

红宝石激光大能量实验

王之江 周复正 林康春
(中国科学院上海光学精密机械研究所)

提 要

本文分析了红宝石光学均匀性对激光输出能量的影响,进行了红宝石激光大能量实验,得到 1500 J* 的激光输出。克服效率下降问题以后,得到 3000 J** 的激光输出。

一、光学均匀性对激光输出能量的影响

激光宝石晶体由粉料 Al_2O_3 烧制而成,原料含 Cr^{3+} 量为 0.05~0.2%,采用火焰法生长,经退火消除内应力,加工成棒状激光晶体。图 1 为用偏光法分段拍摄的红宝石局部光学均匀性,比例为 1:1。

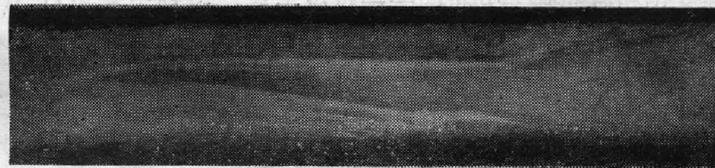


图 1 红宝石晶体枝状结构(平行偏光观察)

Fig. 1 "Tree-like" construction of ruby crystal (parallel polarizing light observation)

用平行平面谐振腔,挑选优质红宝石作为大能量激光工作物质。通过激光检验发现:红宝石光学均匀性对激光输出能量和强度的空间分布影响极大。图 2 为用星点法测量一束平行光通过红宝石棒后在焦点(a),焦点前(b),焦点后(c)的星点照片,从星点像可以看出,光通过红宝石棒后,有相当一部分能量形成散射光晕,观察到焦点前后弥散盘畸形,且对称性不好,说明光波面发生较大畸变。

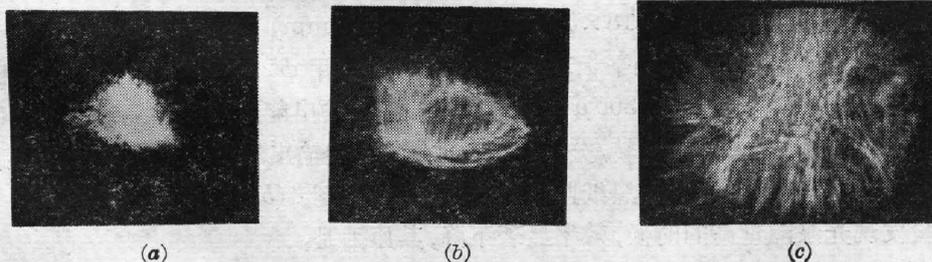


图 2 星点像

Fig. 2 "Star" image

收稿日期: 1982年10月29日

* 1965年12月获得; ** 1966年10月达到。

红宝石棒端面经过修光程后,激光输出能量提高一倍以上,结果如表 1 所示。这是由于红宝石棒中 Cr^{3+} 浓度沿棒的径向分布不均匀而形成很大的光程差变化。修光程前,红宝石棒相当于发散透镜,平行光通过红宝石棒产生正焦面位移。经过修光程,红宝石趋近于光学均匀介质(焦面位移量很小),使激光输出能量大幅度提高。

表 1 修光程前、后激光能量变化

Table 1 Change of laser energy for repairing light length and not doing

编号及红宝石棒尺寸	修 光 程 前		修 光 程 后	
	激光能量	星点位移	激光能量	星点位移
IV-70 $\phi 10.05 \times 259 \text{ mm}$	16.0 J	焦面位移 +18.2 mm	61.3 J	焦面位移 +0.1 mm
3116 $\phi 12.00 \times 284 \text{ mm}$	22.2 J	焦面位移 +13.2 mm	47.9 J	焦面位移 -0.5 mm
I-50 $\phi 11.55 \times 300 \text{ mm}$	11.8 J	焦面位移 +15.0 mm	22.2 J	焦面位移 -0.2 mm

激光近场图和光通过红宝石棒后从端面拍摄的静态干涉图很好地符合,即激光起振点和振荡最强区域正是干涉条纹最疏的区域(图 3)。如用等强度线的方法作图,可以清楚地看到干涉图、光程变化和激光强度分布的一一对应关系。这种关系和 G. W. Duekes^[1], M. Hercher^[2] 等人的实验结果一致。

