



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 108957999 B

(45) 授权公告日 2021.03.30

(21) 申请号 201810530278.8

审查员 文洁

(22) 申请日 2018.05.29

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 108957999 A

(43) 申请公布日 2018.12.07

(73) 专利权人 中国科学院上海光学精密机械研究所

地址 201800 上海市嘉定区清河路390号

(72) 发明人 张秀平 朱健强 张军勇 刘德安

(74) 专利代理机构 上海恒慧知识产权代理事务所(特殊普通合伙) 31317

代理人 张宁展

(51) Int.Cl.

G03H 1/04 (2006.01)

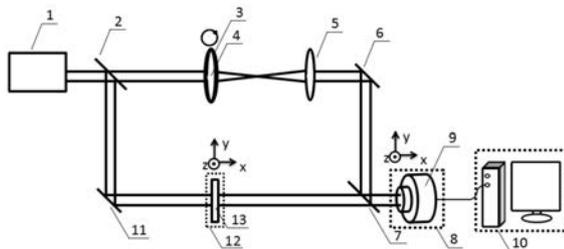
权利要求书1页 说明书5页 附图1页

(54) 发明名称

基于相位型涡旋透镜的相移全息装置及成像方法

(57) 摘要

一种基于相位型涡旋透镜的相移全息装置及成像方法,该装置包括光源、分束器、旋转镜架、相位型涡旋聚焦透镜、准直透镜、第一反射镜、合束器、第一三维平移台、成像探测器、计算机、第二反射镜、第二三维平移台和被测物体,本发明使用的相位型涡旋聚焦透镜可用于可见光到太赫兹波段的相干波段;本发明能够充分利用成像探测器的空间带宽积,能够快速实现被测物体的准确再现,能够有效抑制再现结果的共轭像,明显提高被测物体的再现像的质量。



1. 一种基于相位型涡旋透镜的相移全息装置获得被测物体 (13) 的成像方法, 所述的相移全息装置, 包括光源 (1)、分束器 (2)、旋转镜架 (3)、相位型涡旋聚焦透镜 (4)、准直透镜 (5)、第一反射镜 (6)、合束器 (7)、第一三维平移台 (8)、成像探测器 (9)、计算机 (10)、第二反射镜 (11)、第二三维平移台 (12) 和被测物体 (13); 光源 (1) 发出的光脉冲经过分束器 (2) 分为透射光束和反射光束, 透射光束作为参考光束, 反射光束作为物光束;

所述的参考光束经过固定在所述的旋转镜架 (3) 的相位型涡旋聚焦透镜 (4) 到达所述的准直透镜 (5), 经准直透镜 (5) 准直后的光束经过第一反射镜 (6) 到达所述的合束器 (7), 并通过合束器 (7) 将参考光束反射进入固定在第一三维平移台 (8) 上的成像探测器 (9); 所述的物光束经过第二反射镜 (11) 到达固定在第二三维平移台 (12) 的被测物体 (13), 经过被测物体 (13) 的光束透过所述的合束器 (7) 进入所述的成像探测器 (9); 所述的物光束的光束面积大于所述的被测物体 (13) 的尺寸; 所述的成像探测器 (9) 的输出端与所述的计算机 (10) 的输入端连接; 其特征在于该方法包括如下步骤:

1) 开启光源 (1), 将被测物体 (13) 放置在所述的第二三维平移台 (12) 上并处于所述的物光束中, 将固定在所述的旋转镜架 (3) 上的相位型涡旋聚焦透镜 (4) 旋转  $N$  次, 依次引入不同相移的参考光束  $R(x, y, \phi_m)$ , 其中  $m=1, 2, \dots, N$ ,  $\phi_m$  是参考光束的第  $m$  次相移, 被测物体的衍射光波  $U(x, y)$  与不同相移的参考光束  $R(x, y, \phi_m)$  相互作用形成的干涉全息图  $I(x, y, \phi_m) = |U(x, y) + R(x, y, \phi_m)|^2$ , 所述的成像探测器 (9) 记录  $N$  幅干涉全息图  $I(x, y, \phi_m)$ ;

