

Cr⁴⁺·YAG 可饱和吸收特性测量

巩马理* 翟刚 时顺森 刘彦巍 马楠 李晶 王甦 丁育明 金锋

(西南技术物理研究所新激光技术实验室, 成都 610041)

摘 要 测量了 Cr⁴⁺·YAG 材料的可饱和吸收特性, 用多种数据分析方法处理了实验结果, Cr⁴⁺·YAG 的基态吸收截面 $\sigma_{gs} = 11 \times 10^{-19} \text{ cm}^2$, 激发态吸收截面 $\sigma_{es} = 1.2 \times 10^{-19} \text{ cm}^2$ 。

关键词 Cr⁴⁺·YAG, 可饱和吸收体, Q 开关。

1 引 言

Cr⁴⁺·YAG 是近年来引起广泛重视的新型的可饱和吸收材料, 用作激光被动调 Q 材料, 具有稳定的物化性能, 导热性好, 抗损伤, 防潮, 高低温特性稳定的特点, 已用于各类 Nd 激光器的被动 Q 开关。用作激光被动 Q 开关的可饱和吸收材料, 除具备优良的物化性能外, 还必须具有较大的基态吸收截面 σ_{gs} , 较小的剩余吸收截面(即激发态吸收截面) σ_{es} , 也就是说, 应具有较大的吸收消光比(定义为基态吸收系数和剩余吸收系数之比)和较短的弛豫时间。众多的测试表明 Cr⁴⁺·YAG 的弛豫时间为 3~4 μs , 相差不大, 相对于染料调 Q 材料是慢开关材料, 但相对 Nd·YAG 的弛豫时间(230 μs), 已是足够短。对于影响被动 Q 开关激光器工作特性较大的基态吸收截面 σ_{gs} 和剩余吸收截面 σ_{es} , 不同研究人员测试的结果差异较大。例如, 文献[1]给出的结果为: $\sigma_{gs} = (8.7 \pm 0.87) \times 10^{-19} \text{ cm}^2$, $\sigma_{es} = (2.2 \pm 0.2) \times 10^{-19} \text{ cm}^2$, 吸收消光 $\gamma = \sigma_{gs}/\sigma_{es} \sim 4$; 文献[2]给出的结果是: $\sigma_{gs} = 5.7 \times 10^{-18} \text{ cm}^2$, $\sigma_{es} = 8 \times 10^{-19} \text{ cm}^2$, $\gamma = 7.2$ 。因此, 有必要对 Cr⁴⁺·YAG 的饱和吸收特性重新进行测量。

2 可饱和吸收特性测量

Cr⁴⁺·YAG 的可饱和吸收特性测量装置如图 1 所示。实验以电光调 Q 的 Nd·YAG 激光器为测量光源, 该激光器由主振级加放大级组成, 主振级激光谐振腔为变反射镜腔, 激光光束为 TEM₀₀ 模。图中, 光束轮廓仪和快速光电探测器 PIN 分别用于监测激光光束的横模分布起伏和脉冲波形变化, 分束镜和能量计均经标定。

Cr⁴⁺ 在 YAG 中的点电荷模型及实测^[3]的结果均表明, Cr⁴⁺·YAG 吸收消光比具有方向性, 当光场电矢量的方向平行于晶体的[001]轴或垂直于[001]轴时, 吸收消光比最大。因此, 选用沿[001]方向生长的晶体, 并进行该方向切割, 保证光场电矢量的方向垂直于[001]轴。

* 现通讯地址: 北京清华大学精密仪器系, 邮政编码 100084。

收稿日期: 1997-05-23; 收到修改稿日期: 1997-07-28

为消除表面反射的影响,被测样品的前后表面均镀有对 $1.064 \mu\text{m}$ 激光的增透膜,剩余反射小于 1%。为进一步提高测量的准确性,获得均匀光束,在被测样品前加了一 $\phi 2 \text{ mm}$ 的小孔,为克服衍射效应的影响,使小孔尽量靠近样品。由于测量激光的脉宽(14 ns)远小于弛豫时间,远大于 $\text{Cr}^{4+}:\text{YAG}$ 其它高能激发态的寿命(皮秒级),因此作者认为所测得到的低功率透过率为初始透过率,对应于基态吸收截面,高功率条件下测得的透过率为剩余透过率,对应于剩余吸收截面。图 2 为测量得到的一个 $\text{Cr}^{4+}:\text{YAG}$ 样品(厚度为 3.9 mm)在不同能量密度下的透过率数据。

