

# 外腔半导体激光器大尺寸无导轨测长研究\*

武勇军 李达成 曹 芒

(清华大学精密系, 北京 100084)

张汉一

(清华大学电子工程系, 北京 100084)

**提要** 利用平面镜外腔半导体激光器和连续调频波技术,进行了大尺寸无导轨测长研究。给出了 10 m 测量范围内的实验结果。

**关键词** 外腔半导体激光器, 频率调制, 无导轨测长

## A research on large-scale no-guide distance measurement using external-cavity semiconductor laser

WU Yongjun, LI Dacheng, CAO Mang

(Department of Precision Instruments, Tsinghua University, Beijing 100084)

ZHANG Hanyi

(Department of Electrical Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084)

**Abstract** A research was made on large-scale no-guide distance measurement by using a plane mirror type of external-cavity semiconductor laser and FMCW ranging technique. Some fundamental experiments over 10 m range have been done, which showed the feasibility of this method.

**Key words** external-cavity semiconductor laser, frequency modulation, no-guide distance measurement

## 1 引 言

八十年代,随着半导体激光器的迅速发展,雷达系统中的连续调频波(FMCW)测量技术被引入光波干涉测量领域,用于无导轨精密测长,从而产生了半导体激光 FMCW 无导轨测长技术<sup>[1]</sup>。半导体激光器是发射连续调频光波的比较理想的光源。它的调频方式简便易行,调频范围大,而且体积小、效率高、寿命长。因此,半导体激光 FMCW 无导轨测长技术在工业现场有良好的应用前景。但目前商品半导体激光管的光谱线宽较大,一般在几十 MHz 左右,因而使得这一干涉测长技术的测量范围限制在几十 m 以内<sup>[2]</sup>。

收稿日期: 1992 年 11 月 19 日; 收到修改稿日期: 1993 年 3 月 1 日。

\* 国家自然科学基金和国家教委博士点基金资助项目。

本文研制了平面镜外腔半导体激光器,利用外腔光反馈压窄单模半导体激光管的光谱线宽,并通过改变外腔长度来调制激光频率。运用 FMCW 技术,进行了 10 m 范围内的无导轨测长实验,获得了满意的结果。

## 2 半导体激光 FMCW 无导轨测长原理

以适当方式调制半导体激光器,可使激光频率随时间线性变化。把这一调频激光射入两臂长不等的 Michelson 干涉仪(图 1),经分光镜分成两个光波。它们的传播距离不等,产生相对延时  $\tau$ ,会合后形成光拍(图 2)。光电探测器输出拍频信号。

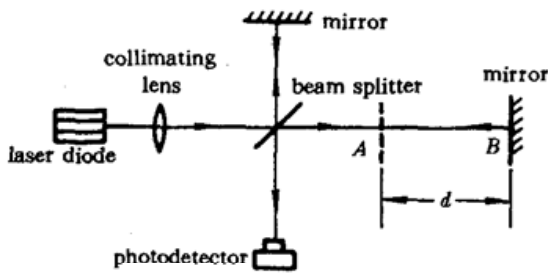


Fig. 1 Michelson interferometer with unbalanced path

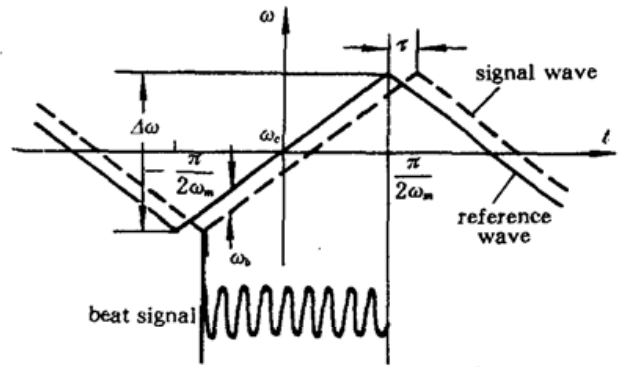


Fig. 2 Principle of FMCW no-guide distance measurement by using laser diode

通常使激光频率按三角波规律变化,由于三角波在一个周期内的对称性,则线性调频激光的频率可以表示为

$$\omega(t) = \omega_c + 2at \quad \left( -\frac{\pi}{2\omega_m} < t < \frac{\pi}{2\omega_m} \right)$$

其中  $\omega_c$  为激光中心频率,  $2a$  为激光频率调制率,  $\omega_m$  为调制频率。调频光波位相为

$$\phi(t) = \omega_c t + at^2 + \phi_0$$

其中  $\phi_0$  为初位相。

Michelson 干涉仪两臂光波分别作为参考光波和延时光波,参考光波为

$$E_r(t) = E_{r0} \cos(\omega_c t + at^2 + \phi_0)$$

延时光波为

$$E_s(t) = E_{s0} \cos[\omega_c(t - \tau) + a(t - \tau)^2 + \phi_0]$$

合成光波的光强为

$$I(t) = E_{r0}^2 + E_{s0}^2 + 2E_{r0} \cdot E_{s0} \cos(2art + \omega_c \tau - a\tau^2) \quad \left( -\frac{\pi}{2\omega_m} < t < \frac{\pi}{2\omega_m} \right)$$

