

氙灯泵浦新型晶体 Nd:S-FAP 的激光特性*

王青圃 赵圣之 张行愚 王效杰

孙连科 张少军

(山东大学光学系, 济南 250100) (山东大学晶体材料研究所, 济南 250100)

摘 要 测量了新型晶体 Nd:S-FAP, $[\text{Nd}:\text{Sr}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}]$ 的非偏振光吸收光谱。它具有宽的有效吸收带, 在 575 nm 和 804.5 nm 处有二个强的吸收峰。采用微型氙灯泵浦实现了自由运转和染料片调 Q 运转。激光输出波长为 1.059 μm 。自由运转的阈值能量仅为 150 mJ, 斜效率为 1.25%; 调 Q 输出的峰值功率密度为 10 MW/cm²。测量了发射光谱及不同腔长、不同染料片小信号透射率情况下的输出能量、脉冲宽度等。

关键词 Nd:S-FAP 晶体, 氙灯泵浦, 自由和调 Q 运转。

1 引 言

用激光二极管(LD)阵列或氙灯泵浦掺钕晶体的中低能量(或功率)的微型激光器, 在许多应用中受到人们的关注。继 Nd:YVO₄^[1]、NYAB[Nd_xY_{1-x}Al₃(BO₃)₄]^[2]之后, 近年来用提位法研制成功的 Nd:S-VAP^[3]和 Nd:S-FAP^[4]晶体以其低阈值、高效率、物化性能稳定、易于生长等优点被认为是小型激光器的理想工作物质。Nd:S-FAP 是在基质材料 S-FAP 中掺 Nd³⁺ 的单轴晶体, 它具有宽的有效吸收带, 适于用氙灯作泵浦源。在 575 nm 和 804.5 nm 处有强的吸收峰, 对应两个大的吸收截面。激光上能级寿命的典型数据为 290 μs , 激光跃迁发射截面为 $5.4 \times 10^{-19} \text{cm}^2$ 。本文作者用 $\phi 4 \times 30 \text{mm}$ 的微型氙灯作泵浦源, 实现了发射波长为 1.059 μm 的激光器自由运转和染料片调 Q 运转。本文报道 Nd:S-FAP 激光器的运转特性和输出激光特性。

2 实验结果与讨论

2.1 实 验

实验采用的 Nd:S-FAP 晶体尺寸为 $\phi 4 \times 3 \text{mm}$, 通光的二端面与晶体的 c 轴平行。平行平面谐振腔的一端是对 1.064 μm 反射率为 99.6% 的高反射镜, 另一端是反射率可调的输出耦合镜。采用单椭圆聚光腔。用于调 Q 的 BDN 染料片放置在靠近高反射镜一端。NT-J₁ 型激光能量计用于测量输出激光能量。TEK-466 型存贮示波器用来检测脉冲的质量和宽度, 当脉冲较窄时, 对观测的结果解卷积, 以求得脉冲的真实宽度。输出激光经 KTP 晶体倍频, 其光谱

* 国家自然科学基金资助课题。

收稿日期: 1995 年 3 月 31 日; 收到修改稿日期: 1995 年 6 月 9 日

特性用 M1460 光学多道分析仪 (OMA-III R) 进行测量分析。

2.2 自由运转特性

吸收光谱表明, Nd:S-FAP 晶体具有宽的有效吸收带, 因此可以用氙灯作泵浦源。图 1 是腔长为 6 cm 不同输出耦合时, 输出激光能量随泵浦能量的变化关系。在所列的三种情况下, 随着输出耦合镜透过率 T 的增大激光阈值提高, 斜效率减小。具体数据如表 1 所示。其中透过率 $T = 15\%$ 对应的阈值为 150 mJ, 斜效率为 1.25%。需要提及的是, 实验中所用的氙灯长度远比晶体长度 (3 mm) 大得多, 因此只有一小部分泵浦能量被晶体吸收。如果氙灯和晶体长度实现合理匹配, 同时选用损耗小的谐振腔结构和反射率更高的全反镜, 斜效率一定会进一步提高。在 $T = 15\%$ 的情况下, 当增长谐振腔长度时, 阈值增高, 而斜效率降低, 这是因为腔长增长, 损耗亦增大的缘故。

