



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 115876324 A

(43) 申请公布日 2023. 03. 31

(21) 申请号 202211618569.5

(22) 申请日 2022.12.15

(71) 申请人 北京无线电计量测试研究所
地址 100854 北京市海淀区永定路50号142
信箱408分箱

(72) 发明人 刘健纯 龚鹏伟 谢文 谌贝
姜河 杨春涛 马红梅

(74) 专利代理机构 北京国昊天诚知识产权代理
有限公司 11315
专利代理师 南霆

(51) Int. Cl.
G01J 3/28 (2006.01)
G01J 3/02 (2006.01)
G01J 3/10 (2006.01)
G01N 21/3586 (2014.01)

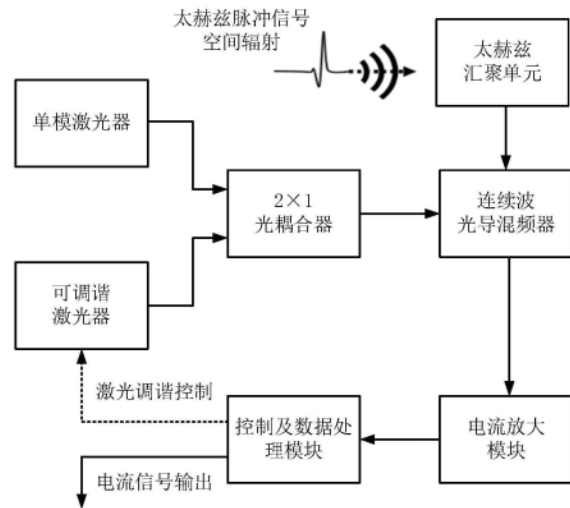
权利要求书1页 说明书5页 附图2页

(54) 发明名称

一种高分辨力太赫兹脉冲探测装置和方法

(57) 摘要

本申请公开了一种高分辨力太赫兹脉冲探测装置,包括:单模激光器,用于产生固定频率的第一路连续激光;可调谐激光器,用于产生频率可调的第二路连续激光;光耦合器,用于将两路连续激光混合后,输入到连续波光导混频器;所述连续波光导混频器,用于将两路连续激光混频后生成本振信号,再与太赫兹脉冲信号作用后生成电流信号输出。本申请还包含一种高分辨力太赫兹脉冲探测方法,使用所述高分辨力太赫兹脉冲探测装置。本申请解决现有技术的太赫兹脉冲探测装置频谱分辨率难以提高的问题。



1. 一种高分辨力太赫兹脉冲探测装置,其特征在于,包括:
单模激光器,用于产生固定频率的第一路连续激光;
可调谐激光器,用于产生频率可调的第二路连续激光;
光耦合器,用于将两路连续激光混合后,输入到连续波光导混频器;
所述连续波光导混频器,用于将两路连续激光混频后生成本振信号,再与太赫兹脉冲信号作用后生成电流信号输出。
2. 如权利要求1所述高分辨力太赫兹脉冲探测装置,其特征在于,
所述可调谐激光器的波长的调谐范围,使所述单模激光器和所述可调谐激光器的差频频点覆盖待测太赫兹频段。
3. 如权利要求1所述高分辨力太赫兹脉冲探测装置,其特征在于,
所述光耦合器为保偏光纤耦合器。
4. 如权利要求1所述高分辨力太赫兹脉冲探测装置,其特征在于,
所述连续波光导混频器包含半导体混频基底和结合在所述半导体混频基底表面的光电耦合电极、滤波单元和匹配电路;
所述的两路连续激光的混合激光输入到光电耦合电极上生成本振信号;
半导体混频基底接收空间辐射的太赫兹脉冲信号,太赫兹脉冲信号与本振信号在半导体混频基底中进行差频,再经所述滤波单元得到中频信号,最后经匹配电路输出电流。
5. 如权利要求4所述高分辨力太赫兹脉冲探测装置,其特征在于,
所述连续波光导混频器还包含光纤准直器和激光汇聚单元;
所述混合激光经过光纤准直器后由激光汇聚单元聚焦到所述光电耦合电极上。
6. 如权利要求1~5任意一项所述高分辨力太赫兹脉冲探测装置,其特征在于,还包含:
汇聚模块,用于汇聚太赫兹脉冲信号,聚焦到所述连续波导光混频器中。
7. 如权利要求1~5任意一项所述高分辨力太赫兹脉冲探测装置,其特征在于,还包含:
电流放大模块,用于放大所述连续波光导混频器输出的电流信号。
8. 如权利要求1~5任意一项所述高分辨力太赫兹脉冲探测装置,其特征在于,还包含:
数据处理模块,用于控制所述可调谐激光器输出波长。
9. 如权利要求1~5任意一项所述高分辨力太赫兹脉冲探测装置,其特征在于,
所述太赫兹脉冲信号在频谱上表现为间隔为飞秒激光重频的频率梳,通过数据处理模块控制所述可调谐激光器波长变化,使两激光器的差频频点遍历待测太赫兹频率梳,实现太赫兹脉冲频谱的全域扫描。
10. 一种高分辨力太赫兹脉冲探测方法,用权利要求1~9任意一项所述高分辨力太赫兹脉冲探测装置,其特征在于,包含以下步骤:
向所述连续波光导混频器辐射太赫兹脉冲信号,所述太赫兹脉冲信号在频谱上表现为间隔为飞秒激光重频的频率梳;
控制所述可调谐激光器波长变化,使两激光器的差频频点遍历待测太赫兹频率梳,实现太赫兹脉冲频谱的全域扫描。

