

激光双频率干涉仪研制成功

双频率干涉仪毕业实践小组

(清华大学)

随着工业生产和国防建设的发展,对于高精度、大尺寸工件的精密计量仪器日益急需。在工厂里常常可以看到,两个工人同志抬着一把大卡尺或一根长的金属棒(金属棒是从计量部门测好了的间接量测标准,要经常校正)在测量几米甚至几十米的工件时,费时、费力,且精度很低,质量难以确保。有时需要在不停车的加工过程中量测,矛盾就更突出,甚至会危及工人同志的人身安全,生产的发展对计量仪器提出了新的要求,从而促进了计量仪器的发展。六十年代出现了单频率激光干涉仪,面貌有了很大改善。但由于其自身的种种局限性,对几十米的大尺寸的工件和环境恶劣的车间、工地、现场要多快好省地进行工作,仍然存在很多困难。双频率激光干涉仪就是在这种形势下近几年来世界上出现的一种较先进的精密计量仪器。由于它发射的激光束中包含两个频率的光波,能够比较方便地解决上述矛盾,因此受到普遍重视。几年前我国以十三万美金的高价从西方某资本主义国家订购了一台,仪器装上船了,合同又被撕毁了,宣布对中华人民共和国禁运,妄图以技术封锁来阻碍我国社会主义的进程。面对资产阶级的疯狂挑衅和封锁,毛主席早就给予了迎头痛击:“封锁吧,封锁十年八年,中国的一切问题都解决了。”¹⁾在毛主席光辉的“独立自主、自力更生”方针指引下,我们工农兵学员、工人、教员怀着为祖国争光的决心和信心,毅然承担了双频激光干涉仪的研制任务。时间紧,资料缺,怎么办?学习大庆工人的革命精神有条件要上,没有条件创造条件也要上,坚持实践,群策群力攻难关。终于在教育革命大辩论的高潮中,胜利地拿出了样机。经初步鉴定性能良好,填补了我国计量仪器的一项空白,有力地回击了资产阶级老爷们的挑战。会战中大大培养和锻炼了我们分析问题和解决问题能力。

双频激光干涉仪由 He-Ne 双频激光器、积木式干涉仪附件、电子计算机、空气折射率传感器附件等四部份组成。更换各类不同用途的附件,可以分别进行长度测量、小角度测量、平面度测量、直线度以及振幅测量和机床各类参数的校正和鉴定等。本仪器所用的激光器和干涉仪部件采用远置式,较好地排除了由激光器产生的热量对精度的影响。不同用途部件可以方便

地更换。测量结果全部由电子计算机自动显示。

“有比较才能鉴别。”²⁾双频激光干涉仪和单频激光干涉仪相比,主要优点是:双频激光干涉仪接收的是交流讯号,即使是被测对象相对于干涉仪是静止的,讯号仍然存在,但计算机显示不变。这样就不需要单频干涉仪的那种直流前置放大器,而采用交流前置放大器。解决了放大器的零点漂移现象。这样也就有条件提高前置放大器的放大倍数,即使测量讯号严重衰减也可以照常工作。选取一定倍数的前置放大器,可以允许讯号衰减 90% 以上。这就使长距离测量成为可能,并且便于高倍的电子细分。由于干涉仪是两个频率的激光同时参与测量过程,也给光学倍频带来了方便。

由于双频率激光的上述特点,使本仪器可以方便地实现一机多用,这对于挖掘生产潜力、缩小体积、降低成本、便于操作等方面都是很有意义的,比单频干涉仪优越得多。

一、双频激光干涉仪测长原理

我们在研制双频激光干涉仪过程中,遵照伟大领袖毛主席关于“古为今用,洋为中用”的教导,一方面吸取了一些国外先进技术,同时走自己的路,破除了旧的条条框框,设计出一种新方案。下面对双频激光干涉仪的原理只以测长为例,介绍两种设计方案。对于本仪器其它方面的用途及原理,不作详细解释。