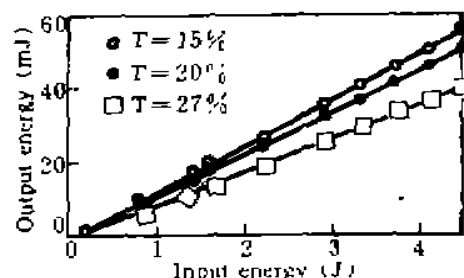


Fig. 1 The output energy versus pump energy for different transmission T

Table 1. Threshold energy and slope efficiency for different transmission T

T	threshold energy	slop efficiency
15%	150 mJ	1.25%
20%	185 mJ	1.1%
27%	210 mJ	0.9%

2.3 调 Q 运转特性

采用 BDN 染料片调 Q 运转时, 输出耦合镜的透过率保持 $T = 10\%$ 。图 2 给出了不同腔长、不同染料片小信号透过率情况单脉冲输出的能量。可以看到, 单脉冲能量随染料片小信号透过率 T_0 的减小而增大。而三种情况下, 单脉冲输出能量都随腔长的增加而略有减小。图 3 给出了脉冲宽度随染料片小信号透过率 T_0 和腔长的变化关系。其脉冲宽度随腔长的增长而增大, 随所用染料片小信号透过率 T_0 的减小而减小。在 $T_0 = 59.5\%$ 、 $L = 6$ cm 时, 单脉冲能量为 4 mJ, 脉冲宽度 3 ns, 相应的功率密度为 10 MW/cm²。脉宽如此窄的巨脉冲的形成, 与 Nd:S-FAP 具有大的受激发射截面是密切相关的。根据染料片调 Q 的最佳化理论^[5], 如果同时合理地选择染料片小信号透射率和输出镜的透过率, 可以获得最佳输出的脉冲能量、脉冲宽度和峰值功率。

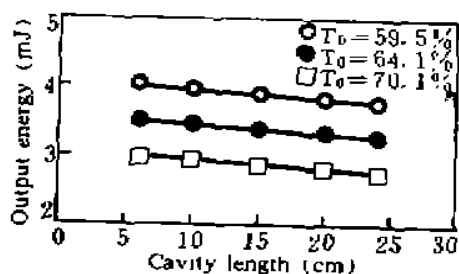


Fig. 2 The output energy versus cavity length for different small-signal transmission of the dye film

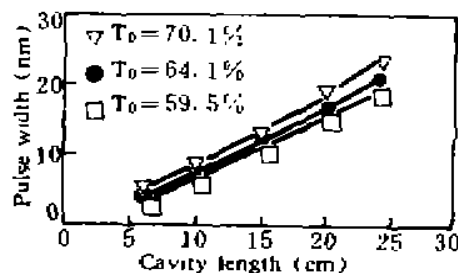


Fig. 3 The pulse width versus cavity length for different small-signal transmission of the dye film

2.4 激光特性

输出激光经 KTP 晶体倍频后获得绿光, 用 OMA-III R 测得绿光波长为 $0.529 \mu\text{m}$, 谱线的峰值半宽度为 1.0 nm , 因此相应的基波波长为 $1.059 \mu\text{m}$ 。

用焦距 $f = 350 \text{ mm}$ 的透镜对调 Q 激光进行聚焦, 所得光斑尺寸 $\phi 5.4 \text{ mm}$, 因此激光发散角 $\theta = \phi/f = 1.5 \text{ mrad}$ 。

用 LGP-4 格兰棱镜测量了激光的偏振特性, 结果表明, 输出激光为全偏振光。

结 论 Nd:S-FAP 晶体有宽的有效吸收带和二个强的吸收峰。用 $\phi 4 \times 30 \text{ mm}$ 的氙灯泵浦 $\phi 4 \times 3 \text{ mm}$ 的 Nd:S-FAP 晶体, 实现了波长为 $1.059 \mu\text{m}$ 的自由运转和调 Q 运转。阈值为 150 mJ , 斜效率为 1.25% , 并获得脉宽为 3 ns 、能量为 4 mJ 、全偏振光单脉冲输出。这种低阈值、高效率氙灯泵浦的微型激光器将会有广泛的应用前景。

参 考 文 献

- [1] R. A. Fields, M. Birnbaum, C. L. Eincher, Highly efficient Nd:YVO₄ diode-laser end-pumped laser. *Appl. Phys. Lett.*, 1987, **51**(23): 1885~1887
- [2] 王青圃, 赵圣之, 张行愚等, 氙灯泵浦的 NYAB 晶体调 Q 激光运转特性及实验研究. *光学学报*, 1992, **12**(11): 969~974
- [3] 王青圃, 赵圣之, 张行愚等, 染料激光泵浦 Nd:S-VAP 晶体激光特性研究. *光学学报*, 1995, **15**(10): 1302~1305
- [4] X. X. Zhang, P. Hong, G. B. Loatts *et al.*, Efficient laser performance of Nd³⁺:Sr₆(PO₄)₃F at 1.059 and $1.323 \mu\text{m}$. *Appl. Phys. Lett.*, 1994, **64**(24): 3205~3207
- [5] Xingyu Zhang, Shengzhi Zhao, Qingpu Wang, Optimization of dye Q-switched laser. *IEEE J. Quant. Electron.*, 1994, **30**(4): 905~908

