



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 117553902 A

(43) 申请公布日 2024. 02. 13

(21) 申请号 202311857702.7

(22) 申请日 2023.12.29

(71) 申请人 中国科学院空天信息创新研究院  
地址 100190 北京市海淀区北四环西路19号

(72) 发明人 沈杨翊 孔新新 郝义伟 戴玉  
张举 张晓强 伍洲 张文喜

(74) 专利代理机构 中科专利商标代理有限责任  
公司 11021  
专利代理师 孙纪泉

(51) Int. Cl.  
G01H 9/00 (2006.01)

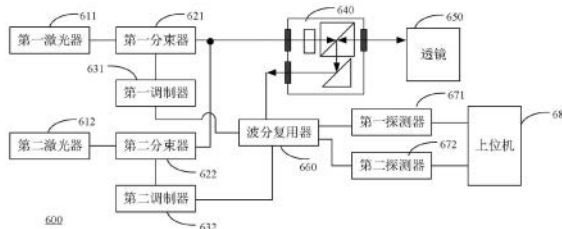
权利要求书3页 说明书14页 附图5页

(54) 发明名称

基于多波长的激光测振仪和激光测振方法

(57) 摘要

本公开涉及一种基于多波长的激光测振仪和激光测振方法,应用于激光测量技术领域。测振仪包括:激光器,生成第一波长激光和第二波长激光;分束器,分别对第一波长激光和第二波长激光分束,得到第一待调制参考光和第一探测光,得到第二待调制参考光和第二探测光;调制器,分别对第一待调制参考光和第二待调制参考光调制,得到第一参考光,得到第二参考光;传输器,向被测对象发送第一探测光和第二探测光,接收第一探测光经被测对象反射得到的第一反射光和第二探测光经被测对象反射得到的第二反射光;处理器,根据第一参考光和第一反射光,得到第一干涉光,根据第二参考光和第二反射光,得到第二干涉光,根据第一干涉光对应的被测对象的第一振动幅度信息和第二干涉光对应的被测对象的第二振动幅度信息,组合得到被测对象的振动幅度信息。



1. 一种基于多波长的激光测振仪,包括:

激光器,被配置为生成激光,其中,所述激光包括第一波长激光和第二波长激光;

分束器,被配置为对所述第一波长激光进行分束,得到第一待调制参考光和第一探测光,并对所述第二波长激光进行分束,得到第二待调制参考光和第二探测光;

调制器,被配置为对所述第一待调制参考光进行调制,得到第一参考光,并对所述第二待调制参考光进行调制,得到第二参考光;

传输器,被配置为向被测对象发送所述第一探测光和所述第二探测光,并接收所述第一探测光经所述被测对象反射得到的第一反射光和所述第二探测光经所述被测对象反射得到的第二反射光;以及

处理器,被配置为根据所述第一参考光和所述第一反射光,得到第一干涉光,根据所述第二参考光和所述第二反射光,得到第二干涉光,并根据所述第一干涉光对应的被测对象的第一振动幅度信息和所述第二干涉光对应的被测对象的第二振动幅度信息,组合得到所述被测对象的振动幅度信息。

2. 根据权利要求1所述的激光测振仪,其中,所述传输器,包括:

光纤环形器,包括第一端、第二端和第三端,被配置为:

经所述第一端接收所述第一探测光和所述第二探测光;

经所述第二端向所述被测对象发送所述第一探测光和所述第二探测光;

经所述第二端接收所述第一探测光经所述被测对象反射得到的第一反射光和所述第二探测光经所述被测对象反射得到的第二反射光;以及

经所述第三端向所述处理器发送所述第一反射光和所述第二反射光。

3. 根据权利要求1所述的激光测振仪,其中,所述传输器,包括:

第一点衍射光纤环形器,包括第四端、第五端、第六端、起偏器、第一反射镜和第一偏振分光镜,被配置为:

经所述第四端接收所述第一探测光和所述第二探测光;

经所述起偏器调节所述第一探测光和所述第二探测光的偏振态,得到第一偏振探测光和第二偏振探测光;

所述第一偏振探测光和第二偏振探测光经所述第一反射镜反射到所述第一偏振分光镜;

在所述第一偏振分光镜反射所述第一偏振探测光和第二偏振探测光的情况下,经所述第五端向所述被测对象发送所述第一偏振探测光和第二偏振探测光,其中,所述第一偏振探测光经所述被测对象反射得到所述第一反射光,所述第二偏振探测光经所述被测对象反射得到所述第二反射光,经所述第五端接收所述第一反射光和第二反射光;以及

在所述第一偏振分光镜透射所述第一反射光和第二反射光的情况下,经所述第六端向所述处理器发送所述第一反射光和第二反射光。

4. 根据权利要求1所述的激光测振仪,其中,所述传输器,包括:

第二点衍射光纤环形器,包括第七端、第八端、第九端、棱镜组,被配置为:

经所述第七端接收所述第一探测光和所述第二探测光;

经所述棱镜组改变所述第一探测光和所述第二探测光的偏振态,并将改变所述偏振态

的第一探测光和第二探测光传输至所述第八端；

经所述第八端向所述被测对象发送改变所述偏振态的第一探测光和第二探测光，并经所述八端接收所述第一反射光和所述第二反射光；所述第一反射光和所述第二反射光经所述棱镜组传输到所述第九端；以及

经所述第九端向所述处理器发送所述第一反射光和所述第二反射光。

5. 根据权利要求4所述的激光测振仪，其中，所述棱镜组包括：

平行四边形棱镜，被配置为经所述平行四边形棱镜的第一侧面接收所述第一探测光和所述第二探测光，其中，在所述第一侧面调节所述第一探测光和所述第二探测光的偏振态，得到第三偏振探测光和第四偏振探测光；

三角形棱镜，其中，所述三角形棱镜的最长边所在侧面与所述第一侧面夹角为锐角的第二侧面相连，所述三角形棱镜和所述平行四边形棱镜的接触面之间包括反射膜结构，所述反射膜结构被配置为反射所述第三偏振探测光和所述第四偏振探测光；以及梯形棱镜，其中，所述梯形棱镜的梯形边所在侧面与所述第一侧面夹角为钝角的第三侧面相连，所述梯形棱镜和所述平行四边形棱镜的接触面之间包括半透半反膜结构，所述半透半反结构被配置为反射所述第三偏振探测光和所述第四偏振探测光；

所述梯形棱镜，还被配置为将所述第一反射光和所述第二反射光透射至所述第九端。

6. 根据权利要求1所述的激光测振仪，其中，所述传输器，包括：

第三点衍射光纤环形器，包括第十端、第十一端、第十二端、第二偏振分光镜、第二反射镜和1/4波片，被配置为：

经所述第十端接收所述第一探测光和所述第二探测光；

经所述第二反射镜将所述第一探测光和所述第二探测光反射至所述第二偏振分光镜；

经所述1/4波片调节由所述第二偏振分光镜反射的所述第一探测光和所述第二探测光的偏振态，分别得到第一圆偏探测光和第二圆偏探测光；

经所述第十一端向所述被测对象发送所述第一圆偏探测光和第二圆偏探测光，通过所述第十一端接收所述第一圆偏探测光经所述被测对象反射得到的第一反射光和所述第二圆偏探测光经所述被测对象反射得到的第二反射光；

在所述第十一端接收所述第一反射光和所述第二反射光的情况下，经所述1/4波片调节所述第一反射光和所述第二反射光的偏振态，得到第一偏振反射光和第二偏振反射光；

经所述第二偏振分光镜将所述第一偏振反射光和第二偏振反射光透射至所述第十二端；以及

经所述第十二端向所述处理器发送所述第一偏振反射光和第二偏振反射光。

7. 根据权利要求1~6中任一项所述的激光测振仪，其中，所述处理器还被配置为：

根据所述第一干涉光的频率信息，计算包括第一散斑信息的第一振动幅度信息，并根据所述第二干涉光的频率信息，计算包括第二散斑信息的第二振动幅度信息；

将所述第一振动幅度信息的微分结果和所述第二振动幅度信息的微分结果加权叠加，并将加权叠加后的计算结果进行积分，得到抑制所述第一散斑信息和所述第二散斑信息的振动幅度信息。

8. 根据权利要求1~3中任一所述的激光测振仪，还包括：

透镜，所述透镜设置于所述传输器和所述被测对象之间，被配置为汇聚所述第一探测

光和所述第二探测光,汇聚所述第一探测光所述第一反射光,汇聚所述第二反射光。

9. 一种基于多波长的激光测振方法,包括:

激光器生成激光,其中,所述激光包括第一波长激光和第二波长激光;

分束器对所述第一波长激光进行分束,得到第一待调制参考光和第一探测光,并对所述第二波长激光进行分束,得到第二待调制参考光和第二探测光;

调制器对所述第一待调制参考光进行调制,得到第一参考光,并对所述第二待调制参考光进行调制,得到第二参考光;

