

氙灯泵浦的 NYAB 绿光激光实验研究

黄奕川 邱闽旺 陈光 黄艺东 张弘
罗遵度 江爱栋 杨恕冰 陈金华 傅逢呈

(中国科学院福建物质结构研究所, 350002)

摘要: 本文报道自倍频激光晶体 NYAB 的脉冲激光特性。以 $\phi 3\text{ mm} \times 25\text{ mm}$ 的小型氙闪光灯泵浦 $\phi 3 \times 11\text{ mm}^3$ 等不同尺寸的激光棒时获得了能量为数毫焦耳、波长为 $0.53\text{ }\mu\text{m}$ 的绿色激光输出。开展了 $1\sim 20\text{ pps}$ 的重复率脉冲激光实验, 实践表明, NYAB 是一种很有前途的小型绿色激光器的工作物质。

关键词: 自倍频激光晶体, NYAB(掺钕硼酸铝钇), 脉冲激光特性

Experimental studies of NYAB green laser pumped by xenon lamp

Huang Yichuan, Qiu Minwang, Chen Guang, Huang Yidong, Zhang Hong,
Luo Zundu, Jiang Aidong, Yang Shubing, Chen Jinhua, Fu Fengcheng
(Fujian Institute of Matter Structure, Academia Sinica, Fuzhou)

Abstract: This paper presents the results of the studies of pulsed green laser output characteristics using self-frequency-doubling laser crystal NYAB grown in our institute. A few mJ laser output at $0.53\text{ }\mu\text{m}$ from a NYAB crystal with a size of $\phi 3 \times 11\text{ mm}^3$ has been obtained when it was pumped by a xenon flashlamp of $\phi 3\text{ mm} \times 25\text{ mm}$. Repetition rate experiment of NYAB laser with rates of $1\sim 20\text{ Hz}$ has been done. It can be seen from this work that NYAB crystal is a promising material for green miniature lasers.

Key words: self-frequency-doubling laser crystal, NYAB (neodymium doped yttrium aluminum borate), pulsed laser characteristics

NYAB 晶体 $[\text{Nd}_x\text{Y}_{1-x}\text{Al}_3(\text{BO}_3)_4]$ 是一种既有高的非线性系数、很大的受激发射截面, 又有优良的物化性能的自倍频激光晶体。它很好地把激光工作物质和非线性光学材料合为一体, 它可以输出基频光 ($1.32\text{ }\mu\text{m}$ 和 $1.06\text{ }\mu\text{m}$) 又可以输出倍频光 ($0.66\text{ }\mu\text{m}$ 和 $0.531\text{ }\mu\text{m}$)。

我所对 NYAB 晶体的研究几乎和国际上同时起步。从七十年代中期开始, 就对 NAB、GAB、YAB 等一系列晶体的生长以及晶体的结构与性能关系进行了研究, 揭示了这类晶体的固有优异性能, 正确地选择了最佳钕浓度, 并通过长期的努力, 找到并采用适合于 NYAB 晶体生长的新型助熔剂体系, 获得了质量较好、尺寸较大的 NYAB 晶体, 于 1988 年 5 月 12 日采用小型氙闪光灯 ($\phi 3\text{ mm} \times 25\text{ mm}$) 作激励源使 NYAB 晶体发射出绿色激光^[1,2]。接着, 通过国内合作, 着手开展 NYAB 小型激光器在激光动态剪切干涉仪、风洞流场和细胞遗传工程等方

面的应用研究工作。

NYAB 晶体的性能

从 NYAB 晶体的内部结构和性能的深入研究表明, 在这种晶体中, 用一般光谱参数 (Judd-Ofelt 参数) 计算出来的受激发射截面和量子效率都偏小。我们用脉冲激光输出特性参数计算了 $1.06 \mu\text{m}$ 的受激发射截面, 得到了 $\sigma_{1.06} = 10.6 \times 10^{-19} \text{cm}^2$, 用此值来计算脉冲或连续的激光阈值, 得到的理论值与实验值符合得很好^[8]。用这一数值反算荧光量子效率, 结果为 $\eta_q \approx 80\%$, 与中国科技大学用光声谱方法所测得的数值基本符合。

