

钛宝石激光泵浦 Yb:YAG 微片激光器获得 1.053 μm 高效激光输出*

杨培志 邓佩珍 刘玉璞 张影华 陈伟 徐军

(中国科学院上海光机所 上海 201800)

提要 实现了钛宝石泵浦 Yb:YAG 微片激光器的室温运转, Yb:YAG 晶体中 Yb³⁺ 的掺杂浓度分别为 10 at-% 和 20 at-%, 当 20 at-% Yb:YAG 晶体微片(6 mm×6 mm×0.5 mm)吸收的泵浦功率为 784 mW 时, 获得 356 mW 1.053 μm 的 CW 激光输出, 斜率效率高达 69%, 总的光-光效率为 45%。

关键词 钛宝石激光器, Yb:YAG 微片, 1.053 μm 激光输出, 斜率效率

90 年代以来, 随着 InGaAs 激光二极管(发射波长 0.9~1.1 μm)的不断发展和完善, 掺 Yb³⁺ 激光材料的研究不断发展。国际上对各种掺 Yb³⁺ 基质晶体进行了广泛深入的研究, 其中 Yb:YAG 晶体由于低的量子缺陷、小的热负荷、不存在激发态吸收和上转换, 具有宽的吸收带、宽的发射带、长的荧光寿命和优良的热力学性能参数等特点而成为掺 Yb³⁺ 激光材料中的佼佼者。尤其重要的是 Yb:YAG 晶体可进行高浓度掺杂, 因而可以加工成薄片作为增益介质, 这对实现固体激光器的小型化、集成化、致密化和结构紧凑将具有十分重要的意义。目前, 国际上对用钛宝石激光器或 LD 泵浦 Yb:YAG 晶体薄片获得 1.053 μm 的激光输出已有广泛报道^[1~4]。U. Brauch 等^[5]用 LD 泵浦 Yb:YAG 晶体, 在 1.018~1.053 μm 波长范围内获得了连续可调的激光输出。

本文用钛宝石激光器作为泵浦源泵浦 10 at-% Yb:YAG 和 20 at-% Yb:YAG 晶体薄片, 在室温下获得了 1.053 μm 的高效激光输出。

1 实验装置

实验装置如图 1 所示, 激光腔为平-平腔结构, 用 Ar⁺ 离子泵浦钛宝石激光器作为泵浦源, 940 nm 的泵浦光经过一个焦距为 4 cm 的透镜和腔镜(输出耦合镜), 聚焦在 Yb:YAG 晶体薄片上, 腔镜紧贴晶体并固定在热沉板上, 这一设计的优点在于谐振腔的结构简单, 冷却效率高, 抑制了晶体的温度升高, 采用薄片晶体后, 散热效果好。腔镜(输出耦合镜)的一面镀 940 nm 的增透膜, 另一面镀 1.053 μm 的高反膜和 940 nm 的增透膜。晶体的输入面镀 1.053 μm 和 940 nm 的增透膜, 另一面镀 1.053 μm 和 940 nm 的高反膜, 晶体的反射面起着折叠镜的作

