

自泵浦位相共轭镜耦合到环形染料激光器的特性

廖江红

(中国科学院长春光机所应用光学国家重点实验室, 长春 130022)

G. Xu, T. A. King

(英国曼彻斯特大学物理系)

摘要 本文叙述在电场作用下, 自泵浦位相共轭镜耦合到环形染料激光器时的波长自扫描特性和共轭反射率随波长变化的特性。实验表明, 当波长朝短波方向自扫描时, 沿 c 轴施加的电场能有效地控制波长扫描速率和方向; 共轭反射率随波长自扫描朝长波方向增加。

关键词 染料激光器, 位相共轭, 光折变晶体

Characteristics of ring dye lasers coupled with self-pumped phase conjugate mirrors

LIAO Jianghong

(State Key Laboratory of Applied Optics, Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica, Changchun 130022)

G. Xu, T. A. King

(Department of Physics, University of Manchester, Manchester, M13 9PL, U. K.)

Abstract This paper describes the characteristics of wavelength scanning of a ring dye laser coupled with a SPPCM and the reflectivity under an external field. Experiments demonstrate that the wavelength self-scanning rate and the direction can be controlled by adding an external field if it scans initially towards the shorter wavelength. It is also found that the reflectivity of SPPCM is increased with the wavelength scanning towards the longer wavelengths.

Key words dye laser, phase conjugation, photorefractive crystal

当自泵浦位相共轭反射镜 (self-pumped phase conjugate mirror, 简称 SPPCM) 耦合到染料激

激光器时,激光波长会不可避免地周期性扫描^[1~4]。激光扫描范围几乎覆盖整个增益区域。由于折射率光栅的 Bragg 选频作用,在腔内无任何色散元件和标准具的情况下,激光的线宽可以压缩到 GHz 数量级,激光的输出功率可以提高 20% 以上。如果能够找到合适的方法来控制扫描的速率和方向,则在原理上就可以实现一种新型的调谐元件。

1 实验装置

图 1 是实验装置示意图。环形染料激光器由 Ar^+ 激光器泵浦。环型腔长约为 125 cm, M_1, M_2, M_3 是曲率半径分别为 3.5 cm, 10 cm, 23 cm 的球面反射镜 ($R > 99\%$)。平面镜 M_4 ($R > 95\%$) 距反射镜 M 约为 49 cm; 距平面镜 M_6 约为 36 cm。SPPCM 选用半线性腔结构。球面反射镜 M (r 曲率半径为 5 cm) 距离晶体约为 5 cm。晶体 ($1^\# : c \times a \times b = 7.57 \times 6.82 \times 5.26 \text{ mm}^3$; $2^\# : c \times a \times b = 6.82 \times 6.20 \times 5.88 \text{ mm}^3$) 浸在匹配折射率的油中以提高入射光和 c 轴夹角。在光照条件下,实验上发现沿 c 轴反向施加电场超过 0.34 kV/cm 就能破坏晶体的单轴性。因此本实验仅研究沿 c 轴施加正向电压对波长扫描特性的影响。

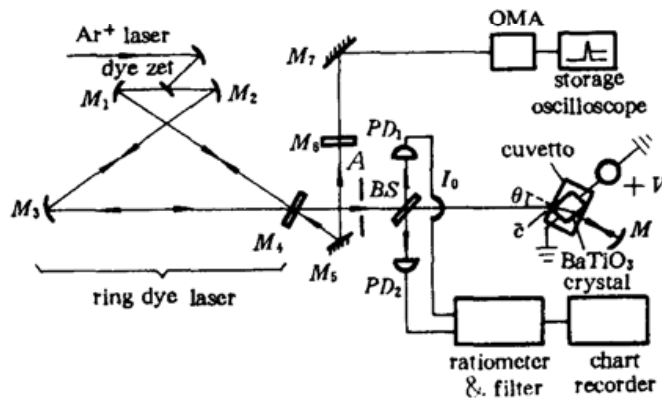


Fig. 1 Experimental setup

自扫描波长由光学多通道光谱仪 (OMA) 来实时测量。为了测量共轭光的反射率,在 SPPCM 之前插入分束器 BS ($R = 10\%$) 取样入射光和共轭光,然后它们分别由光电二极管 PD_1 和 PD_2 接收并转换成电信号送至除法器 (ratiometer) 和滤波器,最后由 $x-t$ 记录仪实时绘出共轭反射率随扫描波长的变化曲线。