从图 2(a)中可以看出, $\text{Cr}^{4+}:\text{YAG}$ 在高能量密度(例如,大于 0.5 J/cm^2)时,呈现出明显的可饱和特性。图 2(b)是在低能量密度下的测量结果,透过率随能量密度的提高而线性增加。

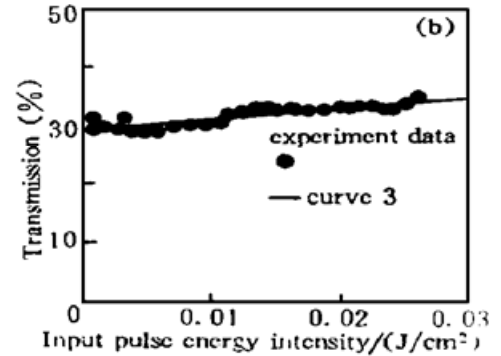
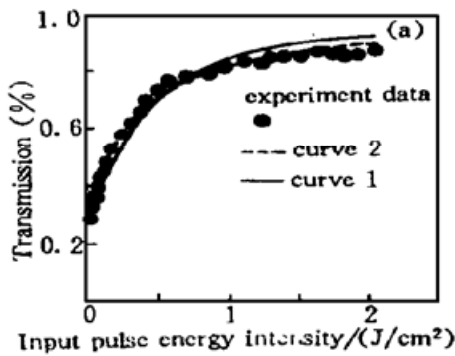


Fig. 2 Energy transmission of $\text{Cr}^{4+}:\text{YAG}$ sample vs. $1.064 \mu\text{m}$ pulsed laser energy density. (a) Energy transmission vs. energy density, (b) Energy transmission at low energy density

3 测量结果分析

根据本文的实验条件,可以运用 Frantz-Nodvid 模型理论,可饱和吸收体透过率与脉冲能量的关系为^[4]:

$$T_E = (h\nu/\sigma_{gs}E) \ln \{ 1 + [\exp(h\nu/\sigma_{gs}E) - 1]T_0 \} \quad (1)$$

式中 T_E 为对能量密度 E 的脉冲透过率, $h\nu$ 为光子能量。利用(1)式对实验结果进行最佳拟合(图 2 中的曲线 1)得到 $\sigma_{gs} = 12 \times 10^{-19} \text{ cm}^2$ 。

在高功率时,基态粒子全部被激发到激发态,则可以用 $\sigma_{es} = \sigma_{gs} \ln T_s / \ln T_0$ (T_s 为高能量时最大透过率,即饱和透过)得到剩余吸收截面 $\sigma_{es} = 1.27 \times 10^{-19} \text{ cm}^2$, 吸收消光比 $\gamma = \sigma_{gs}/\sigma_{es} = 9.44$ 。根据文献[5]利用

$$T = T_0^{1/(1+h\nu/\sigma E)} \quad (2)$$

对数据进行了拟合(如图 2 中的曲线 2),结果表明,该式拟合曲线更接近实验结果。由此,确定出: $\sigma_{gs} = 9.4 \times 10^{-19} \text{ cm}^2$, $\sigma_{es} = 1 \times 10^{-19} \text{ cm}^2$, 吸收消光比 $\gamma = \sigma_{gs}/\sigma_{es} = 9.4$ 。

在低功率可饱和吸收体的透过率与能量密度近似成线性关系,采用文献[1]的办法,利用下式

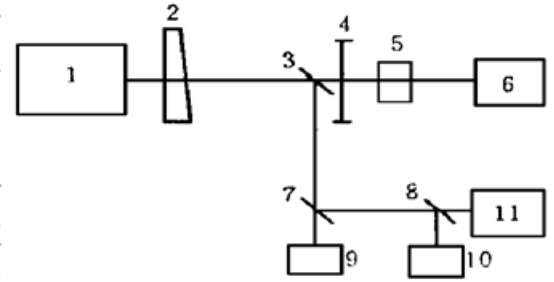


Fig. 1 Experimental setup for measuring the saturable absorption of $\text{Cr}^{4+}:\text{YAG}$
1. pulsed Nd:YAG laser, 2. attenuator, 3, 7, 8. beam splitters, 4. aperture, 5. $\text{Cr}^{4+}:\text{YAG}$ sample, 6, 9. energy meters, 10. beam profiler, 11. PIN