* 国家自然科学基金(69578026)和国家科委 863 高技术项目资助课题。

收稿日期: 1999-04-13; 收到修改稿日期: 1999-05-14

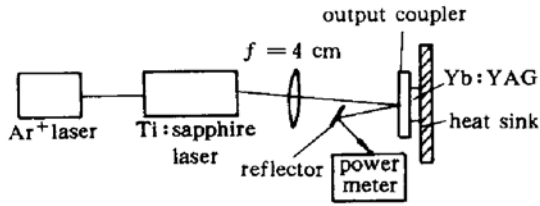


图 1 钛宝石激光器泵浦 Yb:YAG 晶体的激光实验装置

Fig. 1 Experimental setup of the Ti:sapphire laser pumped Yb:YAG thin chip laser

用。实验中用安立 ML93B 型功率计测量 Yb:YAG 微片激光器的输出功率。

2 实验结果与讨论

从 Yb:YAG 晶体的吸收光谱和荧光光谱^[6]可以看出:Yb:YAG 晶体的主吸收峰有三个,峰值波长分别位于 913 nm, 940 nm 和 968 nm 处。另外,在 1.03 μm 波长处存在弱吸收。其中 940 nm 处的吸收最强,峰值吸收截面为 $2 \times 10^{-20} \text{ cm}^2$,吸收线宽(FWHM)为 18 nm。对 Yb³⁺ 掺杂浓度分别为 10 at-% 和 20 at-% 的 Yb:YAG 晶体,940 nm 处的吸收系数分别为 9.1 cm^{-1} 和 18.2 cm^{-1} 。Yb:YAG 晶体的发射谱带较宽,从 980 nm ~ 1.06 μm 均有发射峰,最强的发射峰位于 1.03 μm 波长处,但因存在自吸收,所以将难于获得激光输出。而 1.053 μm 波长处,虽然相对发射强度较低,但没有自吸收,因此综合考虑,将易于获得激光输出。图 2 (a), (b) 是不同 Yb³⁺ 掺杂浓度时 Yb:YAG 微片激光器连续工作时的斜率效率曲线。其结果总结如表 1 所示。在图 2 (a) 中, Yb³⁺ 掺杂浓度为 10 at-% 的 Yb:YAG 晶体,当采用 $T_{1.053 \mu\text{m}} = 4.26\%$ 的输出耦合镜时,获得的最大输出功率为 320 mW,斜率效率达 54%;而当 $T_{1.053 \mu\text{m}} = 1.18\%$ 时,在相同的泵浦功率下,获得的最大输出仅为 206 mW,斜率效率为 32%。在图 2 (b) 中, Yb³⁺ 掺杂浓度为

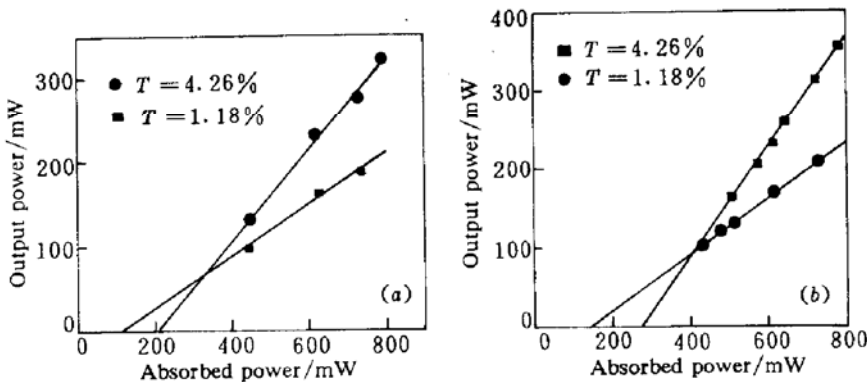


图 2 室温下钛宝石激光泵浦 Yb:YAG 晶体的输入-输出关系曲线

Fig. 2 Room-temperature input-output characteristics of the Ti:sapphire laser pumped Yb:YAG thin chip laser

(a) 10 at-%; (b) 20 at-%

表 1 激光实验结果

Table 1 Results of the laser experiments on Yb:YAG samples

Sample	$T_{1.053 \mu\text{m}} / \%$	$P_{\text{abs}} / \text{mW}$	$P_{\text{out}} / \text{mW}$	$\eta_{\text{slope}} / \%$	$P_{\text{th}} / \text{mW}$
10 at-% Yb:YAG 8 mm × 8 mm × 1 mm	1.18	792	206	32	113
	4.26	792	320	54	205
20 at-% Yb:YAG 6 mm × 6 mm × 0.5 mm	1.18	784	225	35	153
	4.26	784	356	69	275

