

⑱ 光学双稳态激光光强稳定器的实验研究*

107-110

EXPERIMENT RESEARCH ON LASER INTENSITY STABILIZER WITH OPTICAL BISTABLE PROPERTY

郑宇进
Zheng Yujin

允自强
Yun Zhiqiang

高新
Gao Xin

刘秀美
Liu Xuemei

TN 256

(重庆大学应用物理系)

摘要 报导了研制的双棱镜胶合紧凑型 Michelson 干涉仪。用 PZT 压电陶瓷紧粘于棱镜表面,通过光电反馈控制,实现光学双稳性,以达到对激光光强稳定的目的。

关键词 调制函数;反馈函数;静态稳定度 **光学双稳态,激光,光强稳定器**

中国图书资料分类法分类号 TN256

ABSTRACT A compact twin prism Michelson interferometer is presented, in which a PZT ring is pasted on a prism surface connected with electrical circuits. Through feedback and modulation, the optical bistability is realized and the stabilization of laser intensity is acquired.

KEY WORDS Modulation function; Feedback function; Degree of stability

0 前言

人们采用许多方法进行激光光强的稳定,1981年李淳飞等人在 Michelson 干涉仪的一个臂上接电光晶体,以输出光反馈控制此晶体而实现了激光稳定和激光双稳态。

利用光学双稳态的特征来稳定连续激光器的光强具有稳定度高等的优点,我们将双棱镜 Michelson 干涉仪和 PZT 压电陶瓷片构成紧凑的光学双稳态器件以做成实验用的激光光强稳定器。

1 实验装置

在图1中,采用 He-Ne 激光进行双稳态试验,利用两块胶合的相同大小的等边直角棱镜完成 Michelson 干涉仪的功能,棱镜的直角边长为 25mm。PZT 厚度为 6mm,外径 25mm,内径 10mm,两反射镜直径均为 20mm。由于两棱镜胶合时存在

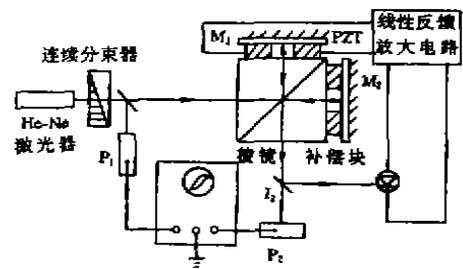


图1 光学双稳态光强稳定器结构示意图

* 修改稿收到日期 1992-06-30
重庆大学青年基金资助项目

着反射率要降低,透射率增大的规律,在镀膜时使反射率高于透射率,当胶合后正好达到 $\tau:\rho = 1:1$ 时再进行分光,为此棱镜的一边粘有一补偿块及高反膜(反射率达99%以上)的反射镜构成 Michelson 干涉仪的一臂。另一束光穿过 PZT 的中心通孔,经其表面粘贴的全反镜反射与另一束光相干,使输出光分束,用光电探测器接收其中一束,反馈电路驱动 PZT 调制两相干光的位相差,实现双稳态,达到光强稳定,双稳特性是通过两个光电探测器(P1,P2),分别将输入光和输出光转变成电信号后输入示波器来显示的。

线性反馈放大电路总体框图示于图2。

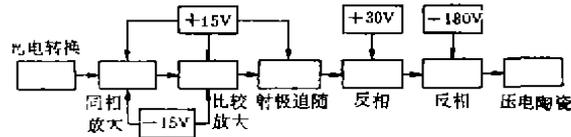


图2 线性反馈放大电路框图

2 实验原理

图1中,入射光 I_1 经双胶合棱镜形成两束相干光 I_1 和 I_2 ,它们与入射光强成正比,即: $I_1 = \beta_1 I_1, I_2 = \beta_2 I_1$,透射光强为:

$$I_t = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos\Phi = \frac{\tau}{1+M} I_1 (1 + M \cos\Phi)$$