一种高分辨力太赫兹脉冲探测装置和方法

技术领域

[0001] 本申请涉及无线电技术领域,尤其涉及一种高分辨力太赫兹脉冲探测装置和方法。

背景技术

[0002] 太赫兹光谱技术凭借太赫兹频段的独特性质,已经在工业无损检测、化学分析、安全检查、空间物理等领域取得了广泛应用。该技术中往往采用飞秒激光泵浦太赫兹产生器件产生太赫兹脉冲,并使用飞秒激光激励太赫兹探测器件对太赫兹脉冲进行探测。目前商用太赫兹系统中探测太赫兹脉冲主要有两种方式,一种是同步光采样技术,通过精密延迟结构调节探测波束与太赫兹波束之间的延时从而实现探测点在太赫兹脉冲上的扫描,这种探测方式对精密延迟结构的要求极高,而且扫描时间非常长;第二种是异步光采样技术,利用两个重复频率接近但不同的飞秒激光器分别作为泵浦源和探测源,将两激光器的重复频率差作为光采样的延时量和数据采集时的同步信号,这种方式可以不使用机械延迟结构,但要求两个激光器保持锁相状态,同时由于探测激光与激励激光保持锁相关系,该方法不能表现太赫兹脉冲的真实相位噪声和频率稳定性。受限于飞秒激光器的重复频率,目前这两类方式最高能实现82.6MHz的频率分辨力。

发明内容

[0003] 本申请提出一种高分辨力太赫兹脉冲探测装置和方法,解决现有技术的太赫兹脉冲探测装置频谱分辨力难以提高的问题。

[0004] 本申请实施例提出一种高分辨力太赫兹脉冲探测装置,包括单模激光器、可调谐激光器、光耦合器和连续波光导混频器。单模激光器,用于产生固定频率的第一路连续激光。可调谐激光器,用于产生频率可调的第二路连续激光。光耦合器,用于将两路连续激光混合后,输入到连续波光导混频器。所述连续波光导混频器,用于将两路连续激光混频后生成本振信号,再与太赫兹脉冲信号作用后生成电流信号输出。

[0005] 优选地,所述可调谐激光器的波长的调谐范围,使所述单模激光器和所述可调谐激光器的差频频点覆盖待测太赫兹频段。

[0006] 优选地,所述光耦合器为保偏光纤耦合器。

[0007] 优选地,所述连续波光导混频器包含半导体混频基底和结合在所述半导体混频基底表面的光电耦合电极、滤波单元和匹配电路。所述的两路连续激光的混合激光输入到光电耦合电极上生成本振信号。半导体混频基底接收空间辐射的太赫兹脉冲信号,太赫兹脉冲信号与本振信号在半导体混频基底中进行差频,再经所述滤波单元得到中频信号,最后经匹配电路输出电流。