传输器向被测对象发送所述第一探测光和所述第二探测光,并接收所述第一探测光经所述被测对象反射得到的第一反射光和所述第二探测光经所述被测对象反射得到的第二反射光;以及

处理器根据所述第一参考光和所述第一反射光,得到第一干涉光,根据所述第二参考光和所述第二反射光,得到第二干涉光,并根据所述第一干涉光对应的被测对象的第一振动幅度信息和所述第二干涉光对应的被测对象的第二振动幅度信息,组合得到所述被测对象的振动幅度信息。

10. 根据权利要求9所述的方法,其中,所述根据所述第一干涉光对应的被测对象的第一振动幅度信息和所述第二干涉光对应的被测对象的第二振动幅度信息,组合得到所述被测对象的振动幅度信息,包括:

根据所述第一干涉光的频率信息,计算包括第一散斑信息的第一振动幅度信息,并根据所述第二干涉光的频率信息,计算包括第二散斑信息的第二振动幅度信息;

将所述第一振动幅度信息的微分结果和所述第二振动幅度信息的微分结果加权叠加,并将加权叠加后的计算结果进行积分,得到抑制所述第一散斑信息和所述第二散斑信息的振动幅度信息。

## 基于多波长的激光测振仪和激光测振方法

### 技术领域

[0001] 本公开涉及激光测量技术领域,更具体地,涉及一种基于多波长的激光测振仪和激光测振方法。

### 背景技术

[0002] 激光测振技术是一种高精度干涉测量技术,在质量控制、逆向工程、医学诊断、航空航天等领域有广泛的应用。

[0003] 激光测振技术可以通过激光测振仪向待测对象发送激光,并由激光测振仪接收经被测对象反射得到的反射激光,根据反射激光和预设参考激光得到被测对象的振动幅度信息。

[0004] 在实现本公开的过程中发现,振动幅度信息的准确性较低。

### 发明内容

[0005] 本公开提出了一种基于多波长的激光测振仪和激光测振方法。

[0006] 根据本公开的一个方面,提出了一种激光测振仪,包括:

[0007] 激光器,被配置为生成激光,其中,上述激光包括第一波长激光和第二波长激光;

[0008] 分束器,被配置为对上述第一波长激光进行分束,得到第一待调制参考光和第一探测光,并对上述第二波长激光进行分束,得到第二待调制参考光和第二探测光;

[0009] 调制器,被配置为对上述第一待调制参考光进行调制,得到第一参考光,并对上述第二待调制参考光进行调制,得到第二参考光;

[0010] 传输器,被配置为向被测对象发送上述第一探测光和上述第二探测光,并接收上述第一探测光经上述被测对象反射得到的第一反射光和上述第二探测光经上述被测对象反射得到的第二反射光;以及

[0011] 处理器,被配置为根据上述第一参考光和上述第一反射光,得到第一干涉光,根据上述第二参考光和上述第二反射光,得到第二干涉光,并根据上述第一干涉光对应的被测对象的第一振动幅度信息和上述第二干涉光对应的被测对象的第二振动幅度信息,组合得到上述被测对象的振动幅度信息。

[0012] 根据本公开的实施例,上述传输器,包括:

[0013] 光纤环形器,包括第一端、第二端和第三端,被配置为:

[0014] 经上述第一端接收上述第一探测光和上述第二探测光;

[0015] 经上述第二端向上述被测对象发送上述第一探测光和上述第二探测光;

[0016] 经上述第二端接收上述第一探测光经上述被测对象反射得到的第一反射光和上述第二探测光经上述被测对象反射得到的第二反射光;以及

[0017] 经上述第三端向上述处理器发送上述第一反射光和上述第二反射光。根据本公开的实施例,上述传输器,包括:

[0018] 第一点衍射光纤环形器,包括第四端、第五端、第六端、起偏器、第一反射镜和第一

偏振分光镜,被配置为:

[0019] 经上述第四端接收上述第一探测光和上述第二探测光;

[0020] 经上述起偏器调节上述第一探测光和上述第二探测光的偏振态,得到第一偏振探测光和第二偏振探测光;

[0021] 上述第一偏振探测光和上述第二偏振探测光经上述第一反射镜反射到上述第一偏振分光镜;

[0022] 在上述第一偏振分光镜反射上述第一偏振探测光和上述第二偏振探测光的情况下,经上述第五端向上述被测对象发送上述第一偏振探测光和上述第二偏振探测光,其中,上述第一偏振探测光经上述被测对象反射得到上述第一反射光,上述第二偏振探测光经上述被测对象反射得到上述第二反射光,经上述第五端接收上述第一反射光和上述第二反射光;以及

[0023] 在上述第一偏振分光镜透射上述第一反射光和上述第二反射光的情况下,经上述第六端向上述处理器发送上述第一反射光和上述第二反射光。

[0024] 根据本公开的实施例,上述传输器,包括:

[0025] 第三点衍射光纤环形器,包括第十端、第十一端、第十二端、第二偏振分光镜、第二反射镜和1/4波片,被配置为:

[0026] 经上述第十端接收上述第一探测光和上述第二探测光;

[0027] 经上述第二反射镜将上述第一探测光和上述第二探测光反射至上述第二偏振分光镜;

[0028] 经上述1/4波片调节由上述第二偏振分光镜反射的上述第一探测光和上述第二探测光的偏振态,分别得到第一圆偏探测光和第二圆偏探测光;

[0029] 经上述第十一端向上述被测对象发送上述第一圆偏探测光和上述第二圆偏探测光,通过上述第十一端接收上述第一圆偏探测光经上述被测对象反射得到的第一反射光和上述第二圆偏探测光经上述被测对象反射得到的第二反射光;

[0030] 在上述第十一端接收上述第一反射光和上述第二反射光的情况下,经上述1/4波片调节上述第一反射光和上述第二反射光的偏振态,得到第一偏振反射光和第二偏振反射光;

[0031] 经上述第二偏振分光镜将上述第一偏振反射光和上述第二偏振反射光透射至上述第十二端;以及

[0032] 经上述第十二端向上述处理器发送上述第一偏振反射光和上述第二偏振反射光。

[0033] 根据本公开的实施例,上述处理器还被配置为:

[0034] 根据上述第一干涉光的频率信息,计算包括第一散斑信息的第一振动幅度信息,并根据上述第二干涉光的频率信息,计算包括第二散斑信息的第二振动幅度信息;

[0035] 将所述第一振动幅度信息的微分结果和所述第二振动幅度信息的微分结果加权叠加,并将加权叠加后的计算结果进行积分,得到抑制上述第一散斑信息和上述第二散斑信息的振动幅度信息。

[0036] 根据本公开的实施例,上述基于多波长的激光测振仪还包括:

[0037] 透镜,上述透镜设置于上述传输器和上述被测对象之间,被配置为汇聚上述第一探测光和上述第二探测光,汇聚上述第一探测光上述第一反射光,汇聚上述第二反射光。

- [0038] 根据本公开实施例的另一方面,提供了一种基于多波长的激光测振方法,包括:
- [0039] 激光器生成激光,其中,上述激光包括第一波长激光和第二波长激光;
- [0040] 分束器对上述第一波长激光进行分束,得到第一待调制参考光和第一探测光,并对上述第二波长激光进行分束,得到第二待调制参考光和第二探测光;
- [0041] 调制器对上述第一待调制参考光进行调制,得到第一参考光,并对上述第二待调制参考光进行调制,得到第二参考光;
- [0042] 传输器向被测对象发送上述第一探测光和上述第二探测光,并接收上述第一探测光经上述被测对象反射得到的第一反射光和上述第二探测光经上述被测对象反射得到的第二反射光;以及
- [0043] 处理器根据上述第一参考光和上述第一反射光,得到第一干涉光,根据上述第二参考光和上述第二反射光,得到第二干涉光,并根据上述第一干涉光对应的被测对象的第一振动幅度信息和上述第二干涉光对应的被测对象的第二振动幅度信息,组合得到上述被测对象的振动幅度信息。
- [0044] 根据本公开的实施例,上述根据上述第一干涉光对应的被测对象的第一振动幅度信息和上述第二干涉光对应的被测对象的第二振动幅度信息,组合得到上述被测对象的振动幅度信息,包括:
- [0045] 根据上述第一干涉光的频率信息,计算包括第一散斑信息的第一振动幅度信息,并根据上述第二干涉光的频率信息,计算包括第二散斑信息的第二振动幅度信息;
- [0046] 将所述第一振动幅度信息的微分结果和所述第二振动幅度信息的微分结果加权叠加,并将加权叠加后的计算结果进行积分,得到抑制上述第一散斑信息和上述第二散斑信息的振动幅度信息。
- [0047] 根据本公开的实施例的技术方案,提供了一种激光测振仪和激光测振方法,通过第一干涉光和第二干涉光,得到被测对象的振动幅度信息,第一干涉光可以为由第一探测光经被测对象反射得到的第一反射光和第一参考光得到的,第一探测光和第一参考光是由第一波长激光进行分束得到的;第二干涉光可以为由第二探测光经被测对象反射得到的第二反射光和第二参考光得到的,第二探测光和第二参考光是由第二波长激光进行分束得到的;第一干涉光携带被测对象的振动幅度信息,第二干涉光携带被测对象的振动幅度信息,通过联合分析第一干涉光和第二干涉光,对被测对象的振动幅度信息进行多重检测,提高了被测对象的振动幅度信息的准确性。

