



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 109212913 A  
(43)申请公布日 2019.01.15

(21)申请号 201811157268.0

(22)申请日 2018.09.30

(71)申请人 墨研计算科学(南京)有限公司  
地址 210031 江苏省南京市江北新区星火路9号软件大厦B座407-80室

(72)发明人 阎江 梁文青

(74)专利代理机构 北京弘权知识产权代理事务所(普通合伙) 11363  
代理人 逯长明 许伟群

(51) Int. Cl.  
G03F 7/20(2006.01)  
G06F 17/15(2006.01)  
G06F 17/16(2006.01)  
G06F 17/14(2006.01)

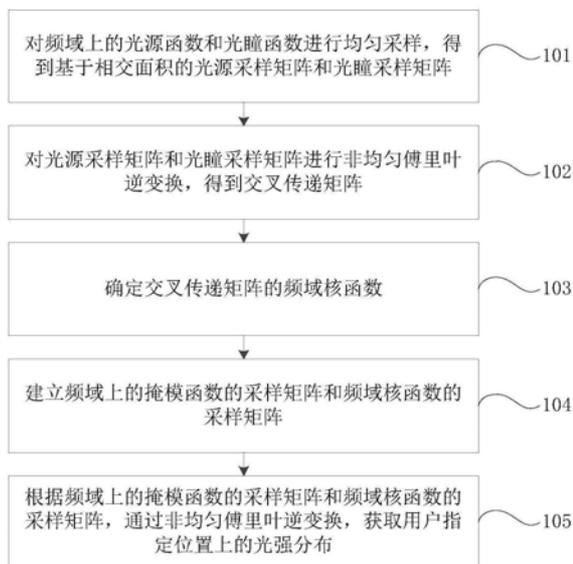
权利要求书4页 说明书11页 附图5页

(54)发明名称

基于非均匀计算的光强分布获取方法及装置

(57)摘要

本申请公开了一种基于非均匀计算的光强分布获取方法及装置,该方法包括:对频域上的光源函数和光瞳函数进行均匀采样,得到基于相交面积的光源采样矩阵和光瞳采样矩阵;对光源采样矩阵和光瞳采样矩阵进行非均匀傅里叶逆变换,得到交叉传递矩阵;确定交叉传递矩阵的频域核函数;建立频域上的掩模函数的采样矩阵和频域核函数的采样矩阵;根据频域上的掩模函数的采样矩阵和频域核函数的采样矩阵,通过非均匀傅里叶逆变换,获取用户指定位置上的光强分布。本申请中,由于采用基于相交面积的采样方法,提高了计算精度,同时,采用非均匀傅里叶逆变换,在相同的采样密度下,能够减小对光强分布的计算量,从而缩短计算时长,提高对光刻胶进行光刻的效率。



1. 一种基于非均匀计算的光强分布获取方法,其特征在于,所述方法包括:

对频域上的光源函数和光瞳函数进行均匀采样,得到基于相交面积的光源采样矩阵和光瞳采样矩阵;

对所述光源采样矩阵和所述光瞳采样矩阵进行非均匀傅里叶逆变换,得到交叉传递矩阵;

确定所述交叉传递矩阵的频域核函数;

建立频域上的掩模函数的采样矩阵和所述频域核函数的采样矩阵,所述掩模函数表示掩模的几何形状;

根据所述频域上的掩模函数的采样矩阵和所述频域核函数的采样矩阵,通过非均匀傅里叶逆变换,获取用户指定位置上的光强分布。

2. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述光源函数为 $J(f, g)$ ,所述光瞳函数为 $K(f, g)$ ,其中, $(f, g)$ 表示频域上的坐标;

所述对频域上的光源函数和光瞳函数进行均匀采样,得到基于相交面积的光源采样矩阵和光瞳采样矩阵,包括:

在频域上建立第一采样点集合;

