

# 电调频半导体激光绝对测量干涉仪\*

武勇军 李达成

(清华大学精仪系, 北京, 100084)

摘要: 分析了电调频半导体激光干涉仪的长度绝对测量原理, 介绍了干涉仪的基本结构。实验结果表明, 该干涉仪的绝对测量范围为 0.3~1.5m, 测量误差为 0.1~0.3mm。

关键词: 绝对测量 调频 干涉仪 半导体激光器

## A interferometer for absolute distance measurement using diode laser with current-induced frequency modulation

Wu Yongjun, Li Dacheng

(Dept. of Precision Instruments, Tsinghua University)

**Abstract:** The principle of absolute distance measurement using a diode laser with current-induced frequency modulation is presented. The configuration of the interferometer is described. The experimental results show that the measurable range of the interferometer is 0.3 to 1.5 meter with accuracy of 0.1 to 0.3mm.

**Key words:** absolute measurement interferometer frequency modulation diode laser

### 一、引言

半导体激光器不仅体积小, 寿命长, 能量转换效率高, 而且具有很好的频率调制特性。改变它的注入电流强度, 就可以改变其光频率, 而且当注入电流强度低频变化( $< 10\text{kHz}$ )时, 激光频率随注入电流强度变化而线性变化<sup>[1]</sup>。本文将半导体激光器的这种线性调频特性用于长度的绝对测量, 研制出绝对测量干涉仪, 实现了 1.5m 范围内的长度绝对测量。

\* 国家教委博士点基金资助。

- 6 王 楚, 沈伯弘, 吴文芳. 光学学报, 1984; 4(9): 808
- 7 巴恩旭, 杨性愉, 刘玉照 *et al.* 光学学报, 1984; 4(5): 398
- 8 廖世强, 赵家铭, 王育竹. 激光杂志, 1988; 9(4): 215
- 9 谢 毅, 张小平. 中国激光, 1991; 18(4): 251
- 10 印建平. 中国激光, 1989; 16(10): 621



作者简介: 浦兆明(附照片), 男, 1954年10月出生。室副主任, 讲师。近年来主要从事激光物理与技术, 量子光学及激光生命科学等方面的科研工作。

印建平, 男, 1955年10月出生。硕士, 教授。长期从事激光物理、光谱学和量子光学等方面的教学与科研工作。

收稿日期: 1995-05-10 收到修改稿日期: 1995-10-15

## 二、测量原理

在高于半导体激光器阈值  $i_{th}$  的直流电流上迭加一锯齿波电流。将此调制电流注入半导体激光器，则激光频率亦按锯齿波规律变化。如图 1a 和 b 所示，激光频率随着电流强度增大而线性减小<sup>[2]</sup>。

将调频激光射入一个两臂长度差不为零的迈克尔逊型干涉仪，则干涉仪光电探测器所接收到的两相干光波的相位差为：

$$\varphi(t) = (4\pi d/c)f(t) \quad (1)$$

式中， $d$  为干涉仪两臂长度差， $c$  为真空中光速， $f(t)$  为被调制的激光频率。

设半导体激光器的电流调频率为  $\alpha = df/di$ ，注入电流变化率为  $\beta = di/dt$  则有：

$$\varphi(t) = (4\pi d/c) \alpha \beta t \quad (2)$$

这样，由于激光频率随时间线性变化，则干涉仪在参考镜和测量靶镜均静止的情况下，输出一个交变光电信号  $i_{ph}$ ，其变化频率为：

$$f_{ph} = \varphi(t)/(2\pi t) = 2\alpha\beta d/c \quad (3)$$

调制电流为锯齿波，则  $\alpha\beta = df/dt = f_m \Delta f$ ，见图 1c， $f_m$  为调制电流频率， $\Delta f$  为激光最大调频幅度。

因此，光电信号频率为： $f_{ph} = 2f_m \Delta f d/c$  (4)

由于  $f_m$ 、 $\Delta f$  和  $c$  均为定值，而干涉仪两臂长度差  $d$  即为被测长度，因此，通过测量光电信号的频率，即可得到被测长度。这一测量原理不同于通常的连续计数激光干涉测长原理，测量靶镜不须在被测的两点间距内作连续移动，只要依次放在两个测点位置上，即可得两点间距。由于在测量范围内的每个位置上都可得到一个相对于干涉仪的恒定位置量，与测量靶镜的起始位置无关，所以把这种长度测量方法称为绝对测量。

## 三、干涉仪结构

图 2 是本文所研制的电调频半导体激光绝对测量干涉仪的结构示意图。

普通半导体激光器存在象散，所以经会聚透镜准直后的光束截面为椭圆形。为提高光能利用率，减小干涉仪光学元件的横向尺寸，采用一对楔形棱镜进行光束整形，如图 3 所示，将光束沿椭圆长轴方向压缩，可使其变为圆形。

