

用电磁力获得应力双折射及双频激光

李 岩 李 璐 张书练 韩艳梅

(清华大学精密仪器与机械学系, 北京, 100084)

摘要: 提出和研究一种新的方法, 即利用电磁铁的电磁力去产生和控制双频激光器的频差。采用半内腔式的激光器结构, 激光增益管窗片的两表面镀有高增透膜并作为腔内应力双折射元件。调节电磁铁电压的大小, 电磁铁沿窗片径向所施加的压力的大小也随之改变, 因而使频差得以产生和控制。频差由光电探测器检测, 其大小由频率计读出。

关键词: 应力双折射 双频激光器 电磁力

Using electromagnetical force to get stress birefringence and dual frequency laser

Li Yan, Li Lu, Zhang Shulian, Han Yanmei

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

Abstract: This paper introduces a new method for both producing and controlling the frequency difference of a dual frequency laser by using an electromagnetical force which is applied onto the window plate. In our experiments, we use a half-intracavity laser. The discharge tube's window plate with high anti-reflecting film is used as a stress birefringence element. The electromagnet applies a force along a diameter of the window plate. When the voltage of electromagnet is tuned, the force is adjusted too. So the frequency difference is produced and controlled. The frequency difference is detected by a photo-electric detector and countered by a frequency meter.

Key words: stress birefringence dual frequency laser electromagnetical force

引 言

双频激光器是指在一个单纵模激光谐振腔中同时产生两个不同频率的激光。它广泛地应用于激光干涉仪、位移、角度、准直等多种精密测量系统中, 随着双频激光器技术的进一步发展, 它的应用领域也将越来越多。

从一般意义上讲, 在 60 年代初激光问世不久, 就出现了两种能产生两个频率输出的激光器。一个是用于导弹、飞机、导航的三角形腔激光陀螺(行波激光器), 另一个是用于双频干涉仪的塞曼效应激光器(驻波激光器)。

激光陀螺是一种十分优良的导航设备, 但作为双频激光器是不合适的, 因为其价格昂贵, 装调困难。

塞曼效应的双频激光器由于其原理频率分裂范围有限, 一般达不到 3.5MHz, 一般为 1.5 ~ 2MHz。

因此, 双频激光器的研究转向了利用晶体的双折射效应。所谓晶体的双折射效应, 就是当自然光进入各向异性的晶体时, 原来是任意方向的振动, 就变成了两个互相垂直方向振动的偏

振光。一般而言,这两束振动方向互相垂直的线偏光在晶体中有不同的传输速度,即有不同的折射率。

当一个双折射元件(如一块石英晶体或一片加了电压的 KD^*P 晶体,或加了外力的应力双折射元件等)放入激光腔后,由于单轴晶体的性质,会产生两个折射率 n' 和 n'' 。则一束光通过晶体后,会分裂成两个正交偏振态。例如:将一块石英晶体放入谐振腔中,由于石英晶体的自然双折射,激光器内将形成 o 光与 e 光,且 o 光和 e 光实际上具有不同的物理腔长,不同的波长和不同的频率。我们可以在激光器和光电探测器之间加一个偏振片,然后从光电探测器检测拍频。显然,当 o 光和 e 光的光程差改变时,所得的拍频亦会改变^[1,2]。

最新的双频激光器是利用激光腔内双折射元件的双折射效应来产生频率分裂。在应用中,要求双频激光器的两个频率的差有足够的稳定性;有些应用要求双频激光器的频差可按需要进行调谐。这些都涉及到对双频激光器输出频差的直接控制。在此之前,使用拧螺丝钉的办法对激光窗片加力的方法以获得频差,但这不易于实现人工智能控制。也尝试过用压电陶瓷的伸长对激光窗片加压力,但由于压电陶瓷的伸长过小及易碎等原因,力很难加上去。下面,我们将介绍利用电磁力产生双折射并使激光器获得双频激光的方法。