1. 第一方案

如图 1 所示,在全内腔式 He-Ne 激光管上加一约 300 高斯的轴向磁场,由于塞曼效应和牵引效应使得原子能级分裂,发出一束含有两个不同频率的左旋和右旋圆偏振光,它们的频率差大约是 $2Mc$ 左右,这束光通过 $1/4$ 波片后成为两个相互垂直的线偏振光,再经过平行光管准直。

1) 毛泽东,《别了,司徒雷登》,《毛泽东选集》一卷本,人民出版社,(1969),1385。

2) 毛泽东,《在中国共产党全国宣传工作会议上的讲话》,《毛泽东著作选读》甲种本(下),人民出版社,(1964),513。

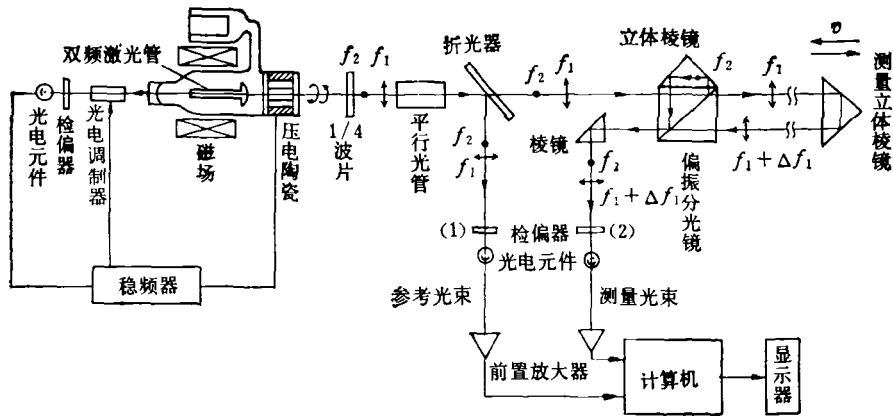


图1 第一方案原理图

从平行光管出来的这束光,经折光镜后一分为二:一路作为参考信号,通过 45° 放置的检偏振器(1),由马吕斯定律可知,两垂直方向的线偏振光在 45° 方向上投影,形成新的线偏振光,产生拍频,其频率比激光频率低得多,约 2MC 左右,被光电元件接收,进入前置放大器和计算机;另一路光是直接射到偏振分光棱镜上,互相垂直的线偏振光 f_1 被反射到立体棱镜上,又返回到偏振分光镜继续往回反射, f_1 频率的光通过偏振分光镜到测量立体棱镜,这时如果测量立体棱镜以速度 v 运动, f_1 的返回光便增加了多普勒频差,这束光返回后继续通过偏振分光镜, f_1 、 $f_1 + \Delta f_1$ 两路光分别返回后,在偏振分光镜上重合,然后到 45° 放置的检偏器(2)上产生拍频,被光电元件接收,进入前置放大器和计算机。

计算机接收到这两路信号后,对两路信号进行比较,计算出它们之间的差值 $\pm \Delta f$ (即多普勒频差)。进而按下式计算出立体棱镜的速度 v 和移动的距离,即得所测量的长度 s 。计算方法如下:

设在测量中立体棱镜移动的速度为 v ,则由多普勒效应所引起的频差变化为:

$$\Delta f = \frac{2v}{c} f_1 = \frac{v}{\frac{1}{2} \cdot \frac{c}{f_1}} = \frac{v}{\lambda/2}. \quad (1)$$

式中: f_1 ——激光频率;

c ——光传播的速度;

λ ——波长;

Δf ——立体棱镜在运动中产生的多普勒频差,也就是计算机计算出来的两路信号的差值。

设测量立体棱镜移动的距离为 s ,时间为 t 。那么,

$$\because v = \frac{ds}{dt}, \quad ds = v dt, \quad \therefore s = \int_0^t v dt.$$

由(1)式可得:

$$s = \int_0^t \left(\Delta f \cdot \frac{\lambda}{2} \right) dt = \frac{\lambda}{2} \int_0^t \Delta f dt = \frac{\lambda}{2} N.$$