[0008] 进一步优选地,所述连续波光导混频器还包含光纤准直器和激光汇聚单元。所述混合激光经过光纤准直器后由激光汇聚单元聚焦到所述光电耦合电极上。

[0009] 优选地,本申请任意一项实施例所述高分辨力太赫兹脉冲探测装置,还包含:汇聚

模块,用于汇聚太赫兹脉冲信号,聚焦到所述连续波导光混频器中。

[0010] 优选地,本申请任意一项实施例所述高分辨力太赫兹脉冲探测装置,还包含:电流放大模块,用于放大所述连续波光导混频器输出的电流信号。

[0011] 优选地,本申请任意一项实施例所述高分辨力太赫兹脉冲探测装置,还包含:数据处理模块,用于控制所述可调谐激光器输出波长。

[0012] 优选地,本申请任意一项实施例所述高分辨力太赫兹脉冲探测装置,所述太赫兹脉冲信号在频谱上表现为间隔为飞秒激光重频的频率梳,通过数据处理模块控制所述可调谐激光器波长变化,使两激光器的差频频点遍历待测太赫兹频率梳,实现太赫兹脉冲频谱的全域扫描。

[0013] 本申请实施例还提出一种高分辨力太赫兹脉冲探测方法,用本申请任意一项实施例所述高分辨力太赫兹脉冲探测装置,包含以下步骤:

[0014] 向所述连续波光导混频器辐射太赫兹脉冲信号,所述太赫兹脉冲信号在频谱上表现为间隔为飞秒激光重频的频率梳;

[0015] 控制所述可调谐激光器波长变化,使两激光器的差频频点遍历待测太赫兹频率梳,实现太赫兹脉冲频谱的全域扫描。

[0016] 本申请实施例采用的上述至少一个技术方案能够达到以下有益效果:

[0017] 本发明所述技术方案优点在于不需要泵浦太赫兹脉冲产生器的激光与探测激光之间保持锁相关系,探测器与太赫兹脉冲产生器之间完全独立,由于泵浦探测端完全独立,因此本装置可以描述太赫兹脉冲的真实频率稳定性和相位噪声。同时,本装置通过调节可调谐激光器的激光输出信号可实现对太赫兹脉冲频谱信号的超精细探测,太赫兹频谱分辨力取决于可调谐激光器的调谐精度,目前的商用可调谐激光器可实现10MHz的调谐精度,即本探测装置至少可实现10MHz的太赫兹脉冲频谱分辨力。

附图说明

[0018] 此处所说明的附图用来提供对本申请的进一步理解,构成本申请的一部分,本申请的示意性实施例及其说明用于解释本申请,并不构成对本申请的不当限定。在附图中:

[0019] 图1为本发明提供了一种高分辨力太赫兹脉冲探测装置的结构示意图;

[0020] 图2为本发明提供了一种连续波光导混频器的结构示意图;

[0021] 图3为本发明提供的高分辨力太赫兹脉冲探测方法流程图。

具体实施方式

[0022] 为使本申请的目的、技术方案和优点更加清楚,下面将结合本申请具体实施例及相应的附图对本申请技术方案进行清楚、完整地描述。显然,所描述的实施例仅是本申请一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本申请中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本申请保护的范围。

[0023] 以下结合附图,详细说明本申请各实施例提供的技术方案。

[0024] 图1为本发明提供了一种高分辨力太赫兹脉冲探测装置的结构示意图。如图1所示,本申请提供了一种高分辨力太赫兹脉冲探测装置,包括:

[0025] 单模激光器,用于产生固定频率的连续激光,并与可调谐激光器产生的激光混频。

可调谐激光器,用于产生频率可调的连续激光,与所述的单模激光器混频后得到与待测太赫兹频率接近的本振信号。光耦合器,用于将所述单模激光器与可调谐激光器所产生的两路激光信号混合为单路激光信号。连续波光导混频器,用于探测太赫兹信号,探测到的太赫兹信号与所述本振信号相互作用后转换为电流信号,作为采集数据输出。太赫兹汇聚模块,用于汇聚太赫兹脉冲辐射信号,将太赫兹信号聚焦到连续波光导混频器中。电流放大模块,用于放大所述连续波光导混频器输出的电流信号。数据处理模块,用于实现所述可调谐激光器的步进调谐,并将所述电流放大模块输出的电流信号做可视化处理。

[0026] 进一步优选地,各模块的功能和结构说明如下:

[0027] 单模激光器,用于产生固定频率的连续激光,并与可调谐激光器产生的激光混频。在本发明实施例中,选用C波段(例如中心波长位于1550nm或附近)的分布式反馈激光器,激光输出为保偏激光,这类激光器可实现动态单纵模窄线宽输出,激光线宽普遍可低至1MHz以内而且波长稳定性好,可满足本发明实施例的单频点激光输出需求。