1 基本原理

在腔内放入应力双折射元件也能产生频率分裂,其分裂公式为:

$$\delta = 8NF / (\pi D f_0) \quad (1)$$

$$\Delta\nu = (8\nu/L) [NF / (\pi D f_0)] \quad (2)$$

式中, D 是圆形光学晶片的直径; f_0 是这种光学材料的条纹值; F 是沿直径方向相加的外力;应力双折射光学材料可以是石英晶体, Nd:YAG, K9 玻璃和 K4 玻璃。

频差 $\Delta\nu$ 与外力 F 是线性单调关系。因而考虑通过 F 来控制频差 $\Delta\nu$ 。

用电磁力来产生和控制频差是一种全新的方法。选用电磁铁作为执行器,是在过去实验工作的基础上,经过分析比较而得来的改进方案。过去是使用拧螺丝钉加力的方法和用压电陶瓷的方法。这两种方法都存在一定的缺陷。当使用拧螺丝钉的加力方法时,担心由于不知道所加力的大小,增益管颈部易被折断,且不能实施对频差的精细调谐,更无法进行频差大小的闭环控制。而压电陶瓷的方法,则力比较小^[3]。

2 利用电磁力产生频差的实验装置

如图 1 所示: M_1 是反射镜, M_2 是半透半反镜, Y 是应力双折射元件, T 是放电管,它们共同构成半内腔式激光器^[4]; P 是偏振片,置于激光腔的输出端,其通光轴与从镜 M_2 出射的两个互相垂直的线偏光成 45° 夹角; D 是光电探测器, C 是频率计数器, E 是执行器,即电磁铁向应力双折射元件施力的加力装置,包括它的功放电路。

用电磁力产生和控制应力双折射双频激光器频率分裂技术的关键是用一块受电压控制的电磁铁对激光腔的应力双折射元件 Y 进行挤压,施加外力 F 。当电磁铁上的电压变化时,加在应力双折射元件 Y 上的应力 F 变化,从而引起频差变化。

本设计的思路是采用半内腔式的激光器,中间非反射镜的窗片为应力双折射元件,要求在

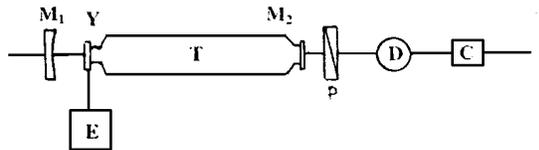


Fig. 1 Principle diagram of using electromagnetic force to get dual frequency laser

激光管的这个应力双折射窗片上对径施加应力从而产生双折射。

压力施加装置的机械结构设计如图 2 所示。此机械结构图有三点需要说明:

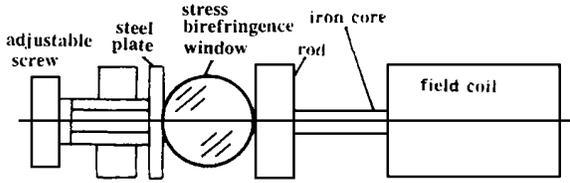


Fig. 2 Structure of applied stress unit

窗片上,而是通过一摇杆间接施力。同理,对面一侧的螺丝钉也是经过一钢板(约 2mm 厚)间接顶住窗片。

(3) 电磁铁的线圈被封闭在钢质套筒中,线圈与铁芯之间为光滑导轨。

由于预先设定调节频差的电压模拟量为 0V~ 5V,而电磁铁的工作电压为 0V~ 24V,因此,需要一功放电路来放大电压及电流以驱动电磁铁工作。

它的基本原理是用运算放大电路把 0V~ 5V 的电压放大 6 倍,即 0V~ 30V,再利用达林顿管把电流放大。实际工作时,输出电压为 0V~ 26V,电磁铁的工作电流为 0A~ 0.32A。

3 实验结果与分析

本实验中共测出了两组数据。一组是力与电压 ($F-V$) 的关系曲线,另一组是频差与电压 ($\Delta f-V$) 的关系曲线。

3.1 电磁铁的电压与力关系曲线的分析

为了得知电磁铁所加电压产生的电磁力的大小即 $F-V$ 的关系曲线,我们首先选用应变式测力仪作了一组实验。实验装置如图 3。实验中,我们先把控制电压调至最大(5V),然后,调节带动电磁铁的微动工作台使测力仪示数最大,接着把电压逐步下降,每次下降,分别记录下电压值与测力仪的读数。得到曲线如图 4 所示。

