



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103809166 A

(43) 申请公布日 2014. 05. 21

(21) 申请号 201410025286. 9

(22) 申请日 2014. 01. 20

(71) 申请人 浙江大学

地址 310027 浙江省杭州市西湖区浙大路  
38 号

(72) 发明人 刘东 杨甬英 成中涛

(74) 专利代理机构 杭州求是专利事务所有限公  
司 33200

代理人 杜军

(51) Int. Cl.

G01S 7/481 (2006. 01)

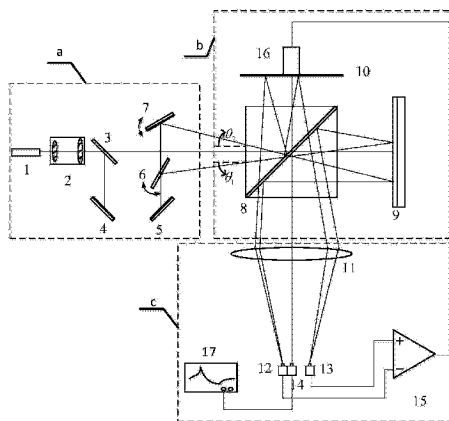
权利要求书2页 说明书7页 附图2页

(54) 发明名称

一种迈克尔逊干涉型光谱滤波器谐振频率锁定装置及方法

(57) 摘要

本发明公开了一种迈克尔逊干涉型光谱滤波器谐振频率锁定装置及方法。本发明包括激光器分束系统、Michelson 干涉型滤波器系统和光电探测系统；激光器分束系统包括激光器、准直扩束器、第一分光镜、第一反射镜、第二反射镜、第二分光镜、第三反射镜；Michelson 干涉型滤波器系统包括立方分光棱镜、第四反射镜、第五反射镜；光电探测系统包括透镜、第一光电倍增管、第二光电倍增管、第三光电倍增管、差分放大器、示波器；具体步骤：1. 计算两束探针光束的入射角；2. 调节两束探针光束的入射角；3. 查看示波器，判断锁频状态；本发明实现简单，能够避免传统锁频方法对电路和光路的复杂要求，从而具有较强的系统稳定性和鲁棒性。



1. 一种迈克尔逊干涉型光谱滤波器谐振频率锁定装置,其特征在于包括激光器分束系统、Michelson 干涉型滤波器系统和光电探测系统;

激光器分束系统包括激光器、准直扩束器、第一分光镜、第一反射镜、第二反射镜、第二分光镜、第三反射镜;Michelson 干涉型滤波器系统包括立方分光棱镜、第四反射镜、第五反射镜,其中第五反射镜和频率谐调设备机械连接实现谐振频率调整;光电探测系统包括透镜、第一光电倍增管、第二光电倍增管、第三光电倍增管、差分放大器、示波器;

激光器发射的激光光束经准直扩束系统被扩束为宽光束平行光;宽光束平行光经过第一分光镜分成两路,其中一路经过第一分光镜透射后直接射入待锁频的 Michelson 干涉滤波系统作为监测光束;另一路依次经过第一反射镜、第二反射镜后,再经第二分光镜分成两路,其中第一路经过第二分光镜透射后,再经第三反射镜反射以角度  $\theta_2$  进入待锁频的 Michelson 干涉滤波器系统作为探针光束;第二路经第二分光镜反射后直接以角度  $\theta_1$  进入待锁频的 Michelson 干涉滤波器系统作为探针光束;两路探针光束以及监测光束经过待锁频的 Michelson 干涉滤波器系统时,两路探针光束与监测光束均由 Michelson 干涉滤波器系统内的立方分光棱镜分成两路,一路经立方分光棱镜透射后再由第四反射镜反射回立方分光棱镜,并经立方分光棱镜反射进入透镜;另一路经立方分光棱镜反射后再由第五反射镜反射回立方分光棱镜,并经立方分光棱镜透射进入透镜;几路光束被透镜聚焦在其焦平面不同位置并分别发生干涉,且干涉信号分别被第一光电倍增管、第二光电倍增管、第三光电倍增管接收并转换成电信号;将第一光电倍增管、第二光电倍增管输出的电信号输入差分放大器,差分放大器的输出信号反馈给频率谐调设备;而第三光电倍增管的输出电信号输入示波器作为锁频状态监测信号。

2. 使用如权利要求 1 所述的一种迈克尔逊干涉型光谱滤波器谐振频率锁定装置的方法,其特征在于包括如下步骤:

步骤 1. 计算两束探针光束的入射角;

步骤 2. 调节两束探针光束的入射角;

步骤 3. 查看示波器,判断锁频状态;

步骤 1 所述的两路探针光束的入射角包括  $\theta_1$  和  $\theta_2$ ;  $\theta_1$  和  $\theta_2$  需满足如下匹配要求:

