

文章编号: 0253-2239(2004)03-431-2

Yb³⁺:Y₂O₃ 透明陶瓷激光器获得 5 W 连续激光输出

楼 祺 洪 马海霞* 漆云凤 董景星 魏运荣

(中国科学院上海光学精密机械研究所, 上海 201800)

摘要: 用带尾纤输出的激光二极管作为抽运源,采用端面抽运 10% Yb³⁺:Y₂O₃ 多晶透明陶瓷的方式获得了连续激光输出。抽运阈值功率为 5.6 W,当陶瓷介质吸收的抽运功率为 31.11 W 时,Yb³⁺:Y₂O₃ 多晶透明陶瓷获得了最大连续激光输出功率 5.48W,光-光转换效率为 17.6%,斜率效率为 25%。同时在激光实验过程中,没有发现饱和现象,因此采用更高功率的激光二极管作为抽运源,陶瓷的激光输出功率会得到进一步提高。这一研究成果表明,多晶透明陶瓷是一种非常有潜力的激光增益介质。

关键词: 激光器;透明陶瓷;陶瓷激光器;Yb³⁺ 掺杂

中图分类号: TN244 文献标识码: A

5 W CW Output Yb³⁺:Y₂O₃ Transparent Ceramic Laser

Lou Qihong Ma Haixia* Qi Yunfeng Dong Jingxing Wei Yunrong

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, The Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800)

(Received 23 December 2003)

Abstract: CW laser output is obtained using laser diode end-pumped polycrystalline transparent 10% Yb³⁺:Y₂O₃ ceramic. The pump threshold is 5.6 W, the maximum output power of 5.48 W is obtained with the absorbed pump power 31.11 W, and the slope efficiency is as high as 25%. At the same time there is no saturation in laser experiment, so the higher power output of Yb³⁺:Y₂O₃ ceramic can be obtained with laser diode of higher power. Therefore Yb³⁺:Y₂O₃ ceramic is a potential laser material.

Key words: lasers; transparent ceramic; ceramic laser; ytterbium doping

掺 Yb³⁺ 的激光增益介质具有宽的吸收带宽,宽的荧光带宽,长的荧光寿命,以及良好的热导性,因此它在高功率以及超短脉冲激光应用方面具有很大的潜力。YAG 晶体基质硬、光学质量好、热导率高、YAG 的立方结构也有利于产生窄的荧光谱线,以 YAG 作为基质的激光增益介质做了大量的研究,但对 Yb³⁺:Y₂O₃ 作为激光增益介质的研究并不多见。Y₂O₃ 单晶质地坚硬、稳定,热导率是 YAG 单晶的两倍多,而且它们的热膨胀系数相似,因此它具有产生好的光束质量以及大的平均功率的潜力。然而 Y₂O₃ 单晶的融溶温度为 2430°,结构相位转移温度为 2280°,因此很难生长一个大尺寸、高质量的 Y₂O₃ 单

晶。最近由于透明陶瓷技术的发展^[1,2],使得陶瓷激光介质引起了广泛的注意^[3~6]。Y₂O₃ 的烧结温度比它的熔融温度低 700 °C,这意味着可以用真空烧结法制备 Y₂O₃ 陶瓷,因此制造大尺寸、高质量的透明 Y₂O₃ 陶瓷成为可能。最近,我们采用最大输出功率为 40 W 的带尾纤的半导体激光器作为抽运源,通过透镜组准直聚焦后入射到 Yb³⁺:Y₂O₃ 多晶透明陶瓷激光介质上,获得了 5.48 W 的 1077.6 nm 连续激光输出,斜率效率为 25%。

抽运源为最大输出功率为 40 W 的带尾纤的半导体激光器,半导体激光器的输出光纤纤芯为 200 μm,数值孔径为 0.22,采用半导体制冷器对半导体激光器进行温度控制,使其中心波长靠近 Yb³⁺:Y₂O₃ 的吸收峰 975 nm。抽运光由一对焦距分别为 40 mm 和 50 mm 的透镜组准直聚焦后入射到透

* 联系人。E-mail: m0134@163.net

收稿日期: 2003-12-23

明陶瓷的一个端面,透镜组的耦合效率约为 80%。谐振腔为平平腔,整个腔长约为 10 mm。掺杂原子数分数为 0.10、直径为 10 mm、长度为 2.01 mm 的 $\text{Yb}^{3+}:\text{Y}_2\text{O}_3$ 多晶透明陶瓷一个端面镀 HR1075 nm/AR975 nm(975 nm 的透过率为 93%,1075 nm 的反射率为 99.2%) 双色膜作为谐振腔的后腔镜,另一个端面镀 1075 nm 的减反膜以减少腔损耗。输出镜为平面镜,镀 1075 nm 的高反膜,透过率为 3%。为了减少热集居粒子数和增加受激发射截面,将透明陶瓷激光增益介质放在一个铜质的热汇中循循环水充分冷却,水温设置在 10 °C。