$$T = T_0 [1 + (\sigma_{gs} - \sigma_{es}) E / h\nu] \quad (3)$$

进行线性拟合所得到的结果为: $T_0 = 29.2\%$, $\sigma_{gs} = 10.56 \times 10^{-19} \text{ cm}^2$, $\sigma_{es} = 1.1 \times 10^{-19} \text{ cm}^2$, $\gamma = 9.54$ 。实验还使用 UV-365 型光谱分析仪测试了样品的透过曲线, 测得在 $1.064 \mu\text{m}$ 处的透过率为 29.6% , 与脉冲测试的结果 (28.5%) 相近。此外, 还对另一个 $\text{Cr}^{4+} \cdot \text{YAG}$ 样品 (厚度为 8.8 mm) 进行了测试, 两个样品的测试结果及各种数据处理方法所得结果如表 1 所列。

Table 1. $\text{Cr}^{4+} \cdot \text{YAG}$ saturable absorption

sample	T_0	T_s	result from		result from		result from		averaging			ref. [1]			ref. [2]		
			Eq. (1)		Eq. (2)		Eq. (3)		result								
			σ_{gs}	σ_{es}	σ_{gs}	σ_{es}	σ_{gs}	σ_{es}	σ_{gs}	σ_{es}	γ	σ_{gs}	σ_{es}	γ	σ_{gs}	σ_{es}	γ
1 [#]	29.6	87.9	12	1.27	9.4	1	10.6	1.1	10.71	12	9.5						
												8.7	2.2	4	57	8	7.1
2 [#]	28.1	85.8	13.4	1.62	9.4	1.1	11.1	1.3	11.3	1.4	8.29						
1 [#] 、2 [#]																	
ave.			12.7	1.45	9.4	1.1	10.9	1.2	11	1.2	8.9						

note: unit of σ_{gs} 、 σ_{es} is 10^{-19} cm^2 .

运用表 1 的数据以及掺杂浓度 N_0 与样品在弱能量密度下的透过率 T_0 、厚度 L 及基态吸收截面 σ_{gs} 的关系:

$$N_0 = - \ln T_0 / L \sigma_{gs} \quad (4)$$

确定出两个 $\text{Cr}^{4+} \cdot \text{YAG}$ 样品的 Cr^{4+} 浓度分别为 $2.9 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 和 $1.3 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 。

从表 1 的数据可以看出: 在本文的测量中, 不同处理方法所得的结果比较接近, 不同样品所得的结果差别不大, 综合上述结果, $\text{Cr}^{4+} \cdot \text{YAG}$ 的基态吸收截面为 $\sigma_{gs} = 11 \times 10^{-19} \text{ cm}^2$, 激发态吸收截面为 $\sigma_{es} = 1.2 \times 10^{-19} \text{ cm}^2$, 吸收消光比为 $\gamma = 8.9$ 。

小 结 本文重新测量了 $\text{Cr}^{4+} \cdot \text{YAG}$ 的可饱和吸收特性, 不同样品 (浓度分别为 $2.9 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 和 $1.3 \times 10^{18} / \text{cm}^3$) 的多种数据处理方法表明, $\text{Cr}^{4+} \cdot \text{YAG}$ 的可饱和吸收截面为 $11 \times 10^{-19} \text{ cm}^2$, 剩余吸收截面为 $1.2 \times 10^{-19} \text{ cm}^2$, 吸收消光比 $\gamma = 8.9$ 。本文的结果介于文献[2]的结果和文献[1]的结果之间, 而吸收消光比的结果则与文献[2]接近。所完成的测量, 每个样品的数据点多达 210 个 (文献[1]为 55 个点, 而文献[2]仅为十余个), 离散性小, 并且每个点的测量又是取 10 个数据的平均值, 进一步消除了测量激光器输出起伏所带来的测量误差。加之不同数据处理方法, 不同样品所得的结果相近。这些均表明了本文数据的可靠性。

