

Nd·S-FAP 晶体 1.328 μm 激光特性研究*

孙连科¹ 王青圃² 赵圣之² 张行愚² 张少军¹ 刘训民¹

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

摘 要 用染料激光和氙灯泵浦实现了 Nd·S-FAP 晶体低阈值、高效率的 1.328 μm 激光运转。在透过率 7% 的平-平腔情况下, 染料激光泵浦斜效率为 38%, 阈值 4.5 mJ, 倍频红光波长为 0.664 μm , 线宽 1.3 nm; 采用氙灯泵浦($\phi 4 \times 30$ mm), 实现了 1.328 μm 自由运转, 阈值为 240 mJ, 斜效率为 0.85%。测量了不同腔长, 不同透过率情况的输出能量、光束发散角和偏振特性等。
关键词 Nd·S-FAP 晶体, 1.328 μm 激光特性, 染料激光和氙灯泵浦。

1 引 言

随着通信技术的迅速发展, 寻找对光纤传输有最佳波长的通讯光源受到人们的普遍关注。其中 1.3 μm 的激光被认为是远距离光纤通信的最佳波长之一, 另外用这种波长的激光进行测距对人眼较为安全。近几年用提拉法研制成功的 Nd·S-FAP, $[\text{Nd} \cdot \text{Sr}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}]^{[1, 2]}$, 室温的偏振发射谱具有中心波长 1.328 μm 和 1.059 μm 的两条强的光谱线, 分别对应于 Nd^{3+} 离子的 $4F_{3/2} \rightarrow 4F_{13/2}$ 和 $4F_{3/2} \rightarrow 4F_{11/2}$ 的两种能级跃迁。两种跃迁的分支比, 即 1.328 μm 和 1.059 μm 峰值强度之比为 0.37; 而 Nd·YVO₄ 仅为 0.24。另外 Nd·S-FAP 具有阈值低、效率高、物化性能稳定、易于生长等优点, 因此被认为是 1.328 μm 激光最理想的工作物质之一。Nd·S-FAP 晶体具有宽的有效吸收带, 适用于氙灯作泵浦源; 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 ; 对应 1.328 μm 激光的跃迁发射截面为 $2.3 \times 10^{-19} \text{cm}^2$ 。本文用染料激光和 $\phi 4 \times 30$ mm 的微型氙灯作泵浦源实现了波长为 1.328 μm 激光运转。文中报道 Nd·S-FAP 激光器运转特性和激光输出特性。

2 试验结果与讨论

2.1 试验装置

试验采用的 Nd·S-FAP 晶体尺寸为 3 mm \times 3 mm \times 3 mm, 通光的二个端面与晶体 c 轴平行; 平面平行谐振腔, 腔长 5~7 cm。谐振腔一端是对 1.328 μm 的全反镜, 反射率为 99.95%, 另一端是反射率可调的输出耦合镜; Quata-Ray DCR-3 可调谐染料激光器(570 nm

* 国家自然科学基金资助和国家教委博士点基金资助的课题。

收稿日期: 1996年7月8日

~ 600 nm, 脉冲宽度 10 ns) 作泵浦源, 染料激光经二垂直放置的柱面透镜聚焦在 Nd·S-FAP 上, 焦点约在晶体的后表面处, 这样实现横向泵浦。输出能量和脉冲宽度分别用 NJ-J1 型能量计和 TEK466 存储示波器进行测量, 由于脉冲宽度很窄, 经解卷积后求得真实的脉冲宽度。输出激光经 KTP 晶体(II 类相位匹配, $\theta = 60^\circ, \varphi = 0^\circ$) 获得红光, 倍频光特性用 M1460 光学多道分析仪(OMA-IIIR) 进行分析。

另外, 用 $\phi 4 \times 30$ mm 的微型掺铈氙灯作泵浦源, 掺铈氙灯可以滤掉紫外线, 避免色心效应。采用单椭圆镀银聚光腔, 谐振腔结构与染料激光泵浦情况相似, 并可进行调整。