$\theta_1$  的选取需要使 Michelson 干涉滤波器对该角度入射的探针光束的光程差和 0 度角入射时的光程差之差  $\Delta OPD(\theta_1)$  为  $(n_1+1/4)\lambda_0$ , 即

$$\Delta OPD(\theta_1) = (n_1+1/4)\lambda_0 \quad (1)$$

其中,  $\lambda_0$  是激光器中心波长,  $n_1$  是一个待选定的整数(推荐值为 0 ~ 10);  $\Delta OPD(\theta_1)$  的计算方法与所用的 Michelson 干涉滤波器的结构参数有关;若 Michelson 干涉滤波器两干涉臂的长度分别为  $d_1$  和  $d_2$ , 折射率分别为  $\rho_1$  和  $\rho_2$ , 则  $\Delta OPD(\theta_1)$  可按如下几个式子计算

$$OPD(\theta_1) = 2 \cdot \text{abs} \left[ \rho_1 d_1 \left( 1 - \frac{\sin^2 \theta_1}{\rho_1^2} \right)^{1/2} - \rho_2 d_2 \left( 1 - \frac{\sin^2 \theta_1}{\rho_2^2} \right)^{1/2} \right] \quad (2a)$$

$$OPD(0) = 2 \cdot \text{abs}(\rho_1 d_1 - \rho_2 d_2) \quad (2b)$$

$$\Delta OPD(\theta_1) = \text{abs}[OPD(\theta_1) - OPD(0)] \quad (2c)$$

其中,  $\text{abs}(\cdot)$  表示取绝对值,  $OPD(\theta_1)$  表示以角度  $\theta_1$  入射时 Michelson 干涉滤波器

的光程差,  $OPD(0)$  表示光线正入射时 Michelson 干涉滤波器的光程差; 只要选定了整数  $n_1$  后, 联立式(1)、(2)即可解出  $\theta_1$ ;

要和  $\theta_1$  相匹配, 入射角  $\theta_2$  必须满足 Michelson 干涉滤波器对该探针光束的光程差和正入射时的光程差之间的变化:

$$\Delta OPD(\theta_2) = (n_2 - 1/4) \lambda_0 \quad (3)$$

式(3)中,  $n_2$  为另一个待选定的整数, 为  $0 \sim 50$  且要比选定的  $n_1$  大, 同理,  $\Delta OPD(\theta_2)$  可按如下几个式子计算

$$OPD(\theta_2) = 2 \cdot \text{abs} \left[ \rho_1 d_1 \left( 1 - \frac{\sin^2 \theta_2}{\rho_1^2} \right)^{1/2} - \rho_2 d_2 \left( 1 - \frac{\sin^2 \theta_2}{\rho_2^2} \right)^{1/2} \right] \quad (4a)$$

$$\Delta OPD(\theta_2) = \text{abs}[OPD(\theta_2) - OPD(0)] \quad (4b)$$

其中  $OPD(\theta_2)$  表示以角度  $\theta_2$  入射时 Michelson 干涉滤波器的光程差。只要选定了整数  $n_2$  后, 联立式(3)、(4)即可解出  $\theta_2$ 。

步骤 2 所述的调节探针光束的入射角, 具体如下:

2-1. 在两路探针光束调节之前, 通过频率谐调设备手动将第三光电倍增管的输出调为 0, 即让 Michelson 干涉仪滤波器初始化处于频率锁定状态;

2-2. 调节第二分光镜和第三反射镜, 使得探针光束的入射角  $\theta_1$  和  $\theta_2$  的角度与步骤 1 计算出的入射角  $\theta_1$  和  $\theta_2$  相一致;

具体相一致的判断方法如下:

在实际光路调节时, 先断开差分放大器接到频率谐调设备的反馈端, 用精密移动转台先将其中一束探针光束的入射角度调节到  $\theta_1$ , 再将另一束探针光束的角度确定在理论计算出的  $\theta_2$  附近, 然后微调第二束探针光束的精密移动转台, 直至差分放大器的输出达到 0; 两探针光束的角度调节完成后, 再将差分放大器的反馈端接入 Michelson 干涉滤波器的频率谐调设备;

步骤 3 所述的查看示波器, 判断锁频状态, 具体如下:

若 Michelson 干涉滤波器刚好锁定在激光器中心频率, 则示波器的输出信号为 0; 若外部环境因素的影响造成 Michelson 干涉仪频率失锁定, 则差分放大器会输出误差信号并反馈给 Michelson 干涉滤波器的频率谐调设备, 频率谐调设备在该误差信号的驱动下自动调整干涉仪的谐振频率, 直至锁定到所需激光中心频率; 在这个过程中, 示波器的输出信号也会逐步趋近 0。

3. 如权利要求 1 或 2 所述的一种迈克尔逊干涉型光谱滤波器谐振频率锁定的方法, 其特征在于所述的第一分光镜是反射率大于透射率的分光镜; 第二分光镜是 50%:50% 分光比的分光镜。

4. 如权利要求 3 所述的一种迈克尔逊干涉型光谱滤波器谐振频率锁定的方法, 其特征在于所述的第一分光镜的反射率与透射率比如下: T:R=10%:90%。

## 一种迈克尔逊干涉型光谱滤波器谐振频率锁定装置及方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于激光雷达技术领域,特别是涉及一种迈克尔逊(Michelson)干涉型光谱滤波器谐振频率锁定装置及方法。

### 背景技术

[0002] 高光谱分辨率激光雷达由于采用了光谱滤波技术,解决了传统后向散射激光雷达需要诸多先验假设才能反演出大气参数的不足,因而提高了大气遥感的精度。在高光谱分辨率激光雷达中,光谱滤波器的使用是一个极为关键的技术。通过光谱滤波器的高光谱分辨能力,能将大气后向散射光谱中由大气气溶胶散射的成分和由大气分子散射的成分分离开来,这样就能得到大气后向散射谱的更多细节。结合相关的遥感原理即能更加准确的反演出大气后向散射系数、消光系数等大气光学属性。