这正是光拍表示式,拍频为  $\omega_b = 2a\tau$ 。由于  $2a = (\Delta\omega \cdot \omega_m)/\pi$ ,  $\tau = 2d/c$ , 其中  $\Delta\omega$  是激光调频幅度,  $d$  是被测长度,  $c$  是真空中光速, 则有

$$\omega_b = \frac{2\Delta\omega \cdot \omega_m}{\pi \cdot c} d$$

可见,光拍的频率与被测长度成正比。只要测出拍频值,立即可得测量点  $B$  到基准点(零拍点)  $A$  的距离,从而实现了无导轨测长。

### 3 实验装置

利用外腔光反馈可以大大压窄半导体激光管的光谱线宽<sup>[3]</sup>,而且外腔长度的变化可以调制激光频率.腔长变化  $\lambda/2$ ,激光频率变化一个外腔频率间隔<sup>[4]</sup>.本文采用平面镜外腔半导体激光器作为调频光源.它输出光功率大,并具有较高的光谱线宽压窄率,而且结构简单.

#### 3.1 平面镜外腔半导体激光器

图 3 是本文所研制的平面镜外腔半导体激光器结构简图.所用半导体激光管的型号为 HLP1400,中心波长 830 nm.镀减反膜的自聚焦透镜作为准直镜.阈值电流(60 mA)时,输出激光功率为 0.2 mW.利用压电陶瓷管在驱动电压作用下的微小伸缩改变外腔长度,调制激光频率.采用双层自动控温系统和封闭外壳,大大提高了激光频率稳定性.激光器外腔长度为 42 mm,整体外形尺寸为 110×40×50 mm.

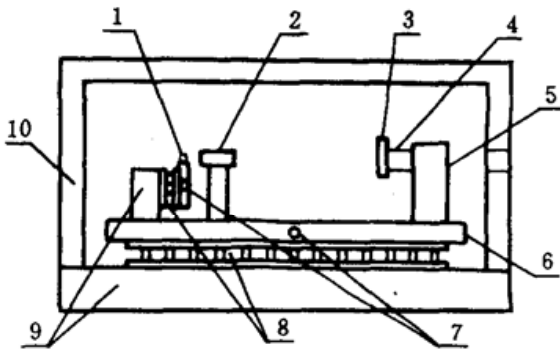


Fig. 3 Configuration of the external-cavity semiconductor laser

- 1—laser diode; 2—AR-coated GRIN rod lens;
- 3—plane mirror; 4—cylindrical PZT;
- 5—adjuster; 6—bed piece; 7—thermistor;
- 8—Peltier; 9—head sink; 10—casing

#### 3.2 外腔半导体激光 FMCW 无导轨测长装置

图 4 所示,用低频三角波电压驱动压电陶瓷管,则外腔激光器出射光的频率亦按同频率三角波规律变化.用角锥棱镜作为反射镜,避免出射激光返回到激光器中,影响激光模式.用蓄电池作为半导体激光管的注入电流源,提供恒定电流,使电流噪声对激光频率的影响降低到最低程度.光拍信号由 PIN-FET 混合集成光电探测器接收,经过放大和滤波后,送入频率计,从而获得被测长度值.

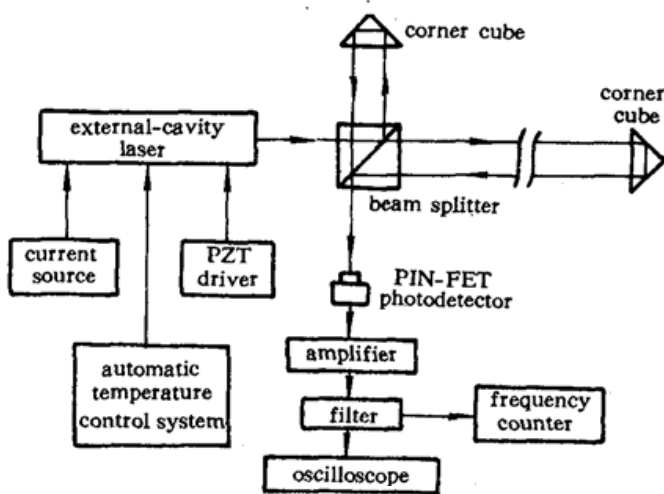


Fig. 4 Experimental setup of FMCW no-guide distance measurement using external-cavity semiconductor laser

