

钛宝石环形激光器的实验研究

孙晓泉 谢建平 张运生* 耿玉珍* 王峻梅**

(中国科学技术大学物理系, *成份结构分析中心, 合肥 230026)

提要 在连续钛宝石环形激光腔中,无光学单向器时存在相向传播的两束光波,有两个对应的输出光束。用平面镜反馈回其中一束,可实现环形腔的行波激光运转。本文给出了该结构钛宝石激光器的输入-输出关系、双向波功率比随泵浦功率和输出耦合率的变化、外腔棱镜调谐特性,以及腔内插入标准具进行线宽压窄的实验结果。

关键词 钛宝石激光器, 环形腔

1 引言

由于消除了驻波激光器的空间烧孔效应,行波运转的环形激光器具有线宽易于压窄、输出功率大和稳定性高等优点。实现环形腔的行波(TW)运转主要有两种方法:一种是在对称腔中插入不可逆光学元件,如光学单向器,使相向传播的光束之一具有较高的损耗^[1],从而抑制该方向的激光振荡;另一种是使用非对称结构的腔型,从而使相向传播的光束具有不同的增益^[2,3],这样具有较高增益的方向将优先起振,通过模式竞争抑制反方向的激光振荡。

本文主要描述环形腔连续钛宝石激光器通过外腔反馈实现行波运转的实验结果,包括输入-输出关系、正反向波功率比变化、外腔棱镜调谐特性和内插标准具以压窄谱线宽度等。

2 实验装置和实验结果

实验装置如图1所示。钛宝石棒($\phi 4 \times 11.5$ mm)端面布儒斯特角切割,光轴位于水平面内并与棒轴垂直。泵浦光为水平偏振的全线 Ar⁺ 激光,它由 $f = 120$ mm 的透镜会聚后经腔镜 M_1 进入钛宝石棒。腔镜 M_1 对 Ar⁺ 激光的透过率约为 85%。进入钛宝石晶体的泵浦光约 75% 被吸收。钛宝石棒由铜质水冷器通水冷却。

环形腔由凹面腔镜 M_1, M_2 ($R = 150$ mm) 和平面腔镜 M_3, M_4 构成。 M_1, M_2 取折叠角 10° 以补偿钛宝石棒引起的像散^[4]。腔镜 $M_1 \sim M_3$ 为全反镜, M_4 为输出耦合镜。环形腔外的平面全反镜 M_5 将反向波的输出光束反射回环形腔内。 M_5 的反馈作用使整个腔构成不对称腔,从而实现行波运转。环形腔内近布儒斯特角插入的 K_9 玻璃片用以测量正反向波功率比 I_1/I_2 。

** 参考本工作的还有吴云霞、刘宇、明海等同志。

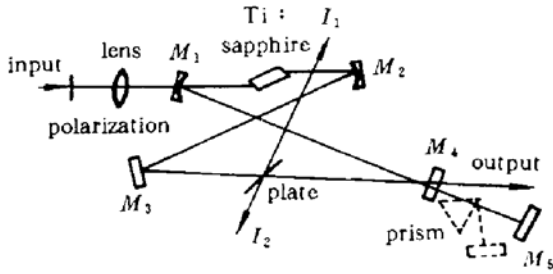


Fig. 1 Schematic diagram of a CW Ti : sapphire ring laser

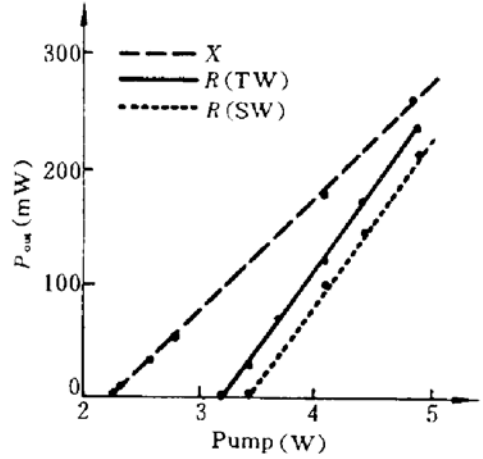


Fig. 2 Laser output-power versus pump power at different cavity conditions. The solid line and the dotted line represent ring cavities with and without feedback and the line of dashes (x) indicates a x-type standing-wave cavity