2 实验结果

当半线性 SPPCM 耦合到激光器时,在绝大多数调整状态下,激光波长是周期性地朝长波方向自扫描。在每一个扫描周期内,激光约从波长为 590 nm 自扫描到 620 nm,然后晶体内的折射率光栅被破坏,共轭光波消失,激光又跳回初始状态,开始下一个周期的扫描。在一个周期内的典型实验结果如图 2 所示 ($1^\#$ 晶体, $\theta = 40^\circ$, 激光器单臂输出光强 $\sim 15 \text{ mW}$)。显然,随着波长朝长波方向自扫描,共轭光波的反射率是增加的,但是入射光强 I_0 反而减小。施加电场,即使高达 4 kV/cm,对扫描速率也没有明显的影响。

如果调整 SPPCM 的状态,例如改变入射角 θ 、反射镜 M 和晶体之间的距离等,在某些状态下可以得到朝短波方向的自扫描。此时沿 c 轴施加电场能有效地控制波长自扫描速率和自扫

描方向。当 $\theta = 37^\circ$, 单臂输出光强 ~ 100 mW 时, 以施加电场为参数的激光输出波长随时间 t 的变化如图 3 所示(2[#] 晶体)。当施加的电压为 0V 时, 在每一个扫描周期内, 激光自 $\lambda = 591$ nm 开始扫描至末端 583 nm; 然后共轭光波消失, 激光又跳回初始状态开始下一个周期的扫描。随着电压的增加, 激光波长从朝短方向扫描到近于停止 ($V = 0.23$ kV, 场强相当于 0.4 kV/cm), 然后向长波方向扫描。在 $V = 0$ kV 时激光自两个波长 $\lambda = 600$ nm 和 593 nm 都可向短波方向扫描意味着它和初始状态无关。在电压为 0.23 kV 时, 在扫描范围的两端 $\lambda = 593$ nm 和 616 nm 处出现的波长自扫描的停止表明它也无关。

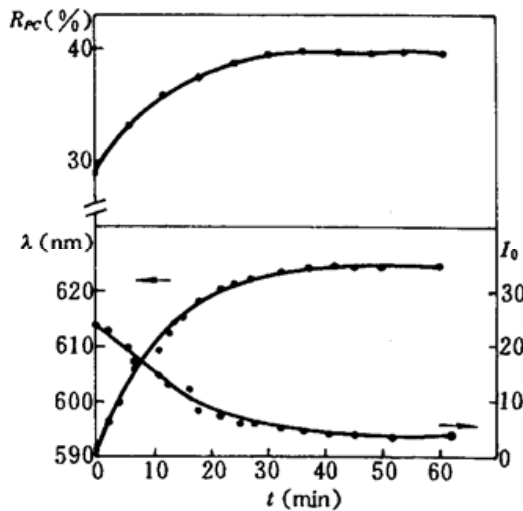


Fig. 2 Experimental results in a SPPCM for $\theta = 40^\circ$ and intensity output of single arm of the ring laser ~ 15 mW. R_{PC} : reflectivity of the SPPCM; I_0 : incident intensity of the SPPCM; λ : the output wavelength

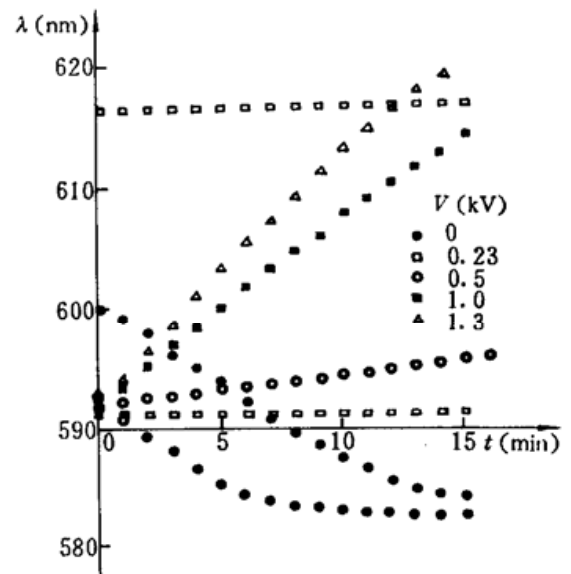


Fig. 3 Time dependence of the output wavelength of the ring laser for an external voltage with parameters of $\theta = 37^\circ$ and intensity output of single arm of the ring laser ~ 100 mW