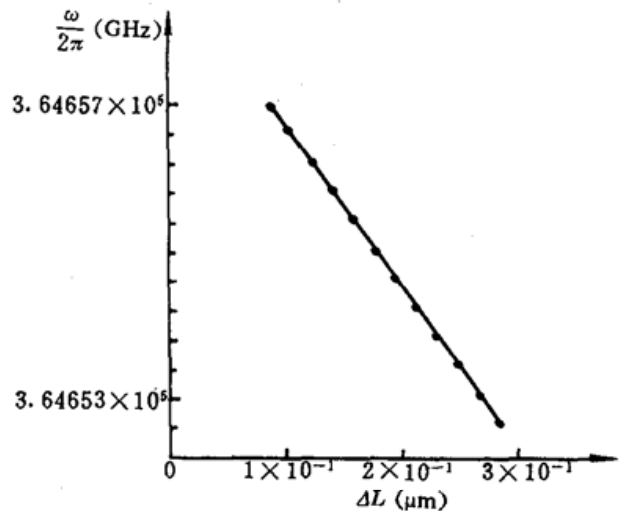


Fig. 5 Frequency deviation dependence of the external cavity semiconductor laser on its external cavity length variation

## 4 实验结果

图 5 是利用光栅光谱仪和球面共焦扫描干涉仪测得的平面镜外腔半导体激光器的激光频移与外腔长度变化之间的关系曲线。半导体激光管注入电流为 64 mA。从测量结果可以看出, 当外腔长度在小于  $\lambda/2$  的范围内变化时, 激光频移与外腔长度变化为线性关系。

图 6 (a) 是被测长度为 7.5 m 时, 从数字存储示波器上拍摄下的光拍信号照片。半导体激光管注入电流为 67 mA。图 6 (b) 是压电陶瓷管的调制电压波形。调制频率为 300 Hz, 调制电压振幅为 15 V。

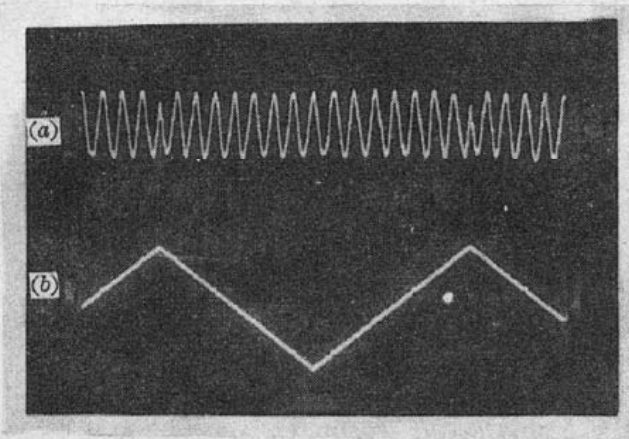


Fig. 6 (a) Optical beat signal at distance of 7.5 m;  
(b) Voltage waveform of PZT driver

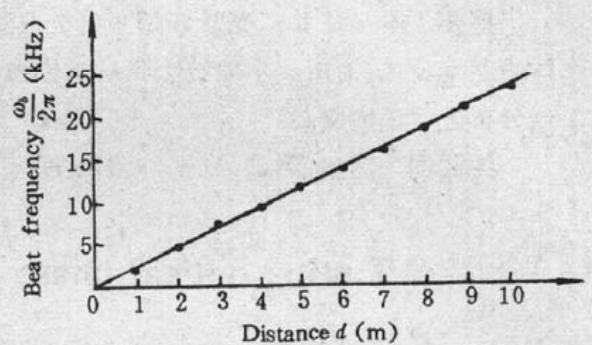


Fig. 7 Frequency of optical beat  
versus measured distance

图 7 是光拍频率与被测长度的实验关系曲线。半导体激光管注入电流为 61.5 mA。压电陶瓷管调制电压频率为 96 Hz, 调制振幅为 110 V。

实验结果表明, 采用外腔半导体激光器作为 FMCW 无导轨测长的调频光源, 可以大大增加测长范围, 而且外腔长调频时所得到的光拍信号的信噪比, 要比注入电流调频时高得多。

目前, 商品半导体激光管的光谱线宽最窄也有几 MHz, 而用外腔半导体激光器则可以获得几~几十 kHz 的窄线宽激光输出, 这就可使半导体激光 FMCW 无导轨测长范围不再受半导体激光相干长度短的限制。而且, 光谱线宽越窄, 则激光位相噪声越小, 这在大尺寸干涉测长中非常有利于增强光电信号的信噪比, 提高测量精度。

## 参 考 文 献

- 1 G. Economou *et al.*, *J. Lightwave Technology*, LT-4(11), 1601(1986)
- 2 T. Kubota *et al.*, *Opt. Lett.*, 12(5), 310(1987)
- 3 武勇军 *et al.*, *激光与红外*, 22(5), 9(1992)
- 4 D. R. Hjelme *et al.*, *IEEE J. Quant. Electr.*, QE-27(3), 352(1991)