

掺钕磷酸盐玻璃中残余水分 对激光性质的影响

李仲伾 陈泽兴 张军昌
(中国科学院上海光学精密机械研究所)

提 要

本文研究了掺钕磷酸盐玻璃中残余水分对荧光性质、激光阈值、激光效率和放大器增益的影响。

一、引 言

由于原料和熔炼工艺的原因,磷酸盐玻璃在制备过程中很容易引进水分。这些水分与 Nd^{3+} 离子相互作用对光谱和激光性质均有显著影响。水对光谱性质的影响已有报导^[1~4],但对激光性质的影响报导不多。目前磷酸盐玻璃已广泛地用于大功率激光系统作振荡器和放大器。同时,用于材料加工和测量技术的中小型激光器也日益广泛地采用磷酸盐玻璃作为激光工作物质。因此,人们对磷酸盐玻璃的激光性能提出了更高的要求。因而水对激光性能的影响引起人们的关注。作者在研究磷酸盐玻璃的激光效率和光泵热畸变的问题时,已经提到了水的影响^[5,8]。我们认为对这个问题有必要作进一步的研究。

掺钕磷酸盐玻璃中残余水分以 OH^- 羟基的形式结合于玻璃的结构网络中, OH^- 羟基离子是很强的荧光猝灭剂^[2,7]。由于 OH^- 羟基的振动频率比玻璃中其它所有离子及基质的振动频率都高,在满足能量匹配的条件下,多声子弛豫率主要由晶格振动中的高能声子决定,声子频率越高,多声子无辐射弛豫的几率也越大^[6,9]。 OH^- 羟基与 Nd^{3+} 离子相互作用的结果,导致了无辐射跃迁几率的增加以及荧光寿命和辐射量子效率的减少。由于 Nd^{3+} 离子亚稳态激活能量损耗增加,因而对激光性能带来了一系列的影响。

本文对掺钕磷酸盐玻璃中的残余水分与荧光性质、激光阈值、激光效率和放大器增益之间的关系进行了实验研究,并对实验结果作了分析,提出掺钕磷酸盐玻璃作为通常的激光元件所允许的 OH^- 羟基含量。

二、实验结果

1. 测量 OH^- 羟基的红外光谱

用Perkin Elmer 580B红外光谱仪测量了掺钕磷酸盐玻璃样品在 $2.5\sim 10\mu\text{m}$ 范围内的红外光谱。典型的光谱曲线如图1所示,在 2800cm^{-1} 附近有一个很强的吸收峰,代表

了 P—OH 键的特征吸收。测量了几十个样品, 结果表明未经严格脱水的磷酸盐玻璃在 2800 cm^{-1} 附近的光吸收系数 K_{OH} 达到几十 cm^{-1} , 可见磷酸盐玻璃中的水含量是十分可观的。

玻璃中 OH^- 羟基的浓度 N_{OH} 与其吸收带的峰吸收系数 K_{OH} 有以下关系^[6]:

$$N_{\text{OH}}/K_{\text{OH}} = 6.2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-2}. \quad (1)$$

由于吸收系数 K_{OH} 与羟基的浓度 N_{OH} 成正比, 所以玻璃中的相对水含量可以用 2800 cm^{-1} 近红外吸收峰的吸收系数 K_{OH} 来表示。

2. 荧光性质与玻璃中水含量的关系

选择了五种磷酸盐玻璃样品, 在 SP-700 光谱仪和光栅单色光计上分别测量了它们的吸收光谱和荧光光谱。用 τ 计测量了荧光寿命。经过计算求出辐射跃迁几率, 量子效率 η , 无辐射跃迁几率 A_{nR} 与荧光寿命 τ 和辐射跃迁几率 A_r 有如下关系:

$$\eta = \tau \cdot A_r, \quad (2)$$

$$A_{nR} = \frac{1}{\tau} - A_r. \quad (3)$$

这五种玻璃的无辐射跃迁几率 A_{nR} , $1.06\text{ }\mu\text{m}$ 的辐射量子效率 η 和荧光寿命 τ 与吸收系数 K_{OH} 的关系如图所 2 示, 随着玻璃中水含量的增加, 无辐射跃迁几率线性增加, 而荧光寿命和量子效率则减小, 它们的倒数与水含量成正比关系。