在波长扫描的同时, 记录部分共轭反射率 R_{PC} 随时间 t (或扫描波长) 的变化曲线如图 4 所示。滤波器时间常数 $t_0 = 0.3$ s。图 4 (a) 是电压为 0V 时激光波长自 $\lambda = 600$ nm 扫描到 584 nm 时的共轭反射率 (R_{PC}) 曲线。显然, 波长朝短波方向扫描时的 R_{PC} 随波长变小而减小。当电压为 1.3 kV 时扫描反向朝长波方向, 它的 R_{PC} 随时间 t 的变化曲线如图 4 (b) 所示。和无电场时朝长波方向扫描的情况类似, R_{PC} 随波长 λ 的增加而增加。电压 0.23 kV 时, 波长 ($\lambda = 591$ nm) 停止扫描的反射率 R_{PC} 随时间 t 变化的曲线如图 4 (c) 所示。此时 R_{PC} 不很稳定略有起伏。除此之外, 我们还考查了在扫描过程中电场变化对 R_{PC} 的影响。电压由 $V = 1.0$ kV 跃变至 0.23 kV 时 R_{PC} 随时间 t 的曲线如图 4 (d) 所示。当 $V = 1.0$ kV 时, R_{PC} 随时间 t 而增加 (相应地, 激光朝长波方向自扫描)。在激光扫描至 614 nm 时, 突然使电压降至 0.23 kV, R_{PC} 受影响, 下降约 3%, 经过若干分钟后, R_{PC} 又恢复到一个较为稳定的值, 此时波长为 616 nm。

在某些调整位置下, 水平地转动球面镜 M , 使反射光的聚焦点在晶体内横向移动以改变扫描速率和方向。逆时针转动 M 的实验结果如图 5 所示。 $\Delta\theta$ 是相对球面镜 M 的相对转角, 当 $\Delta\theta > 12.7$ mrad, 扫描朝短波方向扫描时, 测量的 R_{PC} 极不稳定。

