

文章编号: 1001-3806(2003)01-0062-03

磷酸盐激光玻璃非激活吸收系数测量研究*

贺少勃^{1,2} 於海武² 王成程² 刘勇²⁽¹⁾国防科技大学光电工程系,长沙,410073)⁽²⁾中国工程物理研究院激光聚变研究中心,绵阳,621900)

摘要: 介绍了高功率激光放大器系统中磷酸盐激光玻璃的静态透过率测量。在正常运行条件下,4片长按布儒斯特角放置的国产 N_{31} 钽玻璃片对 $1.054\mu\text{m}$ 的激光波长平均静态透过率为 94.5%,介质的损耗系数为 $0.294\% \text{cm}^{-1}$,平均非激活吸收系数为 $0.146\% \text{cm}^{-1}$ 。在此基础上对片状放大器的增益系数的测量结果进行了修正,获得了 $5.25\% \text{cm}^{-1}$ 的小信号增益系数。

关键词: 静态透过率;非激活吸收系数;片状放大器**中图分类号:** TN248.1 **文献标识码:** A

Research of measurement of non-activity absorption coefficient in phosphate laser glass

He Shaobo^{1,2}, Yu Haiwu², Wang Chengcheng², Liu Yong²⁽¹⁾ Department of Applied Physics, National University of Defense Technology, Changsha, 410073)⁽²⁾ Center of Laser Fusion, China Academy of Engineering Physics, Mianyang, 621900)

Abstract: In this paper, the static transmission of phosphate laser disk glass used in high power laser amplifier is measured. In normal research condition, the average static transmission at $1.054\mu\text{m}$ incident beam with four pieces of phosphate laser glass (N_{31}) disposed by Brewster angle is 94.5%, the loss coefficient is $0.294\% \text{cm}^{-1}$, the average non-activity absorption coefficient is $0.146\% \text{cm}^{-1}$, this N_{31} glass is made in China. Based on them, the small signal gain coefficient value is amended and reached up to $5.25\% \text{cm}^{-1}$.

Key words: static transmission; non-activity absorption coefficient; disk amplifier

引言

现在应用于惯性约束聚变(ICF)的高功率激光放大器系统中,一般均以磷酸盐玻璃作为主要的增益介质,这种玻璃介质在激光波长上的损耗会直接影响放大器的净增益能力和能量传输效率。磷酸盐玻璃的损耗主要包括基质、杂质的吸收和散射损耗。其中散射损耗很小,所以,一般把基质和杂质的损耗和吸收系数称为非激活吸收系数。

低增益系统中,主要是在增益饱和的情况下,需要尽量追求高的能量提取效率,在高通量运行的片状放大器中,磷酸盐玻璃材料的吸收、反射和散射,以及玻璃表面因潮解、灰尘或破坏引起的各种损耗,

将严重影响光束质量,因此增益介质的损耗对这类器件至关重要。现在大口径的掺钽磷酸盐玻璃小信号增益系数的典型设计值为 $5\% \text{cm}^{-1}$ 左右,在这种情况下,为了有效地提取能量,要求静态损耗吸收尽量低,在 $10^{-3}\% \text{cm}^{-1}$ 量级。对于追求高峰值功率的激光系统,一般运行在较低的增益下(约为 $2.5\% \text{cm}^{-1}$),此时如果把背景吸收从 $2 \times 10^{-3}\% \text{cm}^{-1}$ 降低到 $10^{-4}\% \text{cm}^{-1}$,可以使提取效率从 50% 提高到 90%^[1]。

通过对国产磷酸盐激光玻璃 N_{31} 的损耗和非激活吸收系数的测量,分析了该系数对各种参量的敏感程度,给出在考虑静态损耗下多口径片状放大器的小信号增益系数值。

1 基本原理及分析

对于片状放大器系统,由于主要关心的是它的增益能力,所以对上述各种损耗的测量,都可以归结到对整个系统静态透过率的测量,由此可以求出系

* 国家八六三惯性约束聚变领域资助项目。

作者简介:贺少勃,男,1974年11月出生。硕士研究生。主要从事高功率激光放大器方面的研究工作。

收稿日期:2002-04-18;收到修改稿日期:2002-06-14

统的损耗系数。这种测量方法简单易行,而且可以获得十分有用的结果。

由于放大器静态损耗很小,而且在正常使用时单片的厚度一般仅在厘米量级,所以为了提高测试精度,需要采用多块玻璃累计测量的方法,增加增益介质的长度,才能够使测量结果更为准确。通过样品的光强和损耗之间的关系为^[2]:

$$I = I_0 \exp(-l) \quad (1)$$

式中, I 为通过介质后的光强, I_0 为通过介质前的光强, l 为激光增益介质长度,总的损耗系数 $= \text{abs} + \text{ref} + \text{sca}$ 。其中散射吸收系数 sca 约为 10^{-5} 量级,可以忽略不计, ref 为菲涅耳反射,当磷酸盐玻璃的折射率 n 确定后,该值就为一常数,对于 N_{31} 样品,其在 $1.054\mu\text{m}$ 处的折射率为 1.528。所以,实际测量的是吸收系数 abs ,吸收系数的大小直接与玻璃中的杂质含量有关,故与玻璃的生产工艺有直接联系。此外,光吸收还与玻璃表面特性,如由于环境的影响使得玻璃表面发生潮解或者灰尘污染等等有关,这些因素也同样会影响放大器的增益能力,故对该参数的测量也是对放大器系统运行环境的检验。

