

2.1 μm 波长 Cr, Tm, Ho YAG 激光器的进展

叶洪波 朱长虹 李正佳

(华中理工大学激光研究所, 武汉, 430074)

摘要: 根据国内外的文献资料对 2.1 μm 波长 Cr, Tm, Ho YAG 激光器技术的发展现状进行了详细的分析。

关键词: Cr, Tm, Ho YAG 晶体 敏化作用

Present development of Cr, Tm, Ho YAG laser at 2.1 μm wavelength

Ye Hongbo Zhu Changhong Li Zhengjia

(Huazhong University of Technology and Science, Institute of Laser)

Abstract: In the paper, the Cr, Tm, Ho YAG Laser at 2.1 μm wavelength has been reviewed in terms of domestic and abroad files. The present development of technology of this laser is analyzed in details.

Key words: Cr, Tm, Ho YAG Crystal sensitized

一、引言

早在 1965 年, 美国人 Johnson 等首先在液氮温度下使 Ho: YAG 激光器输出了 2 μm 激光。由于这种激光器要求的温度极低且阈值很高, 则限制了它的实际应用。最近室温运转的 2 μm 激光器的出现, 再一次引起人们的极大注意。

2 μm 波段的激光是很有用的, 它在医学、光通讯、遥感和雷达等方面都显示出独特的优良性能。由于水的吸收峰是在 1.93 μm 左右, 因此 2 μm 激光对组织的吸收不会象 Nd YAG 激光那样强烈, 因而对组织的穿透深度浅, 有很高的外科手术精度, 且对人眼安全, 更加上它可用光纤进行传输, 所以在医疗上它是一种很好的做外科手术的光源, 另外, CO₂ 的吸收带也在 2 μm 左右, 所以这种激光在遥感和光通信方面也有着重要的应用前景^[1]。

目前国外对 2 μm 波段的激光器研究得很多, 不同掺杂离子的激光棒也有多种, 如 Tm: YAG、Cr, Tm: YAG、Tm, Ho: YAG 和 Cr, Tm, Ho: YAG 等。经研究发现, Cr, Tm, Ho: YAG 这种激光棒的效果不错, 而且国内已经能够研制生产, 所以作为国内的研究人员应该对用这种棒的激光器进行重点研究。国外 Ho 激光器已经商品化, 如 Schwartz Electro-Optics, Photo Interaction, Coherent 等公司都有较成熟的 Ho 激光器出售。现在, 国内的研究人员也正在加紧对这种激光器的研究。

二、Cr³⁺, Tm³⁺ 离子的敏化作用

Ho³⁺ 激光的幅射跃迁是 $^5I_7 \rightarrow ^5I_8$, 但是由于 Ho³⁺ 离子的激光下能级 5I_8 接近基态, 温度在 80K 以上时热诱导跃迁使终端能级上的粒子数迅速增加, 致使激光的阈值提高, 使得 Ho³⁺: YAG 激光器不可能在室温下运转。随后, 人们发现可以用 Er³⁺, Tm³⁺ 等离子作为敏化离子,

使Ho激光器的效率大为提高,并且实现了在室温下运转。后来,人们又发现用Cr³⁺代替Er³⁺作为敏化离子的效果更好。Ho³⁺离子激光棒的基质也经过人们的努力,发现了YAG, YAP, YLP, YLF, YSGG^[13], YALO和YVO₄等许多种,它们各有特点,经过实验比较, YAG作为基质效果很好,输出的效率也更高些。

为了克服Ho³⁺对泵浦光的弱吸收,用Cr³⁺和Tm³⁺离子对其进行敏化,它们的作用过程如图1中所示意的^[2,3],这种泵浦机制的步骤为:

1. 由于Cr³⁺的3d轨道能级分裂,应用群论中的符号来定义Cr³⁺的能级符号,用⁴A_{2j}, ²E_g, ⁴T_g, ⁴T_{2g}等来表示,其中⁴T₂, ⁴T₁等能级均为带状,因此在泵浦灯的可见光谱作用下, Cr³⁺很容易跃迁到高能级的激发态⁴T₂和⁴T₁,然后再无辐射跃迁弛豫到亚稳态²E上。

2. Cr³⁺的²E能级与Tm³⁺的²F₃能级的斯塔克能级位置差不多,并且Cr:YAG的荧光谱带与Tm³⁺的吸收线重叠,则通过无辐射的偶极形式的能量转移过程,使Tm³⁺处于²F₃激发态,并经过弛豫过程转移到Tm³⁺的³F₄能级上。

3. 在掺Tm³⁺浓度较高的时候, Tm³⁺的³F₄能级容易淬灭,并通过交叉弛豫过程转移到两个Tm³⁺的³H₄能级上。

4. 随后, ³H₄能级把能量转移到与其能级位置差不多的Ho³⁺的⁵I₇能级上。

5. Ho³⁺离子的⁵I₇能级为激光的上能级,当它从⁵I₇跃迁到⁵I₈能级时,就会输出2.1μm的激光。

可以看到, Ho³⁺的⁵I₇能级之所以能有大量的粒子聚集,是由于有Cr³⁺和Tm³⁺的敏化作用。但至今敏化的具体过程还未完全弄清,有关敏化动力学方面的问题还有待进一步地研究。

