

· 光电器件与材料 ·

室温工作的全固态 Tm:YAP 激光器

张晓娟, 王立新, 蔡 军, 许 宏

(光电系统信息控制技术国家级重点实验室, 河北 三河 065201)

摘要:研究了室温工作的 Tm:YAP $2\ \mu\text{m}$ 激光器, 采用 795 nm 激光二极管泵浦 Tm:YAP 激光晶体, 晶体采用热电制冷及风冷的致冷方式, 实现 $1.99\ \mu\text{m}$ 激光输出, 最大输出功率为 13.5 W, 光转换效率 28.2%, 斜效率高达 36%。并对影响激光输出的腔型、晶体工作温度等进行实验分析。

关键词:激光器技术; 二极管泵浦; Tm:YAP 激光器; 室温工作

中图分类号: TN248.1

文献标识码: A

文章编号: 1673-1255(2010)04-0046-04

Whole Solid State Tm: YAP Laser Operating in Room-Temperature

ZHANG Xiao-juan, WANG Li-xin, CAI Jun, XU Hong

(National Lab. of Electro-Optic System Technology, Sanhe 065201, China)

Abstract: The continuous-wave Tm: YAP laser operating in room-temperature is studied. A 795 nm laser diode pumping Tm: YAP laser crystal using the way of thermoelectric refrigeration and air cooling was applied to realize $1.99\ \mu\text{m}$ thulium laser output, the maximum output power is 13.5 W, the optical conversion efficiency is 28.2% and the slope efficiency is 36%. Experimental analysis of the type of cavity affecting laser output and the operation temperature of crystal has been made.

Key words: laser technique; laser diode pumping; Tm: YAP laser; room-temperature operation

在二极管泵浦 Tm:YAP 之前先后采用过灯泵和固体激光器 (Ti:sapphire) 泵浦的方式^[1], Tm:YAP(掺铥钷酸钇)引起业界研究兴趣主要是因为它能产生波长为 $1.93\sim 2.0\ \mu\text{m}$ 的激光, 该波段不仅是水的吸收峰, 在医疗、军事、远程探测等领域应用广泛, 还可以用来直接泵浦 Ho:YAG, 解决 Ho:Tm:YAG 激光器粒子数反转问题, 消除存在 Ho^5I_7 和 Tm^3F_4 之间的能量, 使所有有效能量集中在一个脉冲激发出来, 获得较高的效率^[2]。另外, $2\ \mu\text{m}$ 脉冲激光器还可以作为泵浦光学参量振荡器(OPO)产生中波红外激光的泵浦源, 因此备受关注。

文中主要研究室温工作的二极管泵浦 Tm:YAP 激光器的输出性质, 分析了腔型、晶体工作温度等对激光输出的影响。

1 Tm:YAP 激光晶体

半导体泵浦掺 Tm、Ho 离子的激光晶体是获得 $2\ \mu\text{m}$ 波段激光输出的有效途径。表 1 是有关激光晶体研究的资料中介绍的几种常用的 $2\ \mu\text{m}$ 波段激光晶体的激光输出特性比较^[2]。

比较表 1 中数据, Tm:YAP 晶体转换效率较高, 性能优于 Tm:YAG, 其转换效率是 Tm:YAG 的 2 倍左右。这是由于自猝灭机理, 相邻 Tm 离子间存在交叉弛豫过程。Tm³⁺ 离子吸收泵浦辐射被从基态 $^3\text{H}_6$ 激发到 $^3\text{H}_4$ 能级, 处于 $^3\text{H}_4$ 能级的 Tm³⁺ 离子通过自猝灭过程衰变为 $^3\text{F}_4$ 态, 同时释放出一个光子将另一个 $^3\text{H}_6$ 态的 Tm³⁺ 离子激发到 $^3\text{F}_4$ 能级上(横向弛豫过程)。如果没有其他种类的激活离子, 这