20 at-% 的 Yb:YAG 晶体, 当采用 $R_{1.053 \mu\text{m}} = 95.74\%$ 的输出耦合镜时, 获得的最大输出为 356 mW, 斜率效率达 69%; 而当 $R_{1.053 \mu\text{m}} = 98.82\%$ 时, 在相同的泵浦功率下, 获得的最大输出为 225 mW, 斜率效率为 35%。

从上面的结果可以看出, Yb:YAG 晶体中 Yb^{3+} 的掺杂浓度、晶体的厚度、输出耦合镜的耦合率等因素对激光输出功率和斜率效率均有影响。由于 Yb:YAG 晶体为准三能级系统, 具有较高的阈值泵浦功率密度。理论上 Yb:YAG 晶体的最小泵浦功率密度为 1.53 kW/cm^2 ^[7], 而实验中要实现 Yb:YAG 晶体的激光运转, 阈值泵浦功率密度应超过最小泵浦功率密度的 3 倍。图 2 (a), (b) 中外推的泵浦阈值均较高, 当输出耦合镜的 $T_{1.053 \mu\text{m}}$ 小时, 晶体的阈值较低, 同时输出功率也较小。由于谐振腔的腔长较短, 仅为晶体的厚度, 因此, 在保证晶体能充分吸收泵浦光的前提下, 晶体越薄越好, 这样可达到良好的耦合效果。对 4 种掺杂浓度 (5 at-%, 10 at-%, 20 at-%, 30 at-%) 的不同厚度样品的研究发现: 在掺杂浓度为 5 at-% 和 10 at-% 的 Yb:YAG 晶体中, 1 mm 厚样品的激光性能优于 1.5 mm 厚样品; 同样, 在掺杂浓度为 20 at-% 和 30 at-% 的 Yb:YAG 晶体中, 0.5 mm 厚样品的激光性能优于 0.9 mm 厚样品。

表 2 不同掺杂浓度、不同厚度的 Yb:YAG 晶体的激光实验结果

Table 2 Results of the laser experiments on Yb:YAG crystals with different doping levels

Sample	Size	$T_{1.053 \mu\text{m}} / \%$	$\eta_{\text{slope}} / \%$
5 at-% Yb:YAG	7 mm × 7 mm × 1.5 mm	1.18	16
	7 mm × 7 mm × 1 mm	1.18	22
10 at-% Yb:YAG	8 mm × 8 mm × 1.5 mm	1.18	26
	8 mm × 8 mm × 1 mm	1.18	32
20 at-% Yb:YAG	6 mm × 6 mm × 1 mm	1.18	25
	6 mm × 6 mm × 0.5 mm	1.18	35
30 at-% Yb:YAG	5 mm × 5 mm × 0.5 mm	1.18	31
	5 mm × 5 mm × 0.2 mm	1.18	40

对于 10 at-% Yb:YAG (8 mm × 8 mm × 1 mm) 晶体和 20 at-% Yb:YAG (6 mm × 6 mm × 0.5 mm) 晶体, 当输出耦合镜 $T_{1.053 \mu\text{m}} = 4.26\%$ 时, 如果晶体吸收的泵浦功率远大于阈值, 则斜率效率高达 72%, 这与准三能级系统的激光运转机制是一致的。进一步优化输出耦合率, 可望获得更高效率的激光输出。