考虑多次表面反射后的透射光强为:

$$I = I_0(1 - R)^{2m} \exp(-m \text{abs} l) \quad (2)$$

式中, R 为表面反射率, m 为钕玻璃片的数目, abs 为吸收系数, l 为单片钕玻璃的光程,易得:

$$\text{abs} = \frac{1}{ml} \left\{ \ln \left[I_0(1 - R)^{2m} \right] - \ln I \right\} \quad (3)$$

实验首先排除由于激光器输出不稳定性对测量结果带来的影响,所以假设在没有放置激光玻璃前,分光片的反射能量 I_1 和透射能量 I_2 比值为 K_1 ,即 $K_1 = I_2 / I_1$,然后在分光片的透射光路上放入 4 块 N_{31} 激光玻璃样品,再次对反射能量和透射能量读数,其值分别为 I_1 和 I_2 ,再对二者进行比较得 K_2 ,即 $K_2 = I_2 / I_1$ 。如果入射光为标准的水平偏振光,而且样品按标准的布儒斯特角放置,则上面(3)式中的 $R = 0$,上式就可以简化为:

$$= \frac{1}{ml} (\ln K_2 / K_1) \quad (4)$$

2 实验测量

实验测量光路见图 1 所示。由 YLF 振荡器输出 $1.054\mu\text{m}$ 的激光,输出能量约为 20mJ,脉冲宽度为 20ns,经过空间滤波器,通过 4 个布儒斯特角放置的水平偏振片 $P_1 \sim P_4$,以确保输出水平偏振光,然后通过透过率为 80% 的分光片,透射的光进入卡

计 MAX500-1 接收,反射部分的光在经过 4 张布儒斯特角放置的厚度为 40mm 的 N_{31} 钕玻璃片,布儒斯特角为 56.8° 。透射光通过卡计 MAX500-2 接收。首先,在没有放入钕玻璃的情况下,测得光能量计 E_2 与 E_1 的比值为 K_1 ,然后放入钕玻璃,再进行二者的比较得到 K_2 ,将结果带入(4)式就可以求得该材料的静态透过率。

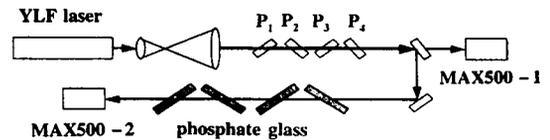


Fig. 1 Schematic diagram of measurement of static transmission

按照上述实验光路, $m = 4$,进行了 50 次数据的测量,并对数据进行了分析,图 2 为实验所得的结果,其中图 2a 为 50 次测量的样品透过率值,图 2b 为相对应的样品的吸收系数。

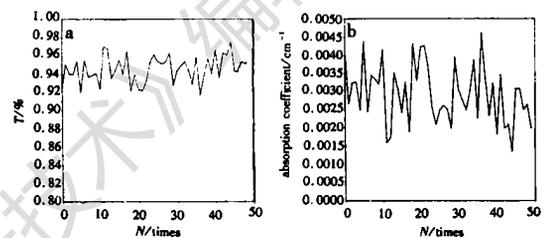


Fig. 2 a - the curve of static transmission vs measure frequency
b - the curve of nonactively absorption coefficient vs measure frequency

实验结果表明,4 片样品平均透过率为 94.5%, N_{31} 钕玻璃片平均的损耗系数为 $0.294\% \text{cm}^{-1}$ 。作者所采用的 N_{31} 样品是在使用 6 个月以后进行实验的结果,无法排除由于磷酸盐介质表面的潮解和灰尘对实验结果带来的影响,因而也不能准确反映样品非激活吸收系数值,所以利用没有发生潮解的 N_{31} 玻璃进行了第 2 轮实验,实验光路图和图 1 相同,钕玻璃片的厚度仍然为 40mm,测量的平均的非激活吸收系数为 $0.22\% \text{cm}^{-1}$ 。由此可见,在使用 6 个月以后,如果实验的环境在没有保持很高的干燥和清洁的环境下,会在玻璃表面发生吸收损耗,这种吸收损耗系数约为 $0.074\% \text{cm}^{-1}$ 。