## 附图说明

- [0048] 通过以下参照附图对本公开实施例的描述,本公开的上述以及其他目的、特征和优点将更为清楚,在附图中。
- [0049] 图1示出了根据本公开一实施例的激光测振仪的结构示意图。
- [0050] 图2示出了根据本公开实施例的激光器的结构示意图。
- [0051] 图3示出了根据本公开实施例的分束器的结构示意图。
- [0052] 图4示出了根据本公开实施例的调制器的结构示意图。
- [0053] 图5A示出了根据本公开实施例的第一点衍射光纤环形器的结构示意图。
- [0054] 图5B示出了根据本公开实施例的第二点衍射光纤环形器的结构示意图。

- [0055] 图5C示出了根据本公开实施例的第三点衍射光纤环形器的结构示意图。
- [0056] 图6示出了根据本公开一具体实施例的激光测振仪的光路示意图。
- [0057] 图7示出了根据本公开实施例的激光测振方法的流程示意图。

### 具体实施方式

[0058] 以下,将参照附图来描述本公开的实施例。但是应该理解,这些描述只是示例性的,而并非要限制本公开的范围。在下面的详细描述中,为便于解释,阐述了许多具体的细节以提供对本公开实施例的全面理解。然而,明显地,一个或多个实施例在没有这些具体细节的情况下也可以被实施。此外,在以下说明中,省略了对公知结构和技术的描述,以避免不必要地混淆本公开的概念。

[0059] 在此使用的术语仅仅是为了描述具体实施例,而并非意在限制本公开。在此使用的术语“包括”、“包含”等表明了特征、步骤、操作和/或部件的存在,但是并不排除存在或添加一个或多个其他特征、步骤、操作或部件。

[0060] 在此使用的所有术语(包括技术和科学术语)具有通常所理解的含义,除非另外定义。应注意,这里使用的术语应解释为具有与本说明书的上下文相一致的含义,而不应以理想化或过于刻板的方式来解释。

[0061] 在使用类似于“A、B和C等中至少一个”这样的表述的情况下,一般来说应该按照通常理解该表述的含义来予以解释(例如,“具有A、B和C中至少一个的系统”应包括但不限于单独具有A、单独具有B、单独具有C、具有A和B、具有A和C、具有B和C、和/或具有A、B、C的系统等)。在使用类似于“A、B或C等中至少一个”这样的表述的情况下,一般来说应该按照通常理解该表述的含义来予以解释(例如,“具有A、B或C中至少一个的系统”应包括但不限于单独具有A、单独具有B、单独具有C、具有A和B、具有A和C、具有B和C、和/或具有A、B、C的系统等)。

[0062] 在本公开的技术方案中,所涉及的数据的收集、存储、使用、加工、传输、提供、公开和应用等处理,均符合相关法律法规的规定,采取了必要保密措施,且不违背公序良俗。

[0063] 在本公开的技术方案中,在获取或采集所涉及的数据之前,均获取授权或同意。

[0064] 激光测振仪可以向待测对象发送激光,并接收激光经被测对象反射得到的反射激光,反射激光和预设参考激光进行干涉,得到干涉光。由于干涉光具有的参数可以表征与被测对象的速度对应的频率信息,因此,能够根据频率信息,得到被测对象的振动幅度信息。

[0065] 在实现本公开发明构思的过程中,发现由于反射激光受到被测对象的表面粗糙度的影响,因此,使得反射激光不能完全反射回到激光测振仪,进而影响了反射激光的精度,由此影响了振动幅度信息的准确性。

[0066] 为此,本公开提供一种激光测振仪,包括:激光器被配置为生成激光,其中,激光包括第一波长激光和第二波长激光。分束器被配置为对第一波长激光进行分束,得到第一待调制参考光和第一探测光,并对第二波长激光进行分束,得到第二待调制参考光和第二探测光。调制器被配置为对第一待调制参考光进行调制,得到第一参考光,并对第二待调制参考光进行调制,得到第二参考光。传输器被配置为向被测对象发送第一探测光和第二探测光,并接收第一探测光经被测对象反射得到的第一反射光和第二探测光经被测对象反射得到的第二反射光。处理器被配置为根据第一参考光和第一反射光,得到第一干涉光,根据第



二参考光和第二反射光,得到第二干涉光,并第一干涉光对应的被测对象的第一振动幅度信息和第二干涉光对应的被测对象的第二振动幅度信息,组合得到被测对象的振动幅度信息。

[0067] 图1示出了根据本公开一实施例的激光测振仪的结构示意图。

[0068] 如图1所示,激光测振仪100可以包括激光器110、分束器120、调制器130、传输器140和处理器150。

[0069] 激光器110,可以被配置为生成激光,其中,激光包括第一波长激光和第二波长激光。

[0070] 分束器120,可以被配置为对第一波长激光进行分束,得到第一待调制参考光和第一探测光,并对第二波长激光进行分束,得到第二待调制参考光和第二探测光。

[0071] 调制器130,可以被配置为对第一待调制参考光进行调制,得到第一参考光,并对第二待调制参考光进行调制,得到第二参考光。

[0072] 传输器140,可以被配置为向激光测振仪100外部的被测对象发送第一探测光和第二探测光,并接收第一探测光经被测对象反射得到的第一反射光和第二探测光经被测对象反射得到的第二反射光。

[0073] 处理器150,可以被配置为根据第一参考光 and 第一反射光,得到第一干涉光,根据第二参考光 and 第二反射光,得到第二干涉光,并根据第一干涉光对应的被测对象的第一振动幅度信息和第二干涉光对应的被测对象的第二振动幅度信息,得到被测对象的振动幅度信息。

[0074] 根据本公开的实施例,由于受激光器的限制,第一波长激光和第二波长激光不是单波长激光,因此,在第一波长激光和第二波长激光之间的波长差值过小的情况下,第一波长激光和第二波长激光存在重叠的波段,导致第一波长激光和第二波长激光发生干涉。为了有效保证第一波长激光和第二波长激光不发生干涉,可以使得第一波长激光和第二波长激光之间的波长差值大于或等于预设阈值。预设阈值可以根据实际业务需求进行配置,在此不作限定。例如,预设阈值可以是8nm。

[0075] 根据本公开的实施例,分束器120可以将输入分束器120的光束进行部分透射和部分反射,由此实现对入射光束的分束。

[0076] 根据本公开的实施例,通过分束器120,可以由第一波长激光得到第一待调制参考光和第一探测光,第一待调制参考光并不与第一探测光一同被发送到被测对象。通过分束器120,可以由第二波长激光得到第二待调制参考光和第二探测光,第二待调制参考光并不与第一探测光一同被发送到被测对象。

[0077] 根据本公开的实施例,第一待调制参考光经过调制器130后,第一待调制参考光的光学参数得到调制,生成第一参考光,第一参考光的光学参数可以使第一参考光满足与第一反射光发生干涉的干涉条件,由此可以实现根据第一参考光与第一反射光得到第一干涉光。第二待调制参考光经过调制器130后,第二待调制参考光的光学参数得到调制,生成第二参考光,第二参考光的光学参数可以使第二参考光满足与第二反射光发生干涉的干涉条件,由此可以实现根据第二参考光与第二反射光得到第二干涉光。

[0078] 根据本公开的实施例,被测对象可以为包括振动幅度信息的对象,在传输器140向被测对象发送第一探测光,且被测对象将第一探测光反射得到第一反射光的情况下,第一

反射光可以携带被测对象的振动幅度信息回到传输器140。在传输器140向被测对象发送第二探测光,且被测对象将第二探测光反射得到第二反射光的情况下,第二反射光可以携带被测对象的振动幅度信息回到传输器140。

[0079] 根据本公开的实施例,在实际较难进行检测的场景中,通过第一探测光和第二探测光对被测对象进行探测,根据第一干涉光对应的被测对象的第一振动幅度信息和第二干涉光对应的被测对象的第二振动幅度信息,组合获得被测对象的振动幅度信息的方法,可以较为便捷地得到被测对象的振动幅度信息。例如,在地质领域中对地震波的勘测等较难实地设置探测装置的场景中,通过激光测振可以便捷地得到被测对象的振动幅度信息。还例如,在对精密器件等不适用于进行接触式检测的对象进行检测时,通过激光测振可以在不接触被测对象的情况下得到被测对象的振动幅度信息。