收稿日期: 2010-06-11

作者简介: 张晓娟(1979-), 女, 河北正定人, 硕士, 工程师, 主要从事固体激光器及相关工作的研究。

表 1 Tm:YAP、Tm:YAG、Tm,Ho:YAP 和 Tm,Ho:YLF 晶体 2 μm 波段激光特性

2 μm 波段激光晶体	输出耦合透过率/(%)	阈值泵浦密度/(kW·cm ²)	最大输出功率/(mW)	斜效率/(%)	光光转换效率/(%)	转换效率/(%)	峰值波长/(μm)
2 mm Tm(4.2%):YAP	1.4~1.8	8.9	730	40.3	24	42	1.965~2.02
2 mm Tm(6.0%):YAG	1.8	9.5	254	25.6	8.5	21.2	2.016
3 mm Tm(4.2%) Ho(0.28%):YAP	2.1	9.2	270	19.3	9	14	2.12
4 mm Tm(6.0%) Ho(0.4%):YLF	1.6	10.5	660	38.9	22	30	2.056

两个³F₄ 能级的 Tm³⁺ 离子将衰变到基态,放出 1.99 μm 左右的激光.也就是 Tm:YAP 在³H₆ 到³H₄ 能级跃迁中上能级吸收一个泵浦光子时,产生 2 个激光光子.这使得 Tm:YAP 激光器潜在的量子效率较高.

与 Tm:YAG 晶体相比,Tm:YAP 更受到研究的重视.首先因为 Tm:YAP 是负双轴晶体,属斜方晶系,它的双折射性使输出的激光具有线偏振特性,而 Tm:YAG 的输出激光不具线偏振特性,且易发生热致双折射引起的退偏损耗;YAP 晶体因结构上的各向异性可以抑制由于热负荷引起的应力双折射效应,从而提高激光转换效率;Tm:YAP 具有较高的发射截面 $\sigma_e = 6 \times 10^{-20} \text{ cm}^2$,斜效率较高,而 Tm:YAG 发射截面为 $2.2 \times 10^{-20} \text{ cm}^2$,斜效率较低;Tm:YAP 的输出功率不易饱和,其 Tm³⁺ 的寿命不随泵浦强度而变化;Tm:YAP 吸收中心波长为 795 nm,吸收带宽约 4 nm,比 Tm:YAG 的吸收带宽宽,这使得 Tm:YAP 激光器能够更好地适应二极管激光器波长的变化,且 Tm:YAP 激光晶体可在室温下工作.因此,Tm:YAP 更适合作 2 μm 波段激光晶体.

Tm:YAP 的吸收和发射谱线如图 1 所示^[1].

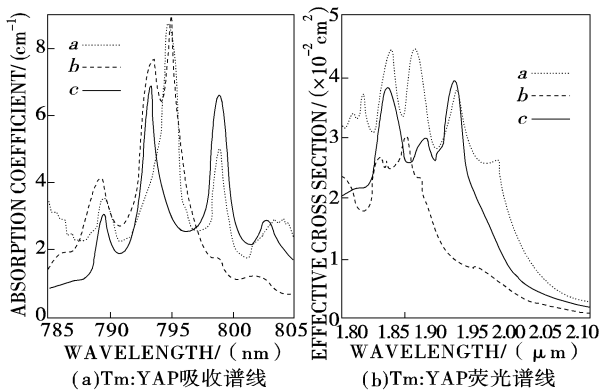


图 1 偏振方向沿 a 轴、b 轴、c 轴的 Tm:YAP 晶体吸收和发射光谱

可见,a 轴偏振的 Tm:YAP 晶体吸收峰为半导体激光器容易得到的 795 nm,吸收带宽约 4 nm. Tm:YAP 晶体的荧光光谱有一定宽度,理论分析表明,激光器的输出波长随着腔损耗的增加而缩短^[1],激光器采用低的后腔镜反射率时会得到更短的输出波长.实验采用 a 轴 Tm:YAP 晶体,设计后腔镜反射率为 90%.

