

# 铝酸镁镧单晶的光学质量和激光性能研究

张秀荣 张新民 沈雅芳 吴光照

(中国科学院上海光学精密机械研究所, 上海, 201800)

**摘要:** 本文采用干涉图自动分析系统测量了铝酸镁镧单晶(LMA: Nd<sup>3+</sup>)激光棒的波前畸变干涉图。采用电子扫描探针对LMA单晶进行杂质分析。测量了激光棒的热焦距, 研究了CW和脉冲激光输出特性。

**关键词:** LMA: Nd<sup>3+</sup> 激光晶体

## Study on optical quality and laser properties of Nd<sup>3+</sup>: LMA crystal

Zhang Xiurong, Zhang Xinmin, Shen Yafang, Wu Guangzhao

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

**Abstract:** The stereoscopic interference pattern of Nd<sup>3+</sup>: LMA crystal is measured with interference pattern automatic analysis system and the waveform distortion is analysed. We found some impurity in Nd<sup>3+</sup>: LMA crystal with scanning electron probe. The thermal focus of Nd<sup>3+</sup>: LMA is measured and compared with Nd<sup>3+</sup>: YAG. The CW and pulse laser properties of Nd<sup>3+</sup>: LMA crystal are studied.

**Key words:** LMA: Nd<sup>3+</sup> laser crystal

### 一、引言

掺钕铝酸镁镧单晶(LMA: Nd<sup>3+</sup>)的掺杂浓度高达5at%, 荧光寿命为315μs, 发射两条很强的荧光带, 峰波波长为1.054μm和1.082μm, 已经获得CW和脉冲激光输出。自从1980年法国Kahn<sup>[1]</sup>首先研制出LMA单晶作为激光介质, 十年后还没有达到实际应用的水平, 激光输出能量远远低于YAG: Nd<sup>3+</sup>。因此, 本文对LMA: Nd<sup>3+</sup>单晶的干涉图, 所含杂质、散射颗粒、细小水波纹等对其晶体光学质量进行分析研究。并且测量了激光棒的热焦距, 对其激光性能进行研究。

### 二、实验结果讨论

1. 利用干涉图自动分析系统测量了浓度为1at% LMA: Nd<sup>3+</sup>激光棒的波前畸变干涉图, 并和YAG: Nd<sup>3+</sup>单晶进行了比较, 如图1所示。

LMA : Nd<sup>3+</sup>单晶的透明度很高,透光性能较好,和 YAG : Nd<sup>3+</sup>的光学均匀性相似,如表 1 所示。

2 用电子扫描探针观察分析了 LMA 单晶中的成分含量及杂质离子。图 2 对浓度为 3at% 的 LMA : Nd<sup>3+</sup>单晶做了面扫描,分析了 LMA : Nd<sup>3+</sup>单晶中杂质成分。

从图 2 中看到,生长 LMA 单晶的原料不纯,LMA 单晶中除了 Mg, Al, Nd, La 之外,还有 Mn, Ca, Ba, Ta, Ce, Eu 等杂质。

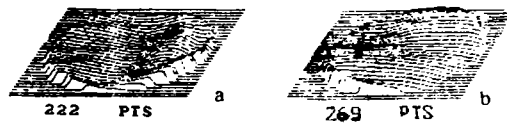


Fig. 1 Stereoscopic interference pattern of LMA and YAG rods

a— $\varnothing$ 4mm $\times$ 64mm LMA rod  
b— $\varnothing$ 6mm $\times$ 76.5mm YAG rod

Table 1 The optical properties of LMA and YAG : Nd<sup>3+</sup> crystals

crystal	size	standard error	peak-valley value	line number
LMA : Nd <sup>3+</sup>	$\varnothing$ 4mm $\times$ 64mm	0.058	0.3042	0.241/inch
YAG : Nd <sup>3+</sup>	$\varnothing$ 6mm $\times$ 76.5mm	0.076	0.3146	0.209/inch

