liu Tong Jia Chunyan Xu Zhi Liu Wanfa

Key Laboratory of Chemical Laser, Dalian Institute of Chemical Physics, Chinese Academy of Sciences, Dalian, Liaoning 116023, China

Abstract In order to obtain high efficiency diode pumped alkali metal vapor laser, a gain cell with Brewster angle structure is used. The one-trip transmittance of the laser is improved effectively and the one-trip transmittance of the laser in p-polarization is 97%. A gain cell with length of 1 nm is used. It is filled with alkali metal rubidium vapor as gain medium and methane with pressure of 79.99 kPa as buffer gas. A diode laser is used as the pump source when the power is 48 W, the central wavelength is 780 nm and the line width is 0.1 nm. In order to reduce the thermal effect of gain cell, a chopper is used to change the continuous pump laser to pulse output with pulse width of 1.85 ms, repetition frequency of 15 Hz and duty ratio of 2.77%. The experiment is optimized by using 12 cm flat concave resonator and the output mirrors with output coupling rate of 41%, 58%, 76%. When the temperature of the cell is 160 ℃, using the output mirror of 76%, the rubidium laser with wavelength of 795 nm and the highest peak power of 16.8 W is obtained. The optical to optical efficiency is about 35%, and the slope efficiency is 44.2%.

Key words lasers; alkali vapor; diode pumped; rubidium laser

OCIS codes 140.1340; 140.3460; 140.3480

1 引 言

近年来,半导体抽运碱金属蒸气激光器(DPAL)由于具有量子效率高、光束质量好、近红外光谱大气传输效率高、体积小、重量轻、附属设备简单、易于流动散热、全电操作等特点,成为未来高能激光的一个重要发展方向,受到国内外的广泛关注^[1-2]。2001年,美国劳伦斯利弗莫尔国家实验室Krupke等^[3]提出了DPAL的概念设计,于2005年采用激光二极管(LD)抽运获得了铷蒸气激光器的出光实验^[4]。2008年,日本滨松光子公司

收稿日期: 2015-08-17; 收到修改稿日期: 2015-10-12

基金项目: 国家自然科学基金(61405197)、中国科学院化学激光重点实验室开放课题(KLCL2015-HT-N04)

作者简介: 谭彦楠(1984—),男,博士,助理研究员,主要从事半导体抽运碱金属蒸气激光器等方面的研究。

E-mail: yannan_tan@163.com

实现了峰值功率为 12.1 W 的铯激光输出,斜率效率达到 81.7%^[5]。2010年,美国通用原子公司获得了功率为 145 W 的铷激光输出,光-光转换效率约 15%^[6]。2012年,俄罗斯联邦原子能中心报道了功率达千瓦级的连续铯激光输出,光-光转换效率为 48%,是目前已报道出光功率最高的 DPAL 激光器,标志着 DPAL 进入了功率提升的实质性阶段^[7]。国内关于 DPAL 的研究尚处于起步阶段,2011年,国防科学技术大学的杨子宁等^[8]报道了 LD 抽运铷蒸气激光输出,峰值功率为 600 mW,斜率效率为 1.7%。中国科学院电子学研究所的徐程等^[9-10]于 2013 年和 2014 年报道了 LD 抽运输出功率为 2.8 W 的铷激光输出和 394 mW 的铯激光输出,光-光转换效率分别为 21% 和 7.4%。2015 年,中国科学院长春光学精密机械与物理研究所的陈飞等^[11]报道了功率为 1.16 W 铯激光输出,斜率效率为 28.8%,光光转换效率为 24.4%。

碱金属由于化学性质活泼,在高温高抽运光强下极易与窗口镀膜发生化学反应,因此通常碱金属增益池内表面都不采取镀膜,导致碱金属增益池的单程透射率较低通常在 90% 左右甚至更低。本文采用布儒斯特角结构的增益池,有效提高了激光的单程透射率,P 偏振的激光单程透射率达到 97%。采用中心波长为 780 nm,线宽为 0.1 nm,功率为 48 W 连续输出的半导体激光抽运源,获得了峰值功率最高为 16.8 W、中心波长为 795 nm 的铷激光输出,光-光转换效率为 35%,斜率效率为 44.2%。