Laser Characteristics of Xenon Flash Lamp Pumped Nd:S-FAP Crystal

Wang Qingpu Zhao Shengzhi Zhang Xingyu Wang Xiaojie

(Optics Department, Shandong University, Jinan 250100)

Sun Lianke Zhang Shaojun

(Institute of Crystal Materials, Shandong University, Jinan 250100)

(Received 31 March 1995; revised 9 June 1995)

Abstract The absorption spectrum of a new crystal Nd:S-FAP was measured and a broad effective absorption band and two strong absorption peaks at 575 nm and 804.5 nm were observed. By using a Xenon flash lamp pumping, laser operation has been demonstrated at $1.059 \mu\text{m}$ with threshold energy of only 150 mJ , slope efficiency of 1.25% and a peak power of 10 MW/cm^2 . The emission spectrum, output energy and pulse width were presented. The prospect of Nd:S-FAP crystal for low threshold and high efficiency miniature laser was discussed.

Key words Nd:S-FAP crystal, Xenon flash lamp pump, free-running and Q-Switching.

TN25

用紫外光直接在光纤内写入布拉格反射光栅的实验研究

杜卫冲 谭华耀* 刘颂豪

华南师范大学, 激光生命科学研究所以, 广州 510631
* 香港理工大学, 电机系

自 1989 年 Meltz^[1] 首次提出采用两束波长位于掺 Ge-石英光纤吸收带内的相干紫外激光干涉, 从侧面照射光纤纤芯, 写入一种永久的折射率周期分布的布拉格光栅(FBG)以来, 有关它的制备及其在光纤激光器, 光纤放大器, 光纤传感器等中的应用是一个十分活跃的课题^[2], 我国一些研究机构也开始着手展开相关的研究, 最近作者率先成功地用准分子激光直接在单模光纤内写入布拉格光栅, 反射率可达到 95%。本文则将简单报道一下有关折射率周期分布的布拉格光栅的制备和测试结果。

采用相位模板(Phase Mask(PM))复制法制作折射率周期分布的布拉格光栅的实验示意图如图 1 所示, 一束由 KrF 准分子激光器发出的紫外脉冲激光(波长为 248 nm, 脉宽为 20 ns, 脉冲频率为 50 Hz)垂直入射到一块长 10 mm, 光栅周期 $\Lambda = 1066$ nm 的相位模板上, 这块相位模板具有 0 级衍射受抑制($<5\%$)的特性, 因而透过相位模板, 准分子激光分成两束(± 1 级衍射), 相干形成一个空间周期为 $\Lambda/2$ 的光强分布场。这一分布场直接照射到了一根掺 B-Ge 的石英单模光纤上, 由于掺 Ge-光纤的光致折变效应^[2]使得纤芯折射率呈现相同的周期分布而形成布拉格反射光栅。一宽带光源和一光学光谱分析仪(OSA)用来测定所写入的布拉格光栅的透射或反射光谱如图 2 所示。相应的布拉格反射波长 λ_B 和该处的反射率 η 分别为^[3]

$$\lambda_B = n_{core} \Lambda, \quad \eta = \text{tg}^2(\pi n_1 L / \lambda_B)$$

式中 n_{core} 为导波模的有效折射率, L 为光栅长度, n_1 为光栅的调制深度, 实验发现布拉格光栅的调制深度 n_1 或反射率 η 随准分子激光照射的脉冲数(或照射时间)按指数函数方式增大至饱和值(最大值), 然后又逐渐减小。为了增加光纤的光致折变灵敏度, 以提高所写光栅的反射率, 实验前先对光纤进行 $H_2(120 \text{ Bar})$ 掺入处理 10 天^[4]。图 2(a)给出的是一经高压 H_2 处