[0003] 目前,碘分子吸收滤波器因对大气气溶胶散射信号的高过滤率,光谱吸收特性的高稳定性以及不依赖于和入射光的机械对齐等优点已被用在很多高光谱分辨率激光雷达中。但是由于此类滤波器的吸收峰值(吸收谐振峰)是由分子的自然吸收机理所决定的,不能任意改变其使用波段,故限制了激光雷达的光谱拓展。为了解决这个缺点,Michelson干涉型光谱滤波器越来越受到关注并逐步应用到激光雷达中。由于采用了光的干涉原理,Michelson干涉型光谱滤波器的谐振频率可以设置在任何感兴趣的激光波长,极大的拓宽了激光雷达的光谱应用领域。

[0004] 但是,Michelson干涉型光谱滤波器的谐振频率却远不如碘分子吸收滤波器那样稳定。温度、外部应力等都会造成谐振频率的漂移。怎样将Michelson干涉型光谱滤波器谐振频率锁定在需要的激光中心频率是其用于高光谱分辨率激光雷达的一个重大技术问题。在已有报道的文献中,均采用了频率调制锁频的技术。该技术通过将用来锁频的激光光束通过电光调制器或者声光调制器的调制后,产生对称分布于原始激光频率两侧的边带频率信号。该边带信号和原激光信号通过待锁定的干涉型光谱滤波器之后,会在光电探测器上得到幅度调制的电压信号。最后需要一个与驱动调制器的信号相同步的电压信号来解调该幅度调制信号,从而得到频率失锁时的误差信号。通过将该误差信号反馈到干涉型光谱滤波器的频率谐调设备,如压电传感器(PZT),就可以将失去锁定的滤波器重新谐调到所使用的激光频率。虽然该技术应用广泛,但是不足之处是所需要的设备十分复杂。例如至少需要两个电光频率调制器来达到比较好的调制效果;为了保持解调信号与调制器驱动信号的同步,往往需要锁相环电路;由于调制频率通常都在MHz量级,故探测器需要很高的频率响应才能探测到需要的光电信号。这些都增加了该技术的电路与光学器件的复杂程度。

### 发明内容

[0005] 本发明的目的是为了克服上述现有技术的不足,减少Michelson干涉型光谱滤波器谐振频率锁定的装置复杂性,提出了一种迈克尔逊干涉型光谱滤波器谐振频率锁定方法。

[0006] 本发明巧妙的利用了 Michelson 干涉型光谱滤波器谐振频率与入射激光的入射角的依赖关系,通过两束入射角相匹配的探针光束来对 Michelson 干涉滤波器谐振频率进行实时探测,一旦存在频率失锁定,则能产生误差信号并反馈给滤波器的频率谐调设备以将其重新谐调到频率锁定状态。由于不需要高频调制和同步解调,故极大降低了电路、光路的复杂程度。

[0007] 一种迈克尔逊干涉型光谱滤波器谐振频率锁定装置,包括激光器分束系统、Michelson 干涉型滤波器系统和光电探测系统;

[0008] 激光器分束系统包括激光器、准直扩束器、第一分光镜、第一反射镜、第二反射镜、第二分光镜、第三反射镜;Michelson 干涉型滤波器系统包括立方分光棱镜、第四反射镜、第五反射镜,其中第五反射镜和频率谐调设备机械连接实现谐振频率调整;光电探测系统包括透镜、第一光电倍增管、第二光电倍增管、第三光电倍增管、差分放大器、示波器;

[0009] 激光器发射的激光光束经准直扩束器被扩束为宽光束平行光;宽光束平行光经过第一分光镜分成两路,其中一路经过第一分光镜透射后直接射入待锁频的 Michelson 干涉滤波系统作为监测光束;另一路依次经过第一反射镜、第二反射镜后,再经第二分光镜分成两路,其中第一路经过第二分光镜透射后,再经第三反射镜反射以角度  $\theta_2$  进入待锁频的 Michelson 干涉滤波器系统作为探针光束;第二路经第二分光镜反射后直接以角度  $\theta_1$  进入待锁频的 Michelson 干涉滤波器系统作为探针光束;两路探针光束以及监测光束经过待锁频的 Michelson 干涉滤波器系统时,两路探针光束与监测光束均由 Michelson 干涉滤波器系统内的立方分光棱镜分成两路,一路经立方分光棱镜透射后再由第四反射镜反射回立方分光棱镜,并经立方分光棱镜反射进入透镜;另一路经立方分光棱镜反射后再由第五反射镜反射回立方分光棱镜,并经立方分光棱镜透射进入透镜;几路光束被透镜聚焦在其焦平面不同位置并分别发生干涉,且干涉信号分别被第一光电倍增管、第二光电倍增管、第三光电倍增管接收并转换成电信号;将第一光电倍增管、第二光电倍增管输出的电信号输入差分放大器,差分放大器的输出信号反馈给频率谐调设备;而第三光电倍增管的输出电信号输入示波器作为锁频状态监测信号。