测量获得的基本参数示于表 1。

Table 1 Characteristics of NYAB crystal

Chemical formula		$\text{Nd}_x\text{Y}_{1-x}\text{Al}_3(\text{BO}_3)_4$
Space group		R_{32}
Stimulated emission cross section of $1.062 \mu\text{m}$		$1.06 \times 10^{-18} \text{cm}^2$
Fluorescent lifetime		$\sim 60 \mu\text{s}$
Refractive indices	$1.062 \mu\text{m}$	$n_o = 1.7613$ $n_e = 1.6886$
	$0.531 \mu\text{m}$	$n_o = 1.7820$ $n_e = 1.7064$
Phase matching angle		$30^\circ 50'$ (TYPE I) $45^\circ 38'$ (TYPE II)
Effective SHE coefficient		$d_{\text{eff}} = 1.30 \text{ pm/V}$ (TYPE I)
Walkoff angle		$2^\circ 13'$
Density		3.75 g/cm^3

我们还测出了 NYAB 晶体的光谱吸收曲线和荧光曲线 (图 1, 图 2), 从光谱吸收曲线可见到 NYAB 存在着几个明显的吸收峰, 波长分别为 530.0 nm , 588.0 nm , 748.0 nm 和 $804 \sim 807 \text{ nm}$ 。从荧光曲线可以明显地看到, 相对于 ${}^4F_{3/2} \rightarrow {}^4I_{11/2}$ 跃迁的发射峰 (主波长 $1.062 \mu\text{m}$) 与相对于 ${}^4F_{3/2} \rightarrow {}^4I_{13/2}$ 跃迁的发射峰 (主波长 $1.32 \mu\text{m}$) 的分支比约为 $4 \sim 5:1$ 。这说明 $1.06 \mu\text{m}$ 发射要比 $1.32 \mu\text{m}$ 发射强得多。八十年代初期, 前苏联科学家^[4]在实现了 $1.32 \mu\text{m}$ 到 $0.66 \mu\text{m}$ 激光非线性效应后, 曾由于 NYAB 在 $0.53 \mu\text{m}$ 处存在着吸收现象而预言 NYAB 难以实现从 $1.06 \mu\text{m}$ 到 $0.53 \mu\text{m}$ 的自倍频效应。主要问题在于他们所生长的 NYAB 晶体 Nd^{3+} 浓度过高 ($x \geq 0.2$), 且由于生长工艺及其他诸因素, 使晶体的质量、性能欠佳, 不利于 I 类相匹配方向的切割, 以至影响 $1.06 \mu\text{m}$ 到 $0.53 \mu\text{m}$ 的自倍频效应。实践表明, 只要 Nd^{3+} 浓度适宜 (本文实验所用晶体 $x \approx 0.04$) 生长方向和助熔剂合适, 完全能够获得尺寸足够大的光学质量好的晶体, 在 I 类相匹配方向, 使 $0.53 \mu\text{m}$ 自倍频效应大大胜过自身的吸收效应, 从而发射较强的绿色激光 ($0.53 \mu\text{m}$)^[5]。

