

文章编号: 0258-7025(2001)05-0415-03

半导体激光器相对光频偏的干涉测量法

杨永才 李孟超 吴 岩

(上海理工大学光电信息学院 上海 200093)

提要 通过检测 LD 输出激光在干涉场中干涉条纹位移的变化,得到 LD 在一定时间内相对自身输出光频偏情况。实验装置中采用较为简单的迈克耳逊干涉系统,用 CCD 实时采集反映输出光频偏情况的干涉图像信号,通过计算机处理得到 LD 的相对光频偏值。

关键词 LD,干涉,频偏测量

中图分类号 TN 365 文献标识码 A

Research of Interference Measuring Method for Frequency Fluctuation of LD

YANG Yong-cai LI Meng-chao HU Yan

(College of Optics & Electronics Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093)

Abstract This paper presents a method to detect the displacement of the interference stripe in LD interference field so as to get the information of LD frequency fluctuation. The Michelson interference apparatus is chosen in the laboratorial device. CCD is used to sense the displacement signal of interference stripe in the interference field. After corresponding circuit processing, the useful signal then is input to a computer. At last, the frequency fluctuation of LD can be detected.

Key words LD, interference, measurement of frequency fluctuation

1 引 言

半导体激光器(LD)已广泛应用于测量系统^[1,2]。然而,LD的频漂已严重制约了测量系统精度的提高,尤其在特定计量、光通信^[3]、光频标等应用中,对激光器输出频率稳定的要求非常高。故对LD输出光频进行测量和控制具有十分重要的意义和实用价值。由于激光器外部和内部条件的变化,如温度、自身的一些相关效应等等,使得激光谐振频率会在整个增益曲线内移动,产生短期抖动或长期漂移,导致实际从激光器输出激光的频率是变化的,即产生频率漂移,这将导致激光频率稳定度变差^[4]。

引起LD频率变化的因素主要有两个,即温度和驱动电流。温度变化对LD输出特性的影响是比较大的。一般单纵模LD发射光频率随温度的漂移为20~30 GHz/°C。当LD的注入电流发生变化时,输出光频特性也将随之变化,变化范围约为5 GHz/mA。本研究通过检测LD输出激光在干涉场中干涉

条纹位移的变化而精确测得光频偏值,从而为LD的自动稳频奠定了基础。

2 系统原理

将一单色光分为两束,让它们经过不同的光程,光程差为 ΔL ,则相位差 $\Delta\varphi$ 应为

$$\Delta\varphi = 2\pi\nu \frac{\Delta L}{c} \quad (1)$$

其中 c 为真空光速, ν 为光频率。对两相干光束来说,决定明暗条纹的干涉条件为

$$\Delta\varphi = 2k\pi, \quad k = 0, 1, 2, \dots \text{加强}$$

$$\Delta\varphi = (2k + 1)\pi, \quad k = 0, 1, 2, \dots \text{减弱}$$

干涉条纹可以用条纹的干涉级 k 来表征,由上式可知

$$k = \Delta L \frac{\nu}{c} \quad (2)$$

如果 ΔL 保持不变,由(2)式可见,此时干涉级数 k 仅与光频 ν 有关。如果 ν 有了变化,相应 k 也变化。举例来说,对于波长 λ 为632.8 nm的红光来说, $\nu = c/\lambda = 4.740834387 \times 10^{14}$ Hz,若 $\Delta L = 0.1$ m,则