[0010] 一种迈克尔逊干涉型光谱滤波器谐振频率锁定方法,包括如下步骤:

[0011] 步骤 1. 计算两束探针光束的入射角;

[0012] 步骤 2. 调节两束探针光束的入射角;

[0013] 步骤 3. 查看示波器,判断锁频状态;

[0014] 步骤 1 所述的两路探针光束的入射角包括  $\theta_1$  和  $\theta_2$ ;  $\theta_1$  和  $\theta_2$  需满足如下匹配要求:

[0015]  $\theta_1$  的选取需要使 Michelson 干涉滤波器对该角度入射的探针光束的光程差和 0 度角入射时的光程差之差  $\Delta OPD(\theta_1)$  为  $(n_1+1/4)\lambda_0$ , 即

$$[0016] \quad \Delta OPD(\theta_1) = (n_1+1/4)\lambda_0 \quad (1)$$

[0017] 其中,  $\lambda_0$  是激光器中心波长,  $n_1$  是一个待选定的整数(推荐值为 0 ~ 10);  $\Delta OPD(\theta_1)$  的计算方法与所用的 Michelson 干涉滤波器的结构参数有关;若 Michelson 干涉滤波器两干涉臂的长度分别为  $d_1$  和  $d_2$ , 折射率分别为  $\rho_1$  和  $\rho_2$ , 则  $\Delta OPD(\theta_1)$  可按如下几个式子计算

$$[0018] \quad OPD(\theta_1) = 2 \cdot \text{abs} \left[ \rho_1 d_1 \left( 1 - \frac{\sin^2 \theta_1}{\rho_1^2} \right)^{1/2} - \rho_2 d_2 \left( 1 - \frac{\sin^2 \theta_1}{\rho_2^2} \right)^{1/2} \right] \quad (2a)$$

$$[0019] \quad OPD(0) = 2 \cdot \text{abs}(\rho_1 d_1 - \rho_2 d_2) \quad (2b)$$

$$[0020] \quad \Delta OPD(\theta_1) = \text{abs}[OPD(\theta_1) - OPD(0)] \quad (2c)$$

[0021] 其中,  $\text{abs}(\cdot)$  表示取绝对值,  $OPD(\theta_1)$  表示以角度  $\theta_1$  入射时 Michelson 干涉滤波器的光程差,  $OPD(0)$  表示光线正入射时 Michelson 干涉滤波器的光程差; 只要选定了整数  $n_1$  后, 联立式(1)、(2)即可解出  $\theta_1$ ;

[0022] 要和  $\theta_1$  相匹配, 入射角  $\theta_2$  必须满足 Michelson 干涉滤波器对该探针光束的光程差和正入射时的光程差之间的变化:

$$[0023] \quad \Delta OPD(\theta_2) = (n_2 - 1/4) \lambda_0 \quad (3)$$

[0024] 式(3)中,  $n_2$  为另一个待选定的整数, 为  $0 \sim 50$  且要比选定的  $n_1$  大, 同理,  $\Delta OPD(\theta_2)$  可按如下几个式子计算

$$[0025] \quad OPD(\theta_2) = 2 \cdot \text{abs} \left[ \rho_1 d_1 \left( 1 - \frac{\sin^2 \theta_2}{\rho_1^2} \right)^{1/2} - \rho_2 d_2 \left( 1 - \frac{\sin^2 \theta_2}{\rho_2^2} \right)^{1/2} \right] \quad (4a)$$

$$[0026] \quad \Delta OPD(\theta_2) = \text{abs}[OPD(\theta_2) - OPD(0)] \quad (4b)$$

[0027] 其中  $OPD(\theta_2)$  表示以角度  $\theta_2$  入射时 Michelson 干涉滤波器的光程差。只要选定了整数  $n_2$  后, 联立式(3)、(4)即可解出  $\theta_2$ ;

[0028] 步骤 2 所述的调节探针光束的入射角, 具体如下:

[0029] 2-1. 在两路探针光束调节之前, 通过频率谐调设备手动将第三光电倍增管的输出调为 0, 即让 Michelson 干涉仪滤波器初始化处于频率锁定状态;

[0030] 2-2. 调节第二分光镜和第三反射镜, 使得探针光束的入射角  $\theta_1$  和  $\theta_2$  的角度与步骤 1 计算出的入射角  $\theta_1$  和  $\theta_2$  相一致;

[0031] 具体相一致的判断方法如下:

[0032] 在实际光路调节时, 先断开差分放大器接到频率谐调设备的反馈端, 用精密移动转台先将其中一束探针光束的入射角度调节到  $\theta_1$ , 再将另一束探针光束的角度确定在理论计算出的  $\theta_2$  附近, 然后微调第二束探针光束的精密移动转台, 直至差分放大器的输出达到 0; 两探针光束的角度调节完成后, 再将差分放大器的反馈端接入 Michelson 干涉滤波器的频率谐调设备;

[0033] 步骤 3 所述的查看示波器, 判断锁频状态, 具体如下:

[0034] 若 Michelson 干涉滤波器刚好锁定在激光器中心频率, 则示波器的输出信号为 0; 若外部环境因素的影响造成 Michelson 干涉仪频率失锁定, 则差分放大器会输出误差信号并反馈给 Michelson 干涉滤波器的频率谐调设备, 频率谐调设备在该误差信号的驱动下自动调整干涉仪的谐振频率, 直至锁定到所需激光中心频率; 在这个过程中, 示波器的输出信号也会逐步趋近 0。