2 实验装置

半导体抽运碱金属铷蒸气激光器系统实验装置如图 1 所示(LDA:激光二极管阵列,FAC:快轴准直镜,SAC:慢轴准直镜,VBG:体布拉格光栅)。作为抽运源的半导体激光器中心波长为 780 nm,功率为 48 W,P 偏振输出,偏振度大于 99%,由两个 LD 线阵组成,单个线阵发光长度为 1 cm,由 19 个发光单元组成。半导体激光器发出的抽运光先经过快慢轴准直镜,整形为准平行光,经过体光栅外腔反馈压窄处理后,采用光纤光谱仪(Ando6317B)进行光谱测量,谱线的半峰全宽为 0.1 nm。由于没有采取冷却措施,为了降低增益池中的热效应,利用机械斩波器将连续工作的抽运光转化成脉冲模式,脉冲宽度为 1.85 ms,重复频率为 15 Hz,占空比为 2.77%。半导体激光器发出的光斑形状为长方形,聚焦前光斑尺寸为 5.6 mm(快轴)×10.8 mm(慢轴),发散角为 6.4 mrad(快轴)×9.3 mrad(慢轴)。利用焦距为 10 cm 的凸透镜将抽运光聚焦进入铷增益池内,焦点处光斑尺寸为 0.88 mm(快轴)×1.52 mm(慢轴)。增益池长度为 1 cm,其内填充碱金属铷蒸气作为增益介质和压强为 79.99 kPa 的甲烷作为缓冲气体。增益池采用布儒斯特角结构,P 偏振的激光单程透射率达到 97%。理论上采用布儒斯特角结构的增益池,P 偏振激光的单程透射率可以达到 100%,但由于加工导致的增益池两个窗口平行度的偏差及窗口表面形变是导致透射率低于理论值的主要原因。加热炉对增益池采用窗口加热的模式,避免碱金属在窗口处的凝结。谐振腔长为 12 cm,由中心波长为 780 nm 高透、中心波长为 795 nm 高反的双色凹面镜(曲率半径为 500 mm)作为高反镜和平面耦合输出镜组成。位于平面镜处谐振腔基模光斑束腰半径为 232 μm ,增益池中心处基模光斑半径为 241 μm ,增益池中抽运光斑尺寸始终大于基模光斑尺寸,通过优化增益池的长度获得了较好的模式匹配。利用中心波长为 795 nm 窄带滤光片将激光与抽运光分开,避免抽运光对激光测量的干扰。最后,利用功率计及光谱仪分别对激光功率及光谱特性进行测量。

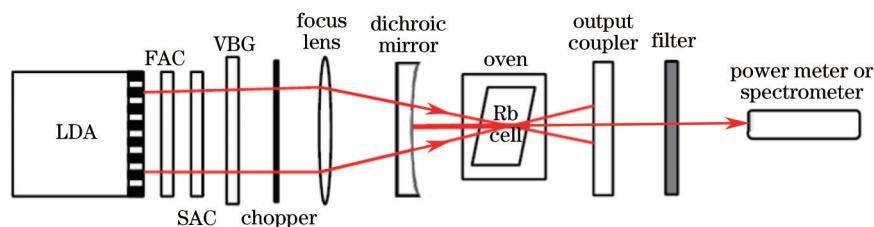


图 1 半导体抽运铷激光实验装置示意图

Fig.1 Schematic of diode pumped rubidium laser experimental device

3 实验结果

实验获得的波长为 795 nm 的激光光谱图如图 2 所示。在距离输出镜后 1 m 处放置承接屏获得的激光光斑图,如图 3 所示。在抽运光功率为 48 W 的条件下,利用输出耦合率分别为 41%、58%、76% 的输出镜对输出

铷激光功率随增益池温度的变化进行了测量,结果如图4所示。从图4中看出,当增益池温度较低时,作为增益介质的碱金属铷蒸气浓度较低,导致激光器增益较低,输出耦合率越小输出功率越高。随着增益池温度的升高,碱金属铷蒸气浓度逐渐增大,激光器的增益也逐渐增大,输出耦合率越大时输出激光功率也越高。在增益池温度为160℃时,采用输出耦合率为76%的输出镜,获得了峰值功率最高为16.8 W,波长为795 nm的铷激光输出,光-光转换效率为35%。在增益池温度为160℃时,利用输出耦合率为76%的输出镜,对激光器的输出功率随抽运光功率的变化进行测量,如图5所示,测得激光器的阈值抽运功率为10.9 W,斜率效率为44.2%。