式中: $M = \frac{2\sqrt{I_1 I_2}}{I_1 + I_2} = \frac{2\sqrt{\beta_1 \beta_2}}{\beta_1 + \beta_2}$ 为调制度;

$\tau_0 = \beta_1 + \beta_2 + 2\sqrt{\beta_1 \beta_2}$ 是初相差为零时的强度透射率; Φ 为两相干光位相差。

则由调制函数 τ_m 的定义得:

$$\tau_m = \frac{I_t}{I_1} = \frac{\tau_0}{1+M} (1 + M \cos\Phi) \quad (1)$$

本装置反馈系统由线性反馈放大电路从输出光取样,调节 PZT 的厚度,从而调制 I_1 经反射后的光束的相位,达到使输出光强呈现光学双稳性。

PZT 的厚度 l 与所加电压的关系为: $l = \frac{1}{2} K V^2$, K 为电致伸缩系数; V 为加在 PZT 上的电压。

$$\text{因此 } \Phi - \Phi_0 = (K V^2)^2 \quad (2)$$

其中 $K = \sqrt{\frac{2\pi}{\lambda}} k$

据反馈函数 τ_i 的定义及线性反馈电路有 $V = A I_i$ 可得:

$$\tau_i = \frac{I_t}{I_1} = \frac{\sqrt{\Phi - \Phi_0}}{K A I_i} \quad (3)$$

其中: Φ_0 为开始两光束的位相差; Φ 和 I_t 分别为加上反馈电压 V 后的位相差及输出光强; A 为反馈强度,由探测器和放大器参数决定是一常数。

由于 τ_F 与 Φ 呈平方关系, 故称为平方反馈。

因 τ_M 和 τ_F 曲线的交点有 $\tau_M = \tau_F$

(4)

故此交点为工作点。

光学双稳态光强稳定器的稳定性可用静态稳定度 S 这一物理量来描述, 其定义为入射光强的相对变化率与出射光强的相对变化率之比^[1], 即:

$$S = \lim_{\Delta I_i \rightarrow 0} \left(\frac{\Delta I_o}{I_o} \right) / \left(\frac{\Delta I_i}{I_i} \right) = \tau \frac{dI_o}{dI_i}$$

由(1-4)式也可得:

$$S = 1 - \frac{d\tau_o}{d\Phi} / \frac{d\tau_i}{d\Phi}$$

据此判别式, 我们可以看出, 只有工作在 S 大于 1, 即为负反馈时, 才能实现光学双稳性。

由于本设计是平方反馈, 可导出静态稳定度与基本参量之间的关系为:

$$S = 1 + \frac{2M(\varphi - \varphi_0)\sin\varphi}{1 + M\cos\varphi}$$

将(2)式代入上式可得到它的另一形式:

$$S = 1 + \frac{2MK^2V^2\sin(\Phi_0 + K^2V^2)}{1 + M\cos(\Phi_0 + K^2V^2)}$$

当输出光强出现微小波动时, 由于负反馈作用将抑制这种波动, 从而起到了稳定光强的作用。

3 实验过程及实验结果

3.1 PZT 的 $l-v$ 关系的测量

利用 0—300V 直流电压源和测微仪对 PZT 工作曲线进行测定后, 得到 PZT 位移 Δl 的两组数据如表 1

表 1 PZT 位移 Δl 表

V/V	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200
递减电压下的 $\Delta l(\mu\text{m})$	0	0.05	0.10	0.21	0.38	0.60	0.86	1.17	1.54	1.94	2.40
递增电压下的 $\Delta l(\mu\text{m})$	0.05	0.10	0.15	0.22	0.39	0.61	0.87	1.18	1.55	1.94	2.40

从上表可以验证: $l-v$ 满足 $l = \frac{1}{2}kV^2$

3.2 反馈放大电路的线性性测量

用功率可调白炽灯照射光电二极管, 测得线性放大电路输入电压 V_i 与输出电压 V_o 的关系如图 3 所示。

表明在电压变化范围为 0—140V, 有较好的线性性。

3.3 双稳态的观察实验

为观察双稳态, 将连续分束器先置于最大透过率位置上, 再缓慢连续地调节分束器使

透过率为最小,然后重新调连续衰减器使透过率从最小到最大,经示波器扫描,便可得到如下双稳态特征曲线.曲线表明该稳定器在能较好地实现光学双稳性.

