

重复率脉冲掺钕磷酸盐激光玻璃系列

蒋亚丝 茅森 毛涵芬 陈泽兴 张俊洲 张梅珍 李仲伢 姜彦妍

(中国科学院上海光机所)

Nd: phosphate glass family for repetitive pulsed lasers

Jiang Yasi, Mao Sen, Mao Hanfen, Chen Zexing, Zhang Junzhou,
Zhang Meizhen, Li Zhongya, Jiang Yanyan

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

提要: 研制了三种具有高受激发射截面、热光稳定的磷酸盐激光玻璃。给出主要光谱参数和激光性能。该玻璃已获应用。

关键词: 磷酸盐激光玻璃

一、引言

掺钕磷酸盐激光玻璃已用于建造1TW到100TW的高功率激光系统,显示出它的优越性能。由于受激发射截面为掺钕硅酸盐玻璃的3倍;Nd³⁺掺杂浓度高于YAG,达 1×10^{21} Nd³⁺/cm³,可得到较高的增益和激光效率;光程温度系数为 10^{-7}C^{-1} 数量级,远小于其它激光工作物质,可补偿因玻璃材料热传导不佳而形成的温度梯度,防止激光运转过程中激光材料出现的热畸变。因此,是一种适用于重复脉冲工作的激光工作物质。各激光玻璃制造厂都有用于重复率脉冲激光器的专用玻璃^[1-3]。

二、玻璃型号

在研究Nd³⁺在玻璃中的吸收和荧光的基础上,选择玻璃组成以满足激光玻璃在光学和热机械性能上的要求^[4,5],最近几年发展了三种适用于重复脉冲操作的磷酸盐激光玻璃,形成了中国的品种系列:

N₂₁,一种以偏磷酸钡为基础的激光玻璃,具有中等受激发射截面、优越的热光稳定性及化学稳定性,对操作环境要求不高,是一种在中国使用最广泛

的激光玻璃。

N₂₂,钾钡磷酸盐玻璃,具有高的受激发射截面,较好的热光稳定性及化学稳定性。

N₂₃,一种锂钡过磷酸盐玻璃。选择合适的基质玻璃组成,以减少Nd³⁺发光的浓度猝灭,提高量子效率,最高Nd₂O₃含量达10wt%。高掺杂导致高增益,在小尺寸玻璃棒中即可获得高的激光效率。

与激光器有关的主要玻璃性能列于表1。

表1 重复脉冲磷酸盐激光玻璃性质

玻璃型号	N ₂₁₃₅	N ₂₂₄₂	N ₂₃₀₀
Nd ₂ O ₃ (wt%)	3.5	4.2	9.0
受激发射截面 ($\times 10^{-20} \text{cm}^2$)	3.5	4.2	4.3
荧光寿命 (μs)	300	300	160
nd	1.574	1.534	1.566
zd	64.8	65.4	63.2
非线性折射率 $n_2 (\times 10^{-13} \text{esu})$	1.30	1.05	1.20
光程温度系数 ($\times 10^{-7} \text{C}^{-1}$)	7.1	6	5
热膨胀系数 ($\times 10^{-7} \text{C}^{-1}$)	130	115	99

三、玻璃质量

采用高纯原料及特殊的熔炼工艺^[6],如全铂熔

收稿日期:1988年12月23日。

炼系统、密封熔炼，以减少玻璃组分的不均匀挥发；干燥气体鼓泡以降低玻璃中残留的 OH^- ；高效搅拌器以均化玻璃液；流料浇注工艺以提高大块玻璃的成品率。已建成 50 kg 规模的熔炼装置。在研究退火区域折射率变化的基础上制定了合理的精密退火规程，使玻璃具有高的光学均匀性^[7]。激光玻璃达到如下质量指标：激光波长损耗 $< 0.012 \text{ cm}^{-1}$ ；气泡直径不大于 0.2 mm，每 100 cm^3 玻璃中直径大于 0.05 mm 气泡的横截面不大于 0.03 mm^2 。应力双折射达到国家光学一类标准（小于 2 nm/cm ）；折射率差 (Δn) 小于 4×10^{-6} 。

