

通信

高效率连续波 Nd:FAP 晶体激光器*

邵中兴

陈亦

(中国科学院长春光机所)

(吉林省激光研究所)

An efficient CW Nd:FAP laser

Shao Zhongxing

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

Chen Yi

(Jilin Institute of Lasers, Changchun)

Abstract: An efficient CW Nd:FAP laser pumped by a dye(LD 700)laser, operating at the strong line (1.0629 μm) and the weak line (1.1259 μm), is presented.

Key words: Nd:FAP crystal, efficient CW laser

氟磷酸钙晶体 (Calcium Fluorophosphate), 简称 FAP 晶体, 其化学分子式为 $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$, 掺入钕后, 钕离子发射谱与 Nd:YAG 有些不同。例如, Nd:FAP 晶体的最强辐射线是上能级 $^4F_{3/2}$ 中的子能级 R_1 到下能级 $^4I_{11/2}$ 的子能级 Y_1 间的跃迁, 波长为 1.0629

μm ; 弱线 $R_1 \sim Y_5$ 跃迁波长为 1.1259 μm 。

Nd:FAP 是一种双折射晶体, 若晶体内传播光束的电矢量 (\vec{E}) 垂直 c 轴, 称 σ -偏振光; 若平行于 c 轴, 则称 π -偏振光。实验测到室温下主发射峰 1.0629 μm 的 π -偏振辐射强度是 σ -偏振的 2.6 倍, 77 K 的 1.126 μm 的 σ -偏振辐射强度是 π -偏振的 6.3 倍^[1]。已见闪光灯泵浦 Nd:FAP 1.0629 μm 晶体激光器的报道^[2,3]。本文介绍用染料激光 (LD 700 染料) 泵浦的低阈值、高效率连续波 Nd:

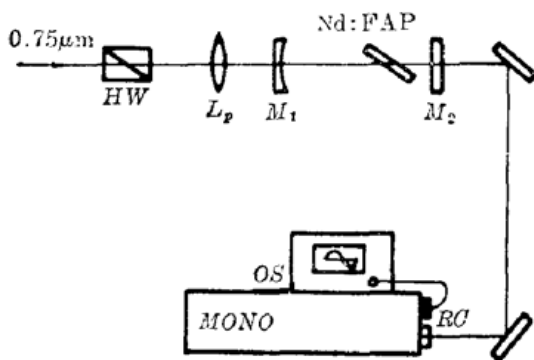


图 1 Nd:FAP 激光器的实验装置

FAP 晶体的强谱线(1.0629 μm)和弱谱线(1.1259 μm)激光运转结果, 并与连续波 Nd:YAG 激光特性进行了比较。

Nd:FAP 晶体激光器的试验装置如图 1 所示。由于氩离子激光器泵浦可调谐环形染料激光器为垂直偏振输出 为此, 用一 Fresnel $\lambda/2$ 棱镜将其偏振面旋转 90° 后, 由焦距为 $f=7.5$ cm 的消像散的复合透镜 L_p 把泵浦光聚焦到 Nd:FAP 晶体上, 全反镜 M_1 的曲率半径 $R=10$

* 本工作系在美国国家标准局 Boulder 实验室完成。

cm, 对泵浦光的透过率为 80%。为得到弱谱线振荡, 实验中用两块不同反射率镀膜的平面镜作为输出镜 M_2 , 其中一块对 $1.06 \mu\text{m}$ 的反射率为 98%, 另一块对 $1.06 \mu\text{m}$ 的反射率 $< 40\%$, 而对 $1.12 \mu\text{m}$ 反射率为 $> 99.8\%$ 。Nd:FAP 晶体尺寸为 $\phi 6.3 \text{ mm} \times 3 \text{ mm}$, c 轴平行于晶体表面, 将 0.178 mm 厚无镀膜的显微镜用样品盖片, 作为 FP 标准具插入腔内, 用以压窄谱线和调谐波长。所用激光功率计为 Coherent Radiation 210 型。