2) 当已知旋转次数  $N$  和参考光束的相移  $\phi_m$  时, 根据记录下来的  $N$  幅干涉全息图  $I(x, y, \phi_m)$  按下列公式计算出被测物体在记录面的衍射光波  $U(x, y)$ :

$$U(x, y) = \frac{a_1 \cdot I(x, y, \phi_1) + a_2 \cdot I(x, y, \phi_2) + \dots + a_N \cdot I(x, y, \phi_N)}{|R(x, y, \phi_1)|^2},$$

其中,  $a_1, a_2, \dots, a_N$  是强度系数,  $\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_N$  是参考光束的相移,  $(x, y)$  为成像探测器表面的空间坐标分布;

3) 利用角谱衍射传播逆算法将步骤 2) 得到的衍射光波  $U(x, y)$  逆向传播到物平面, 得到被测物体的复振幅分布  $O(x_0, y_0)$ :

$$O(x_0, y_0) = \mathcal{F}^{-1} \{ \mathcal{F} \{ U(x, y) \} H_0(f_x, f_y) \},$$

其中,  $H_0(f_x, f_y) = \exp \left[ i \frac{2\pi}{\lambda} z_0 \sqrt{1 - \lambda^2 (f_x^2 + f_y^2)} \right]$  是角谱传输函数,  $f_x$  和  $f_y$  是空间频率,  $z_0$  是被测物体 (13) 到成像探测器 (9) 的距离,  $\lambda$  为光源的波长。

2. 根据权利要求 1 所述的方法, 其特征在于所述的被测物体 (13) 是分辨率板或生物样品。

## 基于相位型涡旋透镜的相移全息装置及成像方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于全息成像,特别是一种基于相位型涡旋透镜的相移全息装置及成像方法。

### 背景技术

[0002] 自1948年D.Gabor提出全息这一概念以来,全息术以其在各个领域广泛的应用前景,已成为国际上物理领域的一个重要研究课题。在显微成像中,全息术的三维体积成像可实现超焦深显微术;在光学存储中,采用傅里叶变换全息图可实现文字、图像等信息的大容量高密度信息存储;在干涉测量中,全息术可对物体变形前后产生的两个波前相比较而实现干涉计量。全息术在各个领域中的应用日益增加,而对全息成像装置和成像方法的研究也日趋重要。

[0003] 在传统光学全息术中,干涉全息图可以记录足够的三维成像信息,但全息记录过程需要显影、定影、漂白等物理化学处理,且再现时间长。1967年,J.W.Goodman等提出了数字全息的概念,其基本原理是用光敏电子成像器件代替传统全息记录材料记录干涉全息图,用计算机完成再现过程,该方法可以大大缩短再现时间。但是,这种方法重建的目标图像通常包括共轭像和零级干扰像等,这些成分模糊了重建的光场,降低了从单个干涉全息图中恢复被测物体的准确性。1979年,L.M.Frantz等提出了相移全息技术,这种技术能够充分利用成像探测器的空间带宽积,能够快速实时地实现被测物体的准确再现,并且能够有效抑制探测样品图像中的共轭像,提高干涉全息图的质量,同时可恢复记录面上物体的衍射分布,进而通过衍射回传得到高保真度的物体的重建复振幅图像。

[0004] 太赫兹波是频率在0.1到10THz范围内的电磁波,在电磁波谱中位于微波和红外之间,在生物检测、安全检测、通信技术等领域有着巨大的应用价值。但是,目前的相干太赫兹源往往成本高、价格昂贵且输出的功率较低,对于相干太赫兹源来说现有的振幅型透镜往往衍射效率低,使用效率只有百分之几。然而,本装置所使用的涡旋聚焦透镜是相位型透镜,它可用于包括可见光到太赫兹波段在内的相干波段,且成本低、使用效率高。

### 发明内容

[0005] 本发明需要解决的技术问题在于提供一种基于相位型涡旋透镜的相移全息装置及成像方法,该方法可实现在可见光到太赫兹波段相干光场的相移数字全息成像。该方法能够充分利用成像探测器的空间带宽积,能够快速实现被测物体的准确再现,能够有效抑制再现结果中的共轭像,明显提高被测物体的再现像的质量。