四、激光测试结果

激光性能除取决于玻璃的光谱和其它物理性质外，在很大程度上受激光器结构、泵浦氙灯的影响。采用二种尺寸不同的水冷圆柱形镀银聚光系统、直管氙灯、平面平行腔小型激光器测试了激光阈值能量及激光输出效率，实验结果示于图 1~3。

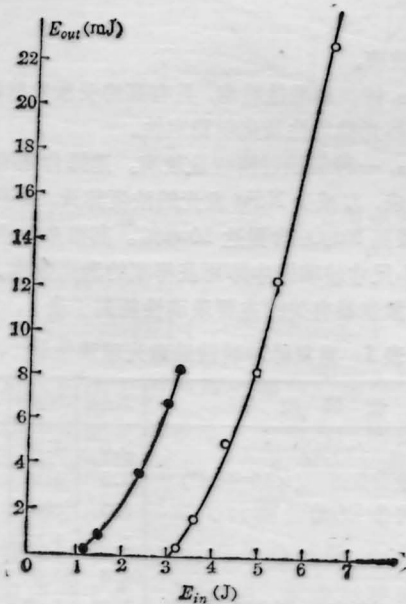


图 1 激光阈值测量

玻璃	N_{2135} (右)	N_{2390} (左)
玻璃棒尺寸	$\phi 6 \times 100 \text{ mm}$	$\phi 4 \times 60 \text{ mm}$
腔长	420 mm	330 mm
输出端反射率	87%	87%
重复率	1 pps	1 pps

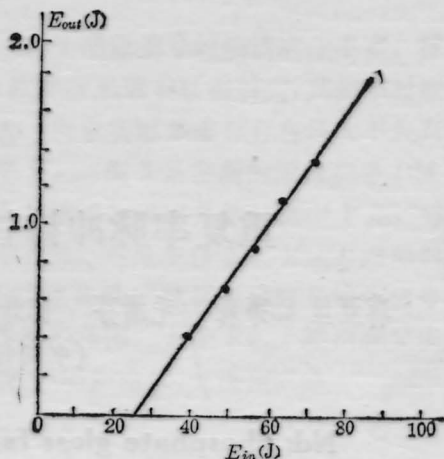


图 2 N_{2135} 激光输出测量

玻璃棒尺寸： $\phi 60 \times 100 \text{ mm}$ ，腔长 420 mm，输出端反射率 55%，重复率 5 pps

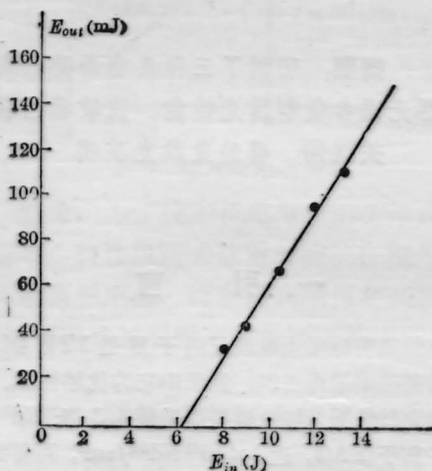


图 3 N_{2390} 激光输出测量

玻璃棒尺寸： $\phi 4 \times 60 \text{ mm}$ ，腔长 330 mm，输出端反射率 55%，重复率 20 pps

五、应用

磷酸盐玻璃激光器由于其高效率、光束发散小、长期操作稳定而用于工业加工及玻璃激光器的发展。一种典型的激光器使用 $\phi 8 \times 200 \text{ mm}$ 玻璃棒、3 pps 重复率工作、每脉冲输出 5~6 J、使用寿命大于 10^8 脉冲，已长期用于加工生产线。如在 $\phi 100 \times 630 \text{ mm}$ ，厚 0.5 mm 不锈钢圆筒中实现几十万只 $\phi 0.4 \sim 0.5 \text{ mm}$ 小孔的加工；厚 3.5 mm 铁氧体中加工 $\phi 0.3 \text{ mm}$ 小孔；厚 12 mm 稀土磁性材料中 $\phi 0.1 \text{ mm}$ 和红宝石中 $\phi 0.2 \text{ mm}$ 孔的加工等。