为获得 Nd:FAP 晶体的最强谱线激光输出, 即 $1.0629 \mu\text{m}$ π -偏振激光输出, 置晶体 c 轴于平行泵浦光偏振方向, 并使晶体与泵浦光束呈布氏角, 腔长为 3.5 cm 。调谐染料激光波长到 Nd:FAP 晶体的一个吸收峰 $0.75 \mu\text{m}$ 附近。实验测得的 $1.0629 \mu\text{m}$ π -偏振激光多模输出功率与泵浦功率的函数关系如图 2 曲线 I 所示。由曲线 I 可以看出, 在给定的实验条件下, $1.0629 \mu\text{m}$ π -偏振激光振荡阈值约为 12 mW , 用 340 mW 染料光泵浦, 得到约 152 mW 的 $1.0629 \mu\text{m}$ π -偏振多模激光输出, 转换效率为 44.7% , 激光线宽约 1.0

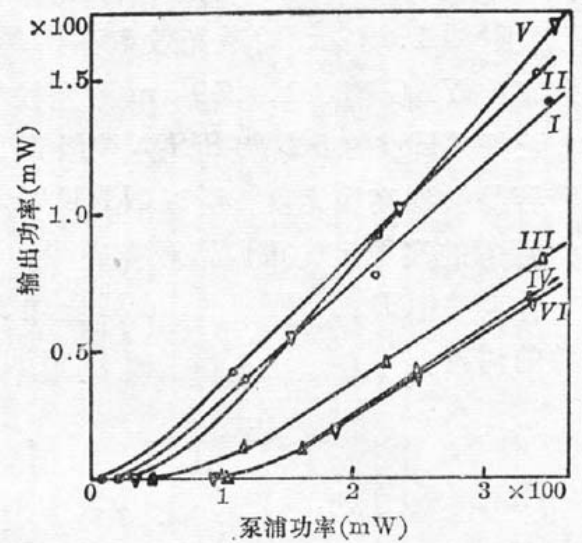


图 2 Nd:FAP 和 Nd:YAG 晶体激光输出与泵浦功率函数关系曲线

Nd:FAP: I $1.0629 \mu\text{m}$ (π -)
 II $1.0629 \mu\text{m}$ (σ -)
 III $1.1259 \mu\text{m}$ (σ -)
 IV $1.1259 \mu\text{m}$ (π -)
 Nd:YAG V $1.0641 \mu\text{m}$
 VI $1.1225 \mu\text{m}$

cm^{-1} 。插入 FP 标准具后, 得到了 104 mW 的线宽小于 0.5 cm^{-1} 的激光输出。旋转 c 轴 90° , 使其与泵浦光偏振面正交, 即可获得 $1.0629 \mu\text{m}$ 的 σ -偏振激光。实验测得输入泵浦功率与输出激光功率函数关系如图 2 曲线 II 所示。它的振荡阈值显然高于 π -偏振情况, 约为 23 mW 。当泵浦功率为 340 mW 时, 转换效率为 39% , 同样地插入上述标准具, 得到约 70 mW 的窄谱线输出。若晶体表面垂直泵浦光束, 腔内无偏振选择元件, 不管 c 轴平行或正交于泵浦偏振面, 输出光也总是偏振的, 且方向总与 c 轴一致。这表明, 只有 π -偏振激光振荡。这是因为 σ -偏振荧光比 π -偏振弱得多的缘故。

$1.1259 \mu\text{m}$ 波长的 σ -偏振荧光强度只有 $1.0629 \mu\text{m}$ π -偏振的 6.8% , 所以要获得如此弱谱线的激光输出, 必须抑制强谱线振荡。因而要求输出镜对 $1.1259 \mu\text{m}$ 高反射同时对 $1.0629 \mu\text{m}$ 高透过。使 Nd:FAP 晶体在腔中呈布氏角放置, c 轴与泵浦光偏振面正交, 保持共振腔长为 4 cm , 晶体距耦合镜约 1 cm , 得到了 $1.1259 \mu\text{m}$ 的 σ -偏振激光的输入-输出函数关系如图 2 曲线 III 所示。阈值泵浦功率约为 45 mW , 340 mW 泵浦时得到 84 mW 多模激光输出, 转换效率为 24% , 激光谱宽约 5.1 cm^{-1} , 腔内插入前述标准具后, 得到了约 43 mW 的窄谱线激光输出。该波长上的荧光线宽较宽, 约为 14 cm^{-1} [1], 相应地, 激光调谐也较宽, 实验测得的结果约为 12 cm^{-1} 。图 3 给出了 $1.1259 \mu\text{m}$ 波长的宽谱线 (a) 和窄谱线 (b) 激光波型相比较的照片。同样地,