式中 N 是计算机记录下来的脉冲数,

$$N = \sum \Delta f \cdot dt = \int_0^t \Delta f dt.$$

在本仪器中,由于进行了二倍频,实际上运算公式是 $s = \frac{\lambda}{4} N$ 。

由上述分析结果可以看出,对于进行长度测量,计算公式是十分简单的;对于其它参数的测量也是如此,只要把 Δf 累加起来乘上相应的波长值就可以了,计算公式略有不同。

这一方案的关键是要把 f_1 和 f_2 两个频率的线偏振光分开。这两束光的频率差 Δf 很小(为 2MC ,它相当于波长差 $\Delta \lambda = \frac{c \Delta f}{f^2} = 2.5 \times 10^{-3} \text{ \AA}$),对于一般的光学元件是作不到的(介质滤光片只能分辨出 $10-20 \text{ \AA}$ 以上的波长差 $\Delta \lambda$),所以西方资产阶级把这种分光元件吹嘘为“魔块”,来卖弄玄虚。

其实这纸老虎,早在1970年就被上海光学仪器厂的同志们戳穿了,他们成功地用真空镀膜方法做出了这个所谓的“魔块”。剖析“魔块”,只要我们抓住它两个频率的光,成正交线偏振这一内在的差异,利用偏振作用,矛盾就可以迎刃而解。第二方案中我们根本就没有用“魔块”,革除了它,双频激光干涉仪照常工作,因此我们宣布,废除“魔块”这一唯心主义名称,还其本来面目:偏振分光棱镜。

样机测长精度达到 5×10^{-7} ,测量长度不小于50米。

2. 第二方案

如图2所示,从激光管中发出一束左旋和右旋的圆偏振光,经过 $1/4$ 波片后,成为两个相互垂直的线偏振光 f_1 和 f_2 ,再经平行光管准直,被折光镜分成两路(都包含 f_1 和 f_2 频率的光)。一路射到测量立体棱镜(6)上,立体棱镜的移动使 f_1 和 f_2 两频率光同时产生

多普勒频差 Δf ；另一路光则入射到立体棱镜(7)上，由图可见这路光两次通过 1/4 波片，使得原来偏振方向旋转了 90° ，也就是 f_1 的振动方向变为 f_2 的振动方向，而 f_2 的振动方向则变为 f_1 的振动方向。

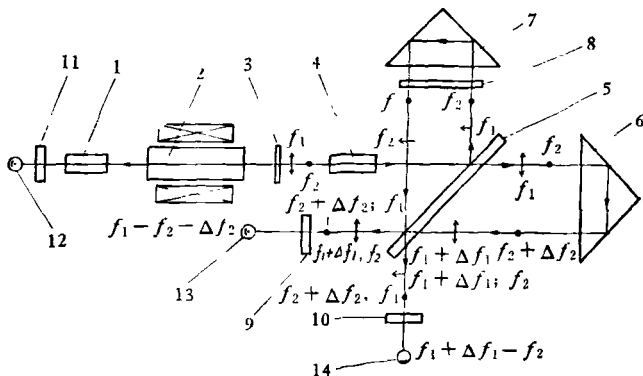


图2 第二方案原理图

1—电光晶体； 2—激光器； 3、8— $\frac{1}{4}$ 波片； 4—平行光管；
5—折光镜； 7、6—立体棱镜； 8、9、10、11—检偏器；
12、13、14—光电接收器。

这两路光返回到折光镜(5)上相遇，而不产生肉眼可见的条纹，因为已由 1/4 波片(8)把振动方向旋转了 90° ，再由折光镜分成两路。这时 f_1 和 $(f_2 + \Delta f_2)$ 的偏振方向是一致的， f_2 和 $(f_1 + \Delta f_1)$ 的振动方向一致。它们分别产生拍频。这时两路光分别进入检偏器，两检偏器检偏方向相互垂直。一路让 f_2 和 $(f_1 + \Delta f_1)$ 通过，把 f_1 和 $(f_2 + \Delta f_2)$ 去掉；另一路则相反，让 f_1 和 $f_2 + \Delta f_2$ 通过，把 f_2 和 $(f_1 + \Delta f_1)$ 去掉。接收器(14)得到的拍频信号为 $(f_1 + \Delta f_1) - f_2$ ，输入放大器和计算机。接收器(13)得到的信号为 $f_1 - (f_2 + \Delta f_2)$ ，输入放大器和计算机。两路信号由计算机减出结果为 $2\Delta f$ ，即：