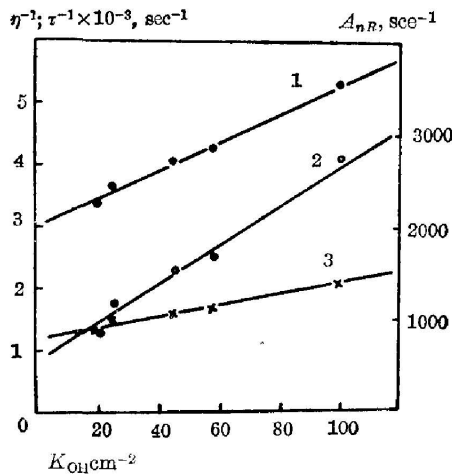


图 2 A_{nR} 、 τ 、 η 与 K_{OH} 的关系
Fig. 2 Dependences of A_{nR} and η on K_{OH} at the frequency $\gamma = 2800\text{ cm}^{-1}$
1— τ^{-1} , 2— A_{nR} , 3— η^{-1}

些磷酸盐玻璃如能进一步脱水, 可望使阈值下降到 10 J 以下。

(2) 激光效率与水含量的关系

测量激光效率所用器件与测阈值的相同, 其差别仅仅是储能电容不同, 测效率用的储能电容为 $200\text{ }\mu\text{F}$, 激光效率与玻璃中水含量的关系如图 4 所示, 随着玻璃中水分的增加激光

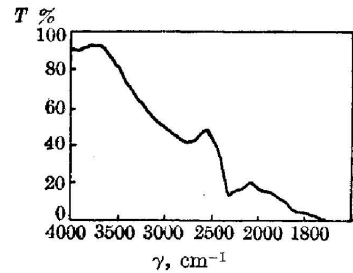


图 1 红外光谱透过曲线
(样品厚 0.37 mm)

Fig. 1 Infra-red transmission curve of the sample thickness: 0.37 mm

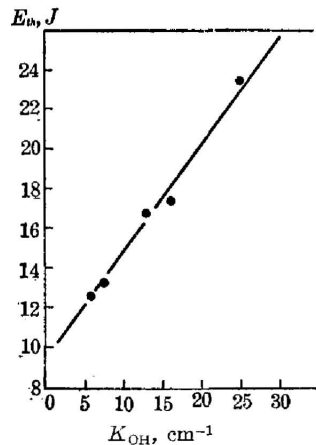
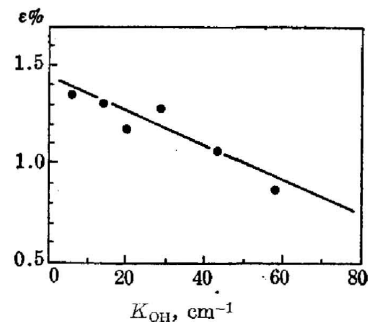
3. 激光性质与玻璃中水含量的关系

选择了一些有代表性的磷酸盐玻璃, 它们具有很好的光学均匀性, 静态损耗小, $1.06\text{ }\mu\text{m}$ 的光吸收系数大致相同, 约为千分之一 cm^{-1} , 对它们的激光性质作了精确的测量。

(1) 激光阈值与水含量的关系

测量阈值用的器件为平行平面腔, 两平面镜的反射率分别为 99% 和 50% , 腔长 50 cm , 激光棒的尺寸 $\phi 6 \times 100\text{ mm}$, 用一支直管氙灯泵浦。灯和棒分别放置在单椭圆聚光器的两个焦线上。储能电容为 $25\text{ }\mu\text{F}$ 。

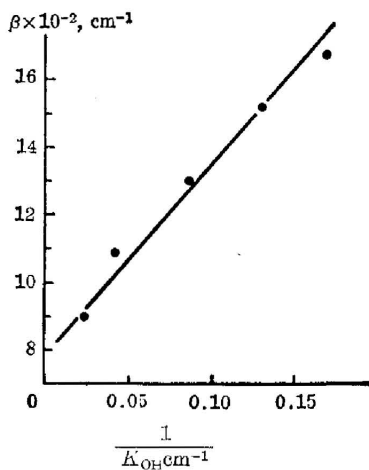
激光阈值与玻璃中水含量的关系如图 3 所示, 随着水含量的增加阈值也升高。从图 3 可以看出这