三、各种实验技术方案和结果

目前对Cr, Tm, Ho: YAG激光器研究得较多的有美国海军研究实验室^[3,4]、德国汉堡大学^[2]、美国Schwartz Electro-Optics公司^[5]、ST system公司^[7]和前苏联的一些研究机构^[6]。他们所研制的Cr, Tm, Ho: YAG激光器的结构参数及性能列在表1(自由运转)和表2(调Q运转)中。最早使用Cr³⁺和Tm³⁺作为敏化离子使Cr, Tm, Ho: YAG激光器实现室温运转的是前苏联的Antipenko等人在1985年进行的。此后,各国人员都加紧了对这种激光器的研究,使其输出的效率不断提高,并实现了Q开关和锁模运行^[11],目前已经能输出平均功率50W以上,重复频率超过40Hz,斜率效率也高达5.1%(表1)。而由半导体二极管泵浦的2μm激光器也已经出现^[12,13],对于目前正方兴未艾的二极管泵浦的YAG激光器,这种激光器也定将是一个重要的方向,所以我们国内的研究人员也应对它有足够的重视。

这种激光器的结构与Nd:YAG激光器类似,如图2所示。

这些实验中所用到的泵浦方式均为脉冲氙灯泵浦,并对这种需要提供长脉冲的泵浦机制

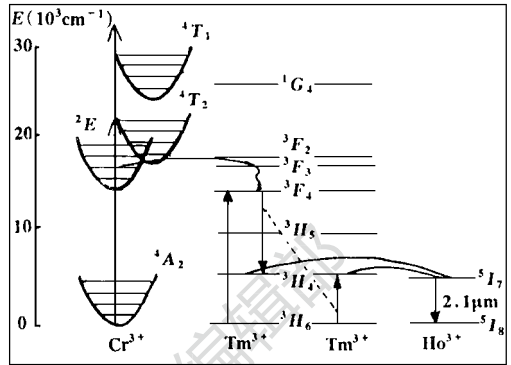


Fig. 1 The pumpmechanism of Cr, Tm, Ho: YAG laser

进行了研究^[10]。聚光腔大多都是镀银单椭圆腔, 其中汉堡大学采用双椭圆腔。冷却方式均对冷却水进行恒温控制, 其温度的浮动范围均不超过 ±5℃。这些与 Nd: YAG 激光器是有差别的, 在研制时也要特别考虑。

四、结 论

从以上的介绍中可以看到, 对 Cr, Tm, Ho: YAG 激光棒的研究是很重要的, 不仅对 YAG 基质的性能要求高, 而且特别这三种离子的掺杂浓度要适当, 比例大约为 Cr: Tm: Ho= 2: 20: 1 左右, 浓度为 10^{20}cm^{-3} 的数量级, 具体的参数可以参照表 1 和表 2 中所列的, 可以看出 Tm^{3+} 浓度很高, 也正体现出它在泵浦过程中的作用, 即大量的 Tm^{3+} 有利于把 Cr^{3+} 吸收的能量传递给 Ho^{3+} , 而这种敏化作用的动力学过程也将是有趣的研究项目。另外, 考虑到 Cr^{3+} 吸收的主要是近紫外光, 因此在激光器的设计上要有所不同, 如闪光灯玻璃和冷却水玻璃套管都不能用滤紫外的, 闪光灯也应有所不同, 它的光谱应向近紫外靠近, 所以它的充气压也应该更大些。由于这种激光器的阈值对温度非常敏感, 所以冷却在这里成了很重要的问题, 它要求冷却系统要能保持恒温, 这样才能使激光器的输出稳定而高效。还有一点, 那就是由于水对这种激光吸收严重, 而空气中多少都有水分子, 这会给激光的产生和输出都带来很大的影响, 特别是对两个镜片的影响最大, 容易使镜片吸热过多而损坏, 所以这种激光器应该有装置对其干燥以确保没有水汽的影响。