调制电流在改变半导体激光器光频率的同时，也改变了其光强度<sup>[3]</sup>，这对干涉仪的测量信号处理不利。见图 2，通过提取同步光强变化信号，用除法电路可以消除光强变化的影响。

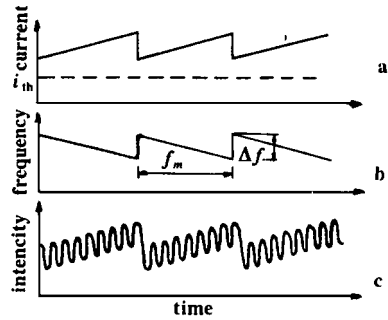


Fig. 1 Principle of absolute measurement with frequency modulation

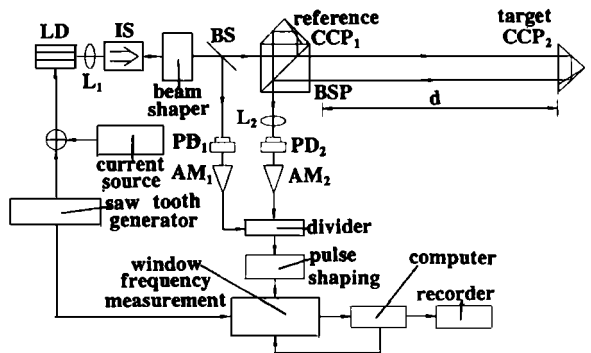


Fig. 2 Configuration of the absolute measurement interferometer  
LD—laser diode L—lens IS—insulator BS—beam splitter  
BSP—beam splitter prism PD—photodetector CCP—corner cube prism AM—amplifier

干涉仪中各光学元件的反射光,如果进入半导体激光器中,会影响输出激光的频率特性,降低测量精度。因此,采用了光隔离器,并用四面体角锥棱镜作为参考镜和测量靶镜,将反射光与入射光平行分开,从而有效地阻止了干涉仪中的激光返回到激光器中。干涉仪光电信号的频率由窗口测频电路测量,经微机作数据处理后打印输出。

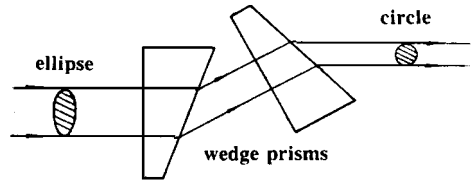


Fig. 3 Beam shaping using a pairs of wedge prisms

### 四、测量结果

图4所示,上部是经过电路处理的干涉仪光电信号,下部是测频电路的窗口控制信号。

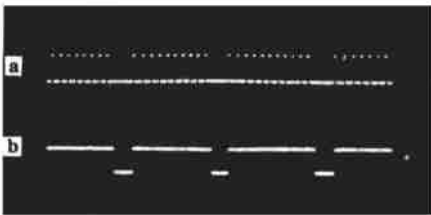


Fig. 4 a—Photo signal of the interferometer  
b—Window control signal

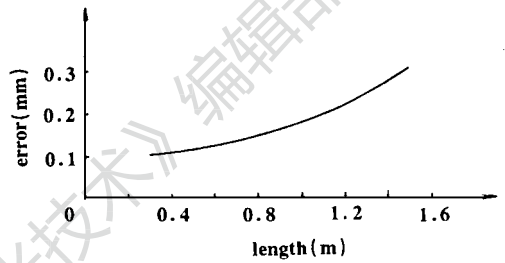


Fig. 5 Error curve of the length measurement

用HP5528双频激光干涉仪作为长度标准,与本文所研制的电调频半导体激光绝对测量干涉仪进行了比对测长实验,图5是实验误差曲线。可见,电调频半导体激光干涉仪可以进行0.3~1.5m范围内的长度绝对测量,测量误差为0.1~0.3mm。

### 五、结束语

电调频半导体激光干涉仪进行长度绝对测量,测量速度快,精度较高,而且仪器体积小,便于在车间现场使用。它的最大测长范围主要受激光相干长度的限制。目前市场商品半导体激光器的光谱线宽一般在几十兆赫以上,光相干长度较短。若能在调制状态下压缩半导体激光器的光谱线宽,则既能增大测长范围,又能降低干涉仪中的光噪声,提高测量精度。

### 参 考 文 献

- 1 Kobayashi S, Yamamoto Y, Ito M *et al.* IEEE J Q E, 1982; 18(4): 582
- 2 Yonemura M. Opt Lett, 1985; 10(1): 1
- 3 Beheim G, Fritsch K. Electron Lett, 1985; 21(3): 93

作者简介:武勇军,男,1956年11月出生。博士。现在清华大学精仪系做博士后研究工作。近年来主要从事线性调频半导体激光绝对距离测量方面的研究,已完成一项国家自然科学基金项目,并在国内外发表学术论文15篇。

收稿日期:1995-05-15



@sina.com