2.2 光谱特性

与 Nd·YAG 等材料相比, Nd^{3+} 在基质材料 S-FAP 中的吸收光谱同样有宽的有效吸收带, 因此可以用氙灯作泵浦源。吸收光谱在 575 nm 和 804.5 nm 附近有强的吸收峰, 对应二个大的吸收截面, 后者的半宽度(FWHM) 约为 1.2 nm, 中心波长恰与发射波长在 800.0 nm 附近的激光二极管相匹配, 因此 Nd·S-FAP 更适合用激光二极管作泵浦源, 以实现中、低功率或能量激光器的小型化。图 1 给出了染料激光泵浦时输出激光经 KTP 晶体倍频(II 类相位匹配, $\theta = 60^\circ, \varphi = 0^\circ$), 用 OMA-IIIR 测得的发射谱, 中心波长为 664 nm, 峰值半宽度(FWHM) 为 1.3 nm。相应的基波波长为 1.328 μm。

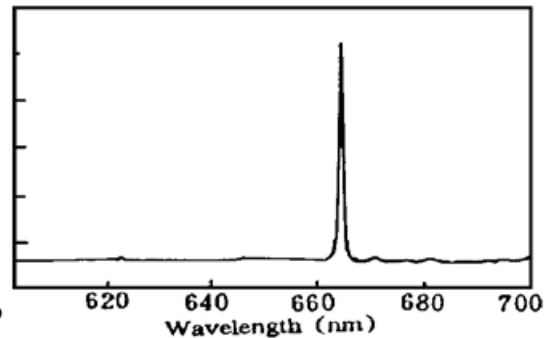


Fig. 1 The emission spectrum of the output frequency-doubling laser

1.328 μm 激光用 LGP-4 型格兰泰勒偏光镜测得输出激光为 π 偏振光, 这是由 S-FAP 晶体偏振发射光特性决定的。偏振度 > 99%。

2.3 染料激光泵浦运转特性

当输出耦合镜透过率为 2% 和 7% 时都得稳定的激光输出, 输出脉冲波形类似调 Q 脉冲, 脉冲宽度为 4 ns。图 2 给出了输出脉冲能量与泵浦能量的关系。当透射率为 2% 和 7% 时, 阈值分别为 3.0 mJ 和 4.5 mJ; 斜率效率分别为 27% 和 38%。两种情况腔长皆为 6 cm。应该指出, 由于聚焦用的柱面透镜调整精度限制, 使得泵浦光没能完全被 Nd·S-FAP 晶体吸收; Nd·S-FAP 晶体具有偏振吸收特性, 对 π 偏振吸收系数远比 σ 偏振吸收系数大, 而泵浦光是非偏振的; 所用的平-平腔具有较大的衍射损耗; 另外输出耦合也不一定最佳, 在这种情况下实现了低阈值、高效率的激光运转, 说明 Nd·S-FAP 对 1.328 μm 激光是一种被动损耗小、阈值低、效率高的激光晶体。

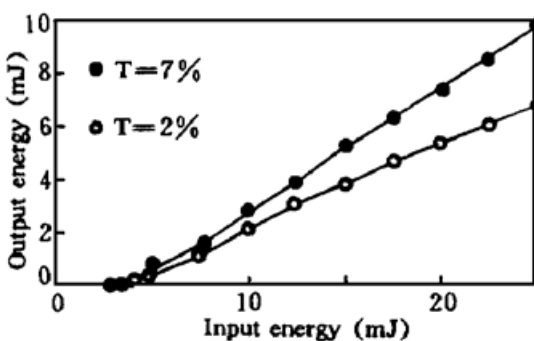


Fig. 2 The output emery versus pump energy for different transmission T

耗小、阈值低、效率高的激光晶体。

2.4 氙灯泵浦激光运转特性

氙灯泵浦的自由运转情况其结果如图 3、4 所示。图 3 是腔长 6 cm、输出耦合镜不同时, 激光能量随泵浦能量的变化关系。在 $T = 7\%$ 时, 阈值为 240 mJ, 斜效率为 0.85%; 在 $T = 2\%$ 时, 阈值降低到 180 mJ, 而斜效率为 0.65%。氙灯泵浦情况影响斜效率的原因除晶体的偏振吸收特性之外, 主要是因为氙灯长度远比晶体长得多, 如果实现氙灯和晶体长度的匹