[0080] 根据本公开的实施例,在激光器110生成第一波长激光和第二波长激光后,分束器120对第一波长激光进行分束,得到第一待调制参考光和第一探测光,并对第二波长激光进行分束,得到第二待调制参考光和第二探测光。传输器140向被测对象发送第一探测光和第二探测光,以便第一探测光和第二探测光被测对象接触后,携带被测对象的振动幅度信息后回到传输器140。传输器140接收第一探测光经被测对象反射得到的第一反射光和第二探测光经被测对象反射得到的第二反射光后,向处理器150发送第一反射光和第二反射光。调制器130分别对第一待调制参考光和第二待调制参考光调制后,得到第一参考光和第二参考光,并向处理器150发送第一参考光和第二参考光。

[0081] 根据本公开的实施例,处理器150在得到第一干涉光和第二干涉光后,可以获取第一干涉光和第二干涉光具有的光学参数,第一干涉光的光学参数可以表征第一干涉光携带的信息,第一干涉光携带的信息可以包括被测对象的振动幅度信息;第二干涉光的光学参数可以表征第二干涉光携带的信息,第二干涉光携带的信息可以包括被测对象的振动幅度信息。由此,在联合第一干涉光和第二干涉光分析的情况下,可以对不同波长的干涉光携带的被测对象的振动幅度信息进行分析,由此提高激光测振仪100的准确性。例如,通过组合第一干涉光对应的被测对象的第一振动幅度信息和第二干涉光对应的被测对象的第二振动幅度信息,抑制了第一振动幅度信息和第二振动幅度信息中的噪声信息,得到了最终的振动幅度信息。

[0082] 根据本公开的实施例,通过第一干涉光和第二干涉光,得到被测对象的振动幅度信息,第一干涉光可以为由第一探测光经被测对象反射得到的第一反射光 and 第一参考光得到的,第一探测光和第一参考光是由第一波长激光进行分束得到的;第二干涉光可以为由第二探测光经被测对象反射得到的第二反射光 and 第二参考光得到的,第二探测光 and 第二参考光是由第二波长激光进行分束得到的;第一干涉光携带被测对象的振动幅度信息,第二干涉光携带被测对象的振动幅度信息,通过联合分析第一干涉光 and 第二干涉光,对被测对象的振动幅度信息进行多重检测,提高了被测对象的振动幅度信息的准确性。

[0083] 在本公开的实施例中,处理器可以是综合多个器件的概括性描述。例如,处理器包括波分复用器、探测器和上位机。上位机可以是计算机设备。

[0084] 在进入波分复用器之前,不同波长的第一反射光 and 第二反射光混合在同一个反射光束内。波分复用器在接收反射光束后,先将反射光束中的第一反射光 and 第二反射光进行区分。之后,再将第一波长的第一反射光与第一参考光合并,将第二波长的第二反射光与第

二参考光合并,使得第一反射光和第一参考光形成第一干涉光,第二反射光和第二参考光形成第二干涉光。

[0085] 第一探测器用于探测第一干涉光并将探测到的第一干涉光的信息传输至上位机;第二探测器用于探测第二干涉光并将探测到的第二干涉光的信息传输至上位机。上位机根据第一干涉光对应的被测对象的第一振动幅度信息和第二干涉光对应的被测对象的第二振动幅度信息,组合得到被测对象的振动幅度信息。

[0086] 图2示出了根据本公开实施例的激光器的结构示意图。

[0087] 如图2所示,激光器210可以包括第一激光器211和第二激光器212。

[0088] 第一激光器211,被配置为生成第一波长激光。

[0089] 第二激光器212,被配置为生成第二波长激光。

[0090] 根据本公开的实施例,可以设置两个激光器分别生成第一波长激光和第二波长激光。激光器可以选择固体激光器、气体激光器、染料激光器、半导体激光器、光纤激光器和自由电子激光器中的任一种,本公开在此不做限定。

[0091] 图3示出了根据本公开实施例的分束器的结构示意图。

[0092] 如图3所示,分束器320可以包括第一分束器321和第二分束器322。

[0093] 第一分束器321,被配置为对第一波长激光进行分束,得到第一待调制参考光和第一探测光。

[0094] 第二分束器322,被配置为对第二波长激光进行分束,得到第二待调制参考光和第二探测光。

[0095] 根据本公开的实施例,通过分束器,可以将一束光分成两束光或多束光。通过分束器分束得到的两束光或多束光可以为被分束的一束光的反射光或透射光,反射光和透射光的分光比可以随着入射光的波长的函数而变化,还可以随着分束器材料的变化而变化。

[0096] 根据本公开的实施例,第一波长激光和第二波长激光的波长不同,可以设置第一分束器321和第二分束器322分别对第一波长激光和第二波长激光进行分束。

[0097] 根据本公开的实施例,由于第一干涉光可以为由第一反射光和第一参考光得到的,第二干涉光可以为由第二反射光和第二参考光得到的,为了保证第一干涉光和第二干涉光的干涉效果,可以设置第一分束器321和第二分束器322的分光比为1:1。

[0098] 根据本公开的实施例,第一分束器321和第二分束器322可以选择金属膜分束器和介质膜分束器中的任一种,本公开在此不做限定。

[0099] 图4示出了根据本公开实施例的调制器的结构示意图。

[0100] 如图4所示,调制器430可以包括第一调制器431和第二调制器432。

[0101] 第一调制器431,被配置为对第一待调制参考光进行调制,得到第一参考光。

[0102] 第二调制器432,被配置为对第二待调制参考光进行调制,得到第二参考光。

[0103] 根据本公开的实施例,通过对第一待调制参考光进行调制,得到第一参考光。第一参考光的光学参数满足预设条件,可以使得和第一反射光发生干涉,得到第一干涉光。

[0104] 根据本公开的实施例,可以对第一参考光的偏振状态、初始相位等进行调制,使得第一参考光满足于第一反射光发生干涉的相干条件,由此得到第一干涉光。

[0105] 根据本公开的实施例,还可以对第一参考光的幅值进行调制,以便根据第一参考光和第一反射光得到的第一干涉光的幅值也满足预设条件。

[0106] 根据本公开的实施例,第二参考光满足的预设条件可以参照上述第一参考光满足的条件,在此不再赘述。

[0107] 根据本公开的实施例,对第一待调制参考光和第二待调制参考光进行调制,是为了对应得到的第一干涉光和第二干涉光满足预设条件,以便获得被测对象的振动幅度信息,本领域技术人员可以通过多种方式对第一待调制参考光和第二待调制参考光进行调制,本公开在此不做限定。

[0108] 根据本公开的实施例,第一调制器431和第二调制器432可以选择相位调制器、频率调制器、幅度调制器、双边带调制器、单边带调制器和残余边带调制器中的任一种,本公开在此不做限定。

[0109] 根据本公开的实施例,传输器可以包括光纤环形器。光纤环形器包括第一端、第二端和第三端。

[0110] 通过第一端接收第一探测光和第二探测光。通过第二端向被测对象发送第一探测光和第二探测光。通过第二端接收第一探测光经被测对象反射得到的第一反射光和第二探测光经被测对象反射得到的第二反射光。通过第三端向处理器发送第一反射光和第二反射光。

[0111] 根据本公开的实施例,光纤环形器的三端结构,实现了输入端的光与输出端的光的隔离。例如,光纤环形器的第一端接收第一探测光和第二探测光后通过光纤环形器的第二端输出,而光纤环形器的第二端接收的第一探测光经被测对象反射得到的第一反射光和第二探测光经被测对象反射得到的第二反射光,并不会从光纤环形器的第一端输出,而是通过光纤环形器的第三端输出,由此实现了第一探测光与第一反射光的隔离,也实现了第二探测光与第二反射光的隔离。减少相同波长激光之间的相互干扰。

[0112] 图5A示出了根据本公开实施例的第一点衍射光纤环形器的结构示意图。

[0113] 如图5A所示,传输器可以包括第一点衍射光纤环形器540。第一点衍射光纤环形器540可以包括第四端541、第五端544、第六端546、起偏器542、第一偏振分光镜543和第一反射镜545。

[0114] 通过第四端541接收第一探测光和第二探测光。通过起偏器542调节第一探测光和第二探测光的偏振态,得到第一偏振探测光和第二偏振探测光。在第一偏振分光镜543透射第一偏振探测光和第二偏振探测光的情况下,通过第五端544向被测对象发送透射的第一偏振探测光和第二偏振探测光,并通过第五端544接收第一偏振探测光经被测对象反射得到的第一反射光和第二偏振探测光经被测对象反射得到的第二反射光。

[0115] 在第一偏振分光镜543反射第一反射光和第二反射光的情况下,通过第一反射镜545反射第一反射光和第二反射光。通过第六端546向处理器发送第一反射光和第二反射光。