参 考 文 献

- 1 P. Lacovara, H. K. Chai, C. A. Wang *et al.*. Room-temperature diode-pumped Yb:YAG laser. *Opt. Lett.*, 1991, 16(4):1089~1091
- 2 T. Y. Fan. Aperture guiding in quasi-three-level lasers. *Opt. Lett.*, 1994, 19(8):554~556
- 3 T. Y. Fan, S. Klunk, G. Hencin. Diode-pumped Q-switched Yb:YAG laser. *Opt. Lett.*, 1993, 18(6):423~425
- 4 T. Taira, T. Kobayashi, W. M. Tulloch *et al.*. Single axial-mode oscillation of coupled cavity Yb:YAG laser. *Advanced Solid-state Lasers*, 1996, 1:14~15
- 5 U. Brauch, A. Giesen, M. Karszewski *et al.*. Multiwatt diode-pumped Yb:YAG thin disk laser continuously tunable between 1018 and 1053 nm. *Opt. Lett.*, 1995, 20(7):713~715
- 6 Yang Peizhi, Deng Peizhen, Xu Jun *et al.*. Spectroscopy and laser performance of Yb^{3+} doped YAG crystal. *Acta Optica Sinica* (光学学报), 1999, 19(1):132~135 (in Chinese)
- 7 L. D. DeLoach, S. A. Payne, L. L. Chase *et al.*. Evaluation of absorption and emission properties of Yb^{3+} doped

crystals for laser applications. *IEEE J. Quantum Electron.*, 1993, 29(4):1179~1191

Efficient Output of a Ti:sapphire Laser-pumped Yb:YAG Thin Chip CW Laser at 1.053 μm

Yang Peizhi Deng Peizhen Liu Yupu Zhang Yinghua Chen Wei Xu Jun
(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, The Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800)

Abstract With different doping levels of Yb^{3+} in the Yb:YAG crystal, an efficient room-temperature Yb:YAG thin chip laser operating at 1.053 μm pumped by a Ti:sapphire laser was realized. For a 20 at-% Yb:YAG thin chip (6 mm \times 6 mm \times 0.5 mm), a 356 mW output power was obtained for an absorbed pump power of 784 mW, and an output coupler transmittivity of 4.26%, giving a slope efficiency of as high as 69% and an extrapolated threshold of 275 mW. The experimental set-up of the thin chip laser is described.

Key words Ti:sapphire laser, Yb:YAG thin chip, 1.053 μm laser output, slope efficiency

掺 Nd^{3+} 磷酸盐玻璃光纤激光器获得连续激光输出

最近,我们成功地获得了掺钕磷酸盐玻璃光纤激光器的单横模连续激光输出,其输出的激光中心波长位于 1.053 μm ,最大输出功率为 8.36 mW,最大斜效率 30.6%,激光阈值功率小于 40 mW。实验中所用光纤芯径为 7 μm , Nd^{3+} 掺杂浓度为 2.0 wt-%,光纤数值孔径(NA)为 0.093,光纤长度为 0.68 m。实验中采用 QW-1000 型半导体激光器为泵浦源,泵浦光总耦合效率约为 20%,激光器采用 F-P 谐振腔。泵浦光经玻璃透镜聚焦后进入光纤的输入端,为了增加光纤单个行程的增益,将一片对 800 nm 泵浦光高透过、而对 1.053 μm 输出光全反射腔镜紧贴在光纤的输入端。为了除去透过光纤的泵浦光对荧光测量的影响,在光纤的输出端后面加上了一个对 800 nm 泵浦光全吸收、对 1.053 μm 输出光透过率为 67% 的滤光片,以滤去泵浦光。泵浦光激发光纤产生的光信号经过滤光片后聚焦进入 WDG-30 型单色仪的狭缝,光信号通过光电倍增管接收后输入到 X-Y 记录仪。当光纤吸收泵浦功率为 63.5 mW 时,获得了输出功率为 8.36 mW 的 1.053 μm 连续激光输出,谱宽(FWHM)为 3 nm。

掺钕磷酸盐单横模光纤激光器适合作为 1.053 μm 发射的高功率掺钕磷酸盐玻璃激光系统的前端振荡器,它在激光输出波长稳定性方面的优势是掺铈石英光纤激光器所不具备的。

中国科学院上海光机所

张军杰 胡和方 祁长鸿 籍惠兴 林凤英

收稿日期:1999-08-23;收到修改稿日期:1999-08-27