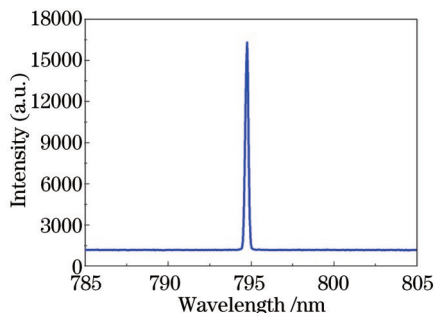


图2 795 nm 铷激光光谱图

Fig.2 Rubidium laser spectrum with wavelength of 795 nm

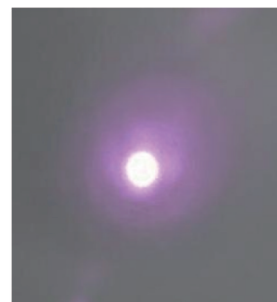


图3 795 nm 铷激光光斑图

Fig.3 Rubidium laser spot with wavelength of 795 nm

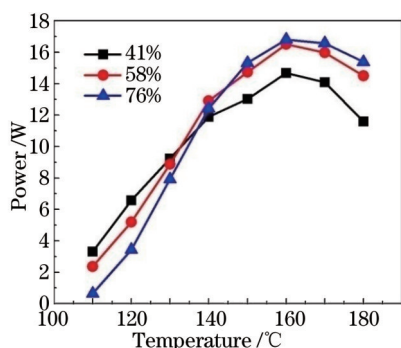


图4 铷激光输出功率随增益池温度的变化

Fig.4 Output power of Rb laser versus cell temperature

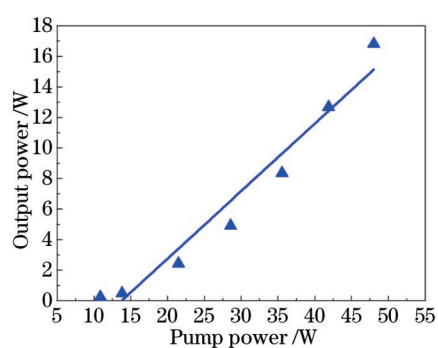


图5 铷激光输出功率随抽运光功率的变化

Fig.5 Output power of Rb laser versus pump power

4 结 论

采用布儒斯特角结构的增益池,中心波长为780 nm,线宽为0.1 nm,功率为48 W连续输出的半导体激光抽运源,获得了峰值功率最高为16.8 W,波长为795 nm铷激光输出,光-光转换效率为35%,斜率效率为44.2%。碱金属由于化学性质活泼,在高温高抽运光强下极易与窗口镀膜发生化学反应造成窗口污染,进而导致激光器效率的严重下降甚至无法出光,因此通常碱金属增益池内表面无法采取镀膜,激光器单程透射率较低。DPAL实验方案采用的布儒斯特角结构的增益池,有效降低了激光器的单程损耗,特别适用于未来高功率情况下DPAL的方案设计。

参 考 文 献

- 1 Yang Zining, Wang Hongyan, Lu Qisheng, *et al.*. Research development of laser diode pumped alkali lasers[J]. Laser & Optoelectronics Progress, 2010, 47(5): 051405.
- 2 Zhdanov B V, Knize R J. Diode pumped alkali lasers[C]. SPIE, 2011, 8187: 818707.
- 3 Krupke W F, R J Beach, Kanz V K, *et al.*. High- power laser diode-pumped alkali metal vapor laser[J]. Opt Lett, 2003, 28(23): 2336-2338.
- 4 Page R H, Beach R J, Kanz V K, *et al.*. First demonstration of a diode-pumped gas (alkali vapor) laser[C]. Conference on Lasers and Electro-Optics, 2005, 1: 467-469.

- 5 Wang Y, Niigaki M, Fukuoka H, *et al.*. High-efficiency 894 nm laser emission of laser-diode-bar-pumped cesium-vapor laser[J]. Appl Phys Exp, 2009, 2(3): 032051.
- 6 Zweiback J, Komashko A, Krupke W F. Alkali vapor lasers[C]. SPIE, 2010, 7581: 75810G.
- 7 Bogachev A V, Garanin S G, Dudov A M, *et al.*. Diode-pumped caesium vapour laser with closed-cycle laser-active medium circulation [J]. Quantum Electronics, 2012, 42(2): 95-98.
- 8 Yang Zining, Wang Hongyan, Hua Weihong, *et al.*. Diode pumped rubidium vapor laser[J]. High Power Laser and Particle Beams, 2011, 23(9): 2273-2274.
 杨子宁, 王红岩, 华卫红, 等. 半导体泵浦铷蒸气激光器国内首次出光[J]. 强激光与粒子束, 2011, 23(9): 2273-2274.
- 9 Xu Cheng, Tan Rongqing, Li Zhiyong, *et al.*. 2.8 W linearly polarized output of rubidium vapor laser with diode pumping[J]. Chinese J Lasers, 2013, 40(1): 0102009.
 徐程, 谭荣清, 李志永, 等. 半导体抽运铷蒸气输出 2.8 W 线偏振铷激光[J]. 中国激光, 2013, 40(1): 0102009.
- 10 Li Zhiyong, Tan Rongqing, Huang Wei, *et al.*. Diode pumped cesium vapor laser[J]. High Power Laser and Particle Beams, 2014, 26(1): 010102.
 李志永, 谭荣清, 黄伟, 等. 半导体泵浦铯蒸气实现激光输出[J]. 强激光与粒子束, 2014, 26(1): 010102.
- 11 Chen Fei, Gao Fei, Xu Yan, *et al.*. Diode-pumped cesium vapor laser with high efficiency output[J]. Chinese J Lasers, 2015, 42(1): 0102011.
 陈飞, 高飞, 徐艳, 等. 激光二极管抽运铯蒸气激光实现高效率瓦级输出[J]. 中国激光, 2015, 42(1): 0102011.

栏目编辑: 宋梅梅