[0116] 第一偏振分光镜543的斜切面镀有半透半反膜,使得第一偏振分光镜543透射第一偏振探测光和第二偏振探测光,且反射第一反射光和第二反射光。

[0117] 根据本公开的实施例,第一探测光和第二探测光通过起偏器542后,第一探测光和第二探测光对应获得的偏振态,即第一偏振探测光和第二偏振探测光,使得可以使第一偏振探测光和第二偏振探测光经第一偏振分光镜543的透射,从而通过第五端544到达被测对象。经第一偏振探测光经被测对象反射得到的第一反射光和第二偏振探测光经被测对象反

射得到的第二反射光,偏振态与第一探测光和第二探测光反相,由此,第一反射光和第二反射光在偏振分光镜543处反射,到达反射镜545后再次发射到第六端546。

[0118] 根据本公开的实施例,在第四端541、第五端544、第六端546构造与第一探测光和第二探测光都波长接近的微型小孔,使第一探测光和第二探测光生成较为理想的球面波前,消除由激光出射高斯光束或准直透镜所形成的平行光束带来的波前扰动对后续干涉带来的影响,减少第一探测光和第二探测光在起偏器542和偏振分光镜543等偏振器件处的能量损耗。起偏器542、偏振分光镜543和反射镜545的结构可以使得接收光纤的端面与传输第一探测光和第二探测光的光纤平行,保证第一探测光和第二探测光从第四端541到偏振分光镜543的光路对应的光程与第一反射光和第二反射光从第六端546到偏振分光镜543的光路对应的光程相等从而保证点衍射光纤环形器540的第四端541与第六端546共轭,进而可以实现抑制光程变化所导致的附加相位,提高了第一探测光和第二探测光对应的光束质量,避免了除第一探测光和第二探测光之外的额外杂散光的生成。

[0119] 图5B示出了根据本公开实施例的第二点衍射光纤环形器的结构示意图。

[0120] 如图5B所示,传输器可以包括第二点衍射光纤环形器550。第二点衍射光纤环形器550可以包括第七端551、第八端555、第九端556、和棱镜组。棱镜组包括三角形棱镜552、平行四边形棱镜553和梯形棱镜554。

[0121] 第一探测光和第二探测光可以通过第七端551进入棱镜组。

[0122] 第一探测光和第二探测光先进入平行四边形棱镜553,与平行四边形棱镜553的第一个接触面即为平行四边形棱镜553的第一侧面,即图5B中平行四边形棱镜553的左侧面。平行四边形棱镜553的第一侧面可以镀有偏振膜,用于调节第一探测光和第二探测光的偏振态,得到第三偏振探测光和第四偏振探测光。

[0123] 平行四边形棱镜553与三角形棱镜552的接触面即为第二侧面,三角形棱镜和平行四边形棱镜的第二侧面之间包括反射膜结构,用于将得到第三偏振探测光和第四偏振探测光反射至平行四边形棱镜553中与第二侧面平行的另一个面,即第三侧面。平行四边形棱镜553的第三侧面与梯形棱镜554之间也设置有半透半反膜结构,用于将反射到第三侧面的第三偏振探测光和第四偏振探测光继续反射至第八端555;该半透半反膜结构还用于将从第八端555入射的第一反射光和第二反射光透射至梯形棱镜554,并经由梯形棱镜554传输至第九端556。

[0124] 图5C示出了根据本公开实施例的第三点衍射光纤环形器的结构示意图。

[0125] 如图5C所示,传输器可以包括第三点衍射光纤环形器560。第三点衍射光纤环形器560可以包括第十端561、第十一端565、第十二端566、第二反射镜562、第二偏振分光镜563和1/4波片564。

[0126] 第十端561用于接收第一探测光和第二探测光,并将第一探测光和第二探测光传输至第二反射镜562。第二反射镜562将第一探测光和第二探测光反射至第二偏振分光镜563。

[0127] 第二偏振分光镜563中设置有半透半反膜。一方面,第二偏振分光镜563用于将由第二反射镜562反射的第一探测光和第二探测光反射至1/4波片564。1/4波片564调节由第一探测光和第二探测光的偏振态,分别得到第一圆偏探测光和第二圆偏探测光;并将第一圆偏探测光和第二圆偏探测光传输至第十一端565。经第十一端565接收第一圆偏探测光经

被测对象反射得到的第一反射光和第二圆偏探测光经被测对象反射得到的第二反射光。另一方面,经第十一端565进入的第一反射光和第二反射光在经过1/4波片564之后,得到调节偏振态的第一偏振反射光和第二偏振反射光。第二偏振分光镜563将第一偏振反射光和第二偏振反射光透射至第十二端566。

[0128] 根据本公开的实施例,第七端551、第八端555、第九端556以及第十端561、第十一端565、第十二端566的作用与第四端541、第五端544、第六端546相同,均用于使第一探测光和第二探测光生成较为理想的球面波前,消除由激光出射高斯光束或准直透镜所形成的平行光束带来的波前扰动对后续干涉带来的影响,减少第一探测光和第二探测光在棱镜组或者偏振分光镜等偏振态调节器件处的能量损耗。第二点衍射环形器550中的棱镜组、第三点衍射环形器560中的第二反射镜、第二偏振分光镜和1/4波片均用于保证进入探测光点衍射环形器的光路与反射光进入点衍射环形器的光路的光程相等,从而实现抑制光程变化所导致的附加相位,提高了第一探测光和第二探测光对应的光束质量,避免了除第一探测光和第二探测光之外的额外杂散光的生成。根据本公开的实施例,处理器还可以被配置为:

[0129] 根据第一干涉光,得到第一散斑信息,根据第二干涉光,得到第二散斑信息,根据第一散斑信息和第二散斑信息,得到误差信息,并根据第一干涉光、第二干涉光和误差信息,得到被测对象的振动幅度信息。

[0130] 根据本公开的实施例,处理器接收第一参考光和第一反射光得到的第一干涉光后,可以将第一干涉光通过光电转换器得到第一干涉电信号,还可以接收第二参考光和第二反射光得到的第二干涉光后,将第二干涉光通过光电转换器得到第二干涉电信号,通过分析第一干涉电信号,可以得到第一散斑信息,通过分析第二干涉电信号,可以得到第二散斑信息,根据第一散斑信息和第二散斑信息,得到误差信息,得到误差信息后,可以对应抑制误差信息,由此得到被测对象的振动幅度信息。

[0131] 具体地,可以由处理器中的上位机根据第一干涉光,得到第一散斑信息,根据第二干涉光,得到第二散斑信息,根据第一散斑信息和第二散斑信息,得到误差信息,并根据第一干涉光、第二干涉光和误差信息,得到被测对象的振动幅度信息。

[0132] 根据本公开的实施例,在实际检测的情况下,被测对象的表面都会存在一定的粗糙度,因此,第一探测光和第二探测光在被测对象的表面进行反射的情况下,得到的第一反射光和第二反射光并不都是严格按照原来的第一探测光和第二探测光的光路返回激光测振仪,因此,第一反射光可以存在第一散斑信息,第二反射光可以存在第二散斑信息。

[0133] 根据本公开的实施例,通过第一干涉光和第二干涉光,得到被测对象的振动幅度信息,其中,第一干涉光可以为由第一探测光经被测对象反射得到的第一反射光 and 第一参考光得到的,第一探测光 and 第一参考光是由第一波长激光进行分束得到的;第二干涉光可以为由第二探测光经被测对象反射得到的第二反射光 and 第二参考光得到的,第二探测光 and 第二参考光是由第二波长激光进行分束得到的;第一干涉光携带被测对象的振动幅度信息和第一探测光经过被测对象反射后的第一散斑信息,第二干涉光携带被测对象的振动幅度信息和第二探测光经过被测对象反射后的第二散斑信息,通过联合分析第一干涉光 and 第二干涉光,抑制第一散斑信息和第二散斑信息,提高了被测对象的振动幅度信息的准确性。

[0134] 图6示出了根据本公开一具体实施例的激光测振仪的光路示意图。

[0135] 如图6所示,激光测振仪实际应用的情况下,可以包括第一激光器611、第二激光器

612、第一分束器621、第二分束器622、第一调制器631、第二调制器632、点衍射光纤环形器640、透镜650、波分复用器660、第一探测器671、第二探测器672和上位机680。

[0136] 第一激光器611用于产生第一波长激光,经由第一分束器621将第一波长激光分束为第一待调制参考光和第一探测光。第一调制器631可以对第一待调制参考光进行调制,得到第一参考光。

[0137] 第二激光器612用于产生第二波长激光,经由第二分束器622将第二波长激光分束为第二待调制参考光和第二探测光。第二调制器632可以对第二待调制参考光进行调制,得到第二参考光。