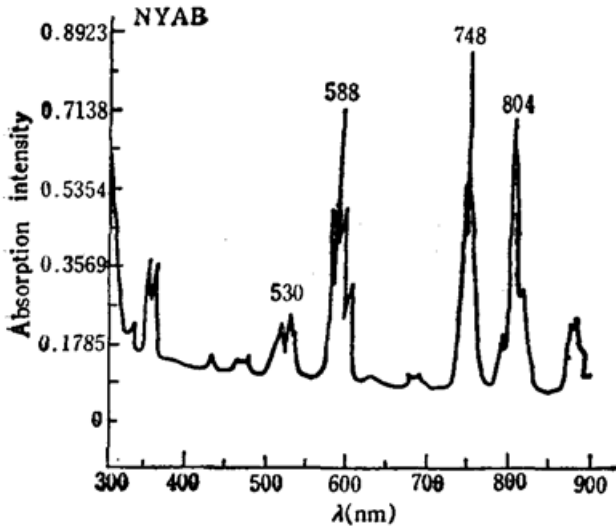


Fig. 1

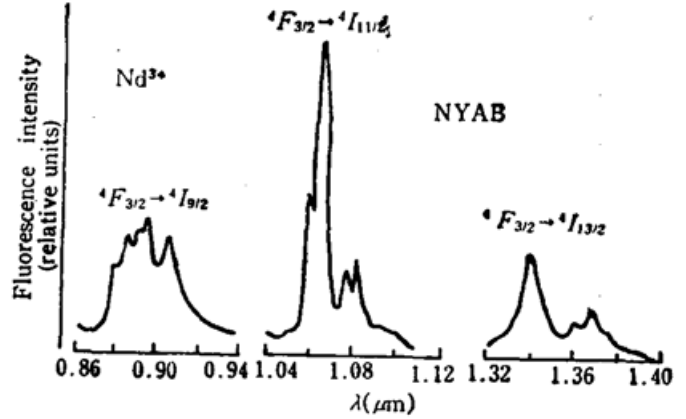


Fig. 2

氙灯泵浦实验

我们沿着 I 类相匹配方向切割加工成不同尺寸的 NYAB 激光棒, 以小型氙闪光灯作为泵浦源, 实验装置如图 3 所示。图中, 1 为 NYAB 晶体, 2 为氙闪光灯, 3 为输出镜, 4 为全反镜, 5 为调 Q 染料片, 6 为滤光片, 7 为激光能量计, 8 为激光电源。

M_1, M_2 组成平-平(或平凹)谐振腔。 M_2 对 $1.06 \mu\text{m}$ 和 $0.53 \mu\text{m}$ 均为高反, M_1 对 $1.06 \mu\text{m}$ 高反, 对 $0.53 \mu\text{m}$ 高透, 自倍频绿色激光由 M_1 输出, 并用 LPE-1A 能量计测其输出能量。图 4 是 $E_{out} \sim E_{in}$ 的变化规律。

在阈值附近, 我们求出了氙灯阈值输入能量

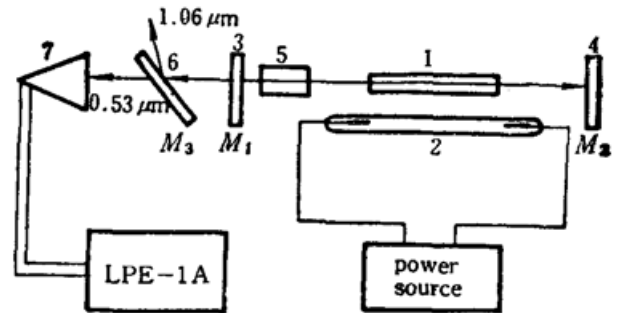


Fig. 3 Setup diagram of laser experiment

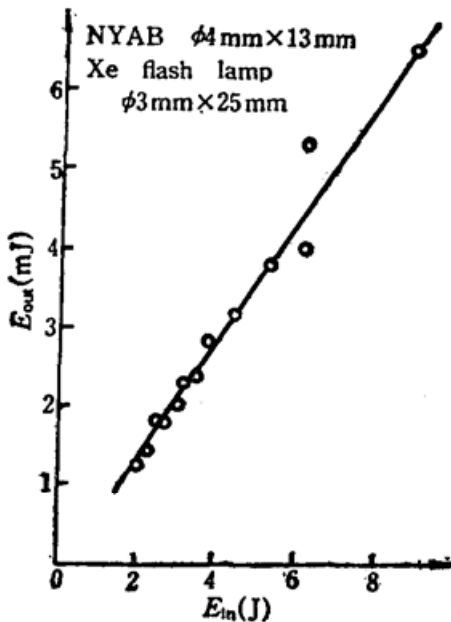


Fig. 4 $0.532 \mu\text{m}$ output vs input energy of a NYAB laser pumped with a single linear xenon flashlamp