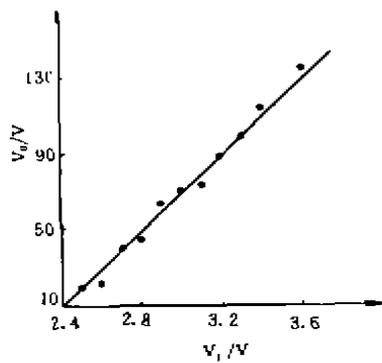


图 3 放大电路 V_1, V_0 关系曲线

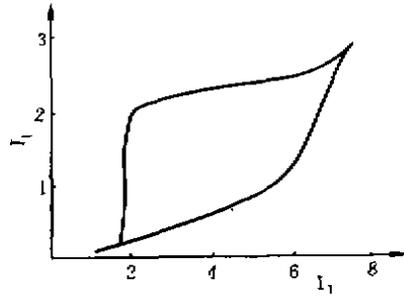


图 4 双稳态特征曲线

3.4 光强稳定度的观察和测量

图5给出两组示波器扫描照片,测得静态稳定度如表2:

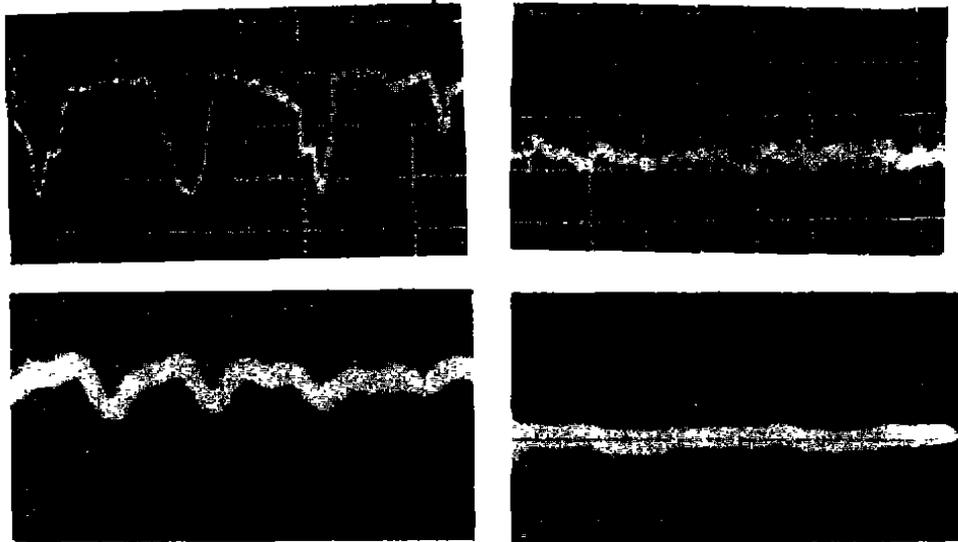


图 5 稳定器输入,输出光强波形

可以看出实验值 $S_{\text{实}}$ 近于理论值、 $S_{\text{理}}$, 稳定效果是比较明显的。

总之,实验研究的成功非常有利于该稳定器在激光计量以及激光加工等领域的应用,由于整个装置结构紧凑、体积小、抗干扰强,具有较好的应用前景.若采用指数反馈,会大大提高静态稳定度,可望成为实用化仪器。

王兴其和于海武也参加了研究,在此一并致谢。

参 考 文 献

李淳飞,陈历学. 光学双稳性的静态稳定度和光强稳定器. 光学学报, 1984, 4(10): 907~913

表 2 静态稳定度的理论值和实验值

V / V	$S_{\text{理}}$	$S_{\text{实}}$
77	3.40	2.80
66	2.90	2.50