[0138] 由于第一探测光和第二探测光在点衍射光纤环形器640中的光路相同,因此,第一探测光和第二探测光同时进入点衍射光纤环形器640后,在点衍射光纤环形器640中重合。第一探测光和第二探测光从点衍射光纤环形器640输出,经透镜650汇聚后传递至被测对象。第一探测光经被测对象反射得到的第一反射光和第二探测光经被测对象反射得到的第二反射光经过点衍射光纤环形器640后,进入波分复用器660。其中,第一反射光和第二反射光混合为一个反射光束经过点衍射光纤环形器640进入波分复用器660。

[0139] 此外,波分复用器660还可以接收从第一调制器631输出的第一参考光、从第二调制器632输出的第二参考光。

[0140] 波分复用器660在接收第一反射光和第二反射光混合的反射光束,先将反射光束中的第一反射光和第二反射光进行区分。之后,再将第一波长的第一反射光与第一参考光合并,将第二波长的第二反射光与第二参考光合并,使得第一反射光与第一参考光形成第一干涉光,第二反射光与第二参考光形成第二干涉光。合并得到第一干涉光和第二干涉光后,波分复用器660将第一干涉光传输至第一探测器671,将第二干涉光传输至第二探测器672,以便第一探测器671和第二探测器672分别采集第一干涉光和第二干涉光的信息,并将其传输至上位机680。

[0141] 图7示出了根据本公开实施例的激光测振方法的流程示意图。

[0142] 如图7所示,激光测振方法700可以包括操作S710~操作S750。

[0143] 在操作S710,激光器生成激光,其中,激光包括第一波长激光和第二波长激光。

[0144] 在操作S720,分束器对第一波长激光进行分束,得到第一待调制参考光和第一探测光,并对第二波长激光进行分束,得到第二待调制参考光和第二探测光。

[0145] 在操作S730,调制器对第一待调制参考光进行调制,得到第一参考光,并对第二待调制参考光进行调制,得到第二参考光。

[0146] 在操作S740,传输器向被测对象发送第一探测光和第二探测光,并接收第一探测光经被测对象反射得到的第一反射光和第二探测光经被测对象反射得到的第二反射光。

[0147] 在操作S750,处理器根据第一参考光和第一反射光,得到第一干涉光,根据第二参考光和第二反射光,得到第二干涉光,并根据第一干涉光对应的被测对象的第一振动幅度信息和第二干涉光对应的被测对象的第二振动幅度信息,组合得到被测对象的振动幅度信息。

[0148] 根据本公开的实施例,通过第一波长激光得到第一待调制参考光和第一探测光,通过第一待调制参考光得到第一参考光,通过第一探测光得到第一反射光,其中,第一反射光携带第一散斑信息和所述被测对象的第一振动幅度信息,通过第一参考光和第一反射光

得到第一干涉光。通过第二波长激光得到第二待调制参考光和第二探测光,通过第二待调制参考光得到第二参考光,通过第二探测光得到第二反射光,其中,第二反射光携带第二散斑信息和所述被测对象的第二振动幅度信息,通过第二参考光和第二反射光得到第二干涉光。通过联合处理第一干涉光和第二干涉光,可以抑制第一散斑信息和第二散斑信息,提高了被测对象的振动幅度信息的准确性。

[0149] 根据本公开的实施例,在操作S750根据第一干涉光对应的被测对象的第一振动幅度信息和第二干涉光对应的被测对象的第二振动幅度信息,组合得到被测对象的振动幅度信息中,可以包括:

[0150] 根据第一干涉光,得到包括第一散斑信息的第一振动幅度信息。根据第二干涉光,得到包括第二散斑信息的第二振动幅度信息。根据第一振动幅度信息和第二振动幅度信息,得到被测对象的振动幅度信息。

[0151] 根据本公开的实施例,激光测振仪100外部可以存在噪声,外部噪声可以参与由第一探测光得到第一反射光的过程,还可以参与由第二探测光得到第二反射光的过程,因此,在第一干涉光和第二干涉光的参数表达式中存在与外部噪声相关的参数。

[0152] 根据本公开的实施例,在根据第一干涉光得到第一振动幅度信息的情况下,可以根据第一干涉光和与外部噪声相关的参数得到第一散斑信息,同理可以在根据第二干涉光得到第二振动幅度信息的情况下,根据第二干涉光和与外部噪声相关的参数得到第二散斑信息。

[0153] 根据本公开的实施例,对第一振动幅度信息和第二振动幅度信息进行加权叠加,可以抑制第一散斑信息和第二散斑信息,得到被测对象的振动信息振动幅度信息。

[0154] 根据本公开的实施例,由于第一散斑信息和第二散斑信息都可以由与外部噪声相关的参数得到,通过对第一振动幅度信息和第二振动幅度信息进行加权后叠加,第一散斑信息和第二散斑信息叠加后可以实现部分抵消,即实现减小了第一散斑信息和第二散斑信息,由此实现了抑制了第一振动幅度信息和第二振动幅度信息中由于噪声带来的第一散斑信息和第二散斑信息,提高了振动幅度信息与散斑信息之比,由此提高了振动幅度信息的准确性。

[0155] 根据本公开的实施例,激光测振仪100可以对第一干涉光和第二干涉光进行光电转换,得到第一干涉光和第二干涉光对应的第一干涉电信号和第二干涉电信号,通过第一干涉电信号和第二干涉电信号可以获得第一干涉电信号和第二干涉电信号的振幅信息,振幅信息可以表征被测对象的振动幅度信息。根据本公开的实施例,在实际测振的情况下,可以假设该噪声为白噪声,即散斑信息可以为受到白噪声影响产生的。实际测振情况下的第一干涉光可以通过如下公式(1)表示。

$$[0156] \quad f_1(t) = A_1(t) \sin \left( \omega t + \frac{4\pi}{\lambda_1} s_1(t) \right) + B \cdot \text{rand}(t) \quad (1)$$

[0157] 其中, $f_1(t)$ 为实际测振情况下的第一干涉光的载波调制信息; $A_1(t)$ 为实际测振情况下的第一干涉光对应的振幅信息; $\omega$ 为外差频率; $\lambda_1$ 为实际测振情况下的第一干涉光的波长; $s_1(t)$ 为实际测振情况下的第一干涉光对应的被测对象的振动幅度信息; $B$ 为实际测振情况下的噪声系数, $\text{rand}(t)$ 为实际测振情况下的噪声信息。

[0158] 根据本公开的实施例,实际测振情况下的第二干涉光可以通过如下公式(2)表示。



$$[0159] \quad f_2(t) = A_2(t) \sin \left( \omega t + \frac{4\pi}{\lambda_2} s_2(t) \right) + B \cdot \text{rand}(t) \quad (2)$$

[0160] 其中,  $f_2(t)$  为实际测振情况下的第二干涉光的载波调制信息;  $A_2(t)$  为实际测振情况下的第二干涉光对应的振幅信息;  $\lambda_2$  为实际测振情况下的第二干涉光的波长;  $s_2(t)$  为实际测振情况下的第二干涉光对应的被测对象的振动幅度信息。

[0161] 根据本公开的实施例, 根据实际测振情况下的第一干涉光的频率信息, 通过正交解调算法可以得到实际测振情况下的第一干涉光对应的被测对象的第一振动幅度信息, 可以通过如下公式 (3) 表示。

$$[0162] \quad s_1(t) = s(t) + \frac{\lambda_1}{4\pi} \sqrt{\frac{B}{A_1(t)}} \text{rand}(t) + s_{01} \quad (3)$$

[0163] 其中,  $s(t)$  为实际测振情况下的第一干涉光对应的被测对象的振动幅度信息和实际测振情况下的第二干涉光对应的被测对象的振动幅度信息,  $\frac{\lambda_1}{4\pi} \sqrt{\frac{B}{A_1(t)}} \text{rand}(t)$  为第一散斑信息, 由于测振仪测量的是相对振动,  $s_{01}$  为任意固定值。

[0164] 根据本公开的实施例, 根据实际测振情况下的第二干涉光的频率信息, 通过正交解调算法可以得到实际测振情况下的第二干涉光对应的被测对象的第二振动幅度信息, 可以通过如下公式 (4) 表示。

$$[0165] \quad s_2(t) = s(t) + \frac{\lambda_2}{4\pi} \sqrt{\frac{B}{A_2(t)}} \text{rand}(t) + s_{02} \quad (4)$$

[0166] 其中,  $\frac{\lambda_2}{4\pi} \sqrt{\frac{B}{A_2(t)}} \text{rand}(t)$  为第二散斑信息, 由于测振仪测量的是相对振动,  $s_{02}$  为任意固定值。