根据所述第一采样点集合,对所述光源函数和所述光瞳函数进行采样,得到所述光源采样矩阵 $J[n] = [J(f_i, g_j)]$ 和所述光瞳采样矩阵 $K[n] = [K(f_i, g_j)]$ ,其中, $J(f_i, g_j)$ 表示所述光源采样矩阵第 $i$ 行第 $j$ 列的元素,且 $J(f_i, g_j)$ 对应的函数值为采样区域与光源有效计算域的相交面积, $K(f_i, g_j)$ 表示所述光瞳采样矩阵第 $i$ 行第 $j$ 列的元素。

3. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述对所述光源采样矩阵和所述光瞳采样矩阵进行非均匀傅里叶逆变换,得到交叉传递矩阵,包括:

根据如下关系式计算交叉传递函数

$$j(x'-x'', y'-y'') = \text{INUFFT}[J[n]]$$

$$k(x', y') = \text{INUFFT}[K[n]]$$

$$t(x', y'; x'', y'') = j(x'-x'', y'-y'') k(x', y') k^*(-x'', -y'')$$

其中, $t(x', y'; x'', y'')$ 为所述交叉传递函数, $k^*(-x'', -y'')$ 为 $k(x', y')$ 的共轭函数, $(x', y')$ 和 $(x'', y'')$ 为空间域上的坐标点, $J[n]$ 为所述光源采样矩阵, $K[n]$ 为所述光瞳采样矩阵, $\text{INUFFT}[\ ]$ 表示非均匀傅里叶逆变换;

确定所述交叉传递矩阵为 $T = [t(x', y'; x'', y'')]$ 。

4. 根据权利要求3所述的方法,其特征在于,所述确定所述交叉传递矩阵的频域核函数,包括:

根据如下关系式计算投影矩阵

$$b_j(x, y) = b_{ns}(x, y) = \frac{\lambda_{ns}}{J'_n(\lambda_{ns})} \frac{J_n(\sqrt{x^2 + y^2})}{x^2 + y^2 - \lambda_{ns}^2} e^{-i \tan^{-1} \frac{y}{x}}$$

$$T = [t(x', y'; x'', y'')]$$

$$b = [b_j(x', y')]$$

$$P = b T b^*$$

其中, $P$ 为所述投影矩阵, $b_j(x, y)$ 为空间域上的正交基函数, $b = [b_j(x', y')]$ 为所述正

交基函数的矩阵,  $b_j(x', y')$  为所述正交基函数的矩阵中的元素,  $J_n$  为第  $n$  阶第一类贝塞尔函数,  $\lambda_{ns}$  为第  $n$  阶贝塞尔函数的第  $s$  个零根;

对所述投影矩阵进行特征值分解, 确定所述投影矩阵的特征向量矩阵  $U$  和特征值矩阵  $\Lambda$ , 其中,  $P=U\Lambda U^*$ ;

根据如下关系式计算所述交叉传递函数的频域核函数

$$B_j(f, g) = J_n\left(\lambda_{ns}\sqrt{f^2 + g^2}\right) e^{\text{intan}^{-1}\frac{g}{f}}$$

$$\Psi(f, g) = \sum \gamma_i u_{ij} B_j(f, g)$$

其中,  $\gamma_i$  为所述特征值矩阵的第  $i$  行的元素,  $u_{ij}$  为所述特征向量矩阵的第  $i$  行第  $j$  列的元素,  $B_j(f, g)$  为频域上的正交基函数, 且所述频域上的正交基函数与所述空间域上的正交基函数互为傅里叶变换,  $\Psi(f, g)$  为所述交叉传递函数的频域核函数。

5. 根据权利要求4所述的方法, 其特征在于, 所述建立频域上的掩模函数的采样矩阵和所述频域核函数的采样矩阵, 包括:

根据如下关系式建立第二采样点集合

$$f_i = \pm \frac{i}{w}$$

$$g_j = \pm \frac{j}{h}$$

其中, 所述第二采样点集合为  $\{(f_i, g_j)\}$ ,  $w$  和  $h$  为所述掩模函数的周期;