2 实验

2.1 实验装置

二极管泵浦室温工作的 Tm:YAP 激光器为全固态,实验装置如图 2 所示.

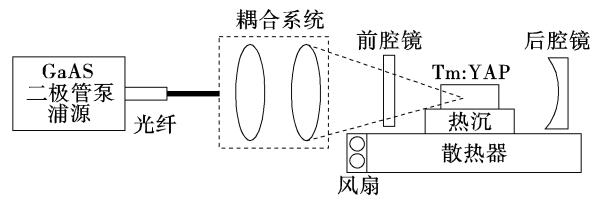


图 2 Tm:YAP 激光器实验装置

实验装置采用了 GaAs 半导体激光器做为泵浦源,半导体激光器在 24.5 °C 时输出波长为 795 nm,最高输出功率可达 47 W.采用光纤耦合方式输出,光纤的芯径 400 μm,数值孔径角 0.22.光纤输出泵浦光束经过光学耦合系统准直后聚焦到 YAP 晶体中.激光器谐振腔的前腔镜镀对 795 nm 的高透膜和对 1.99 μm 的全反射膜.后腔镜镀对 1.99 μm 的 90% 反射膜,设计腔长为 71 mm.

激光工作物质 Tm:YAP 晶体为 Φ5 mm × 9 mm 的圆柱体,单掺 Tm³⁺ 离子,浓度 3%.晶体的两端抛光,镀以 795 nm 和 1.99 μm 增透膜.晶体用铟铂包裹放在紫铜热沉中.在激光晶体热沉下方安装

一片 TEC 制冷片,通过温控器对晶体热沉温度进行控制,控温精度 $\pm 0.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

激光器各部件都安装在专门设计的散热器上,散热器用热传导系数较高的硬铝加工而成,下部设置 12 片肋片,同时起到了光学元件基板的作用.采用风扇风冷为散热器散热。

2.2 实验结果及分析

YAP 晶体热沉温度设定为 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时, Tm:YAP 激光器最大输出功率为 13.53 W ,光-光转换效率为 28.8% 。

单端泵浦 Tm:YAP 激光器的泵浦功率和输出功率如图 3 所示,腔长均为 71 mm ,不同腔型输出功率不同.采用相同前腔镜为输入镜,不同后腔镜为输出镜.对应曲率分别为 $R = -100\text{ mm}$, $R = -500\text{ mm}$ 和 $R = \infty$ (平镜)的后腔镜, $1.99\text{ }\mu\text{m}$ 输出功率的斜率效率分别为 36.5% 、 31.8% 和 33.1% 。可见,后腔镜采用曲率半径为 100 mm 的凹镜时斜率效率