适当调整谐振腔,在 $\text{Yb}^{3+}:\text{Y}_2\text{O}_3$ 多晶透明陶瓷激光器中获得连续激光输出。由于陶瓷样品长度较短,因此抽运光没有被充分吸收掉。陶瓷实际吸收的抽运功率为入射到其表面抽运功率的 93.7%。在抽运功率约为 8 W 时,观察到有激光输出。这时实际被陶瓷样品吸收的抽运功率为 5.6 W。提高抽运半导体激光器的工作电流,激光输出功率与吸收的抽运功率成线性关系,如图 1 所示。当半导体激光器的工作电流为 40 A 时,半导体激光器输出功率最大,陶瓷激光器激光输出已达 5.48 W。这时透明陶瓷吸收的抽运功率为 31.11 W,光-光转换效率达 17.6%,斜率效率为 25%。用光谱分析仪对掺 Yb^{3+} 透明陶瓷激光器的输出光谱特性进行了测量,激光中心波长为 1077.6 nm,谱线宽度为 4.8 nm。

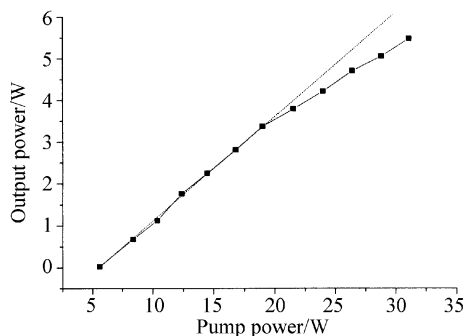


Fig. 1 Output power versus input power of the laser.

■ represents the experimental data. Dashed line represents the fitting line

在实验过程中没有发现饱和现象,但在实验中观察到当抽运功率大于 20 W 时,激光输出功率随抽运功率的增加减慢,这可能是由于热效应现象造成的。 $\text{Yb}^{3+}:\text{Y}_2\text{O}_3$ 多晶透明陶瓷激光器的效率还低于 $\text{Yb}^{3+}:\text{YAG}$ 单晶激光器的效率,分析可能有以下原因造成的:

1) 陶瓷样品的镀膜不够理想,作为激光器后腔镜的陶瓷端面镀 1075 nm 的高反膜,反射率只有 99.2%,由于准三能级系统具有较高的阈值,因此反射率偏低。2) 陶瓷样品长度较短,吸收的抽运光不够充分。3) 在抽运功率增加过程中,陶瓷端面镀膜严重损坏。4) 高的掺杂浓度造成了较强的上能级转换,能够用肉眼看到较强的蓝光。因此通过改善陶瓷的镀膜,增加陶瓷的长度,以及适当降低掺杂浓度,相信可以获得较高的功率输出以及转换效率。

本文报道了 $\text{Yb}^{3+}:\text{Y}_2\text{O}_3$ 透明陶瓷激光器的实验研究。抽运阈值功率为 5.6 W,当陶瓷介质吸收的抽运功率为 31.11 W 时, $\text{Yb}^{3+}:\text{Y}_2\text{O}_3$ 多晶透明陶瓷获得了最大连续激光输出功率 5.48 W,光-光转换效率为 17.6%,斜率效率为 25%。同时在激光实验过程中,没有发现饱和现象,掺 Yb^{3+} 的激光增益介质具有宽的吸收带宽、宽的荧光带宽、长的荧光寿命以及良好的热导性,加之透明陶瓷制造技术的进步,因此它在高功率以及超短脉冲激光应用方面具有很大的潜力。

参 考 文 献

- 1 Yanagitani T, Yagi H, Ichikawa M. Manufacture method of fine powder of YAG. Japan Patent, 1998, 10-101333
- 2 Yanagitani T, Yagi H, Hiro Y. Manufacture method of fine powder of YAG. Japan Patent, 1998, 10-101411
- 3 Lu J, Song J, Prabhu M *et al.*. High-power $\text{Nd}:\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ ceramic laser. *Jpn. J. Appl. Phys.*, 2000, **39**:1048~1050
- 4 Kong J, Tang D Y, Shen D Y *et al.*. Diode pumped $\text{Yb}:\text{Y}_2\text{O}_3$ ceramic laser. *Proc. SPIE*, 2002, **4914**:69~76
- 5 Lu J, Bission J F, Takaichi K *et al.*. $\text{Yb}^{3+}:\text{Sc}_2\text{O}_3$ ceramic laser. *Appl. Phys. Lett.*, 2003, **83**(6):1101~1103
- 6 Lu J, Takaichi K, Uematsu T *et al.*. Promising ceramic laser material: Highly transparent $\text{Nd}^{3+}:\text{Lu}_2\text{O}_3$ ceramic. *Appl. Phys. Lett.*, 2002, **81**(23):4324~432