图3 激光阈值与 K_{OH} 的关系Fig. 3 Dependence of lasing threshold E_{th} on K_{OH} 图4 激光效率 ϵ 与 K_{OH} 的关系Fig. 4 Dependence of lasing efficiency ϵ on K_{OH}

效率下降。

(3) 增益系数与水含量的关系

测量放大器增益用的激光棒尺寸为 $\phi 6 \times 150 \text{ mm}$, 棒用水冷却, 流量 5 l/min , 单椭圆柱聚光器。输入放大器的光束脉宽为 50 ns 的单脉冲。放大器的光泵密度为 57 J/cm^3 。

图5 小信号增益系数与 K_{OH} 的关系Fig. 5 Dependence of small signal gain coefficient β on K_{OH}

小信号增益系数 β 与玻璃中 OH^- 基吸收系数的关系如图 5 所示, 小信号增益系数与吸收系数的倒数成正比。该实验结果表明 OH^- 羟基的吸收系数 K_{OH} 在 $5 \sim 50 \text{ cm}^{-1}$ 范围内, 玻璃中水含量越少, 小信号增益系数则越大。

三、结 论

1. 磷酸盐玻璃中的水分对荧光性质是十分有害的, 由图 2 可知当玻璃中水含量增加 4 倍左右, 其荧光寿命和 $1.06 \mu\text{m}$ 的辐射量子效率则分别下降三分之一以上。
2. 磷酸盐玻璃中水分对激光性质的影响很严重, 以激光阈值为例 (见图 3), 玻璃中水含量增加 3 倍, 阈值增加 85%, 因小信号增益系数的影响 (见图 5), 玻璃中水含量增加 6 倍, 其小信号增益系数下降 45%。水对激光效率的影响相对来说要小一些 (见图 4), 玻璃中水含量增加 8 倍, 激光效率下降 35% 左右。

3. 为了改善磷酸盐玻璃的激光性能, 使之获得更广泛的使用, 有必要使磷酸盐玻璃进一步脱水。掺钕磷酸盐玻璃作通常的激光元件使用, 其 Nd_2O_3 的含量为百分之二重量比, 在该浓度时, 我们认为 OH^- 羟基的吸收系数 K_{OH} 控制在 5 cm^{-1} 以下为宜 (OH^- 羟基浓度 N_{OH} 在 $3 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以下), 吸收系数 K_{OH} 最好不要大于 10 cm^{-1} , 否则将使磷酸盐玻璃的激光性质明显下降, 以致不能正常使用。

参 考 文 献

- [1] 小见山, 亨ぼつ;《レーザー研究》, 1979, **7**, No. 2 (Jul), 176.
- [2] E. P. Бондаренко и др.; *ОМП*, 1975, №. 6 (июн), 42.
- [3] A. P. Аванесов и др.; *ЖЭТФ*, 1979, **77**, №. 5 (ноя), 1771.
- [4] 千福熹;《科学通报》, 1979, **24**, No. 2 (Jan), 59.
- [5] 李仲伢;《激光》, 1981, **8**, No. 6 (Jun), 52.
- [6] V. P. Gapontsev *et al.*; *Sov. J. Q. E.*, 1981, **11**, No. 8 (Aug), 1101.
- [7] B. I. Denker *et al.*; *Sov. J. Q. E.*, 1981, **11**, No. 3 (Mar), 289.
- [8] 陈泽兴, 李仲伢;《中国激光》, 1983, **10**, No. 12 (Dec), 832.
- [9] C. B. Layne *et al.*; *Phys. Rev.*, 1977, **B16**, No. 1 (Jul), 10.

Influence of water content on lasing properties in Nd-phosphate glasses

LI ZHONGYA CHEN ZEXING AND ZHANG JUNCHANG

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica)

(Received 7 November 1983)

Abstracts

In this paper, the influences of the residual water content on the fluorescence properties, lasing thresholds and efficiencies, and gains of the laser amplifiers are studied in the Nd-doped phosphate glasses.