配, 选择最佳耦合输出, 那么阈值会进一步降低, 效率也会进一步提高。

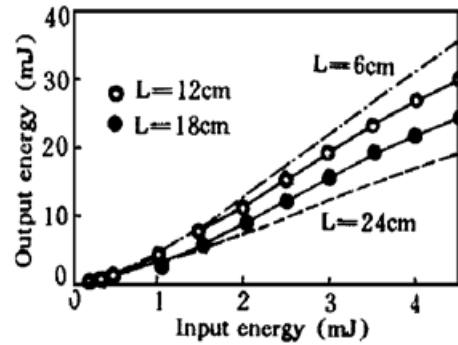
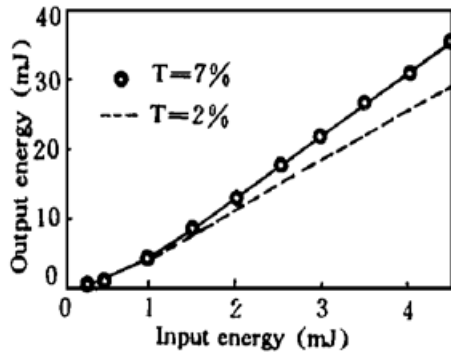


Fig. 3 The output energy versus pump energy for different transmission T

Fig. 4 The output energy versus pump energy for different cavity length

图 4 是透射率 $T = 7\%$ 时, 不同腔长输出能量随泵浦能量的变化关系。随着腔长增大, 阈值亦随之增大, 斜效率随之减小, 这是因为腔长增大衍射损耗亦增大的原因。

用焦距为 $f = 350 \text{ cm}$ 透镜, 在远场聚焦激光光斑来测量发散角, 当腔长为 6 cm , 氙灯泵浦, 测得光斑尺寸为 0.57 mm , 由此可得发散角为 1.7 mrad 。

结 论 用染料激光和氙灯泵浦成功地实现了 $\text{Nd} \cdot \text{S-FAP}$ 晶体激光运转, 及倍频红光输出。实验结果表明, $\text{Nd} \cdot \text{S-FAP}$ 是一种实现 $1.328 \mu\text{m}$ 激光的低阈值、高效率、偏振输出、发散角小的优质晶体。在 804.5 nm 处有强的吸收峰与激光二极管室温发射波长相匹配, 适合用激光二极管泵浦。无疑 $\text{Nd} \cdot \text{S-FAP}$ 晶体将在 $1.328 \mu\text{m}$ 的中、低功率和能量激光器中应用。

参 考 文 献

- [1] X. X. Zhang, P. Hong, G. B. Loutts *et al.*, Efficient laser performance of $\text{Nd} \cdot \text{Sr}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$ at 1.059 and $1.328 \mu\text{m}$. *Appl. Phys. Lett.*, 1994, **64**(24): 3205~ 3207
- [2] 王青圃, 赵圣之, 张行愚等, 氙灯泵浦新型晶体 $\text{Nd} \cdot \text{S-FAP}$ 的激光特性. *光学学报*, 1996, **16**(5): 700 ~ 702

Laser Characteristics of $\text{Nd} \cdot \text{S-FAP}$ Crystal at $1.328 \mu\text{m}$

Sun Lianke¹ Wang Qingpu² Zhao Shengzhi² Zhang Xingyu²
Zhang Shaojun¹ Liu Xunmin¹

[1, Institute of Crystal Materials, Shandong University, Jinan 250100]
[2, Optics Department, Shandong University, Jinan 250100]

(Received 6 July 1996)

Abstract The performance of low-threshold and high-efficiency $\text{Nd} \cdot \text{S-FAP}$ laser at $1.328 \mu\text{m}$ has been realized by using xenon flash lamp and tunable dye-laser ($570 \text{ nm} \sim 600 \text{ nm}$) pump respectively. The centre wavelength of frequency-doubling laser is 664 nm and the linewidth is 1.3 nm . When the transmission of output reflector is 7% , for xenon flash lamp pump the threshold energy is 240 mJ and the slope efficiency is 0.85% , while for tunable dye-laser pump, the threshold energy is 4.5 mJ and the slope efficiency is 38% . The laser characteristics, such as the emission spectrum, the polarization, the divergence angle and the output energy in different cavity length were given.

Key words $\text{Nd} \cdot \text{S-FAP}$ crystal, $1.328 \mu\text{m}$ laser characteristics, dye-laser and xenon flash lamp pump.