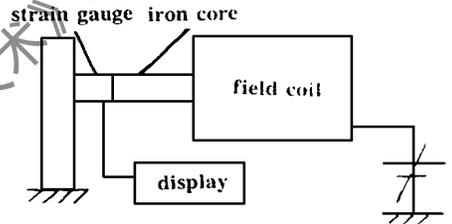


Fig. 3 Measurement setup of electromagnetical force using strainometer

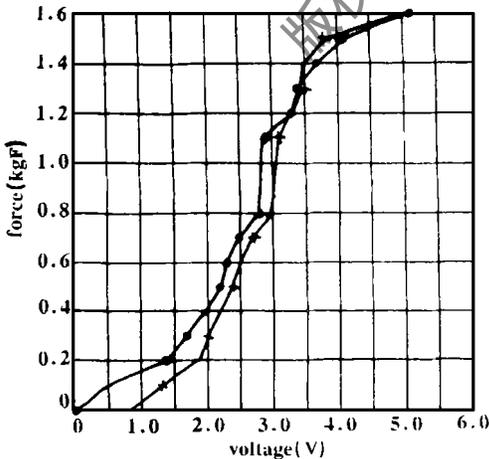


Fig. 4 The relationship between stress and voltage

(1) 如果应力双折射窗片仅承受单侧径向力,则很可能会导致激光放电管的颈部折断,因此,在电磁铁的对面一侧设置了一个顶住窗片的螺丝钉。

(2) 为了保证窗片的径向受力,电磁铁的施力铁芯并非直接加在应力双折射

窗片上,而是通过一摇杆间接施力。同理,对面一侧的螺丝钉也是经过一钢板(约 2mm 厚)间接顶住窗片。

(3) 电磁铁的线圈被封闭在钢质套筒中,线圈与铁芯之间为光滑导轨。

由于预先设定调节频差的电压模拟量为 0V~ 5V,而电磁铁的工作电压为 0V~ 24V,因此,需要一功放电路来放大电压及电流以驱动电磁铁工作。

它的基本原理是用运算放大电路把 0V~ 5V 的电压放大 6 倍,即 0V~ 30V,再利用达林顿管把电流放大。实际工作时,输出电压为 0V~ 26V,电磁铁的工作电流为 0A~ 0.32A。

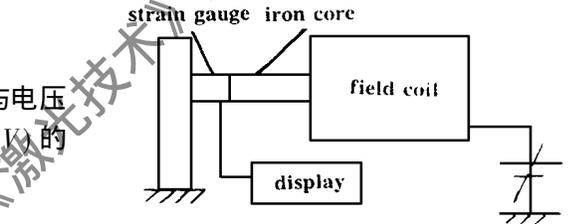


Fig. 3 Measurement setup of electromagnetical force using strainometer

为了得知电磁铁所加电压产生的电磁力的大小即 $F-V$ 的关系曲线,我们首先选用应变式测力仪作了一组实验。实验中,我们先把控制电压调至最大(5V),然后,调节带动电磁铁的微动工作台使测力仪示数最大,接着把电压逐步下降,每次下降,分别记录下电压值与测力仪的读数。得到曲线如图 4 所示。

由图 4 可见, $F-V$ 整体上不是线性的,但在一个小的区间内可近似视为线性关系。由图 4 可知电磁铁可以产生 1.2kg 以上的压力,这么大的径向压力足以使双折射元件产生几十兆赫兹的频率分裂,可见用电磁力来获得频差是完全可行的。

曲线重复性不是很好。分析其原因,是机械结构本身的稳定性不好引起的。因为,铁芯所施加的力的大小,最根本取决于铁芯与线圈的相对位置。要想 $F-V$ 曲线的重复性好,必须

