

⑬ 71-73

# 双波长可调谐脉冲钛宝石激光器的实验研究<sup>\*</sup>

## The Research of Dual Wavelength Tunable $\text{Ti}^{3+}$ Sapphire Pulsed Laser

陈 安  
Chen An

TN248.1

(重庆大学应用物理系, 重庆, 630044)

**摘 要** 根据多波长同时振荡条件、双折射滤光片透过率与波长的函数关系, 得到了 761.1~795.4 nm, 783.4~820.0 nm, 波长平均间隔为 36.4 nm, 调谐范围为 24.6 nm 的双波长脉冲钛宝石激光输出。

**关键词** 可调激光器 / 双波长; 钛宝石激光器

**中国图书资料分类法分类号** TN248.1

**ABSTRACT** Upon the basis of oscillation condition of simultaneous multiple wavelength lasing and the relation of function between the transmittivity of birefringent filter and its wavelength, the dual wavelength, tunable  $\text{Ti}^{3+}$  sapphire pulsed laser has been produced which is of a dual wavelength with 761.1 nm~795.4 nm and 783.4 nm~820.0 nm dual wavelength. The average interval of this dual wavelength is 36.4 nm. The tunable range is 24.6 nm.

**KEYWORDS** tunable laser / dual wavelength;  $\text{Ti}^{3+}$  sapphire

## 0 引 言

双波长激光器近年来成为国际上较为热门的研究课题。它广泛用于差分吸收激光雷达, 激光精密定位, 光学数据存储, 精确激光光谱, 多光子分子分离, 干涉彩虹全息, 非线性频率转换, 激光医学等领域。文献[1]综合报导了 Nd:YAG、Nd:YAP、Nd:YLF、Er+Nd:YAG、Ho+Na:YAG、Er:YAP 等类晶体的双波长激光器, 其波长由 1.06  $\mu\text{m}$  到 2.79  $\mu\text{m}$  红外波段。钛宝石( $\text{Ti}^{3+}:\text{Al}_2\text{O}_3$  或  $\text{Ti}^{3+}$  sapphire)激光器的双波长可在 0.7 到 1.0  $\mu\text{m}$  范围输出, 且波长可调节, 这扩展了双波长输出波段及用途。

如图1所见, 钛宝石晶体中, 由于3价钛离子受晶格场作用及与晶格声子的耦合作用(Jahn-Teller 效应), 能级为间隔极小的近似连续分布, 使其荧光跃迁谱线成为一条 700~1000 nm 的宽带, 这就为在此波长范围内双波长调谐输出提供了材料基础<sup>[2,3]</sup>。钛宝石为四级系统<sup>[4]</sup>, 文献[5]提出的多波长同时振荡条件在钛宝石双波长脉冲激光器的研究中也应适用。当存在两条谱线跃迁, 而这两种跃迁有共同的上能级(以 Nd:YAG 倍频的 0.532  $\mu\text{m}$  绿光

\* 收文日期 1994-06-09

泵浦时更是如此)和不同的下能级,两条谱线同时实现激光运转的振荡阈值条件为:

$$\ln(1/\gamma) = 2L[(\sigma/\sigma_i)\alpha_i - \alpha] + (\sigma/\sigma_i)\ln(1/\gamma_i) \quad (1)$$

式中  $\sigma, \alpha, \gamma$  对应于有较大跃迁截面谱线的受激跃迁截面,单程损耗和输出镜反射率,  $\sigma_i, \alpha_i, \gamma_i$  则为对应的另一跃迁参数。此式的条件是激光谐振腔的全反射率为 100%, 晶体对二个辐射的损耗及荧光量子效率相同, 式中  $L$  是钛宝石棒长。如输出镜对不同跃迁的反射率相近  $\gamma = \gamma_i$ , 对于钛宝石不同波长下的跃迁截面是一定的。因此, 只要单程损耗合适, 则方程(1) 可满足, 这就是用单片双折射滤光片(下简称 BF) 得到钛宝石双波长输出的依据。