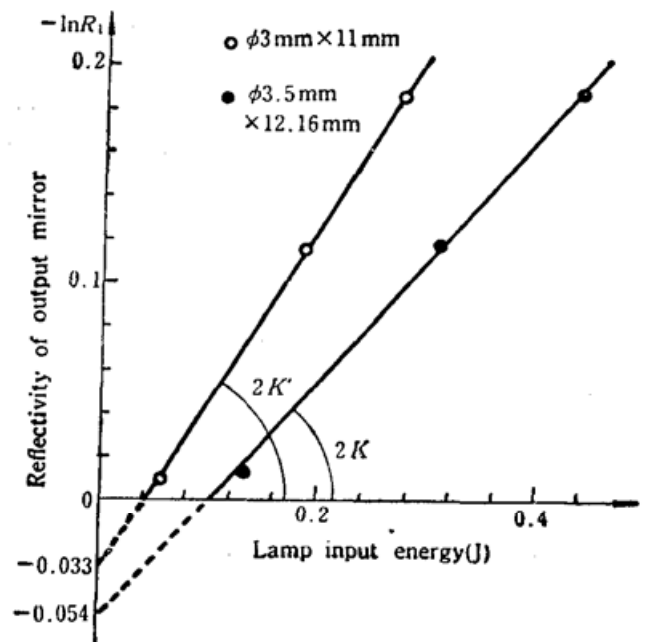


Fig. 5 NYAB threshold energy input as a function of mirror reflectivity

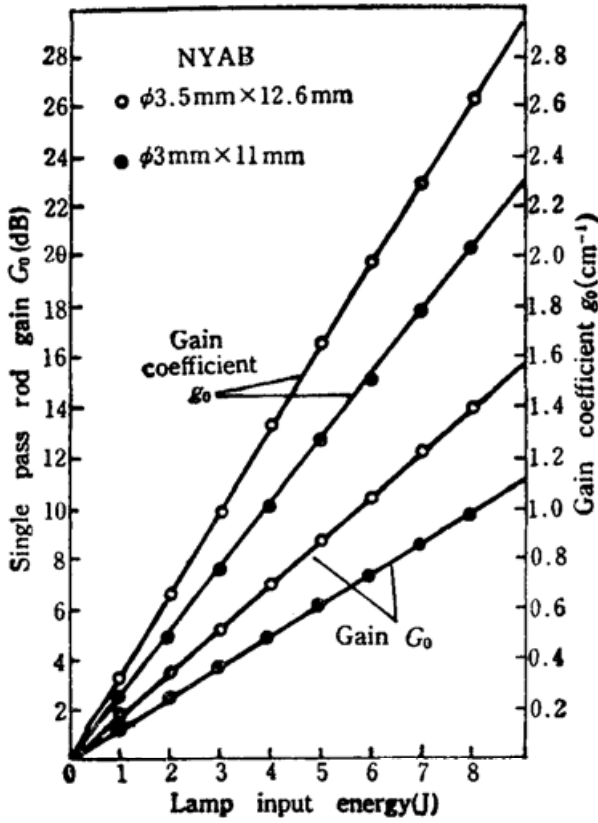


Fig. 6 Small-signal, single-pass rod gain and gain coefficient as a function of lamp input