最大,后腔镜采用平镜时斜率效率次之,后腔镜采用曲率为 500 mm 的凹镜时斜率效率最低。

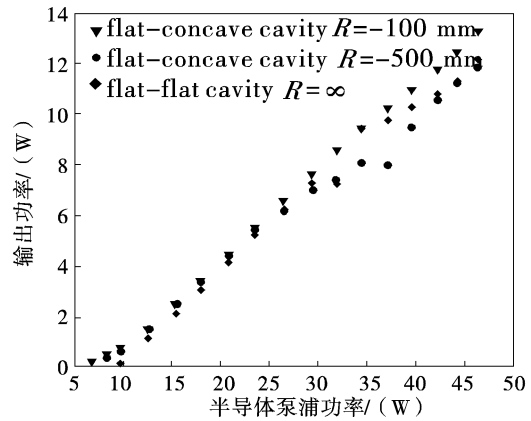


图3 同一腔长不同腔型时的输出功率

虽然采用后腔镜曲率为 -500 mm 的平凹腔时斜率效率最低,但该平凹腔输出的激光模式最好.如图 4 所示,在同一位置采集的采用不同后腔镜时的激光输出光斑。

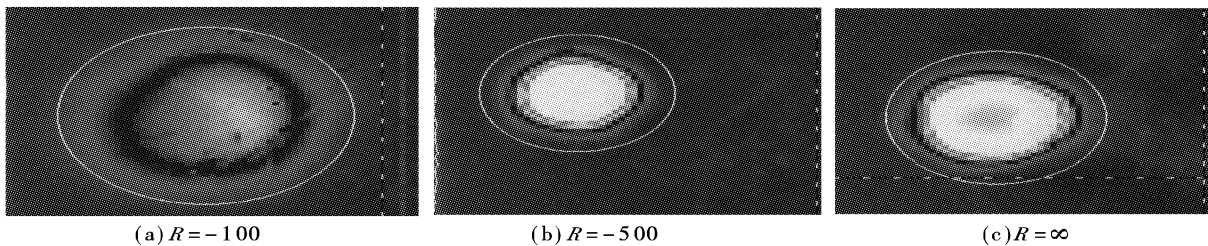


图4 不同输出腔镜时的输出光斑

由测得的光斑尺寸可以估算输出激光的发散角,输出腔镜为 $R = -100\text{ mm}$, $R = -500\text{ mm}$ 和 $R = \infty$ (平镜)时输出激光的发散角分别为: 13.4 mrad 、 7.2 mrad 和 8.4 mrad 。

输出功率较高时,输出光束的发散角较大,这是由于产生高阶模所致;而获得接近 TEM_{00} 模输出时,输出光束较好,但输出功率却较低.可以根据需要,综合考虑输出功率和输出光束发散角来确定需要的腔型。

为获得较大稳定功率输出,选择曲率 $R = -100\text{ mm}$ 的凹镜为后腔镜,研究输出功率、泵浦阈值随 YAP 晶体热沉温度的变化。

Tm:YAP 激光器输出随温度变化明显,如图 5 所示,腔长 71 mm ,采用曲率为 -100 mm 的凹镜作后腔镜时,二极管泵浦功率为 31.8 W 时,输出功率随热沉温度的变化.由图 5 可见,输出功率的变化与热沉温度基本呈线性关系,在 $4\sim 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ 范围内,输出

功率随温度的变化率为 $-0.03\text{ W}/^{\circ}\text{C}$,在该温度变化范围内输出最大功率为 8.61 W ,可见热沉温度对输出功率的影响为 -0.3% 。

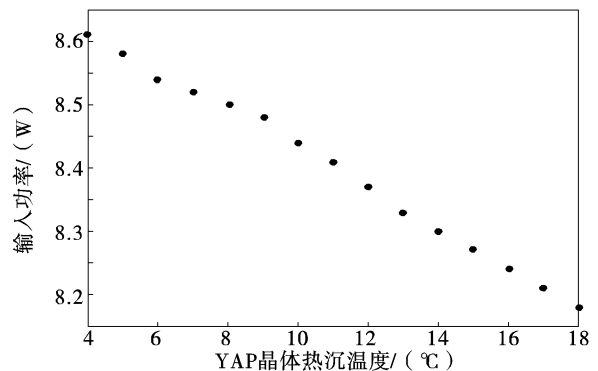


图5 晶体热沉温度对输出功率的影响

激光输出功率随温度升高而降低主要是因为激光阈值功率随温度升高而增加造成的^[3],如图 6 所示,使用曲率为 -100 mm 的凹镜作后腔镜时,调节晶体热沉温度在 $2\sim 22\text{ }^{\circ}\text{C}$ 范围内变化,步长为

4℃,泵浦阈值随温度的变化.泵浦阈值随温度变化显著,主要是因为晶体的激光发射截面和量子效率随温度变化而变化^[4].