[0006] 本发明的技术方案如下:

[0007] 一种基于相位型涡旋透镜的相移全息装置,其特点在于,包括光源、分束器、旋转镜架、相位型涡旋聚焦透镜、准直透镜、第一反射镜、合束器、第一三维平移台、成像探测器、计算机、第二反射镜、第二三维平移台和被测物体;光源发出的光脉冲经过分束器分为透射光束和反射光束,透射光束作为参考光束,反射光束作为物光束;

[0008] 所述的参考光束经过固定在所述的旋转镜架的相位型涡旋聚焦透镜到达所述的准直透镜,经准直透镜准直后的光束经过第一反射镜到达所述的合束器,并通过合束器将参考光束反射进入固定在第一三维平移台上的成像探测器;

[0009] 所述的物光束经过第二反射镜到达固定在第二三维平移台的被测物体,经过被测物体的光束透过所述的合束器进入所述的成像探测器;

[0010] 所述的物光束的光束面积大于所述的被测物体的尺寸;

[0011] 所述的成像探测器的输出端与所述的计算机的输入端连接;

[0012] 所述的相位型涡旋聚焦透镜为圆形相位型涡旋聚焦透镜或椭圆相位型涡旋聚焦透镜;

[0013] 所述的成像探测器为CCD相机、CMOS图像传感器或热电阵列相机;

[0014] 利用上述基于相位型涡旋透镜的相移全息装置获得被测物体的成像方法,其特点在于该方法包括如下步骤:

[0015] 1) 开启光源,将被测物体放置在所述的第二三维平移台上并处于所述的物光束中,将固定在所述的旋转镜架上的相位型涡旋聚焦透镜旋转N次,依次引入不同相移的参考光束 $R(x, y, \phi_m)$ ,其中 $m=1, 2, \dots, N$ ,  $\phi_m$ 是参考光束的第m次相移,被测物体的衍射光波 $U(x, y)$ 与不同相移的参考光束 $R(x, y, \phi_m)$ 相互作用形成的干涉全息图 $I(x, y, \phi_m) = |U(x, y) + R(x, y, \phi_m)|^2$ ,所述的成像探测器记录N幅干涉全息图 $I(x, y, \phi_m)$ ;

[0016] 2) 当已知旋转次数N和参考光束的相移 $\phi_m$ 时,根据记录下来的N幅干涉全息图 $I(x, y, \phi_m)$ 按下列公式计算出被测物体在记录面的衍射光波 $U(x, y)$ :

$$[0017] \quad U(x, y) = \frac{a_1 \cdot I(x, y, \phi_1) + a_2 \cdot I(x, y, \phi_2) + \dots + a_N \cdot I(x, y, \phi_N)}{|R(x, y, \phi_1)|^2},$$

[0018] 其中, $a_1, a_2, \dots, a_N$ 是强度系数, $\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_N$ 是参考光束的相移;

[0019] 3) 利用角谱衍射传播逆算法将步骤2)得到的衍射光波 $U(x, y)$ 逆向传播到物平面,得到被测物体的复振幅分布 $O(x_0, y_0)$ :

$$[0020] \quad O(x_0, y_0) = \mathcal{F}^{-1} \{ \mathcal{F} \{ U(x, y) \} H_0(f_x, f_y) \},$$

[0021] 其中, $H_0(f_x, f_y) = \exp \left[ i \frac{2\pi}{\lambda} z_0 \sqrt{1 - \lambda^2 (f_x^2 + f_y^2)} \right]$ 是角谱传输函数, $f_x$ 和 $f_y$ 是空间频率, $z_0$ 是被测物体到成像探测器的距离。

[0022] 所述的被测物体可以是分辨率板或生物样品。

[0023] 本发明的技术效果及优势如下:

[0024] 1、本发明通过所述的旋转相位型涡旋聚焦透镜可引入多个不同相移的参考光束,因而所述的成像探测器可以记录多幅干涉全息图,快速实现被测物体的准确再现。

[0025] 2、本发明由于采用的涡旋聚焦透镜是相位型透镜,可以实现相干条件下从可见光到太赫兹波段的聚焦和成像。

[0026] 3、本发明能够有效抑制再现结果中的共轭像,可明显提高被测物体的再现像的质量。

## 附图说明

[0027] 图1为本发明基于相位型涡旋透镜的相移全息装置的结构示意图；

[0028] 图2为本发明被测物体为分辨率板的仿真结果图。

## 具体实施方式

[0029] 下面结合实施例和附图对本发明作进一步说明,但不应以此限制本发明的保护范围。

[0030] 先请参阅图1,图1为本发明基于相位型涡旋透镜的相移全息装置结构示意图,由图可见,本发明基于相位型涡旋透镜的相移全息装置,包括光源1,分束器2,旋转镜架3,相位型涡旋聚焦透镜4,准直透镜5,第一反射镜6,合束器7,第一三维平移台8,成像探测器9,计算机10,第二反射镜11,第二三维平移台12和被测物体13。光源1发出的光脉冲经过分束器2分为透射光束和反射光束,透射光束作为参考光束,反射光束作为物光束。所述的参考光束经过固定在所述的旋转镜架3的相位型涡旋聚焦透镜4到达所述的准直透镜5,经准直透镜5准直后的光束经第一反射镜6到达所述的合束器7,并通过合束器7将参考光束反射进入固定在第一三维平移台8上的成像探测器9;所述的物光束经过第二反射镜11到达固定在第二三维平移台12的被测物体13,经过被测物体13的光束透过所述的合束器7进入所述的成像探测器9;所述的物光束的光束面积大于所述的被测物体13的尺寸;所述的成像探测器9的输出端与所述的计算机10的输入端连接。

[0031] 所述的相位型涡旋聚焦透镜4为圆形相位型涡旋聚焦透镜或椭圆相位型涡旋聚焦透镜。

[0032] 所述的成像探测器9为CCD相机、CMOS图像传感器或热电阵列相机。

[0033] 利用基于相位型涡旋透镜的相移全息装置获得被测物体13的成像方法,该方法包括如下步骤:

[0034] 1) 开启光源1,将被测物体13放置在所述的第二三维平移台12上并处于所述的物光束中,将固定在所述的旋转镜架3上的相位型涡旋聚焦透镜4旋转N次,依次引入不同相移的参考光束 $R(x, y, \phi_m)$ ,其中 $m=1, 2, \dots, N$ ,  $\phi_m$ 是参考光束的第m次相移,被测物体的衍射光波 $U(x, y)$ 与不同相移的参考光束 $R(x, y, \phi_m)$ 相互作用形成的干涉全息图 $I(x, y, \phi_m) = |U(x, y) + R(x, y, \phi_m)|^2$ ,所述的成像探测器9记录N幅干涉全息图 $I(x, y, \phi_m)$ ;

[0035] 2) 当已知旋转次数N和参考光束的相移 $\phi_m$ 时,根据记录下来的N幅干涉全息图 $I(x, y, \phi_m)$ 按下列公式计算出被测物体在记录面的衍射光波 $U(x, y)$ :

$$[0036] \quad U(x, y) = \frac{a_1 \cdot I(x, y, \phi_1) + a_2 \cdot I(x, y, \phi_2) + \dots + a_N \cdot I(x, y, \phi_N)}{|R(x, y, \phi_1)|^2},$$

[0037] 其中, $a_1, a_2, \dots, a_N$ 是强度系数, $\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_N$ 是参考光束的相移;

[0038] 3) 利用角谱衍射传播逆算法将步骤2)得到的衍射光波 $U(x, y)$ 逆向传播到物平面,得到被测物体的复振幅分布 $O(x_0, y_0)$ :

$$[0039] \quad O(x_0, y_0) = \mathcal{F}^{-1} \{ \mathcal{F} \{ U(x, y) \} H_0(f_x, f_y) \},$$