图 2 为环形腔有反馈(TW)、无反馈(SW)及 X 型驻波腔 (M_1, M_2 位置不变, M_3, M_4 调整到正反射) 的输入-输出关系实验曲线。输出波长约 830 nm, 输出耦合率为 $T = 4.0\%$ 。其中, 环形腔 SW 运转的输出功率指两方面输出功率总和。由图 2 可见, X 型驻波腔有最低的阈值, 但斜率效率也较低。在环形腔中, TW 运转的阈值略低于 SW 运转的阈值, 而两者的斜率效率大致相同。

实验表明, TW 运转环形腔正反向波功率比 I_1/I_2 随泵浦功率增加而增大。当 $T = 4.0\%$ 时, 阈值 $P_{th} = 3.2 \text{ W}$ 。泵浦功率 P , 为 3.7 W 时, $I_1/I_2 = 117$; $P = 4.1 \text{ W}$ 时, $I_1/I_2 = 150$; $P = 4.9 \text{ W}$ 时, I_1/I_2 增至 280。进一步实验表明, TW 运转的 I_1/I_2 值还与输出耦合率有关。同样在 1.2 倍于阈值的泵浦水平下, $T = 1.4\%$ 时, $I_1/I_2 = 36$; $T = 4.0\%$ 时, $I_1/I_2 = 140$; 而当 $T = 9.5\%$ 时, $I_1/I_2 = 340$ 。 I_1/I_2 随 T 增大的实验结果与准连续钛宝石激光器情况一致^[5]。

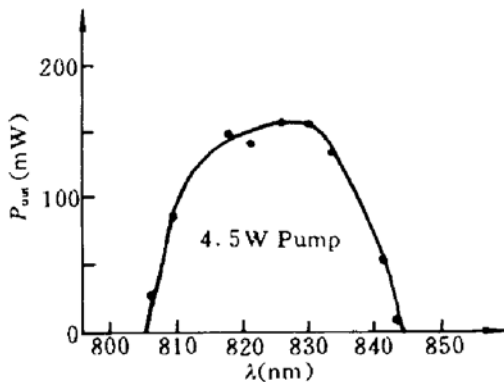


Fig. 3 Experimentally obtained tuning curve showing laser output power versus wavelength

将按布儒斯特角设计的 ZF_4 玻璃棱镜置于外腔中, 如图 1 虚线所示, 偏转 M_5 可实现 TW 环形腔输出的调谐。 $T = 4.0\%$ 的调谐实验曲线如图 3 所示。在调谐范围边缘处进一步偏转 M_5 , 环形腔回到 SW 运转状态, 输出波长跳回到 830 nm 附近。

我们对 $T = 4.0\%$ 时环形腔 SW 运转、TW 运转和外腔插入两个 ZF_4 棱镜的 TW 运转三种状态的输出激光光谱进行了测试, 结果如图 4 所示。在本实验中, TW 运转的谱线较 SW 运转的谱线宽, 这一结果与染料薄膜反馈环形腔激光器情况相似^[6]。而当腔内 M_1, M_4 之间插入两个标准具时(自由光谱区分别为 0.65 nm 和 0.53 nm), 用 HRD1 Monochromator 型双光栅单色仪测得 TW 和 SW 运转时输出谱线半高宽分别为 0.015 nm 和 0.045 nm, 如图 5 所示, 仪器分辨率优

于 0.01 nm。所有光谱均在 1.4 倍阈值的泵浦功率下测得。

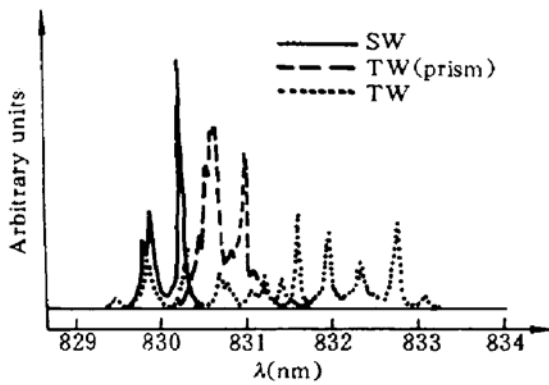


Fig. 4 Output spectrum of the ring Ti : Sapphire laser at different cavity conditions. SW and TW represent ring cavities without and with feedback respectively