[0028] 可调谐激光器,用于产生频率可调的连续激光,与所述的单模激光器混频后得到与待测太赫兹频率接近的本振信号。在本发明实施例中,选用波长调谐范围1550nm~1555nm,最小调谐精度为10MHz的可调谐激光器,激光输出为保偏激光,且偏振态与所述单模激光器一致。用波长计确定所述单模激光器的波长后,调节所述可调谐激光器,使两激光器的频差与待测太赫兹脉冲的频率范围接近,以0.339THz~0.341THz范围内的太赫兹脉冲频谱为例,即扫描这部分频谱时,波长调谐范围为1552.722nm~1552.739nm。在全频段扫描时,则由数据处理模块控制可调谐激光器的波长调节,使两激光器的差频频点遍历待测太赫兹频段。

[0029] 所述光耦合器为2×1光耦合器,用于将所述单模激光器与可调谐激光器所产生的两路激光信号混合为单路激光信号。在本发明实施例中选用的是中心波长1550nm线宽±15nm的保偏光纤耦合器,两个输入端分别连接至所述单模激光器与所述可调谐激光器的光输出端,输出端接入连续波光导混频器中,此处输出的是混合了两激光器输出的两种激光的混合信号。

[0030] 连续波光导混频器,用于探测太赫兹信号,探测到的太赫兹信号与所述本振信号相互作用后转换为电流信号,作为采集数据输出。在本发明实施例中。选用ErAs:InGaAs连续波光导混频器,该混频器对1550nm附近的激光信号有较强的响应。从2×1光耦合器输出的光混合信号会在连续波光导混频器中完成混频。混频后得到的本振信号与连续波光导混频器接收到的太赫兹信号频率相近,两者在连续波光导混频器中会进行差频,差频后产生一个中频信号,相对待测太赫兹信号而言,该中频信号的频率较低,很容易用电子学的方式进行放大。

[0031] 太赫兹汇聚模块,用于汇聚太赫兹脉冲辐射信号,将太赫兹信号聚焦到连续波光导混频器中。在本发明实施例中选用TPX太赫兹凸透镜,该透镜有很好的汇聚效果而且在太赫兹频段内具有95%以上的透过率,具体尺寸可根据太赫兹脉冲辐射器选择。

[0032] 电流放大模块,用于放大所述连续波光导混频器输出的电流信号。在本实施例中选用的是可变增益低噪声电流放大器,可提供 10^3 到 10^{11} 的可变跨阻增益,适用于低至 μ s区域的时间分辨电流。

[0033] 图2为本发明提供的一种连续波光导混频器的结构示意图。所述连续波光导混频

器包含半导体混频基底和结合在所述半导体混频基底表面的光电耦合电极、滤波单元和匹配电路。进一步优选地,所述连续波光导混频器还包含光纤准直器和激光汇聚单元。为进一步说明连续波光导混频器,如图2,在本发明实施例中。选用ErAs:InGaAs连续波光导混频器,该混频器对1550nm附近的激光信号有较强的响应。从 2×1 光耦合器输出的光混合信号经由光纤准直器准直后由激光汇聚单元汇聚到连续波光导混频器的光电耦合电极上形成与待测太赫兹信号频率接近的本振信号。光电耦合电极由磁控溅射技术制作在半导体混频基底表面,材质可选金或铜。半导体混频基底接收到辐射到其表面的太赫兹脉冲空间辐射信号后,太赫兹脉冲信号与本振信号在半导体混频基底中进行差频,差频后经滤波单元得到中频信号,中频信号由匹配电路以电流形式输出,相对待测太赫兹信号而言,该中频信号的频率较低,很容易用电子学的方式进行放大。

[0034] 图3为本发明提供的高分辨力太赫兹脉冲探测方法流程图。

[0035] 如图3所示,本申请实施例还提出一种高分辨力太赫兹脉冲探测方法,用本申请任意一项实施例所述高分辨力太赫兹脉冲探测装置,包含以下步骤:

[0036] 步骤310、向所述连续波光导混频器辐射太赫兹脉冲信号。

[0037] 所述太赫兹脉冲信号在频谱上表现为间隔为飞秒激光重频的频率梳。

[0038] 步骤320、控制所述可调谐激光器波长变化,使两激光器的差频频点遍历待测太赫兹频率梳。

[0039] 通过数据处理模块控制所述可调谐激光器波长变化,使两激光器的差频频点遍历待测太赫兹频率梳,即可实现高分辨力的太赫兹脉冲频谱的全域扫描。

[0040] 步骤330、太赫兹脉冲频谱的可视化处理。

[0041] 在本申请的装置中为实现可调谐激光器的波长控制,优选地,所述数据处理模块,用于实现所述可调谐激光器的步进调谐,在上述全域扫描后由电流数据采集软件即可实现太赫兹脉冲频谱的可视化处理。

[0042] 在本发明实施例中选用Labview编写步进调谐软件与电流数据采集软件将所述电流放大模块输出的电流信号做可视化处理。

[0043] 还需要说明的是,术语“包括”、“包含”或者其任何其他变体意在涵盖非排他性的包含,从而使得包括一系列要素的过程、方法、商品或者设备不仅包括那些要素,而且还包括没有明确列出的其他要素,或者是还包括为这种过程、方法、商品或者设备所固有的要素。在没有更多限制的情况下,由语句“包含……”限定的要素,并不排除在包括所述要素的过程、方法、商品或者设备中还存在另外的相同要素。

[0044] 本技术领域技术人员可以理解,除非特意声明,这里使用的单数形式“一”、“一个”、“所述”和“该”也可包括复数形式。应该进一步理解的是,本发明的说明书中使用的措辞“包括”是指存在所述特征、整数、步骤、操作、元件和/或组件,但是并不排除存在或添加一个或多个其他特征、整数、步骤、操作、元件、组件和/或它们的组。应该理解,当元件被“连接”或“耦合”到另一元件时,它可以直接连接或耦接到其他元件,或者也可以存在中间元件。此外,这里使用的“连接”或“耦接”可以包括无线连接或无线耦接。这里使用的措辞“和/或”包括一个或更多个相关联的列出项的全部或任一单元和全部组合。

[0045] 本技术领域技术人员可以理解,除非另外定义,这里使用的所有术语(包括技术、术语和科学术语),具有与本发明所属领域中的普通技术人员的一般理解相同的意义。

[0046] 以上所述仅为本申请的实施例而已,并不用于限制本申请。对于本领域技术人员来说,本申请可以有各种更改和变化。凡在本申请的精神和原理之内所作的任何修改、等同替换、改进等,均应包含在本申请的权利要求范围之内。