$$\begin{aligned} & [(f_1 + \Delta f_1) - f_2] - [f_1 - (f_2 + \Delta f_2)] \\ & = \Delta f_1 + \Delta f_2 = 2\Delta f. \end{aligned}$$

因为 Δf_1 和 Δf_2 都是由测量立体棱镜(6)的前后移动同时产生的多普勒频差，所以它们的大小相等，其长度计算公式和第一方案完全一致，只是这里两频率光同时产生了多普勒频差 Δf ，相当于光学上实现了二倍频，分辨率提高了一倍。

上述两种方案的样机都已调试出来，并且与单频干涉仪、精密刻尺进行了比较测量，证明两种方案都是可行的。为了考验仪器的抗干扰能力又在北京第二通用机械厂的工具车间和大件车间对一台座标镗床和一台十米行程的镗铣床进行全行程误差检定。尽管车间里有着较大的振动和有一百吨大吊车行驶、起吊等影响，可是仪器工作正常、读数稳定，证明了双频干涉仪具有前面分析的优越性。

二、双频率激光的产生及其稳频

双频激光干涉仪之所以能够进行多用途和长距离的测量，关键在于双频激光器能够发出两个频率的圆偏振光；直接参予测量。两个方向的偏振光经会光后产生拍频，解决了直流放大器的零点漂移。下面谈谈双频激光器是怎样产生两个频率激光的及如何稳频。

1. 双频率激光的产生

如图3所示，双频激光器是由一全内腔式的 He-Ne 激光管、轴向磁场及稳频元件组成。点燃后输出的是包含两个频率的左、右旋圆偏振光。

我们知道，普通的 He-Ne 激光器，输出的是单频率的线偏振光，为什么加了外磁场的管子会出双频呢？毛主席教导我们：“外因是变化的条件，内因是变化的根据，外因通过内因而起作用。”¹⁾ 双频率激光正是由轴向向外

磁场这个外因，促使 Ne 原子这个内因发生能级分裂造成的。

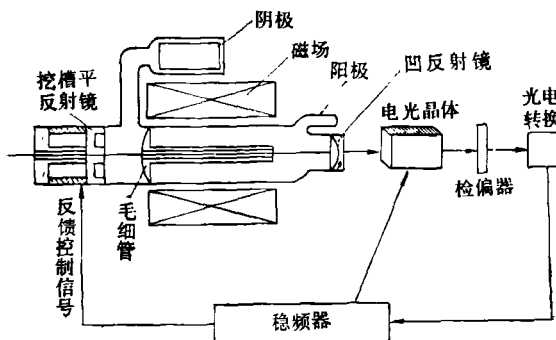


图3 双频激光器

我们知道，一般电子在原子核的转动坐标系中以椭圆轨道形式运动，由于电子公转，原子便具有磁矩(这里认为自旋为 0)，外磁场的加入，扰动了原来的状态，使原来具有的能级定态获得了附加能量，进而引起了能级(或谱线)的分裂(即所谓的塞曼效应)。在轴向发出两个频率的圆偏振光。