根据所述第二采样点集合和如下关系式计算所述频域上的掩模函数的采样矩阵和所述频域核函数的采样矩阵

$$M(0, 0) = \frac{1}{\sqrt{wh}} \sum y_i (x_{i+1} - x_i)$$

$$M(f_i, 0) = M\left(\frac{i}{w}, 0\right) = \frac{j}{2\pi i} \sqrt{\frac{w}{h}} \sum_i (y_{i+1} - y_i) e^{-ix_i \frac{i}{w}}$$

$$M(0, g_j) = M\left(0, \frac{j}{h}\right) = \frac{j}{2\pi j} \sqrt{\frac{h}{w}} \sum_i (x_{i+1} - x_i) e^{-ix_i \frac{j}{h}}$$

$$M(f_i, g_j) = M\left(\frac{i}{w}, \frac{j}{h}\right) = -\frac{\sqrt{wh}}{4\pi^2 ij} \sum_i \left( e^{-ix_{i+1} \frac{i}{w}} - e^{-ix_i \frac{i}{w}} \right) e^{-iy_i \frac{j}{h}}$$

$$M[n] = [M(f_i, g_j)]$$

$$\Psi[n] = [\Psi(f_i, g_j)]$$

其中,  $M[n]$  为所述频域上的掩模函数的采样矩阵,  $\Psi[n]$  为所述频域核函数的采样矩阵。

6. 根据权利要求5所述的方法, 其特征在于, 所述根据所述频域上的掩模函数的采样矩阵和所述频域核函数的采样矩阵, 通过非均匀傅里叶逆变换, 获取用户指定位置上的光强分布, 包括:

根据如下关系式计算所述光强分布

$$I(x, y) = \sum | \text{INUFFT}[\Psi(f_i, g_j) M(f_i, g_j)] |^2$$

其中,  $(x, y)$  为所述指定位置的坐标,  $I(x, y)$  为所述指定位置上的光强分布。

7. 一种基于非均匀计算的光强分布获取装置, 其特征在于, 所述装置包括:

矩阵采样模块, 用于对频域上的光源函数和光瞳函数进行均匀采样, 得到基于相交面积的光源采样矩阵和光瞳采样矩阵;

矩阵计算模块, 用于对所述光源采样矩阵和所述光瞳采样矩阵进行非均匀傅里叶逆变换, 得到交叉传递矩阵;

函数确定模块, 用于确定所述交叉传递矩阵的频域核函数;

所述矩阵采样模块, 还用于建立频域上的掩模函数的采样矩阵和所述频域核函数的采样矩阵, 所述掩模函数表示掩模的几何形状;

光强获取模块, 用于根据所述频域上的掩模函数的采样矩阵和所述频域核函数的采样矩阵, 通过非均匀傅里叶逆变换, 获取用户指定位置上的光强分布。

8. 根据权利要求7所述的装置, 其特征在于, 所述光源函数为  $J(f, g)$ , 所述光瞳函数为  $K(f, g)$ , 其中,  $(f, g)$  表示频域上的坐标;

所述矩阵采样模块, 具体用于:

在频域上建立第一采样点集合;

根据所述第一采样点集合, 对所述光源函数和所述光瞳函数进行采样, 得到所述光源采样矩阵  $J[n] = [J(f_i, g_j)]$  和所述光瞳采样矩阵  $K[n] = [K(f_i, g_j)]$ , 其中,  $J(f_i, g_j)$  表示所述光源采样矩阵第  $i$  行第  $j$  列的元素, 且  $J(f_i, g_j)$  对应的函数值为采样区域与光源有效计算域相交的面积,  $K(f_i, g_j)$  表示所述光瞳采样矩阵第  $i$  行第  $j$  列的元素。

9. 根据权利要求7所述的装置, 其特征在于, 所述矩阵计算模块, 具体用于:

根据如下关系式计算交叉传递函数

$$j(x'-x'', y'-y'') = \text{INUFFT}[J[n]]$$

$$k(x', y') = \text{INUFFT}[K[n]]$$

$$t(x', y'; x'', y'') = j(x'-x'', y'-y'') k(x', y') k^*(-x'', -y'')$$

其中,  $t(x', y'; x'', y'')$  为所述交叉传递函数,  $k^*(-x'', -y'')$  为  $k(x', y')$  的共轭函数,  $(x', y')$  和  $(x'', y'')$  为空间域上的坐标点,  $J[n]$  为所述光源采样矩阵,  $K[n]$  为所述光瞳采样矩阵,  $\text{INUFFT}[\ ]$  表示非均匀傅里叶逆变换;