[0035] 所述的第一分光镜是反射率大于透射率的分光镜; 第二分光镜是 50%:50% 分光比的分光镜。

[0036] 所述的第一分光镜的反射率与透射率比如下: T:R=10%:90%。

[0037] 本发明的有益效果如下：

[0038] 本发明适合于各种 Michelson 干涉型光谱滤波器的谐振频率锁定，实现简单，可以避免传统锁频方法对电路和光路的复杂要求，从而具有较强的系统稳定性和鲁棒性。

#### 附图说明

[0039] 图 1 是本发明装置的光路图；

[0040] 图 2 是本发明中 Michelson 干涉型光谱滤波器光程差变化和入射角关系的一个实例；

[0041] 图 3 是本发明锁定 Michelson 干涉型光谱滤波器时，差分放大器输出的误差信号和频率失锁定量的关系曲线。

[0042] 图中，激光器 1、准直扩束器 2、第一分光镜 3、第一反射镜 4、第二反射镜 5、第二分光镜 6、第三反射镜 7、立方分光棱镜 8、第四反射镜 9、第五反射镜 10、透镜 11、第一光电倍增管 (PMT) 12、第二光电倍增管 13、第三光电倍增管 14、差分放大器 15、频率谐调设备 16、示波器 17。

#### 具体实施方式

[0043] 下面结合附图对本发明作进一步说明。

[0044] 如图 1 所示，一种迈克尔逊干涉型光谱滤波器谐振频率锁定装置，包括激光器分束系统 a、Michelson 干涉型滤波器系统 b 和光电探测系统 c；

[0045] 激光器分束系统 a 包括激光器 1、准直扩束器 2、第一分光镜 3、第一反射镜 4、第二反射镜 5、第二分光镜 6、第三反射镜 7；Michelson 干涉型滤波器系统 b 包括立方分光棱镜 8、第四反射镜 9、第五反射镜 10。其中第五反射镜 10 和频率谐调设备 16 机械连接实现谐振频率调整；光电探测系统 c 包括透镜 11、第一光电倍增管 (PMT) 12、第二光电倍增管 13、第三光电倍增管 14、差分放大器 15、示波器 17。

[0046] 激光器 1 发射的激光光束经准直扩束器 2 被扩束为宽光束平行光；宽光束平行光经过第一分光镜 3 分成两路，其中一路经过第一分光镜 3 透射后直接射入待锁频的 Michelson 干涉滤波系统 b 作为监测光束；另一路依次经过第一反射镜 4、第二反射镜 5 后，再经第二分光镜 6 分成两路，其中第一路经过第二分光镜 6 透射后，再经第三反射镜 7 反射以角度  $\theta_2$  进入待锁频的 Michelson 干涉滤波器系统 b 作为探针光束；第二路经第二分光镜 6 反射后直接以角度  $\theta_1$  进入待锁频的 Michelson 干涉滤波器系统 b 作为探针光束。两路探针光束以及监测光束经过待锁频的 Michelson 干涉滤波器系统 b 时，两路探针光束与监测光束均由 Michelson 干涉滤波器系统 b 内的立方分光棱镜 8 分成两路，一路经立方分光棱镜 8 透射后再由第四反射镜 9 反射回立方分光棱镜 8，并经立方分光棱镜 8 反射进入透镜 11；另一路经立方分光棱镜 8 反射后再由第五反射镜 10 反射回立方分光棱镜 8，并经立方分光棱镜 8 透射进入透镜 11；几路光束被透镜 11 聚焦在其焦平面不同位置并分别发生干涉，且干涉信号分别被第一光电倍增管 12、第二光电倍增管 13、第三光电倍增管 14 接收并转换成电信号。将第一光电倍增管 12、第二光电倍增管 13 输出的电信号输入差分放大器 15，差分放大器 15 的输出信号反馈给频率谐调设备 16；而第三光电倍增管 14 的输出电信号输入示波器 17 作为锁频状态监测信号。

[0047] 一种迈克尔逊干涉型光谱滤波器谐振频率锁定方法,具体包括如下步骤:

[0048] 步骤 1. 搭建 Michelson 干涉型光谱滤波器谐振频率锁定装置;

[0049] 步骤 2. 计算两束探针光束的入射角;

[0050] 步骤 3. 调节两束探针光束的入射角;

[0051] 步骤 4. 查看示波器,判断锁频状态。

[0052] 步骤 1 所述的 Michelson 干涉型光谱滤波器谐振频率锁定装置即为图 1 所示的装置;

[0053] 步骤 2 所述的两路探针光束的入射角包括  $\theta_1$  和  $\theta_2$ ;  $\theta_1$  和  $\theta_2$  需满足一定的匹配要求,具体如下确定:

[0054]  $\theta_1$  的选取需要使 Michelson 干涉滤波器对该角度入射的探针光束的光程差和 0 度角入射时的光程差之差  $\Delta OPD(\theta_1)$  为  $(n_1+1/4)\lambda_0$ , 即

$$[0055] \quad \Delta OPD(\theta_1) = (n_1+1/4)\lambda_0 \quad (1)$$

[0056] 其中,  $\lambda_0$  是激光器中心波长,  $n_1$  是一个待选定的整数(推荐值为 0 ~ 10);  $\Delta OPD(\theta_1)$  的计算方法与所用的 Michelson 干涉滤波器的结构参数有关;若 Michelson 干涉滤波器两干涉臂的长度分别为  $d_1$  和  $d_2$ , 折射率分别为  $\rho_1$  和  $\rho_2$ , 则  $\Delta OPD(\theta_1)$  可按如下几个式子计算

$$[0057] \quad OPD(\theta_1) = 2 \cdot \text{abs} \left[ \rho_1 d_1 \left( 1 - \frac{\sin^2 \theta_1}{\rho_1^2} \right)^{1/2} - \rho_2 d_2 \left( 1 - \frac{\sin^2 \theta_1}{\rho_2^2} \right)^{1/2} \right] \quad (2a)$$

$$[0058] \quad OPD(0) = 2 \cdot \text{abs}(\rho_1 d_1 - \rho_2 d_2) \quad (2b)$$

$$[0059] \quad \Delta OPD(\theta_1) = \text{abs}[OPD(\theta_1) - OPD(0)] \quad (2c)$$

[0060] 其中,  $\text{abs}(\cdot)$  表示取绝对值,  $OPD(\theta_1)$  表示以角度  $\theta_1$  入射时 Michelson 干涉滤波器的光程差,  $OPD(0)$  表示光线正入射时 Michelson 干涉滤波器的光程差;只要选定了整数  $n_1$  后,联立式(1)、(2)即可解出  $\theta_1$ ;

[0061] 要和  $\theta_1$  相匹配,入射角  $\theta_2$  必须满足 Michelson 干涉滤波器对该探针光束的光程差和正入射时的光程差之间的变化:

$$[0062] \quad \Delta OPD(\theta_2) = (n_2-1/4)\lambda_0 \quad (3)$$

[0063] 式(3)中,  $n_2$  为另一个待选定的整数,为 0 ~ 50 且要比选定的  $n_1$  大,同理,  $\Delta OPD(\theta_2)$  可按如下几个式子计算

$$[0064] \quad OPD(\theta_2) = 2 \cdot \text{abs} \left[ \rho_1 d_1 \left( 1 - \frac{\sin^2 \theta_2}{\rho_1^2} \right)^{1/2} - \rho_2 d_2 \left( 1 - \frac{\sin^2 \theta_2}{\rho_2^2} \right)^{1/2} \right] \quad (4a)$$

$$[0065] \quad \Delta OPD(\theta_2) = \text{abs}[OPD(\theta_2) - OPD(0)] \quad (4b)$$

[0066] 其中  $OPD(\theta_2)$  表示以角度  $\theta_2$  入射时 Michelson 干涉滤波器的光程差。只要选定了整数  $n_2$  后,联立式(3)、(4)即可解出  $\theta_2$ 。

[0067] 步骤 3 所述的调节探针光束的入射角,具体如下:

[0068] 3-1. 在两路探针光束调节之前,通过频率谐调设备手动将第三光电倍增管 14 的输出调为 0, 即让 Michelson 干涉仪滤波器初始化处于频率锁定状态;

[0069] 3-2. 调节第二分光镜 6 和第三反射镜 7, 使得探针光束的入射角  $\theta_1$  和  $\theta_2$  的角度



与步骤 2 计算出的入射角  $\theta_1$  和  $\theta_2$  相一致。

[0070] 具体相一致的判断方法如下：在实际光路调节时，先断开差分放大器 15 接到频率谐调设备 16 的反馈端，用精密移动转台先将其中一束探针光束的入射角度调节到  $\theta_1$ ，再将另一束探针光束的角度确定在理论计算出的  $\theta_2$  附近，然后微调第二束探针光束的精密移动转台，直至差分放大器 15 的输出达到 0；两探针光束的角度调节完成后，再将差分放大器的反馈端接入 Michelson 干涉滤波器的频率谐调设备 16。

[0071] 步骤 4 所述的查看示波器，判断锁频状态，具体如下：

[0072] 若 Michelson 干涉滤波器刚好锁定在激光器中心频率，则示波器 17 的输出信号为 0；若外部环境等因素的影响造成 Michelson 干涉仪频率失锁定，则差分放大器会输出误差信号并反馈给 Michelson 干涉滤波器的频率谐调设备，频率谐调设备在该误差信号的驱动下自动调整干涉仪的谐振频率，直至锁定到所需激光中心频率。在这个过程中，示波器 17 的输出信号也会逐步趋近 0。

[0073] 所述的第一分光镜 3 是反射率远大于透射率的分光镜，如 T:R=10%:90%；第二分光镜 6 是拥有 50%:50% 分光比的分光镜。为了方便角度调整，第二分光镜 6 和第三反射镜 7 可以放置在精密转动平台上。

[0074] 实施例

[0075] 图 1 中激光器 1 和激光雷达发射器通过分光的方式共用，其频率就是需要锁定的参考频率；

[0076] 上述准直扩束器 2 可以采用普通扩束器即可，例如北京大恒公司的 GC0-141602 型号扩束镜，6 倍扩束；

[0077] 上述第一分光镜 3 采用 T:R=10%:90% 的分光镜，如北京大恒公司的 GCC-411215；第二分光镜 6 用普通的 T:R=50%:50% 的分光镜即可，如北京大恒公司的 GCC-411102；