[0040] 其中,  $H_0(f_x, f_y) = \exp\left[i\frac{2\pi}{\lambda}z_0\sqrt{1-\lambda^2(f_x^2+f_y^2)}\right]$  是角谱传输函数,  $f_x$ 和 $f_y$ 是空间频率,  $z_0$ 是被测物体13到成像探测器9的距离。

[0041] 所述的被测物体13是分辨率板或生物样品。

[0042] 实施例:被测物体为分辨率板

[0043] 所述的光源1为中心波长为632.8nm的氦氖激光器、分束器2为T:R=1:1的分束器、相位型涡旋聚焦透镜4为焦距为150mm的圆形相位型涡旋聚焦透镜、准直透镜5为焦距为150mm的双凸透镜、被测物体13与成像探测器9的距离 $z_0$ 为156mm为例、成像探测器9为分辨率为1392\*1040的CCD相机、被测物体13为分辨率板,具体实现基于相位型涡旋透镜的相移全息装置:如图1所示,由氦氖激光器1,分束器2,旋转镜架3,相位型涡旋聚焦透镜4,准直透镜5,第一反射镜6,合束器7,第一三维平移台8,CCD相机9,计算机10,第二反射镜11,第二三维平移台12和分辨率板13。氦氖激光器1发出的光脉冲经过分束器2分为透射光束和反射光束,透射光束作为参考光束,反射光束作为物光束。所述的参考光束经过固定在所述的旋转镜架3的相位型涡旋聚焦透镜4后到达所述的准直透镜5,经过准直透镜5准直后的光束经第一反射镜6反射后到达所述的合束器7,并通过合束器7将参考光束反射进入固定在第一三维平移台8的CCD相机9;所述的物光束经过第二反射镜11反射后到达固定在第二三维平移台12的分辨率板13,经过分辨率板13的光束透过合束器7进入所述的CCD相机9;所述的物光束的光束面积大于所述的分辨率板13的尺寸;所述的CCD相机9的输出端与所述的计算机10的输入端连接。

[0044] 所述的相位型涡旋聚焦透镜4为圆形相位型涡旋聚焦透镜或椭圆相位型涡旋聚焦透镜。

[0045] 利用上述基于相位型涡旋透镜的相移全息装置获得被测物体13的成像方法,该方法包括如下步骤:

[0046] 1) 开启氦氖激光器1,将分辨率板13放置于所述的第二三维平移台12上并处于所述的物光束,将固定在所述的旋转镜架3上的相位型涡旋聚焦透镜4旋转N次,依次引入不同相移的参考光束 $R(x, y, \phi_m)$ ,其中 $m=1, 2, \dots, N$ ,  $\phi_m$ 是参考光束的第m次相移,分辨率板13的衍射光波 $U(x, y)$ 与不同相移的参考光束 $R(x, y, \phi_m)$ 相互作用形成的干涉全息图 $I(x, y, \phi_m) = |U(x, y) + R(x, y, \phi_m)|^2$ ,所述的CCD相机9记录N幅干涉全息图 $I(x, y, \phi_m)$ ;

[0047] 2) 当旋转次数 $N=3$ ,参考光束的相移 $\phi_1=0$ 、 $\phi_2=\frac{\pi}{2}$ 、 $\phi_3=\pi$ 时,根据记录下来的干涉全息图 $I(x, y, 0)$ 、 $I\left(x, y, \frac{\pi}{2}\right)$ 和 $I(x, y, \pi)$ 推导出分辨率板13在记录面的衍射光波 $U(x, y)$

满足公式:

$$[0048] \quad U(x, y) = \frac{\left(\frac{1-i}{4}\right) \cdot I(x, y, 0) + \frac{i}{2} \cdot I\left(x, y, \frac{\pi}{2}\right) - \left(\frac{1+i}{4}\right) \cdot I(x, y, \pi)}{|R(x, y, 0)|^2}。$$

[0049] 3) 利用角谱衍射传播逆算法将步骤二得到的衍射光波 $U(x, y)$ 逆向传播到物平面,得到分辨率板13的复振幅分布 $O(x_0, y_0)$ :