2. 怎样稳频

激光频率的稳定是保证测量精度的关键。如果频率不稳定则导致波长不稳，而波长不稳就失去了度量基准(因为我们在应用激光干涉仪计量时，是用激光波

1) 毛泽东，《矛盾论》，《毛泽东选集》一卷本，人民出版社，(1969)，277。

长 λ 为尺子进行量测, He-Ne 激光 $\lambda = 0.6328\mu$), 频率与波长的关系式为:

$$\lambda = \frac{c}{f}.$$

式中: λ ——波长; c ——光速; f ——频率。

毛主席教导我们:“事物发展的根本原因,不是在事物的外部而是在事物的内部,在于事物内部的矛盾性。”¹⁾

分析双频管自身的特性,我们发现:所谓双频管的频率稳定,就是把腔的谐振频率稳定在原子谱线中

心,它的表现形式是输出的左、右旋圆偏振光的光强相等。而激光腔的谐振频率又主要是受腔的长度制约。因此,我们采用加调制电压的铌酸锂晶体和一检偏器组成电光开关,用它来检测左右旋圆偏振光的光强变化,进而将其转换成交流电讯号,“反馈”控制压电陶瓷,实现腔长调节,达到频率稳定的目的。

样机稳频度达到 5×10^{-4} 。

1) 毛泽东,《矛盾论》,《毛泽东选集》一卷本,人民出版社,(1969),276。

用唯物辩证法分析单晶炉热场问题

——下厂实践总结

崔津申

(吉林大学半导体系材料专业二年级学员)

在批林批孔运动深入发展的大好形势下,在毛主席无产阶级教育路线指引下,我们走出学校到工厂去参加生产实践,接受工人阶级的再教育。两个月来无论在政治上和业务上都取得了一定的成绩。

我入学前是在电业局做调度工作的,对半导体材料的生产一点也不了解,拉制硅单晶的单晶炉连看都没有看过。在这次下厂期间,通过参加硅单晶生产实践,结合“半导体材料工艺学”这门课程的学习,在工人师傅的教育和帮助下,学到了关于硅单晶生产的一些知识并亲自动手进行操作,初步掌握了硅单晶生产工艺。在实践和学习的过程中努力学习和运用唯物辩证法作指导,分析生产实践中所遇到的问题,这对理解、掌握和运用所学的知识有极大的帮助。下面仅就单晶炉热场问题谈谈自己的学习体会。

一、抓住主要矛盾—— 热场问题的提出

在半导体器件的生产中,需要具有一定参数的硅、锗单晶体。为了拉制出符合要求的单晶,在生产实践中碰到的问题很多,例如:拉晶工艺、原料、热场、设备性能和稳定性等等。问题就是矛盾,矛盾是客观存在的,一切事物的发展过程中自始至终都存在着矛盾,没有不存在矛盾的事物。毛主席教导我们说:“研究任何过程,如果是存在着两个以上矛盾的复杂过程的话,就要用全力找出它的主要矛盾。”¹⁾拉晶过程中充满着这样或那样的矛盾,需要我们去解决,但什么是主要矛盾呢?在下厂拉晶实践中使我感到,比较突出的还是

热场问题。常常有这样情况,如果单晶炉内的热场设计、调整的比较合理,尽管原料等条件发生变化,仍然可以拉出符合要求的单晶。反之,如果炉子的热场不合理,则很难拉出符合要求的单晶来。根据晶体生长的一般原理我们知道,晶体生长的过程即成核和长大的过程,是与炉体温度分布密切有关的,温度分布对成核和长大都有重大的影响。通常我们所说的热场是指单晶炉加热器发出的热量经过系统的作用在炉体内形成的温度分布。单晶炉的热场除与加热器、保温系统等静态因素有关外,还与拉速、晶转、锅转等动态因素相关。热场是为制备单晶创造条件的,晶体生长必须用合理的热场来保证。因此,热场的好坏对单晶生长起着决定的作用,也就是当前直拉法制备单晶的关键所在。

显然,热场问题是制备单晶的主要矛盾。那么,在拉晶过程中,只有抓住这个矛盾,分析、认识它的特性,掌握客观规律,才能在矛盾的总体,矛盾的相互联系上把握事物的本质,进而不断解决矛盾,这对于我们拉制符合要求的单晶有着十分重要的意义。

二、分析、认识矛盾的特性—— 热场的合理性

矛盾是普遍存在的,但是各种事物的矛盾性质,却各不相同。任何矛盾各有其特点,不论研究何种矛盾

1) 毛泽东,《矛盾论》,《毛泽东选集》一卷本,人民出版社,(1969),297。