保证固定在微动工作台上的线圈与铁芯之间相对位置的牢固。然而,采用这种机械结构存在两个装置所固有的无法解决的间隙问题。其一是微动工作台与导轨之间的间隙,其二是电磁

铁内部铁芯与线圈之间的导轨的间隙,这两个间隙影响了电磁铁铁芯与线圈之间的相对位置的稳定性。主要由于这两个原因,每重测一次数据,铁芯与线圈的相对初始位置就不尽相同,因而,曲线难以具有很好的重复性。

3.2 电压与频差关系曲线的分析

实验中,我们采用 4.08V~3V 这一小区间段的电压,电压由大逐步变小,每变化一次分别记录下电压与频差的大小。

由图 5 所示,在 3V~4.08V 这一小段电压区间内,频差与电压基本上成线性关系,每变化 1V 电压产生约 18MHz 的频差变化。

当然,图 5 中仍然存在曲线重复性不够好的问题,这与上一节中的曲线重复性不够好是相对应的。

由于在利用电磁力方面,前人没有这方面的研究,所以每一步都必须做许多相关实验,而且实验的结果有时可能与预计的不一样,但总的说来,由以上的数据图表可知,基本实现了预定目标。

4 结束语

我们实现了用电磁力来获得应力双折射及双频激光,下一步的工作目标是利用计算机的闭环反馈系统

实现双频激光器的稳频差技术,把频差控制在 $\pm 0.5\text{MHz}$ 之内。要实现这一功能对曲线的重复性要求并不高,因此,可在目前工作的基础之上直接加上计算机闭环系统。整个系统方案图

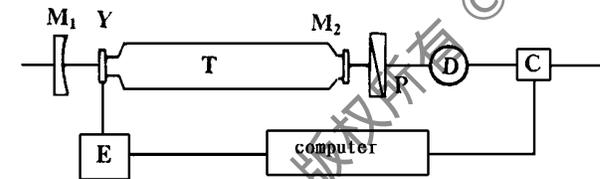


Fig. 6 Principle diagram of using electromagnetical force to stabilize frequency difference of dual frequency laser

如图 6 所示: M_1 是反射镜, M_2 是半透半反镜, Y 是应力双折射元件, T 是放电管,它们共同构成半内腔式激光器; P 是偏振片,置于激光腔的输出端,其通光轴与从镜 M_2 出射的两个互相垂直的线偏光成 45° 夹角; D 是光电探测器; C 是频率计数器,后端有输入计算机的接口,通过计算机对频差数据进行处理,输出电压控制量; E 是执行器,即电磁铁向应力双折射元件施力的加力装置,包括它的功放电路。系统改进的着眼点应该是施力装置机械结构的稳定性。

参 考 文 献

- 1 Zhang Sh L, Guo H, Li K L *et al.* Optics and Lasers in Engineering, 1995; 23: 1~ 28
- 2 Zhang Sh L, Wu M X, Jin G F. Appl Opt, 1990; 29(9)
- 3 Zhang Sh L, Li Y, Quan X H *et al.* SPIE, 2889
- 4 李士杰,张书练. 应用激光基础. 杭州: 浙江大学出版社, 1994

* * *

作者简介: 李 岩,男,1963 年出生。博士,副教授。现从事光电与激光技术和精密计量测试方面科研和教学。

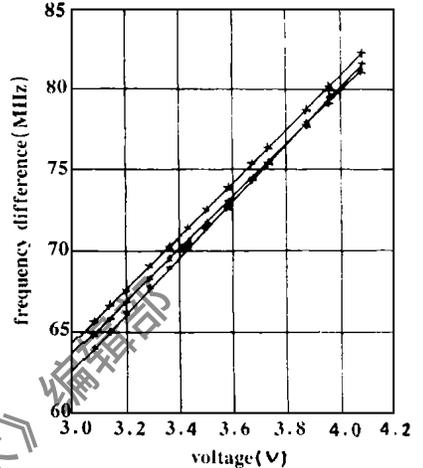


Fig. 5 The relationship between frequency difference and voltage