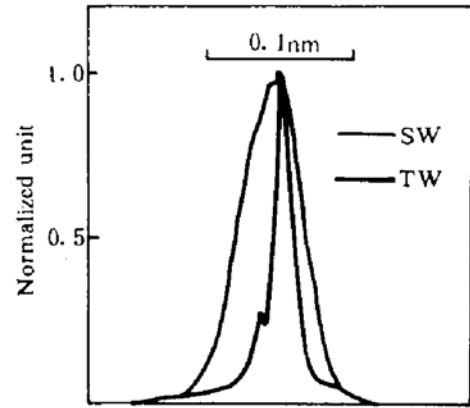


Fig. 5 The laser output spectrum narrowed by etalons

3 讨 论

不考虑空间烧孔效应, X 型驻波腔的阈值 P_{th}^x 和斜率效率 η^x 可分别表示为^[7,8]

$$P_{th}^x = A \frac{T + 2\alpha_c L + \rho}{2} \quad (1)$$

$$\eta^x = B \frac{T}{T + 2\alpha_c L + \rho} \quad (2)$$

其中 A, B 是与晶体及腔参数有关的常数, α_c 为钛宝石晶体的损耗系数, L 为晶体长度, ρ 为腔内其他损耗, T 为输出耦合率。对环形腔同样可有

$$P_{th}^r = A(T + \alpha_c L + \rho') \quad (3)$$

$$\eta^r = B \frac{T}{T + \alpha_c L + \rho'} \quad (4)$$

ρ' 为环形腔内行走一周的损耗。对比以上各式可见, 由于有 $\rho/2 < \rho' < \rho$; 所以 $P_{th}^x < P_{th}^r$, $\eta^x < \eta^r$ 。因此 X 型驻波腔运转具有较小阈值和较低斜率效率。在环形腔中若考虑到实际存在的空间烧孔效应, 会造成驻波运转的阈值较行波高而斜率效率略低。

在外腔中插入棱镜, 某一波长的反馈会使该波长的正向波具有相对高的增益, 从而在模式竞争中占优势, 便实现了调谐。当反馈波长远离中心波长 830 nm 时, 其所增加的增益不能使该正向波占优势, 系统便回到了双向输出的驻波运转状态。

至于内腔无标准具时, TW 运转的谱线宽度较 SW 运转更宽的机理有待进一步研究。但内腔插入标准具时, TW 运转确实较易获得窄线宽的输出, 这一结果与理论预计一致。

参 考 文 献

- 1 A. R. Clobes, M. J. Brienza. Single-frequency traveling-wave Nd : YAG laser. *Appl. Phys. Lett.*, 1972, 21 : 265
- 2 方洪烈 著. 光学谐振腔理论. 北京: 科学出版社, 1981. 399
- 3 W. W. Rigrod, T. J. Bridges. Bistable Traveling-wave Oscillations of ion ring laser. *IEEE J. Quant. Electr.*, 1965, QE-1 : 298
- 4 H. W. Kogelnik, E. P. Ippen, A. Dienes *et al.*. Astigmaticly compensated cavities for CW dye lasers. *IEEE J.*

Quant. Electr., 1972, QE-8 : 373

- 5 M. R. H. Knowles, C. E. Webb. Cavity configurations for copper vapour laser pumped titanium sapphire lasers. *Opt. Commun.*, 1992, 89 : 493
- 6 R. Ulrich, H. P. Weber. Unidirectional thin-film ring laser. *Appl. Phys. Lett.*, 1972, 20 : 38
- 7 P. F. Moulton. An Investigation of the Co : MgF₂ laser system. *IEEE J. Quant. Electr.*, 1985, QE-21 : 1582
- 8 A. Sanchez, A. J. Strauss, R. L. Aggarwal *et al.*. Crystal growth, spectroscopy, and characteristics of Ti : Al₂O₃. *IEEE J. Quant. Electr.*, 1988, QE-24 : 995

Experimental Research of a Ti : Sapphire Ring Laser

Sun Xiaoquan Xie Jianping Zhang Yunsheng* Geng Yuzhen* Wang Junmei

(*Department of Physics, * Structure Center, University of Science and Technology of China, Hefei 230026*)

Abstract For a CW Ti : sapphire ring laser without optical diode, there are two output beams corresponding to two oppositely traveling waves in the cavity. Unidirectional operation is obtained when one of the output beams is reflected back into the cavity. In this paper, the experimental results of an unidirectional operation laser, including input-output curve, the power ratio of the two oppositely traveling waves under different coupler transmittances and pump levels, the tuning characteristics with a prism in the external cavity, and the narrowing of the output spectrum with etalons, are given.

Key words Ti : Sapphire laser, ring resonator