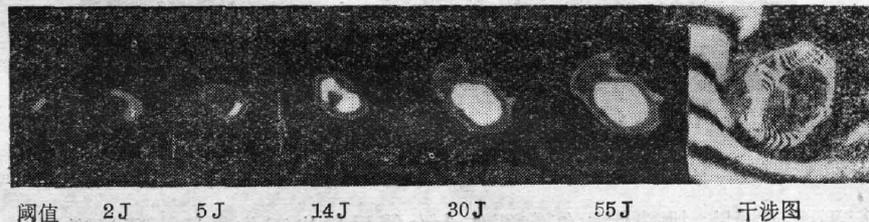


图 3 激光近场图和端面干涉图

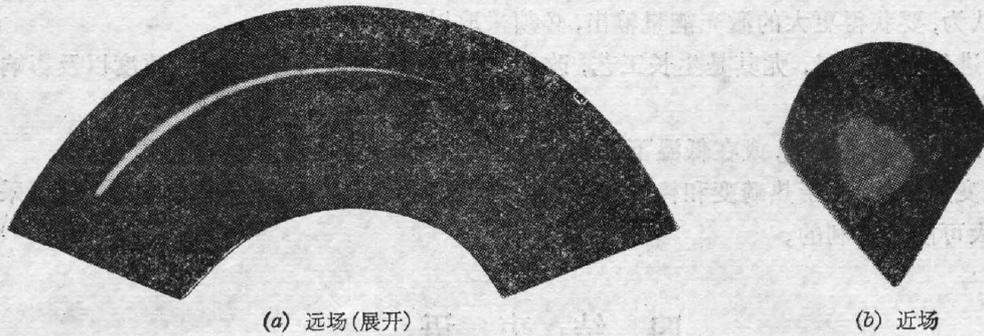
Fig. 3 Near field pattern and interference patter of laser beam

二、1500 J 红宝石大能量激光实验

挑选两根优质红宝石棒 ($\phi 18 \times 540 \text{ mm}$, $\phi 18 \times 575 \text{ mm}$) 构成振荡器、放大器,采用平行平面腔结构,棒间耦合为两块平板玻璃,腔长 1.7 m。用 $\phi 21 \times 1200 \text{ mm}$ 双灯泵浦,电能输入方式为 $7200 \mu\text{f}$ 电容串接, $300 \mu\text{H}$ 电感放电,激光输出能量用碳斗测量。输出能量为 1515 J 时,用高速电动机(1400 转/分)带动转盘在激光器输出端得到远场时间展开痕迹(图 4(a))和在腔的全反射端用感光黑纸监测激光的近场图(图 4(b))。效率为 0.4%。

实验发现光泵能量高的时候,效率显著下降,其原因是:

1. 在光泵过程中,红宝石棒吸收了大量热量,尤其是在光泵时间较长的情况下,温升使谱线变宽,荧光量子效率下降,从而使光泵后期激光振荡受到抑制^[3]。
2. 热效应的严重性不仅使红宝石棒的物理工作状态改变,还可以导致其几何形状的变化,即产生热畸变^[4]。由于介质加热的不均匀,使平行平面谐振腔受到破坏,这对存在很多



(a) 远场(展开) (b) 近场

图 4 1515 J 激光输出场图

Fig. 4 1515 J laser output field pattern

缺陷、杂质、且吸收不均匀的晶体,影响更为严重。

3. 此外,侧面寄生振荡^[5]和自发辐射放大效应^[6]在光泵能量高的情况下也会显著增加。

4. 激光放大的实验结果比接棒好,除了热畸变对腔的作用减弱外,还可能是在棒内损耗较大的情况下,行波放大比振荡好^[7]。

因此,改善光泵波形和采用冷却装置必定会有利于增加激光能量输出。

三、3000 J 红宝石大能量激光实验

为了提高氙灯的能量负载,可以输入足够的光能,放电回路改为 L-C 网络,得到近似方波的氙灯光谱。红宝石棒的柱面套上玻璃水套,同时起到冷却和聚光的作用,采取这些措施后,在光泵后期,激光未被抑制。用光电管和示波器监视激光和氙灯波形,如图 5 所示,图 5(a)为氙灯发光波形,氙灯尺寸是 $\phi 25 \times 500 \text{ mm}$,输入电压 $\pm 1800 \text{ V}$,电容 $7200 \mu\text{f}$,图 5(b)为激光波形,红宝石棒尺寸是 $\phi 18 \times 530 \text{ mm}$,输出能量是 655 J ,效率为 0.7% 。