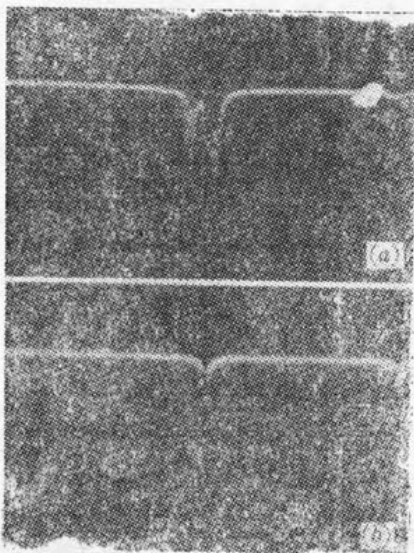


图 5 $1.1259 \mu\text{m}$ 激光
 线宽照片

(a) 宽谱线; (b) 窄谱线

旋转 c 轴 90° , 也可得到 $1.1259\mu\text{m}$ 的 π -偏振激光, 实验结果如图 2 曲线 IV 所示。

本工作比较了相同实验条件下 Nd:FAP 和 Nd:YAG 两种晶体的连续波激光运转特性。结果表明, Nd:FAP 晶体激光的阈值泵浦功率还不到 Nd:YAG 的一半。虽然 Nd:FAP 的强发射线 $1.06\mu\text{m}$ 的激光效率不如 Nd:YAG 高, 但 Nd:FAP 的弱发射线 $1.12\mu\text{m}(\sigma-)$ 激光效率比 YAG 高。 $1.1259\mu\text{m}$ 激光很容易被调谐到 $1.126\mu\text{m}$, 经过二次倍频到紫外 281.5nm , 正好是 Hg^+ 的 $5D^{10}6S^2S_{1/2}$ 能级到 $5D^96S^2D_{5/2}$ 能级跃迁的双光子波长, 加之固体激光器比较容易做到高稳定度, 所以 Nd:FAP 晶体 $1.1259\mu\text{m}$ 可调谐激光输出是激光捕陷(Trap) Hg^+ 理想的高稳定度可调谐激光光源。

作者感谢 D. J. Wineland 博士和 J. C. Bergquist 博士在实验工作中给予的方便和许多有益的讨论。

参 考 文 献

- 1 R. C. Ohlmann *et al.*, *Appl. Opt.*, **7**(5), 905(1968)
- 2 O. Deutschbein *et al.*, *Appl. Opt.*, **17**(14), 2228(1978)
- 3 W. E. Martin, *IEEE J. Quant. Electr.*, **QE-18**(7), 1155(1982)

氦-氖激光管失效物理分析

胡志强 李 熙 李 军 王喜民

(北京光电技术研究所 北京激光参量测试中心)

Physical analysis on failures of He-Ne lasers

Hu Zhiqiang, Li Xi, Li Jun, Wang Ximin

(Beijing Laser Parameter Testing Center, Beijing Institute of Opto-Electronic Technology, Beijing)

Abstract: Some data of the lifetime testing of He-Ne lasers at the national quality comparison and apprasement of He-Ne lasers products were shown, specific experimental analysis were performed, essential factors causing the failures of He-Ne laser products were found, and the main issues in the manufacture technology were pointed out.

Key words: He-Ne laser, failure

一、引 言

生产者和使用者优先关心氦-氖激光管的工作寿命及其失效因素。人们对失效因素作过大量的研究工作^[1~3]。

在国家科委主持的第二次全国氦-氖激光器产品质量评比过程中, 我们从 16 家工厂抽检的 80 支 250 mm 腔长内腔式氦-氖激光管中, 对 63 支管进行了 5000 小时的工作寿命试验(输出功率低于 1 mW 作为寿命终止), 其中 30 支工作寿命不足 5000 h, 占 47.6%。可见, 工作寿