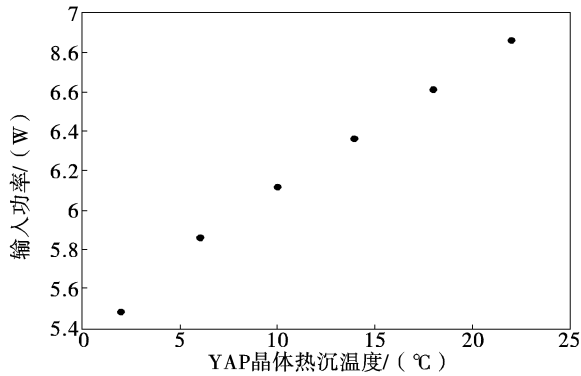


图6 晶体热沉温度对泵浦阈值的影响

3 结 论

Tm:YAP 激光器在相同腔长时,采用平凹腔

(上接第45页)

Q 值.现阶段高 Q 值的微波光子滤波器研究日趋成熟,单一的有源或者无源滤波器已经不能满足需要,Q 值的提高势必需要新的理论研究作为指导.有源滤波器和无源滤波器,或者 IIR 与 FIR 滤波器的级联混合等结构较为复杂的滤波器会成为将来研究的主要热点.

参考文献

- [1] Optimization of superstructured fiber Bragg gratings for microwave photonic filters response[J]. IEEE Photon. Technol. Lett, 2004, 16(7): 1736 - 1738.
- [2] Compact microwave photonic transversal filter with 40 - dB sidelobe suppression[J]. IEEE Photon. Technol. Lett, 2005, 17(3): 663 - 665.
- [3] Photonic signal processing of microwave signals using an active - fiber Bragg - grating - pair structure[J]. IEEE Trans. Microw. Theory Tech, 1997, 45 (8): 1463 - 1466.
- [4] Tunable microwave photonic filter for noise and interfer-

($R = -100$ mm) 输出功率最大, 获得 13.5 W 的 1.99 μm 激光, 光 - 光转换效率 28.2%, 斜效率高达 36%. 实验表明, 泵浦功率阈值随晶体热沉温度线性增加, 输出功率随晶体热沉温度线性减小.

参考文献

- [1] RC Stoneman, LEsterowitz. Efficient 1.94 μm Tm: YALO laser[J]. IEEE J. sel. Top. Quantum Electron, 1995 (1): 78 - 81.
- [2] 陆燕玲, 王俊, 孙宝德. 2 μm 波段激光晶体研究进展[J]. 无机材料学报, 2005, 20(5): 513 - 521.
- [3] Ian FElder, John Payne. Diode-pumped, room-temperature Tm: YAP laser[J]. Applied Optics, 1997, 36 (33): 20.
- [4] Thangavel Thevar, Norman PBarnes. Diode-Pumped, continuous - wave Tm: YALO3 laser[J]. Applied Optics, 2006, 45(14): 10.

ence suppression in UMTS base stations [J]. Electron Lett, 2004, 40(16): 1 - 2.

- [5] High - Q optical microwave filter[J]. Electron. Lett, 1999, 35(24): 2125 - 2126.
- [6] High - Q microwave photonic filter with a tuned modulator[J]. Opt. Lett, 2005, 30: 2299 - 1301.
- [7] A Novel High - Q Optical Microwave Processor Using Hybrid Delay - Line Filters[J]. IEEE Trans. Microw. Theory. Tech, 1999, 47(7).
- [8] High Q Microwave Filter Using Incoherent, Continuous - Wave Supercontinuum and Dispersion - Profiled Fiber[J]. IEEE Pho. Tech. Lett, 2007, 25(6).
- [9] Reflective Amplified Recirculating Delay Line Bandpass Filter[J]. IEEE Jour. Lightw. Tech, 2007, 25(6).
- [10] Continuously tunable photonic microwave filter based on a spatial light modulator. ScienceDirect.
- [11] Q value analysis of microwave photonic filters[J]. Front. Optoelectron. China, 2009, 2(3): 269 - 278.
- [12] 基于半导体光放大器的一阶 IIR 微波光子滤波器及其品质因素分析[J]. 物理学报, 2009, 58(2).

欢迎网上投稿 www.gdjsyy.com