使用所研制的玻璃,在 $0.5 \times 3 \times 14$ cm板条激光器中实现3pps、每脉冲输出12.5J的激光运转。通过主动锁模,在连续波钕玻璃激光器中实现了80ps和7ps的脉冲输出^[8,9]。

鉴于磷酸盐激光玻璃的优良激光性能,国内外均已逐步取代硅酸盐玻璃。器件设计时必须发挥其优点,实现低输入下高质量光束的高效运转,以弥补磷酸盐玻璃抗热炸性能方面的不足。同时注意在停止使用时对玻璃棒的保护。生产线的实践已表明它的工作是稳定的。

作者感谢章丕中、曹渭楼及各自的实验组在应用方面的开拓,感谢干福熹、姜中宏教授对本工作的支持。

参 考 文 献

- 1 Hoya laser glasses, Hoya Corroration, 1982
- 2 Schott laser glasses, Schott Glass Technologies Inc USA
- 3 The Kigre family of laser glasses, Kigre Inc. USA, 1982
- 4 茅森 *et al.*, 玻璃与搪瓷, **15**(3), 10(1987)
- 5 毛涵芬 *et al.*, 中国激光, 1989, **16**, No11 (待发表)
- 6 Jiang Yasi *et al.*, *J. Non-Cryst. Solides*, **80**, 623 (1986)
- 7 Jiang Yasi *et al.*, Collected papers XIV Intn. Congr. on Glass, 1986, NewDelhi 118
- 8 Strobel S. A. *et al.*, *Appl Phys. Lett.*, **45**(11), 171 (1984)
- 9 Yan L. *et al.*, *Opt. Lett.*, **11** (8), 502 (1986)

(上接第615页)

光分支比特别高和上能级寿命长的跃迁可以产生激光发射^[15,16]。对于 $\text{HoP}_5\text{O}_{14}$ 晶体,满足振子强度大于 1×10^{-6} 和积分发射截面大于 1×10^{-18} cm的一些跃迁以*号列出于表3中。虽然 Ho^{3+} 的 $[^5F_4, ^5S_2] \rightarrow ^5I_5$ (0.54 μm), $^5S_2 \rightarrow ^5I_7$ (0.75 μm)和 $^5F_5 \rightarrow ^5I_7$ (0.95 μm)的振子强度和积分发射截面都较大,但目前只在氟化物系统中实现了这些跃迁的激光输出,在含氧化物中尚未实现激光振荡。

晶体由白云起同志提供,特此致谢。

参 考 文 献

- 1 A. A. Kaminskii; Laser Crystals: Their Physics and Properties, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, New York, 1981
- 2 B. R. Judd, *Phys. Rev.*, **127**, 750(1962)
- 3 G. S. Ofelt, *J. Chem. Phys.*, **37**, 511(1962)
- 4 R. Reisfeld and C. K. Jorgensen, Laser and Excited States of Rare Earths, Springer-Verlag,

- Berlin Heidelberg, New York, 1977, p. 141
- 5 M. J. Weber, *Phys. Rev.*, **157**, 262(1967)
- 6 R. D. Peacock, *Structure and Bonding*, **22**, 83 (1975)
- 7 Su Qiang and Lu Yuhua, Rare Earths Spectroscopy, World Scientific, 1985, p. 379
- 8 Su Qiang *et al.*, Rare Earths Spectroscopy, World Scientific, 1985, p. 385
- 9 Su Qiang *et al.*, *Chinese Physics-Lasers*, **13**(11), 825(1986)
- 10 M. J. Weber and B. H. Matsinger, *J. Chem. Phys.*, **57**(1), 562(1972)
- 11 W. T. Carnall *et al.*, *J. Chem. Phys.*, **49** (10), 4412(1968)
- 12 B. Keller *et al.*, *Chem. Phys. Lett.*, **92** (5), 541 (1982)
- 13 R. D. Peacock, *J. Chem. Soc. A.*, 2028(1971)
- 14 R. Reisfeld *et al.*, *Chem. Phys. Lett.*, **33**, 188 (1976)
- 15 J. A. Caird and L. G. DeShazer, *IEEE J. Quant. Electr.*, **QE-11**, 97(1975)
- 16 J. A. Caird, *IEEE J. Quant. Electr.*, **QE-11**, 874(1975)