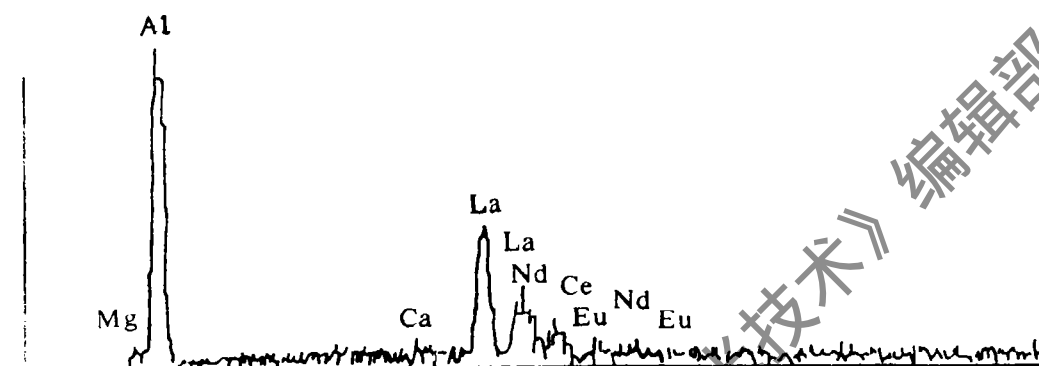


Fig. 2 Electro-probe scanning analysis pattern of LMA crystal doped with 3at% Nd

根据产生激光振荡的条件<sup>[2]</sup>:

$$G = e^{(\alpha - \alpha)L} \quad (1)$$

式中,  $g$  是增益系数,  $\alpha$  是损耗系数,  $L$  是棒长度,  $G$  是增益。为了使  $G$  增大,  $\alpha$  要尽可能小。引起损耗大的主要原因是激光晶体本身的不均匀折射, 散射, 光吸收等因素引起的。因此, 激光晶体必须具有良好的透光性, 均匀性和完整性。从电子探针分析的数据中看出, LMA : Nd<sup>3+</sup>单晶中多余的杂质影响了晶体的结构, 使得晶格发生了畸变, 对于具有氧密集层的磁铅石结构而言, 出现堆垛差错, 引起晶体周期的不完整性或者多项同时存在。杂质散射引起晶体内耗加大, 影响激光

Table 2 The components of embedded body in LMA : Nd<sup>3+</sup> crystal

detect position	component	atom ratio(%)	weight ratio(%)
point embedded body	Al	19.72	17.84
	Fe	73.04	68.55
	Si	7.25	13.60
lump embedded body	Al	58.89	40.52
	Ca	7.59	7.73
	Na	0.33	1.20
	La	1.00	4.60
	Fe	32.20	45.95

阈值。

表 2 中给出了在 LMA : Nd<sup>3+</sup> 单晶中包裹物内所含的杂质。对应于图 3a 中包裹物中含有 Al, Ca, Nd, La, Fe, 图 3b 中含有 Al, La, Si, 图 3c 中含有 Al, Si, Fe。但是在我们生长的 LMA : Nd<sup>3+</sup> 单晶中包裹物还是很少的, 在 ∅10mm × 20mm 样品上只有一个很小的点状和一个团状包裹物。大体上看来透明度很高, 但细小的水波纹还是有的, 而且晶体沿着 C 轴方向解理。

3. 影响激光输出的另一个主要原因是热透镜效应。我们测量了激光棒的热焦距如图 4 所示, 和 YAG : Nd<sup>3+</sup> 比较, LMA 的热透镜效应较严重。