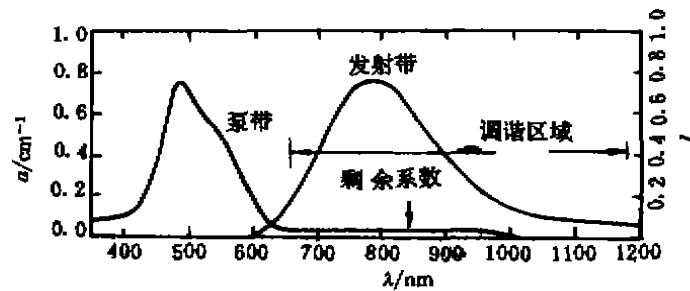


图 1 钛宝石的吸收系数  $\alpha$  及荧光光谱与波长的关系

当一束线偏振光通过厚度为  $d$  的 BF 时, 振动分解为相互垂直的 o 光和 e 光。其位相差为

$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda}(n_o - n_e)d \quad (2)$$

如果出射光经过一个偏振方向与入射平面平行的偏振片, 两束偏振光产生干涉。当 BF 的光轴平行于表面时, 其单程透射率为\*

$$T = I/I_0 = 1 - 4\text{ctg}^2\gamma\text{tg}^2\alpha(1 - \text{ctg}^2\alpha\text{tg}^2\alpha)\sin^2\frac{\delta}{2} \quad (3)$$

式中  $\gamma$  为折射光波矢量与 BF 轴间的夹角,  $\alpha$  为偏振光的入射角。当  $\delta = 2k\pi$  时, 干涉加强, 透射率为  $T = 1$ , 出现透射峰值, 对应透射波长的单程损耗最小。当 BF 绕其法线方向转动时, 调谐角  $\alpha$  改变, 有关系  $\cos\alpha = \cos\gamma / \cos\alpha$ , 通过改变  $\gamma$  使相位差  $\delta$  改变, 从而使峰值透射波长改变, 达到调谐波长的目的。

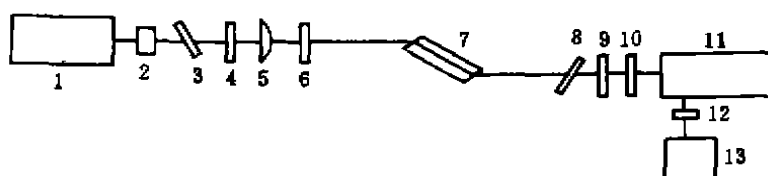
同时由式(2) 及干涉加强条件可知位相差是波长的周期函数, 即  $\delta = \delta(\lambda)$  则透射率  $T$  也是波长的周期函数:  $T = T(\lambda)$ 。只要在钛宝石的荧光谱线内, 对不同  $\sigma, \sigma_i$ , 有相应的  $T, T_i$ , 使  $\sigma, \alpha_i$  的值满足方程(1), 则能实现钛宝石的双波长可调谐输出。BF 既是调谐元件, 也是调损元件。应指出双波长输出的波长间隔, 调谐范围, 波长带宽是由 BF 的厚度  $d$  所确定的。

为减小 BF 插入损耗, 钛宝石的荧光是以布氏角入射 BF 的, 加之增益介质的布氏角作用、泵浦绿光为线偏振光, 上述的起偏器、检偏器实际不加入。

实验装置如图 2。

图中 1 为调 Q Nd:YAG 激光器; 2 为 KTP 倍频晶体; 3 为  $1.06 \mu\text{m}$  高反镜, 分离剩余基频光; 4 为对  $0.532 \mu\text{m}$  的  $1/2$  波片, 用以旋转泵浦光偏振面与钛宝石光轴平行; 5 为聚焦透镜, 提高泵浦光功率密度; 6 为钛宝石激光全反腔镜; 7 为钛宝石; 8 为 BF; 9 为钛宝石激光输出腔镜; 10 为衰减片; 11 为单色仪; 12 为硅光电池; 13 为 XY 函数记录仪。