$$k = \Delta L \frac{\nu}{c} = 0.1 \times 4.740834387 \times 10^{14} /$$

$$(3.0 \times 10^8) = 158027.8129$$

如果 ν 有变化,不妨设为 $\pm \Delta\nu$,若使

$$\Delta\nu = 10^{-7}\nu = 10^{-7} \times 4.740834387 \times 10^{14} =$$

$$4.740834387 \times 10^7$$

则有

$$\nu_1 = \nu + \Delta\nu = 4.740834861 \times 10^{14}$$

$$\nu_2 = \nu - \Delta\nu = 4.740833911 \times 10^{14}$$

$$k_1 = \Delta L \frac{\nu_1}{c} = 0.1 \times 4.740834861 \times 10^{14} /$$

$$(3.0 \times 10^8) = 158027.8287$$

$$k_2 = \Delta L \frac{\nu_2}{c} = 0.1 \times 4.740833911 \times 10^{14} /$$

$$(3.0 \times 10^8) = 158027.7970$$

可见,对于 $\nu = 4.740834387 \times 10^{14}$ Hz 的光波,当频率有 $\Delta\nu = 10^{-7}\nu$ 的变化时,确定点所对应的干涉级数 k 也同时有变化,变化范围 $\Delta k = 0.03$ 。也就是说,如果能够检测到同级干涉条纹 3% 的位移,就能检测到 $10^{-7}\nu$ 的光频变化。采用迈克耳逊干涉系统,在干涉场中置一 CCD 作为光电传感器,不间断采集干涉条纹移动信息,通过相应电路提取和处理后送入计算机,并实时得到反馈控制信号,控制 LD 的输入电流,达到稳频的目的。图 1 为本系统 LD 输出激光通过迈克耳逊干涉装置干涉成像测频的原理框图。图中, S 为半透半反镜, F 为滤光片,上半部分为 LD 驱动电路,下半部分为迈克耳逊干涉仪和 CCD 接收系统。

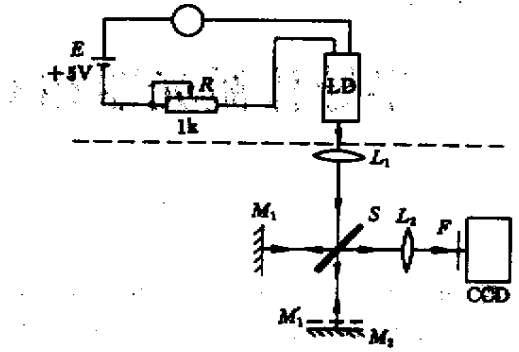


图 1 干涉装置成像测频框图

Fig.1 Schematic diagram for measuring frequency by interference pattern

为尽可能地精确测定(2)式中的 k ,还应使条纹间隔大(条纹疏)。根据干涉仪基本原理可知,相对于等厚条纹,两块反射镜 M_1, M_2 构成的虚空气楔的夹角 θ 越小,则条纹愈疏,通过调节 M_1, M_2 来控制干涉条纹的间隔使其满足要求。为避免杂散光的干扰,将 CCD 置一暗盒内,暗盒开一槽,仅让光信号透过它,准直地映射在 CCD 的光敏面上;另外,在槽入口置一滤光片 F ,一方面可减少杂光干扰,另一方面可降低入射光强,从而避免 CCD 输出饱和信号。

3 实验结果

3.1 LD 的注入电流与干涉条纹的变化情况

通过图 1 实验装置,手工调节 LD 的注入电流大小,人眼将观察到干涉场中干涉条纹的变化,表 1 为移动条纹与 LD 注入电流变化的实验数据。

表 1 移动条纹与 LD 注入电流的关系

Table 1 Relation of moving strip and input current of LD

Numbers of moving strip	1	2	3	4	5
Current for $\Delta L = 2.0$ cm	41.0 mA	44.0 mA	47.2 mA	50.3 mA	53.0 mA
Current for $\Delta L = 4.0$ cm	48.1 mA	49.0 mA	50.1 mA	51.0 mA	52.3 mA

这里,“移动条纹数”是指仔细观察干涉场,手动调节变阻器使得注入 LD 的电流改变,每从干涉场中“移出”一个条纹,记录下相应的电流,两组数据在相干长度 (ΔL) 不同的情况下分别获得。从数据中不难发现,“移动条纹数”在不同的相干长度 ΔL 下,与 LD 的注入电流是有一定关系的;此现象也证实了系统原理,即改变注入 LD 的电流使 LD 输出光频发生偏移。换言之,如果在干涉场上检测到条纹的