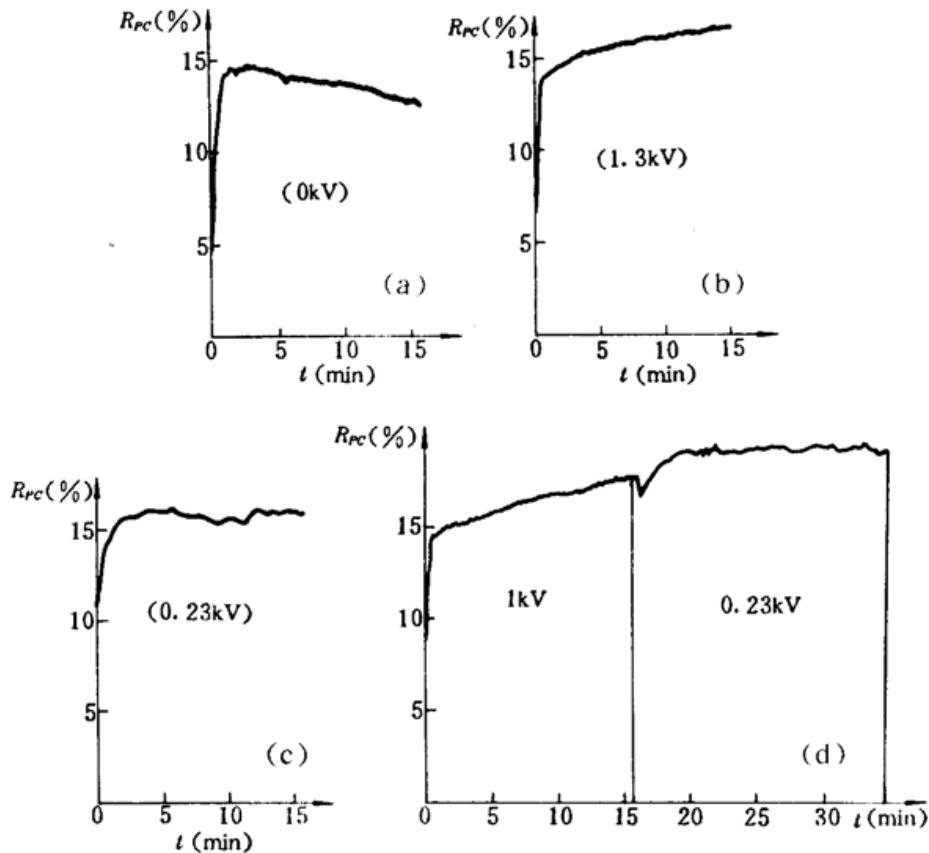


Fig. 4 Time dependence of the reflectivity of the SPPCM with the filter time ~ 0.3 sec at (a) $V = 0$ kV; (b) $V = 1.3$ kV; (c) $V = 0.23$ kV; (d) $V = 1$ kV and 0.23 kV. The corresponding wavelength change is shown in Fig. 3

3 讨 论

如果认为 Feinberg 平移光栅^[3,5]是波长自扫描现象的唯一原因,解释上述的实验现象似乎存在很大的困难。Fischer^[6,7]等人的理论和实验研究表明,施加电场能有效地控制平移光栅的频移大小和方向。这似乎可以解释激光朝短波方向扫描时施加电场后的特性,但是解释不了激光朝长波方向扫描时施加电场的行为。如果沿 c 轴的正电场使激光改变扫描方向朝长波方向扫描,那么在激光朝长波方向扫描时,施加的电场应该加速自扫描速率。然而实验上没有观察到这样的现象。此外, Fischer 等^[7]对线性和环型 SPPCM 的频移测量和我们对 cat SPPCM 的频移测量结果表明,在大多数的调整状态下,频移是紫移,它将引起激光朝短波方向自扫描。因此,可能朝长波方向的自扫描并不完全是由平移光栅的频移引起的。

有两种原因可能会引起共轭反射率随波长的变化:第一,认为它是晶体的固有属性,在相

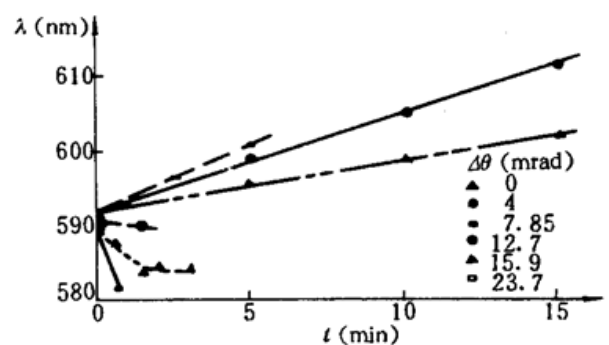


Fig. 5 Time dependence of the output wavelength for a rotating of the concave mirror M as a parameter

同入射光强的条件下,稳态的 R_{PC} 随波长增加而增加;第二是在扫描过程中形成的光栅是动态过程,它处于不断重建和刷新状态。由光栅建立 R_{PC} 随时间 t 的变化曲线推断,扫描速率变慢时 R_{PC} 应增加。

总之,实验表明,只有调整得使波长朝短波方向自扫描时,沿 c 轴施加正向电场才能有效地控制波长自扫描速率和方向。共轭反射率 R_{PC} 随波长的增加而增加。

参 考 文 献

- 1 W. B. Whitten, J. M. Ramsey, *Opt. Lett.*, **9**, 44(1984)
- 2 J. M. Bamsey, W. B. Whitten, *Opt. Lett.*, **10**, 362(1985)
- 3 J. Feinberg, G. D. Bacher, *Opt. Lett.*, **9**, 420(1984)
- 4 W. B. Whitten, J. M. Bamsey, *Opt. Lett.*, **12**, 117(1987)
- 5 S. Weiss, M. Segev *et al.*, *IEEE J. Quant. Electr.*, **QE-24**, 706(1988)
- 6 B. Fischer, *Opt. Lett.*, **11**, 236(1988)
- 7 S. Sternklar, S. Weiss *et al.*, *Opt. Lett.*, **11**, 165(1986)