LMA 单晶热效应严重的主要原因是 LMA 单晶的  $\frac{\partial n}{\partial t} = 18 \times 10^{-6} \text{ K}$  (YAG : Nd<sup>3+</sup> 的  $\frac{\partial n}{\partial t} = 9.86 \times 10^{-6} \text{ K}$ )。折射率随温度变化是 YAG : Nd<sup>3+</sup> 的 2 倍。热膨胀系数也高于 YAG : Nd<sup>3+</sup> 单晶。由于 LMA : Nd<sup>3+</sup> 单晶具有复杂的磁铅石结构, 属于六方铝酸盐, 具有各向异性的特点, 荧光偏振特性很明显, 在 E//b 方向发射荧光最强, 相应的激光发射也强。当  $\frac{\partial n}{\partial t}$  变化大, 热效应严重地影响了激光偏振特性, 激光输出就下降。

4. 激光实验:

(1) 采用双灯重复频率器件, 氙灯为 ∅8mm × 100mm, 平-平腔, 激光棒尺寸为 ∅6mm × 110mm, 输出耦合 T = 43% 时, 激光阈值为 30J, 输出 2.65J/P, 斜率效率 η = 1%, 激光输出特性曲线如图 5 所示。

(2) 采用双氙灯连续器件, 以 ∅6mm × 110mm 激光棒, 输出耦合 T = 10% 时, 激光输出为 16W, 激光阈值偏高, 如图 6 所示。



Fig. 3 Photograph of embedded bodies in LMA crystal a, b, c

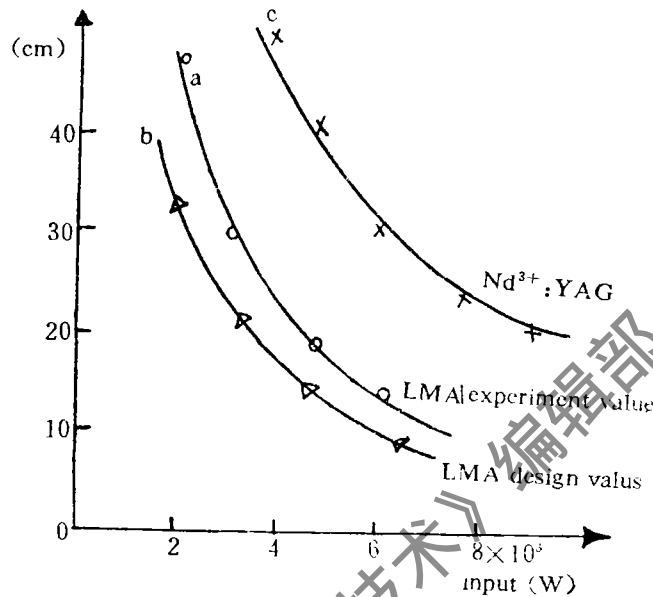


Fig. 4 Experimental curves of ∅4mm × 64mm and ∅4mm × 64mm LMA laser rod thermal focus (curve a and b) and ∅3.77mm × 55mm YAG laser rod thermal focus (curve c)

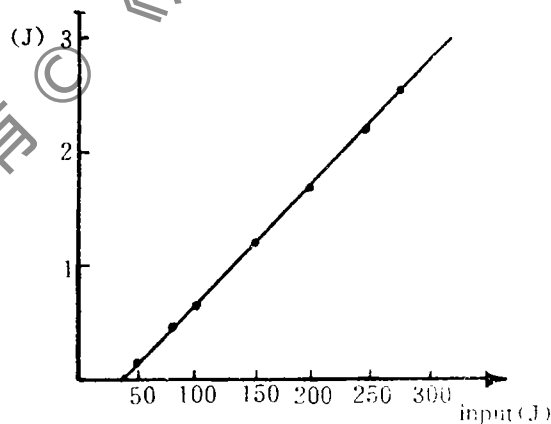


Fig. 5 The pulse output characteristics of ∅6mm × 110mm LMA laser rod

从激光实验上可看到 LMA : Nd<sup>3+</sup> 激光输出功率和优良 YAG : Nd<sup>3+</sup> 激光输出相差很大。目前,日本住友金属有限公司已获得 YAG : Nd<sup>3+</sup> 单晶的 1.06μm 激光输出高达 700J/P,而且 YAG : Nd<sup>3+</sup> 激光已获得广泛的应用。LMA 单晶基质本身是很好的,物化性能、光谱性能都和