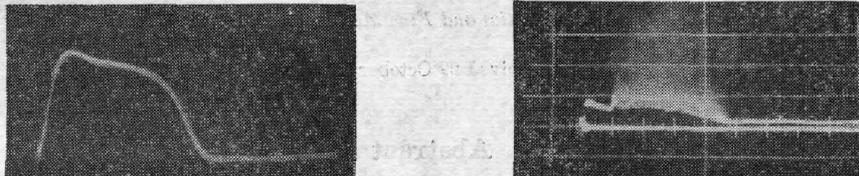


图 5 氙灯和激光波形

Fig. 5 Xe lamp and laser waveform

在这个实验基础上,进行了大能量激光实验。用 $\phi 28 \times 860 \text{ mm}$ 的红宝石棒作为振荡器,腔外串接一根 $\phi 28 \times 930 \text{ mm}$ 的红宝石棒进行放大,每根棒均用两支 $\phi 25 \times 1000 \text{ mm}$ 氙灯泵浦,用 $\phi 70 \text{ mm}$ 双筒聚光器把氙灯光汇聚到红宝石上。红宝石柱面加玻璃水套,通入冷却水,当每支氙灯输入电能为电容 $C=10800 \mu\text{f}$,电压 $V=\pm 3000 \text{ V}$ 时,方波放电时间约为 20 ms ,得到红宝石激光大能量输出是 3000 J ,激光持续时间约为 18 ms ,效率 $\approx 0.4\%$,用示波器记录的激光波形如图 6 所示。

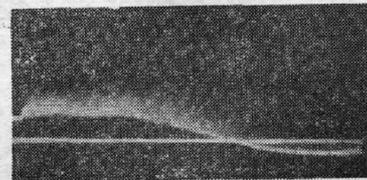


图 6 3000 J 激光波形(2ms/div)

Fig. 6 3000J laser waveform (2ms/div)

我们认为,要获得更大的激光能量输出,必须采取以下措施:

1. 改进红宝石质量,尤其是生长工艺,改善光学均匀性,适当降低 Cr^{3+} 浓度以及影响透过率的杂质含量。
2. 合理输入光泵能量,或在低温下工作,避免热效应。
3. 改变腔结构,由于热畸变和棒内损耗大,特别是在大能量输入和长棒工作情况下,采用多级放大可能是有利的。

四、结 束 语

红宝石大能量激光是上海光机所和硅酸盐所协作共同研究的项目。本文仅叙述激光总体实验,参加过这项工作的有张义山,张国轩,乔景文,崔俊文,黄鹤年,余昺鲲,卢仁祥,王能鹤,项惠珠等同志。在实验过程中得到钟永成同志许多有益指教,在此一并表示感谢。

参 考 文 献

- [1] G. W. Dueker *et al.*; *Appl. Opt.*, 1965, **4**, No. 1 (Jun), 109.
- [2] M. Hercher; *Appl. Opt.*, 1962, **1**, No. 5 (Sep), 665.
- [3] J. P. Wittek; *J. Appl. Phys.*, 1962, **33**, No. 7 (Jul), 2333.
- [4] A. П. Водута; *Ж. Э. Т. Ф.*, 1965, **48**, №. 1, 87.
- [5] В. К. Колюхов, Л. А. Куявский. докл; *А. Н. СССР.*, 1964, **154**, №. 5, 1072.
- [6] Tom Waite; *J. Appl. Phys.*, 1964, **35**, No. 6 (Jun), 1681.
- [7] Pelras V. A vizonis, Tony Legats; *J. Appl. Phys.*, 1965, **36**, No. 10 (Oct), 3302.

High energy experiment of the ruby laser

WANG ZHIJIANG ZHOU FUZHENG AND LIN KANGCHUN
(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica)

(Received 29 October 1982)

Abstract

Influences of the optical homogeneity of ruby laser on laser output energy are analysed in this paper. High energy experiment with the ruby laser has been conducted, and 1500 J* of laser energy has been obtained. Having resolved the problem of efficiency drop, 3000 J** laser energy has been reached.

* Obtained in Dec. 1965.

** Obtained in Oct. 1966.