[0167] 根据本公开的实施例, 根据第一干涉光的载波调制信息, 可以得到包括第一散斑信息的第一振动幅度信息振动幅度信息, 以及根据第二干涉光的载波调制信息, 可以得到包括第二散斑信息的第二振动幅度信息振动幅度信息。根据第一干涉光对应的被测对象的第一振动幅度信息和第二干涉光对应的被测对象的第二振动幅度信息, 组合得到被测对象的振动幅度信息, 实现抑制散斑对被测对象振动幅度信息的干扰。

[0168] 根据本公开的实施例, 将实际测振情况下的第一干涉光对应的被测对象的振动幅度信息和实际测振情况下的第二干涉光对应的被测对象的振动幅度信息微分 (Diff) 后进行加权叠加后积分 (Int), 微分目的可以去除  $s_{01}$  和  $s_{02}$  的干扰, 可以对噪声信息进行抑制, 具体操作可以通过如下公式 (5) 表示:

$$[0169] \quad s_3(t) = \text{Int} \left\{ c_1 * \text{Diff} \left[ s(t) + \frac{\lambda_1}{4\pi} \sqrt{\frac{B}{A_1(t)}} \text{rand}(t) + s_{01} \right] + c_2 * \text{Diff} \left[ s(t) + \frac{\lambda_2}{4\pi} \sqrt{\frac{B}{A_2(t)}} \text{rand}(t) + s_{02} \right] \right\} \quad (5)$$

[0170] 其中,  $s_3(t)$  为抑制噪声后的被测对象的振动幅度信息;  $c_1$  为第一抑制系数;  $c_2$  为第二抑制系数。

[0171] 根据本公开的实施例,  $c_1$ 和 $c_2$ 满足 $c_1+c_2=1$ ;  $c_1$ 和 $c_2$ 的具体取值可以根据 $\frac{\lambda_1}{4\pi} \sqrt{\frac{B}{A_1(t)}}$ 和 $\frac{\lambda_2}{4\pi} \sqrt{\frac{B}{A_2(t)}}$ 的具体值确定, 通过 $c_1$ 和 $c_2$ 两部分的乘积的叠加, 实现对 $\text{rand}(t)$ 的抑制, 即实现了对噪声信息的抑制。

[0172] 可以理解, 本申请的各个实施例和/或权利要求中记载的特征可以进行多种组合或/或结合, 即使这样的组合或结合没有明确记载于本申请中。特别地, 在不脱离本申请精神和教导的情况下, 本申请的各个实施例和/或权利要求中记载的特征可以进行多种组合和/或结合。所有这些组合和/或结合均落入本申请的范围。

[0173] 在本说明书的描述中, 参考术语“一个实施例”、“一些实施例”、“实例”、“具体示例”、或“一些示例”等的描述意指结合该实施例或示例描述的具体特征、结构、材料或者特点包含于本申请的至少一个实施例或示例中。在本说明书中, 对上述术语的示意性表述不一定指的是相同的实施例或示例。而且, 描述的具体特征、结构、材料或者特点可以在任何的一个或多个实施例或示例中以合适的方式结合。

[0174] 以上对本申请的实施例进行了描述。但是, 这些实施例仅仅是为了说明的目的, 而并非为了限制本申请的范围。尽管在以上分别描述了各实施例, 但是这并不意味着各个实施例中的措施不能有利地结合使用。本申请的范围由所附权利要求及其等同物限定。不脱离本申请的范围, 可以做出多种替代和修改, 这些替代和修改都应落在本申请的范围之内。