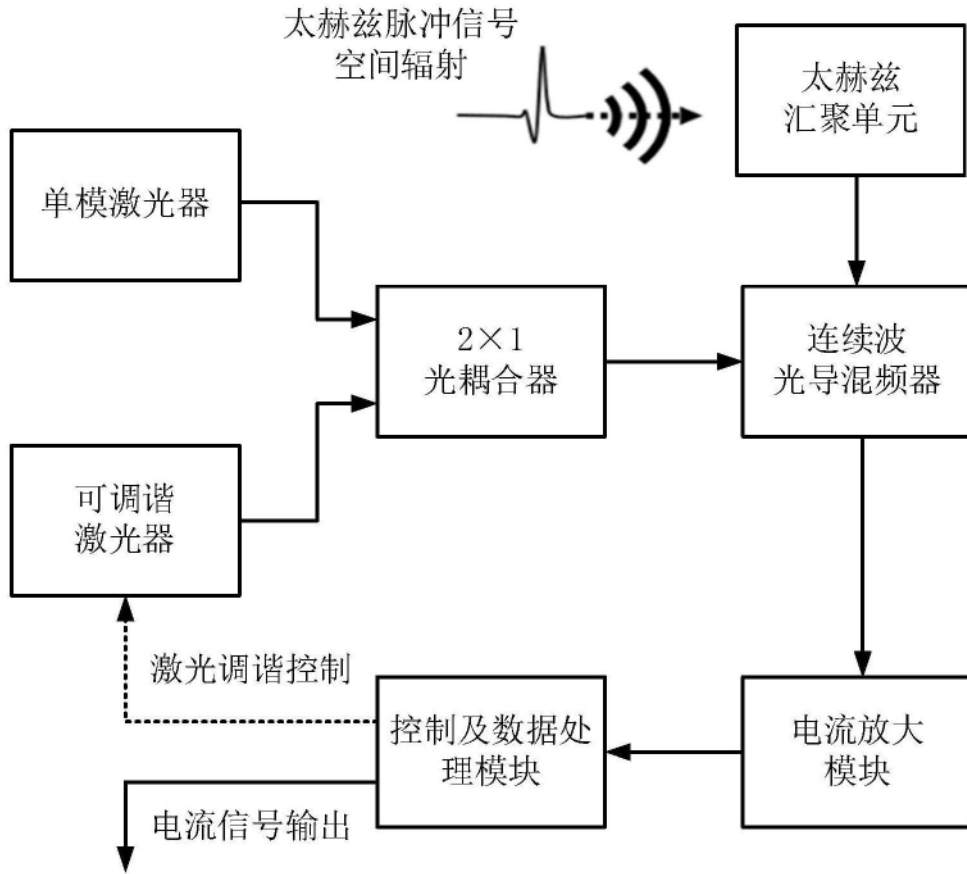


图1

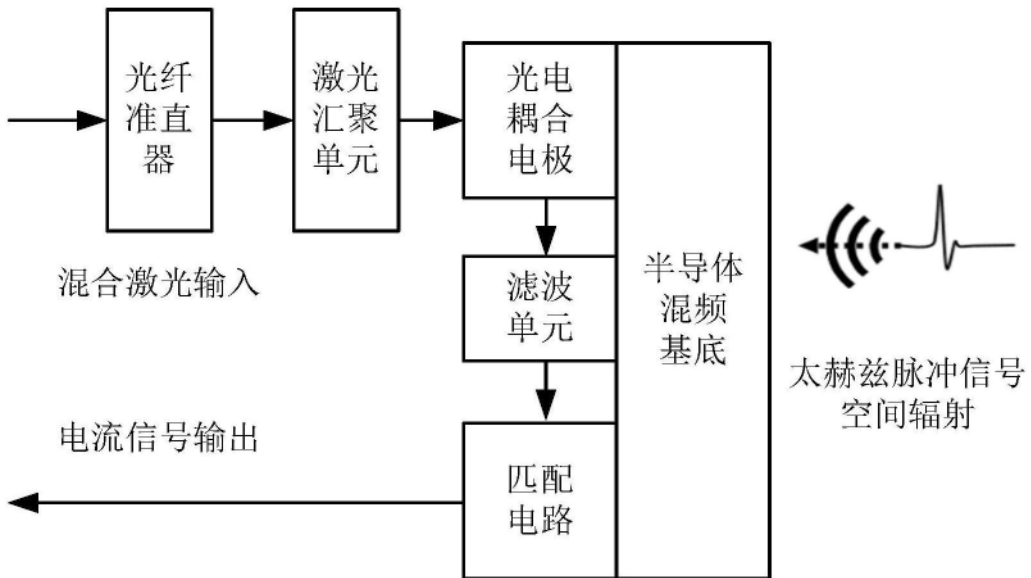


图2

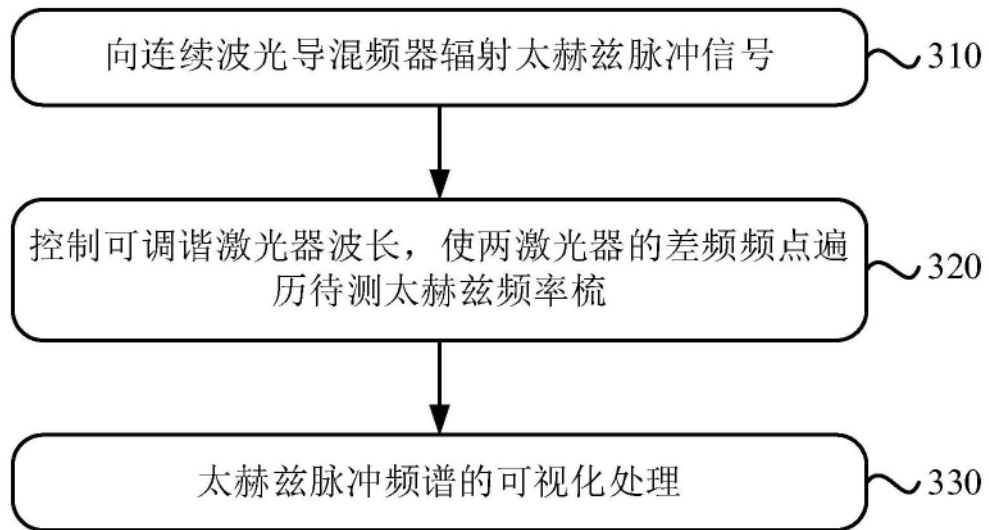


图3