2.1μm 波长的激光器已经逐渐成为热点, 相信经过今后进一步的研究, 这种激光器的性能会得到进一步的提高, 并应用到更多的领域中去。

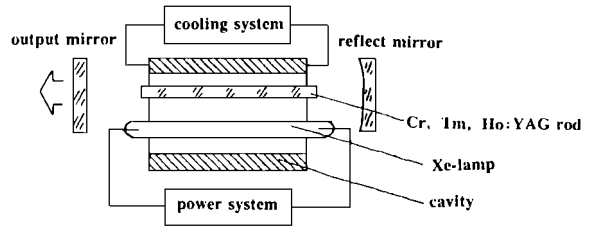


Fig. 2 The structure of Cr, Tm, Ho: YAG laser

Tab. 1 The parameters of pulse Ho: YAG laser

researchers	The Naval Research Lab	The Naval Research Lab	Schwartz Optoelectric Co.	Hamburg University	The former Soviet
average power			35W	17J	15W
slope efficiency	5.1%	3.7%	3.6%	4.3%	
threshold	38J	30J	35J	about 80J	
cooling temperature	25℃	20℃	15℃	20℃	
size of rod	15 × 76mm	15 × 67mm	14 × 100mm	16 × 55mm	15 × 50mm
ion-doped	Cr^{3+}	$7.7 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$	0.8%	$1.6 \times 10^{20} \text{cm}^{-3}$	
	Tm^{3+}	$8.0 \times 10^{20} \text{cm}^{-3}$	6.0%	$8.0 \times 10^{20} \text{cm}^{-3}$	3.0%
concentration	Ho^{3+}	$0.5 \times 10^{20} \text{cm}^{-3}$	0.4%	$0.5 \times 10^{20} \text{cm}^{-3}$	0.3%
length of cavity	300mm	290mm		300mm	800mm
holophote curvature radius	1m	0.5m		1m	
output-mirror transmission		20%		25%	
parameters of pulse	discharge gap	63mm	63mm	76mm	
	pressure	630Torr	450Torr		
xenon lamp	halfwidth	540μs	260μs	550μs	

Tab. 2 The parameters of pulse Q-switch Ho: YAG laser

researchers	Naval Research Lab Bowman et al.	ST system Corporation	Schwartz Optoelectric Co.
average power	about 100mJ	about 200mJ	100mJ
slope efficiency	3.0%	2.3%	about 1.0%
threshold	32J	25J	about 34J
cooling temperature	20°C	17°C	15°C
size of rod	15 × 76mm		14 × 100mm
ion-doped	Cr ³⁺	0.8%	2.7%
	Tm ³⁺	6.0%	5.8%
concentration	Ho ³⁺	0.4%	0.36%
length of cavity	290mm	800mm	
curvature radius of holophote	1m	10m	
output-mirror transmission	20%	15%	
parameters of pulse	discharge gap	63mm	50mm
	gas filling pressure	450Torr	
xenon lamp	halfwidth	240μs	600μs

参 考 文 献

- 1 Stoneman R C, Chance R. Opt Lett, 1990; 15: 486
- 2 Teichman H O, duczynki E W, Huber G. SPIE Proc, 1988; 1021: 74~ 81
- 3 Quarles G J, Rosenbaun A, Marquardt C L *et al.* SPIE Proc, 1990, 1223: 221~ 229
- 4 Bowman S R, Winings M J, Anyaung R Y *et al.* IEEE J Q E, 1991; 27(9): 2142~ 2149
- 5 Daly J G, Smith C A. SPIE Proc, 1992; 1627: 26~ 31
- 6 Bouchenkov V A, Antipenko B M, Berezin U D *et al.* SPIE Proc, 1991; 1410: 185~ 188
- 7 Storm M E. Appl Opt, 1988; 27(20): 4170~ 4172
- 8 Bowman S R, Winings M J, Searles S *et al.* IEEE J Q E, 1991, 27(5): 1129~ 1131
- 9 Allatev A N, Smirnov V A, Shcherbakov K. Sov J Q E, 1993; 23: 962
- 10 Pinto J F, Esterowitz L. IEEE J Q E, 1994; 30(1): 167~ 169
- 11 Schepler K L, Smith B D. SPIE Proc, 1993; 1864: 186~ 189
- 12 Knights M G, Budni P A, Schunemann P G *et al.* Laser and electro-optics society annual meeting, IEEE LEOS' 93, 1993
- 13 Bowman S R, Lynn J G. Laser and electro-optics society annual meeting, IEEE LEOS' 93, 1993

* * *

作者简介: 叶洪波, 男, 1970 年出生。硕士。

收稿日期: 1994-12-12 收到修改稿日期: 1996-03-15

• 产品简讯 •

二氧化碳激光器镜片

美国罗德艾兰州布罗威登斯的 Laser Research Optics 公司出售用于 CO₂ 激光器系统的聚焦透镜和反射镜。这些镜片是用硒化锌、锗和硅制作的平凸、双凸和凹凸曲面的聚焦透镜和反射镜。焦距范围从 10~ 1000mm, 表面直径范围从 10~ 75mm。该公司还出售增透镜片或反射镜。在 CO₂ 激光器波长上, 这些透镜和反射镜允许显示 40 条划痕和 20 个挖坑, 平整度 $\lambda/10$ 。