位移,则说明 LD 的输出光频产生了变化,如果测出 LD 输出光频偏值,则可通过改变 LD 的注入电流大小,使得 LD 的输出激光频率稳定。

3.2 CCD 输出波形及信号处理

图 2 是用二踪示波器观察到的 CCD 输出波形图。这里,FC 是 CCD 的曝光周期行信号。out 是 CCD 的输出包络线波形。

对 CCD 输出经二值化处理后得到脉冲信号 P

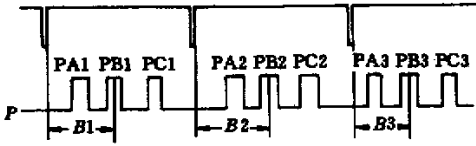


图 2 CCD 输出波形图

Fig. 2 Diagram of the output change of CCD

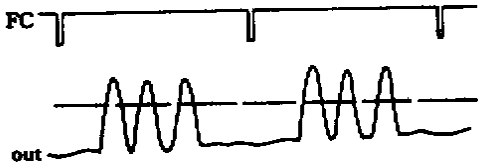


图 3 P 波形图

Fig. 3 Diagram of pulse signal P

(见图 3),它对应于 LD 在某一时间输出激光的明暗干涉条纹的信息。可以认为,一个脉冲对应着一个“亮条纹”脉宽则对应亮条纹宽度。用二踪示波器观察到 P 与 FC 关系如图 3。

图 3 中,行信号 FC 的输出脉冲间隔是一定的,这样,在行信号 FC 的每个高电平间隔内输出的脉冲信号反映了 LD 在某一时间输出激光的干涉条纹信息。当 CCD 正常工作时,行信号 FC 与对应的 PA, PB, PC 信号组总能连续获得,对于每个行扫频内出现的一组(几个)P 脉冲,只要能“跟踪”其中一个脉冲的位移就可代表干涉条纹的位移。这样就需要实时检测每个行扫频内某个脉冲的位移情况,包括它的移动量与方向。可以先定标某个时刻的脉冲

与它之前的行信号 FC 的下降沿时差量值作为位移对应的基准,以后采集的每个量值都与之比较,这样,就可得到干涉条纹位移信息:量值变大,表观为“右”移,量值变小,表观为“左”移,移动大小由量值变化体现。但由于 LD 干涉激光束的光功率大小也会随时间变化,得到的脉冲实际上其脉宽并不稳定,故不可以将任一脉冲的上下沿来作“位移参考”。通过大量实验,最后确定“第二脉冲中值”(图 3 中的 B1, B2, B3)作为判断条纹位移的主要信息。具体的处理由硬件电路及计算机完成。这样,整个系统通过硬件和软件的设计,可实时检测 LD 输出激光的干涉条纹在干涉场中的“位移”,也就达到测量 LD 的频偏情况。

实验中,采用东芝 TCD1206SUD(2048 像素) CCD,可以精确测出干涉条纹 $\pm 0.3\%$ 的位移量,也就是说,可以测出 $\pm 10^{-8}\nu$ 的频偏值。当然,测频的精度还可进一步提高。

参 考 文 献

- 1 Wang Liangcai, Zhang Wanping, Zhu Weihu. Study on profile measurement of extruding tyre tread by laser. *SPIE*, 1996, **2899** 22 ~ 26
- 2 Takamasa Suzuki, O. Sasaki, T. Maruyama. Absolute distance measurement using wavelength-multiplexed phase-locked laser diode interferometry. *Opt. Eng.*, 1996, **35**(2): 492 ~ 497
- 3 Feng Xiyu. The Technology of Modern Communication. Beijing: Mechanical Industry Press, 1999, Chapter 1. 101 ~ 106 (in Chinese)
- 4 Jin Guopan. Laser Measurement. Beijing: Science Publishing Company, 1998. 317 ~ 318 (in Chinese)