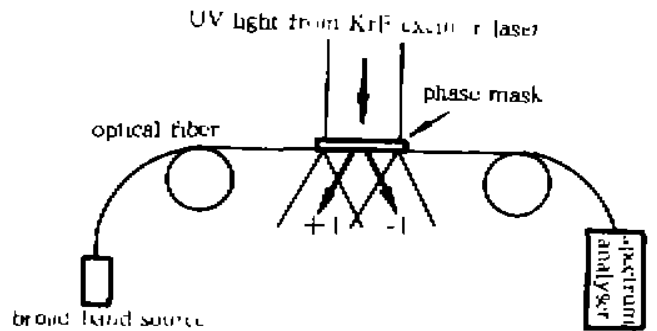


Fig. 1 Experimental setup for direct writing FBG by excimer laser using phase mask copy method

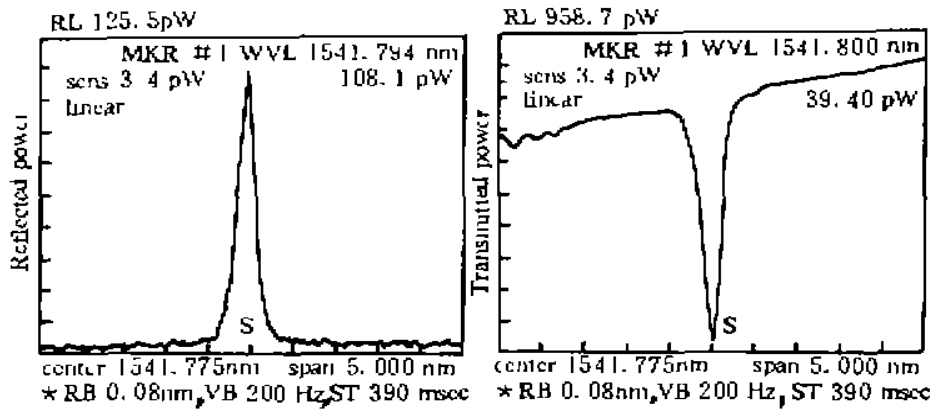


Fig. 2 (a) Reflection and (b) transmission spectra of a FBG written in a B-Ge codoped single-mode silica fiber with writing pulse intensity of 500 mW/cm^2 and pulse number of 7000

理的掺 B-Ge 光纤内写入达到饱和状态时布拉格光栅的反射光谱,所用的写入光脉冲强度为 500 mJ cm^{-2} , 写入脉冲数目为 7000, 由反射峰的位置得写入的折射率周期分布的布拉格光栅的 $\lambda_B = 1541.80 \text{ nm}$, 带宽约为 0.2 nm 。图 2(b) 则对应的是该折射率周期分布的布拉格光栅的透射光谱, 由布拉格反射波长处的透射率估算出该折射率周期分布的布拉格光栅的反射率约为 95%, 再由(2)式得相应的光栅调制深度约为 3.79×10^{-5} 。根据有关应用的要求, 写入光栅时可通过对光纤施加一变量或变化光纤的温度及其变化写入出光的脉冲数目来变化光纤光栅 Bragg 波长和反射率的大小。

参 考 文 献

- [1] G. Mitz, W. Morey, W. H. Glenn, Formation of Bragg gratings in optical fibers by a transverse holographic method. *Opt. Lett.*, 1989, 14: 823~826
- [2] P. S. J. Russell, J. Archambault, L. Reekie, Fiber gratings. *Phys. World*, 1993, (10): 41~46
- [3] W. W. Morey, G. Meltz, J. D. Love *et al.*, Mode-coupling characteristics of UV-written Bragg gratings in depressed-cladding fiber. *Electron. Lett.*, 1994, 30(9): 730~732
- [4] P. L. L., Lemaire, R. M. Atkins, V. Mizrahi *et al.*, High pressure H_2 loading as a technique for achieving ultrahigh UV photosensitivity and thermal sensitivity in GeO_2 doped optical fibers. *Electron. Lett.*, 1993, 29(13): 1191~1192

Direct Writing of Bragg Reflecting Gratings in Optical Fibers by Ultraviolet Light

Du Weichong H. Y. Tam* Liu Songhao

(Laser & Life Science Institute, South China Normal University, Guangzhou 510631)

(* Department of Electrical Engineering, Hongkong Polytechnic University)

(Received 5 January 1996; revised 18 March 1996)

Abstract Direct writing of fiber Bragg gratings (FBG) by an excimer laser using phase mask copy method is reported. FBGs written in B-Ge co-doped single mode silica fibers with Bragg wavelength of 1541.80 nm , bandpass of 0.2 nm and central reflectivity of 95% have been observed.

Key words fiber Bragg grating.