由于卡计在正常的实验条件下本身会存在 $\pm 3\%$ 左右的误差,所以,为了测量由于介质表面的反射对测量结果带来的影响,又在高精度的透反仪上进行了测量,采用单片测量的方法,取厚度为 37.5mm 的钕磷酸盐玻璃进行了实验,考虑了样品表面的多次反射后,光透过率为:

$$T = \frac{(1 - R)^2 \exp(-l)}{1 - R^2 \exp(-2l)} \quad (5)$$

式中, l 为测试样品的厚度, R 为样品表面的菲涅耳反射系数, 在光正入射时:

$$R = (n - 1)^2 / (n + 1)^2 \quad (6)$$

n 为玻璃在激光发射波长处的折射率, 此时的样品的损耗系数为:

$$= \frac{1}{l} \left[2 \ln(1 - R) - \ln T + \frac{T^2 R^2}{(1 - R)^4} \right] \quad (7)$$

式中, T 为介质的菲涅耳透射率, 在采用上述措施的情况下, 测得 N_{31} 钹玻璃片的静态损耗系数为 $0.146 \% \text{cm}^{-1}$, 这和材料供应方利用棒状材料测量的结果基本一致。

3 数据处理与误差分析

实验中主要的误差来源于以下几个方面: (1) 输入光的偏振态的非水平带来的影响; (2) 钹玻璃片本身的布儒斯特角的放置误差; (3) 光能量计的测试精度。

实验中, 虽然使用了 4 片偏振片, 但是并不能保证输入光为标准的水平偏振光, 在实验过程中, 作者依次调节 4 片偏振片的角度, 用强流管观察反射光, 使得通过每一个偏振片的反射光最弱, 这样就可以尽量使得透射的光尽量保持水平偏振的状态, 假设单片偏振度为 99%, 则总的输入光 I 的偏振度接近为 1, 这就可以保证输入到磷酸盐钹玻璃片的光为水平偏振光。

由菲涅耳定律知道, 当 4 张钹玻璃片严格按布儒斯特角放置时, 如果输入光为严格的水平偏振光, 则此时在每一个片的表面不会发生反射损耗, 但在实验条件下, 可能会有 ± 0.5 的加工误差, 根据菲涅耳定律, 即使假设每片的角度都会发生 $+0.5$ 的偏差, 计算出发生在每片上的菲涅耳反射损耗也仅为

0.01% , 实验中可以忽略。

使用热敏器件作为能量计测量设备, 并对其进行了定标, 认为该卡计的能量测量一致性很好, 而且在实验中采用了多次和相对测量的方法, 所以可以认为在实验中由于激光输出的不一致性对结果并不产生很大的影响。在考虑端面反射, 排除了由于环境带来的影响后, 由于布儒斯特角的放置、偏振度以及测量带来的误差为 $0.074 \% \text{cm}^{-1}$ 。

4 结论

通过该实验研究, 分析了 4 片布儒斯特角放置磷酸盐玻璃的各种吸收效应, 运用卡计测得的该组合样品总体的透射率为 94.5% , 平均的损耗系数为 $0.294 \% \text{cm}^{-1}$ 。在排除了由于表面吸收和反射以及测量误差后, 实际的非激活吸收系数为 $0.146 \% \text{cm}^{-1}$ 。由于采用了相对测量的方法, 可以在实验中忽略由于激光器的能量输出不稳定性对测量结果的影响。并把该结果与上海光学精密机械研究所的实验结果进行了比对, 测量误差仅为 0.3% 。

在实验中还发现, 磷酸盐玻璃比早期采用的硅酸盐玻璃在相同的实验条件下更容易潮解, 所以必须改善实验室的环境, 钹玻璃片必须在干燥清洁的环境中保存, 才能有效地提高片状放大器的增益能力和效率、改善光束质量、提高整个装置的性能价格比。

本项工作得到了朱启华副研究员和任寰同志的大力协助, 在此一并表示诚挚的谢意。

参 考 文 献

(上接第 54 页)

参 考 文 献

- [1] 金国藩, 李景镇, 陈家壁 *et al.* 激光测量学. 北京: 科学出版社, 1998: 222 ~ 224.
- [2] 王召兵, 李国华, 陆书龙 *et al.* 中国激光, 2000, 27(5): 415 ~ 418.

- [1] Caird J. A. Passive optical losses in laser glass. UCRL-100012 LLNL, 1989: 11.
- [2] 周炳琨, 高以智, 陈家骅 *et al.* 激光原理. 北京: 国防工业出版社, 1996: 12 ~ 13.
- [3] Wu F Q. Appl Opt, 1995, 34(19): 3668 ~ 3670.
- [4] 吴福全. 曲阜师范大学学报, 1994, 20(2): 54 ~ 57.
- [5] 李景镇, 苏世学, 赵俊民 *et al.* 光学手册. 西安: 陕西科学技术出版社, 1987: 500 ~ 502, 1298 ~ 1299.
- [6] 高宏刚, 裴庆魁. 光学技术, 1994(5): 26 ~ 30.
- [7] 尚世铉, 李国华, 袁树忠 *et al.* 近代物理实验技术. 北京: 高等教育出版社, 1993: 131 ~ 132.