[0078] 上述：第一反射镜 4、第二反射镜 5、第三反射镜 7 采用普通反射镜即可，例如北京大恒公司的 GCC-101102，直径 25.4mm；

[0079] 透镜 11 是一个长焦距透镜，例如北京大恒公司 GCL-010214，焦长 400mm；

[0080] 第一光电倍增管 (PMT) 12、第二光电倍增管 13、第三光电倍增管 14 可使用日本滨松公司的 R6358 型号光电倍增管；

[0081] 差分放大器 15 可以选用美国德州仪器 (TI) 生产的芯片 INA126；

[0082] 示波器 17 采用普通的示波器即可，如 YB4320/20A/40。

[0083] Michelson 干涉滤波器可以是自制的也可以是购买的集成装置。若是自制的，其频率谐调装置 16 一般使用压电传感器 PZT，如 PI 公司的 PZ150E，立方分光棱镜 8 为 50%:50% 的普通立方分光棱镜，如北京大恒公司 GCC-401012，第四反射镜 9、第五反射镜 10 为普通反射镜，例如北京大恒公司的 GCC-101102；如果是购买的集成产品，会附带有频率谐调装置。

[0084] 下面结合具体的 Michelson 干涉滤波器参数进一步描述其频率锁定的方法。

[0085] 首先按图 1 所示的光路搭建好装置，然后按步骤 2 所述的方法计算两探针光束的入射角。

[0086] 假设待锁频的 Michelson 干涉滤波器两干涉臂的长度和折射率为  $d_1 = 87.578\text{mm}$ ， $d_2 = 59.318\text{mm}$ ， $\rho_1 = 1.4765$ ， $\rho_2 = 1.00027$ 。为了能由式(1-4)确定两探针光束的入射角  $\theta_1$  和  $\theta_2$ ，还需要任意选定其中的两个整数  $n_1$  和  $n_2$ 。通常，该  $n_1$  可以任意选取，

推荐值为  $0 \sim 10$ , 这样既能保证算出来的入射角不至于太小, 也能保证 Michelson 干涉滤波器对该角度入射的探针光束的 OPD 变化不至于太大。同样的,  $n_2$  的选取既要保证算出来的  $\theta_1$  和  $\theta_2$  相差不致太小, 也要保证 Michelson 干涉滤波器对该探针光束的 OPD 变化尽量在波长量级, 推荐值为  $0 \sim 50$  且小于选定的  $n_1$ 。

[0087] 一种辅助选取  $n_1$  和  $n_2$  的方法是按照式(2) 或者式(4) 作出该 Michelson 干涉滤波器入射角同 OPD 变化的关系示意图, 如图 2 所示。从图 2 可以看到, 该 Michelson 干涉滤波器 OPD 随入射角变化的并不明显, 故可以选取较小的  $n_1$  和  $n_2$ 。例如, 可以选取  $n_1 = 0, n_2 = 1$ , 代入式(1-4) 即可解出  $\theta_1 = 4.024^\circ$ ,  $\theta_2 = 5.086^\circ$ 。

[0088] 计算得到了两探针光束的入射角之后, 再按步骤 3 调节两探针光束的入射角度。由步骤 4 即可观察到谐振频率锁定的状态。

[0089] 为了能说明该方案的可行性, 图 3 给出了误差信号随频率失锁情况的关系曲线。可以看到, 该技术方案能检测到频率失锁定的方向: 当 Michelson 干涉滤波器的谐振频率大于激光器中心频率时, 差分放大器输出正的误差信号, 而当 Michelson 干涉滤波器的谐振频率小于激光器中心频率时, 差分放大器输出负的误差信号。系统能根据频率失锁定的方向和大小自动调整误差信号的符号和大小以驱动 Michelson 干涉仪频率谐调设备朝正确的方向运动, 从而使干涉仪重新回到频率锁定状态。而且误差信号变化陡峭, 表明具有很高的锁频灵敏性。