[0050]  $O(x_0, y_0) = \mathcal{F}^{-1} \{ \mathcal{F} \{ U(x, y) \} H_0(f_x, f_y) \},$

[0051] 其中,  $H_0(f_x, f_y) = \exp \left[ i \frac{2\pi}{\lambda} z_0 \sqrt{1 - \lambda^2 (f_x^2 + f_y^2)} \right]$  是角谱传输函数,  $f_x$  和  $f_y$  是空间频率,  $z_0 = 156\text{mm}$  是分辨率板13到CCD相机9的距离。

[0052] 实验表明, 本发明使用的相位型涡旋聚焦透镜可用于可见光到太赫兹波段的相干波段; 本发明能够充分利用成像探测器的空间带宽积, 能够快速实现被测物体的准确再现, 能够有效抑制再现结果的共轭像, 明显提高被测物体的再现像的质量。

[0053] 以上所述的具体实施例, 对本发明的目的、技术方案和有益效果进行了进一步详细的说明。所应理解的是, 以上所述的仅为本发明的具体实施案例而已, 并不用于限制本发明。凡在本发明的精神和原则之内所做的任何修改、等同替换或者改进等, 均应包含在本发明的保护范围之内。

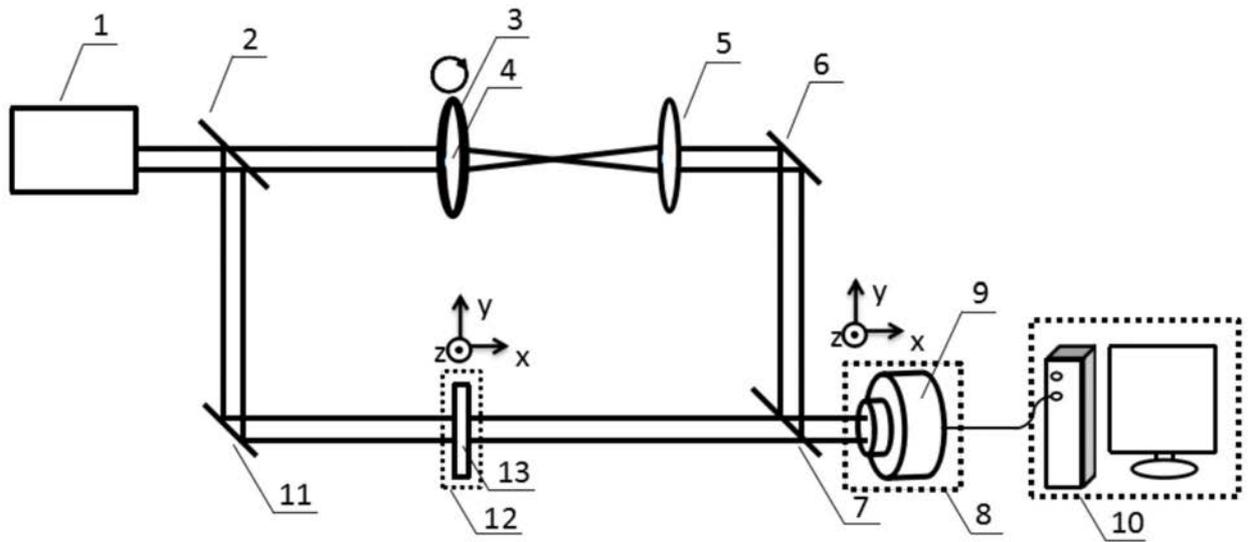


图1

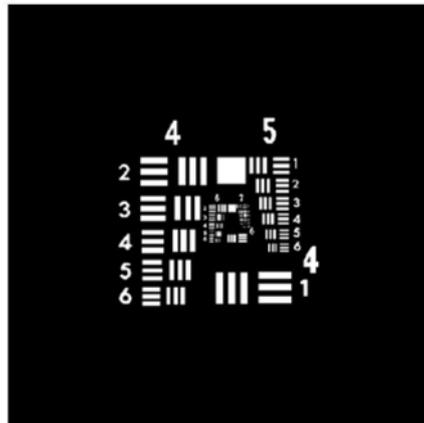


图2