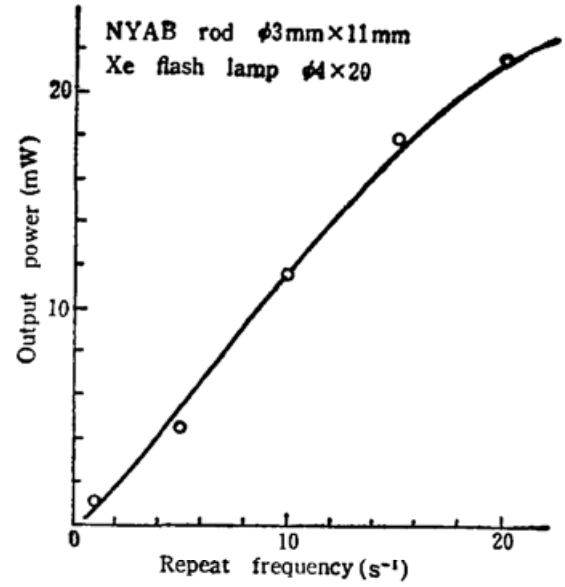


Fig. 7 Average output power vs repetition rate frequency of a NYAB laser pumped with flashlamps

Table 2 Green laser power output of LD pumped NYAB crystal grown in Fujian Institute

Date	Nation and corporation	Operation mode	Laser mode	Input power (mW)	Output power (0.53 μm)	Slope efficiency	Overall efficiency
1989.4	U. S. A. CREOL [2]	OW	multimode		10 μW		
1989 11.15	Germany GWU-L	CW	multimode		10 mW		
1990 1.19	Germany ADLAS	OW	multimode	1700	21 mW		1.24%
1989 12.27	Japan HOYA [3~5]	CW	multimode	360	16 mW		4.4%
1990 1.25		OW	multimode	375	22.7 mW		6.1%
		CW	single longitudinal mode	360	3.8 mW		1.1%
1991 1.9			CW	multimode	400	70 mW	
1990 11.20	U. S. A. Lasergenics and P. R. China FIRSM	OW	TEM ₀₀ mode	335	27 mW		8%
1991 1.17		CW	TEM ₀₀ mode	370	35 mW	24%	9.5%

随输出反射镜反射率变化的函数关系, 用作图法求出 $\phi 3\text{ mm} \times 11\text{ mm}$ 和 $\phi 3.5\text{ mm} \times 12.16\text{ mm}$ 两根 NYAB 棒的泵浦系数 K 和综合光损耗 L , 见图 5。计算所得的 NYAB 小信号单程棒增益和增益系数与氙灯输入能量的函数关系示于图 6。

我们采用脉宽与 NYAB 荧光寿命相当的重复率脉冲氙灯作为泵浦源, 以双灯激励方式, 获得平均功率大于 20 mW 。重复频率为 $1, 5, 10, 15, 20\text{ s}^{-1}$ 。其实验结果如图 7 所示。值得注意的是, 随着重复频率的提高, NYAB 激光平均功率匀速上升, 这表明 NYAB 的温度稳定性相当好, 有着潜在的用途。

值得注意的是, NYAB 的吸收光谱图上, 在 $803 \sim 808\text{ nm}$ 波长处有较强的吸收峰, 用波长匹配的激光二极管(LD)激励, 就能制成微型的 NYAB 绿色激光器件, 开拓其应用。最近, 通过国际合作, 以 LD 泵浦我所提供的 NYAB 晶体已取得突破性的进展(表 2), $0.53\text{ }\mu\text{m}$ 单横模输出已超过 27 mW ; 多模输出已达到 70 mW , 总效率为 17.5% , 并展示出应用在激光彩色复印机、印刷机和光盘上的光明前景。

参 考 文 献

- 1 Luo Zundu *et al.*, *Chinese Phys. Lett.*, **6**(10), 440(1989)
- 2 Z. D. Luo *et al.*, *Conf. SPIE*, May (1989), USA
- 3 罗遵度 *et al.*, 待发表
- 4 Л. М. Дорожкин, И. И. Куратов, *Лиьма В ЖТФ*, **7**(21), 1297~1300(1981)
- 5 刘恩泉, 陆宝生, *光学学报*, **7**(2), 139~143(1987)