参 考 文 献

- [1] Y. Shimony, Z. Burshtein, Y. Kalisky, $\text{Cr}^{4+} \cdot \text{YAG}$ as passive Q-switch and Brewster plate in a pulsed Nd:YAG laser. *IEEE J. Quant. Electron.*, 1995, **QE-31**(10): 1738~ 1741
- [2] H. Eilers, K. R. Hoffman, W. M. Dennis, Saturation of $1.064 \mu\text{m}$ absorption in Cr, Ca:Y₃Al₅O₁₂ crystals. *Appl. Phys. Lett.*, 1992, **61**(25): 2958~ 2960
- [3] A. G. Okhrimchuk, A. V. Shestakov, Performance of YAG:Cr⁴⁺ laser crystal. *Opt. Materials*, 1994, **3**(1): 1~ 13
- [4] P. V. Avizonis, R. L. Grotbeck, Experimental and theoretical ruby laser amplifier dynamics. *J. Appl. Phys.*, 1966, **37**(2): 687~ 693
- [5] W. Rudolph, H. Weber, Analysis of saturable absorbers, interacting with gaussian pulses. *Opt. Commun.*, 1980, **34**(3): 491~ 496

Measurement of Cr^{4+} :YAG Saturable Absorption

Gong Mali* Zai Gang Shi Shuensheng Liu Yanwei Ma Nan
Li Jing Wang Su Ding Yuming Jin Feng
(Southwest Institute of Technical Physics, Chengdu 610041)
(Received 23 May 1997; revised 28 July 1997)

Abstract The saturable absorption in Cr^{4+} :YAG was measured. The ground and excited-state absorption cross sections of $\sigma_{gs} = 11 \times 10^{-19} \text{ cm}^2$, $\sigma_{es} = 1.2 \times 10^{-19} \text{ cm}^2$ were obtained by experiments and different model calculations for different samples.

Key words Cr^{4+} :YAG, saturable absorber, Q switch.

第七届全国光学测试学术交流会 在陕举行

受中国光学学会光学测试专业委员会委托,由西安应用光学研究所承办,在陕西省光学学会学术工作委员会支持下,第七届全国光学测试学术交流会于 1997 年 10 月 7 日至 10 日在古城西安召开。出席本次会议的代表 100 余名,他们分别来自北京、上海、陕西、江苏、安徽、浙江、四川、湖北、广东、吉林、江西、黑龙江、山东、河南和云南等 15 个省、市的 40 多个科研、高校等从事光学测试工作的单位。会议还受到国外有关公司的关注和参与。

8 日上午开幕式由深圳大学李景镇教授主持,经过各有关领导致词的简短开幕式后进行大会邀请报告。这些报告有:韩昌元的“空间光学系统的光学测试问题”;杨照金等的“美、英、法等国光学计量技术研究现状与展望”;R. B. Ecket 的“Zygo 公司及其产品介绍”;陈进榜等的“红外移相干涉测试特点和应用”;李在清等的“光辐射计量学的发展趋势”;苏大图等的“红外材料的应力双折射问题”;徐德衍的“世纪之交高功率激光光学元件的制造与检测——从正在实施的美国 NIF 到中国神光高功率装置谈起”;林家明的“CCD 器件及其技术的发展趋势”。

这次会议深受国内同行的关心和支持,节目组共收到征文 150 篇之多,录用论文 128 篇,内容覆盖:光辐射度学、色度学、干涉计量学、各类探测器、可见及红外光光学材料、系统及元器件和激光等领域的光学参数的计量测试。大会按照学科和论文专题性质,分三个分会场学术交流,共宣读了 88 篇论文,与会代表对感兴趣的课题进行了提问和探讨,气氛活跃认真,甚至晚间在寝室仍在相互交流。这些论文充分反映了“九五”头两年我国在光学测试领域的新动向和最新科研成果。这次大会在团结友好的气氛中进行的,同行们欢聚一堂,相互切磋,交流学术思想,增进了友谊,促进了光学测试技术的发展,达到了会议预期的目的。

会议期间还召开了第三届光学测试专业委员会委员会议。讨论了专业委员会工作。并决定下届光测试学术交流会于 1999 年在合肥举行,委托中国科学院安徽光学精密机械研究所承办;拟于 1998 年夏、秋季节在上海举办“光学表面微观轮廓计量测试”小型专题学术研讨会,由徐德衍副主任委员会负责筹办。

(黎 风)

* Present address: Department of Precision Instrument, Tsinghua University, Beijing 100084