YAG : Nd<sup>3+</sup> 相似。发光效率不高主要原因是 Nd<sup>3+</sup> 离子占据位置上结晶场非常高<sup>[3]</sup>, 归因于钕原子和氧原子之间的距离很小。如果在 LMA 晶格里用镓、铈或铟替换部分铝或全部铝,可以增大钕—氧之间的距离(因为镓、铈或铟的离子半径比铝的离子半径大),就可以降低 Nd<sup>3+</sup> 位置上的结晶场。还可以使化合物中钕浓度增加,引起激光效应的激活原子数增加,使得荧光猝灭效应降低。

文献[4]中报导了 LMA : Cr<sup>3+</sup> : Nd<sup>3+</sup> 单晶的特点和激光特性。通过掺杂 Cr<sup>3+</sup> 离子改善结晶场,对共一活化很有利。由于增加了钕—氧距离,引起结晶场下降,导致 Cr<sup>3+</sup> 离子的荧光带向 700~800nm 之间的长波长方向

移动,而钕的两个强吸收峰正好在这个范围,有利于 Cr<sup>3+</sup>—Nd<sup>3+</sup> 之间能量转移,提高对泵浦光的吸收效率和激光输出效率。同时也可以减少激光棒横向热梯度,可能在增加泵浦功率条件下,不至于破坏激光棒而能获得高输出功率。克服了 LMA : Nd<sup>3+</sup> 激光棒在灯泵浦下发热而造成的开裂现象,因此,LMA : Nd<sup>3+</sup> : Cr<sup>3+</sup> 单晶是很有希望的激光晶体。

### 三、结 语

1. 改进生长工艺,提纯原料,控制生长速度,减少水波纹和小的包裹物,可以生长出光学质量好的 LMA : Nd<sup>3+</sup> 激光晶体。

2. 在 LMA 基质中共掺杂(Nd<sup>3+</sup> : Cr<sup>3+</sup>)或者(Nd<sup>3+</sup> : Cr<sup>3+</sup> : Ga),可以提高激光效率,减少热效应,防止开裂。

3. 研究 LD 泵浦 LMA : Nd<sup>3+</sup> 激光器很有前途,两种激光波长 1.054μm 和 1.083μm 用途很广。我们已成功地获得 LD 泵浦 LMA : Nd<sup>3+</sup> 激光输出。

感谢北京华北光电研究所张培河和上海科大谢绍芬老师帮助测试。

#### 参 考 文 献

- 1 Kahn A, Lejus A M, Maolsac M *et al.* J A P, 1981; 52(11): 6864
- 2 中科院上海光机所激光晶体编写组. 激光晶体. 上海: 上海人民出版社, 1976
- 3 镧系镁混合镨酸盐和使用该镨酸盐单晶的激光器. CN 87 1 04688 A, 1988
- 4 Aminoff C G, Larat C, Leduc M *et al.* J Lumin. 1991; 50: 21~29

\* \* \*

作者简介:张秀荣,女,1943年出生。工程师。曾获上海市1987年科学技术进步三等奖,中国科学院1990年科学技术进步二等奖,从事激光晶体光谱及激光的研究。

收稿日期:1993-04-07 收到修改稿日期:1993-07-20

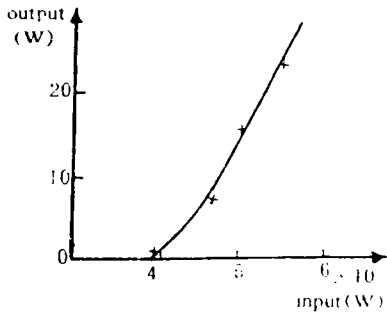


Fig. 6 The CW output characteristics of  $\varnothing 6\text{mm} \times 110\text{mm}$  LMA laser rod