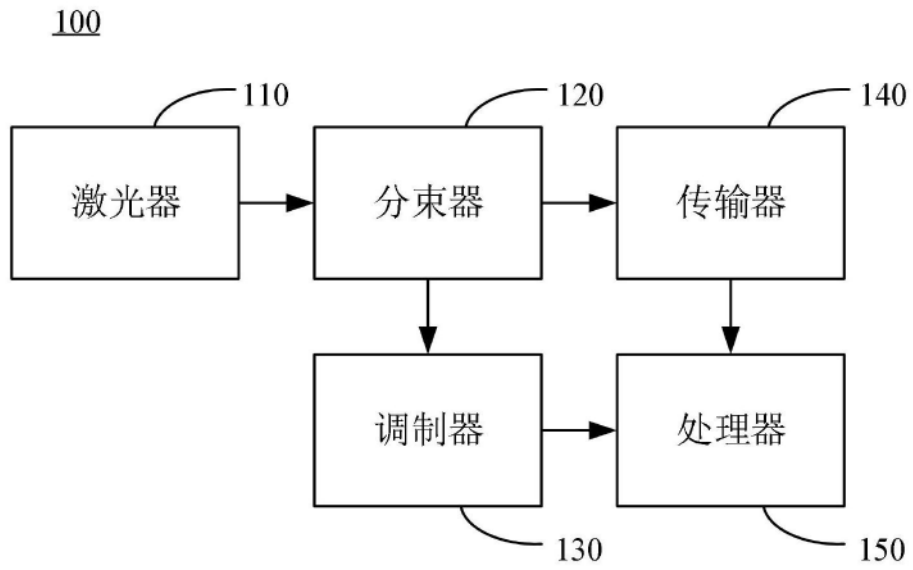


图1

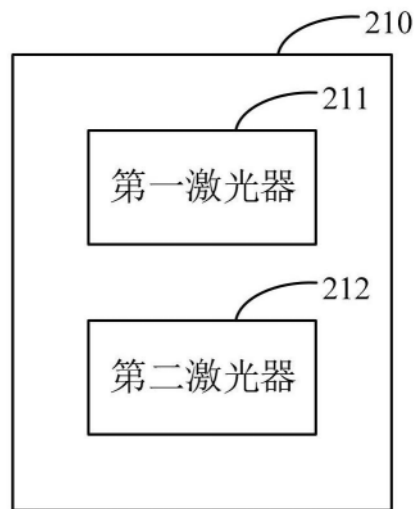


图2

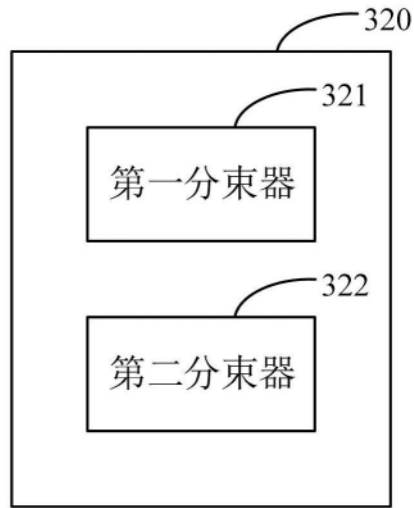


图3

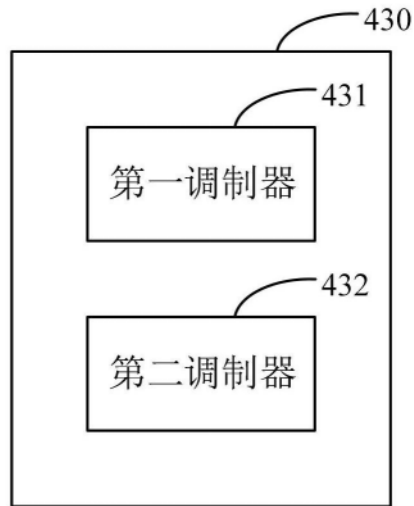


图4

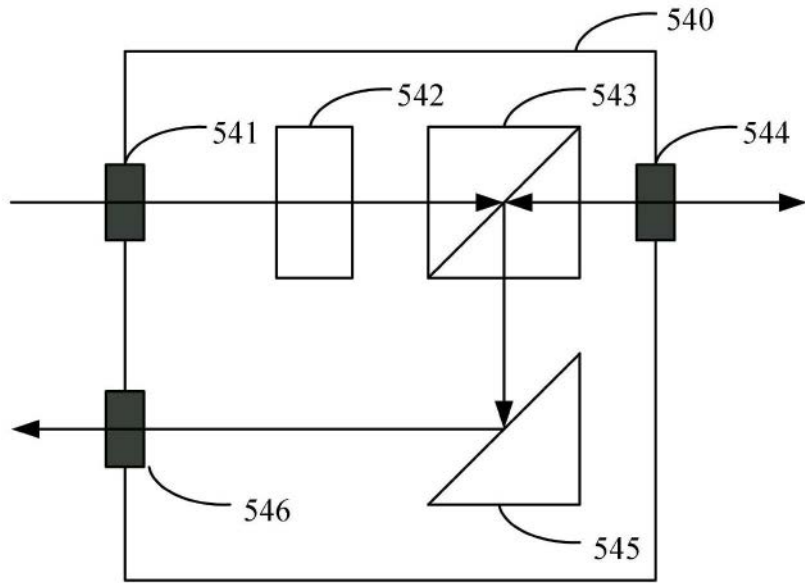


图5A

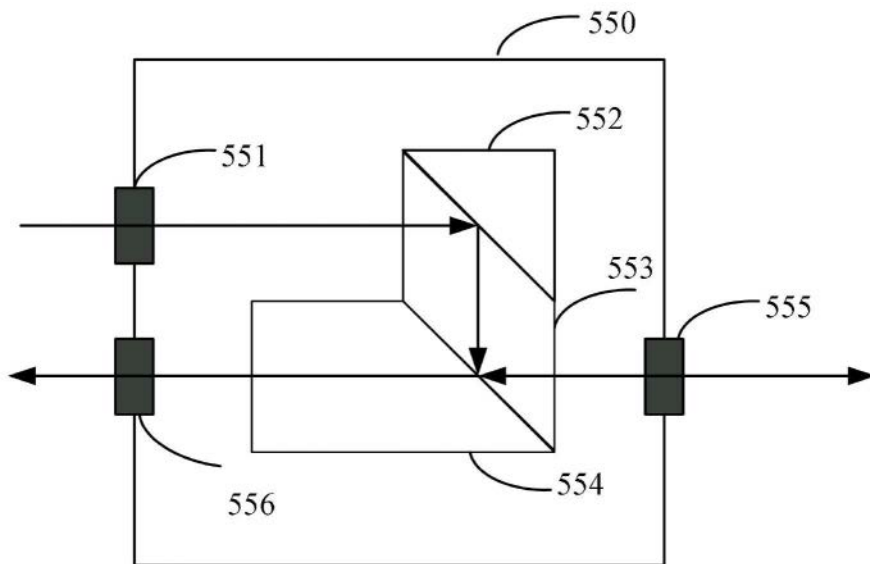


图5B

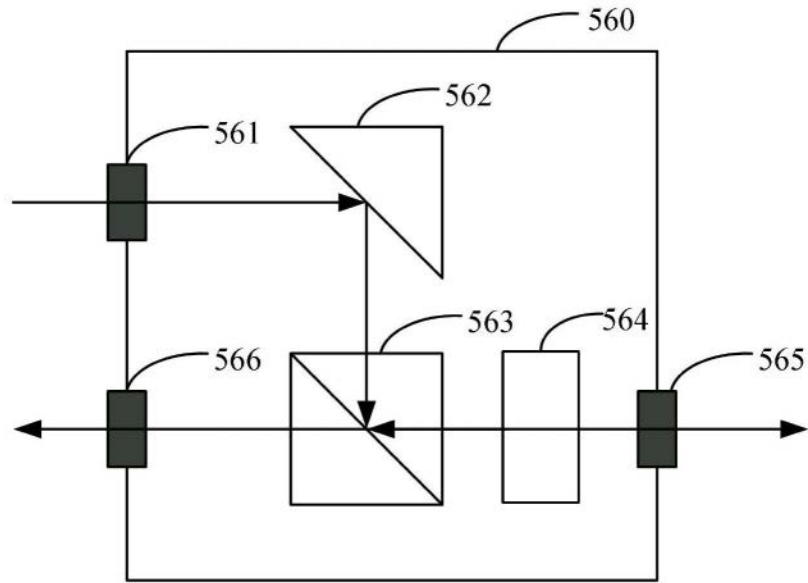


图5C

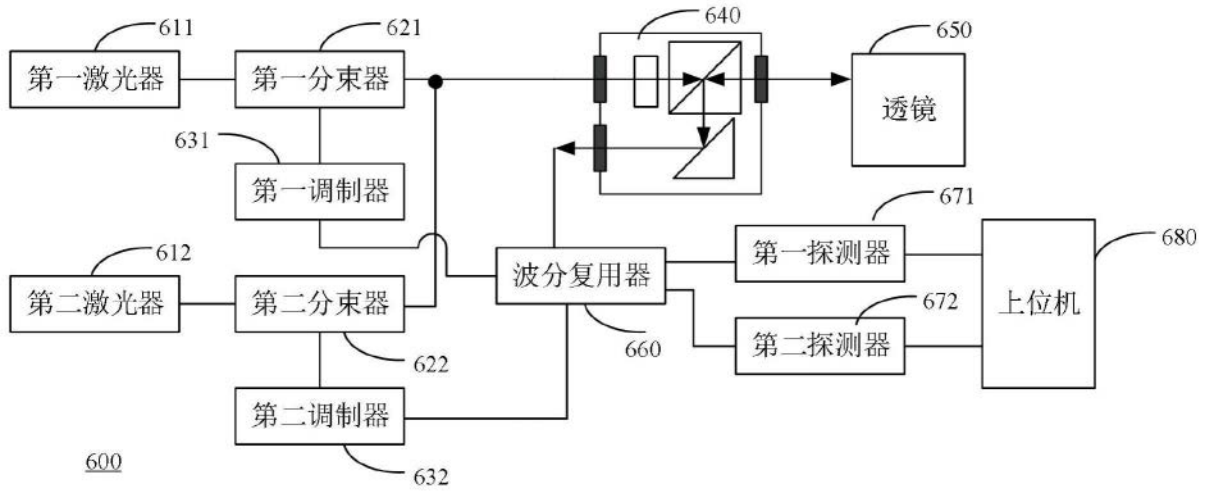


图6

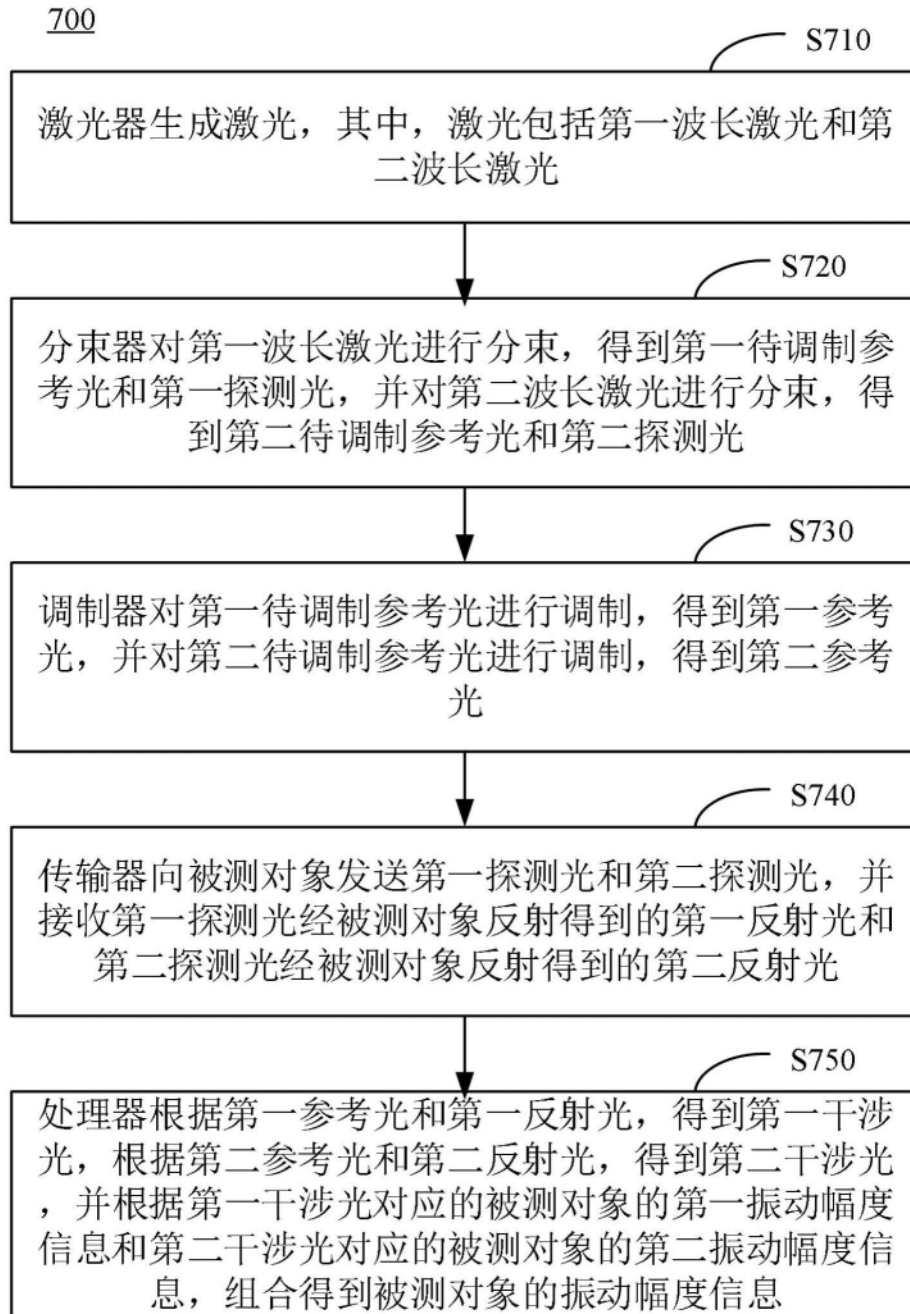


图7