\* 王兴龙. 天津大学博士论文, 1992, 2. p49

图2 双波长可调谐  $\text{Ti}^{3+}:\text{Al}_2\text{O}_3$  脉冲激光器实验装置

钛宝石尺寸为  $6\text{ mm} \times 4\text{ mm} \times 18\text{ mm}$ , 端面为布儒斯特角, 钛宝石激光器的腔片波长范围为  $730 \sim 870\text{ nm}$  输出镜的反射率为  $50\%$ , 采用的是平—平腔, 插入的 BF 石英晶片  $d$  为  $1.0\text{ mm}$ , 泵浦绿光能量为  $46.0\text{ mJ}$ , 输出钛光(双波长总计)  $10.2\text{ mJ}$ , 光—光转换效率为  $22\%$ , 脉宽为  $16\text{ ns}$ , 得到的双波长可调谐输出如图3。其结果是将输出激光脉冲经衰减后进入单色仪, 在出射狭缝处用硅光电池接收, 信号输入 XY 函数记录仪。实验时使单色仪的波长扫描与记录仪的 X 方向运动同步, 便得到准确的相对光强—波长记录。

BF 夹具由千分尺调整调谐角, 当千分尺的位置为  $9.00\text{ mm}$  (图3(a)) 时, 主峰位于  $783.4\text{ nm}$ , 另一小峰位于  $820.0\text{ nm}$ 。转动 BF, 主峰逐渐降低, 小峰增高。在千分尺读数为  $11.00\text{ mm}$  时(图3(c)) 双峰等高, 其波长为  $772.0\text{ nm}$ ,  $810.9\text{ nm}$ , 平均值为  $791.5\text{ nm}$ , 接近增益曲线峰值, 于其附近对称分布。继续转动 BF, 双峰强度反向变化。在变化中双峰宽度稍有变化, 短波峰平均线宽为  $8.6\text{ nm}$ , 长波峰平均线宽为  $9.4\text{ nm}$ , 双峰间距也稍有变化, 平均为  $36.4\text{ nm}$ 。BF 的调节受机械结构限制, 调谐范围为  $24.6\text{ nm}$ , 如无限制, 最大调谐范围应与双峰间隔相等即  $36.4\text{ nm}$ 。钛宝石激光器腔片波长范围进一步扩展, 或使用不同波长范围的腔片组, 调谐范围可进一步扩展。由双波长同时振荡阈值条件可知, 当腔镜反射率相同时, 双波长钛激光输出强度除受钛宝石增益曲线线型影响之外, 还受 BF 透射率的影响。从实验结果可以看出, 双波长输出强度不与增益曲线严格吻合, 这与 BF 的透射率周期性调制有关。

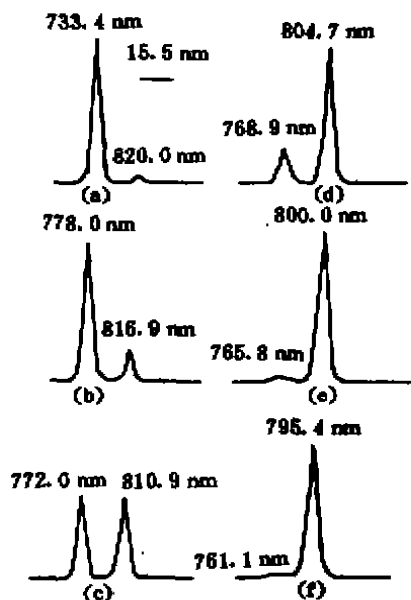


图3 BF 双波长调谐输出

### 参 考 文 献

- 1 沈鸿元. 双波长晶体激光器. 中国激光. 1994, 21(5): 334~335
- 2 Gacher B F, Koningstein J A. Zero phonon transitions and interacting Jahn-Teller phonon energies from the fluorescence spectrum of  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3:\text{Ti}^{3+}$ . J chem phys. 1974, 60(5): 2003~2006
- 3 Moulton P F.  $\text{Ti}^{3+}$ -doped sapphire: Tunable solid-state lasers. Opt News. 1982, 8(6): 9
- 4 Byvik C E, Buoncrisiani A M. Analysis of vibronic transitions in  $\text{Ti}^{3+}$ -doped sapphire using the temperature of the fluorescence spectra. IEEE J. Quantum Electron. 1985, QE-21(10): 1619~1623
- 5 林文雄, 沈鸿元. 双波长 Nd:YAG 脉冲激光器的实验研究. 中国激光. 1994, 21(2): p89