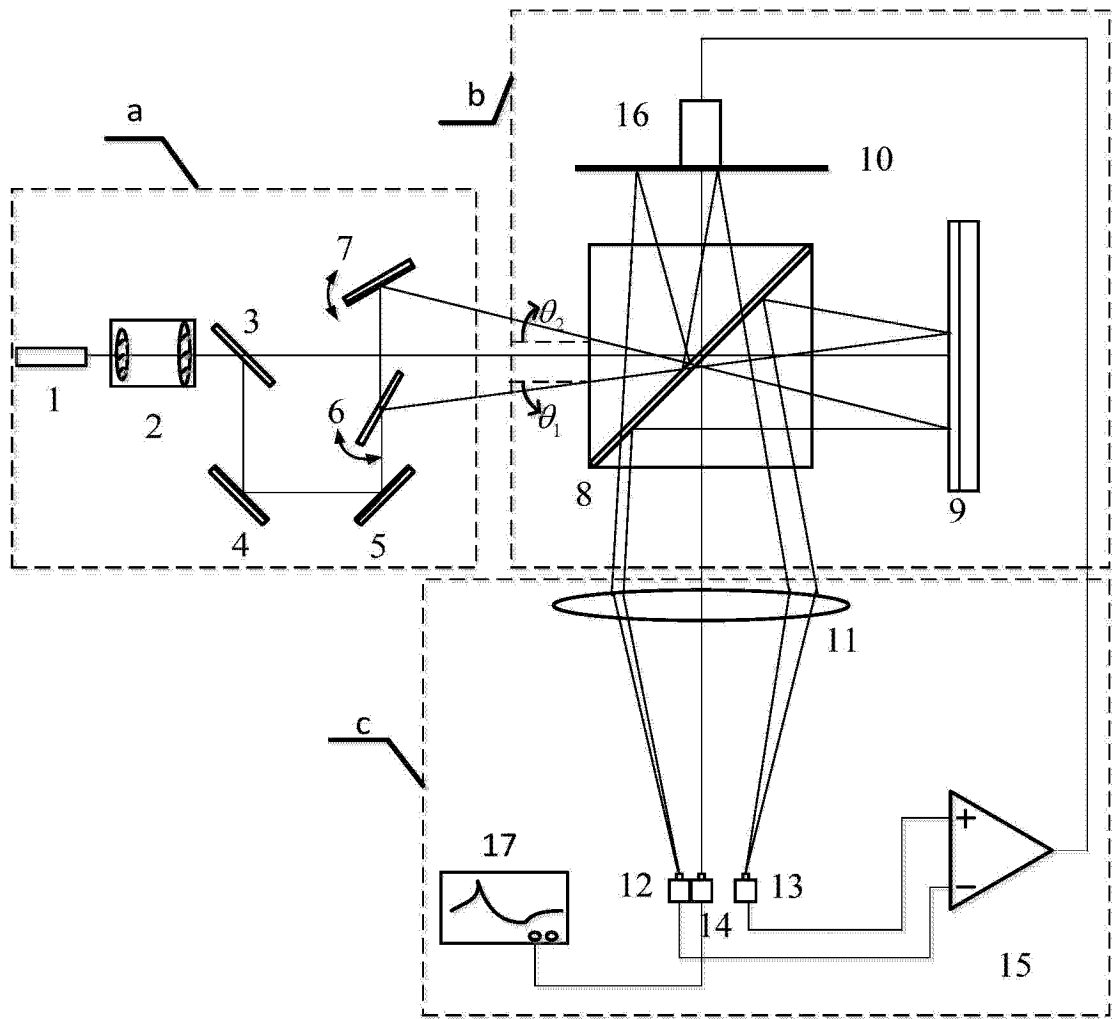


图 1

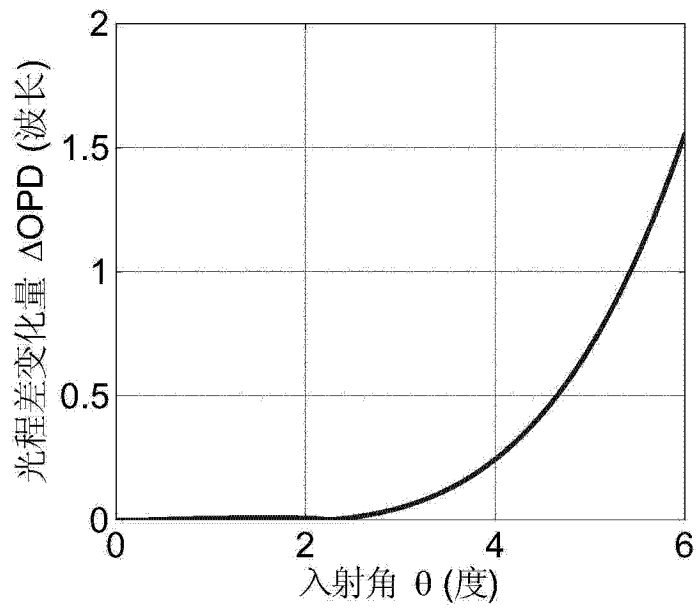


图 2

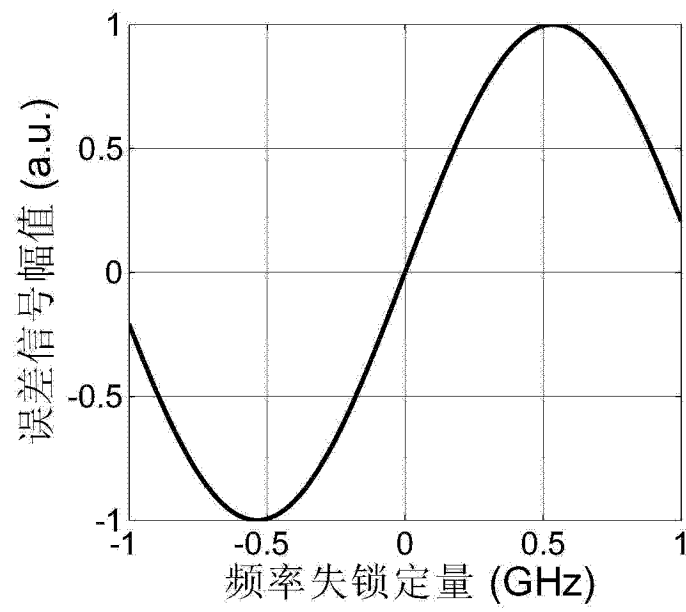


图 3