确定所述交叉传递矩阵为  $T = [t(x', y'; x'', y'')]$ 。

10. 根据权利要求9所述的装置, 其特征在于, 所述函数确定模块, 具体用于:

根据如下关系式计算投影矩阵

$$b_j(x, y) = b_{ns}(x, y) = \frac{\lambda_{ns}}{J'_n(\lambda_{ns})} \frac{J_n(\sqrt{x^2 + y^2})}{x^2 + y^2 - \lambda_{ns}^2} e^{-i \tan^{-1} \frac{y}{x}}$$

$$T = [t(x', y'; x'', y'')]$$

$$b = [b_j(x', y')]$$

$$P = b T b^*$$

其中,  $P$  为所述投影矩阵,  $b_j(x, y)$  为空间域上的正交基函数,  $b = [b_j(x', y')]$  为所述正交基函数的矩阵,  $b_j(x', y')$  为所述正交基函数的矩阵中的元素,  $J_n$  为第  $n$  阶第一类贝塞尔函数,  $\lambda_{ns}$  为第  $n$  阶贝塞尔函数的第  $s$  个零根;

对所述投影矩阵进行特征值分解,确定所述投影矩阵的特征向量矩阵U和特征值矩阵 $\Lambda$ ,其中, $P=U\Lambda U^*$ ;

根据如下关系式计算所述交叉传递函数的频域核函数

$$B_j(f, g) = J_n \left( \lambda_{ns} \sqrt{f^2 + g^2} \right) e^{\frac{\text{intan}^{-1} \frac{g}{f}}{f}}$$

$$\Psi(f, g) = \sum \gamma_i u_{ij} B_j(f, g)$$

其中, $\gamma_i$ 为所述特征值矩阵的第i行的元素, $u_{ij}$ 为所述特征向量矩阵的第i行第j列的元素, $B_j(f, g)$ 为频域上的正交基函数,且所述频域上的正交基函数与所述空间域上的正交基函数互为傅里叶变换, $\Psi(f, g)$ 为所述交叉传递函数的频域核函数。

11.根据权利要求10所述的装置,其特征在于,所述矩阵采样模块,具体用于:

根据如下关系式建立第二采样点集合

$$f_i = \pm \frac{i}{w}$$

$$g_j = \pm \frac{j}{h}$$

其中,所述第二采样点集合为 $\{(f_i, g_j)\}$ ,w和h为所述掩模函数的周期;

根据所述第二采样点集合和如下关系式计算所述频域上的掩模函数的采样矩阵和所述频域核函数的采样矩阵

$$M(0,0) = \frac{1}{\sqrt{wh}} \sum y_i (x_{i+1} - x_i)$$

$$M(f_i,0) = M\left(\frac{i}{w},0\right) = \frac{j}{2\pi i} \sqrt{\frac{w}{h}} \sum_i (y_{i-1} - y_i) e^{-ix_i \frac{i}{w}}$$

$$M(0,g_j) = M\left(0,\frac{j}{h}\right) = \frac{j}{2\pi j} \sqrt{\frac{h}{w}} \sum_i (x_{i+1} - x_i) e^{-ix_i \frac{j}{h}}$$

$$M(f_i,g_j) = M\left(\frac{i}{w},\frac{j}{h}\right) = -\frac{\sqrt{wh}}{4\pi^2 ij} \sum_i \left( e^{-ix_{i+1} \frac{i}{w}} - e^{-ix_i \frac{i}{w}} \right) e^{-iy_i \frac{j}{h}}$$

$$M[n] = [M(f_i, g_j)]$$

$$\Psi[n] = [\Psi(f_i, g_j)]$$

其中, $M[n]$ 为所述频域上的掩模函数的采样矩阵, $\Psi[n]$ 为所述频域核函数的采样矩阵。

12.根据权利要求11所述的装置,其特征在于,所述光强获取模块,具体用于:

根据如下关系式计算所述光强分布

$$I(x, y) = \sum | \text{INUFFT}[\Psi(f_i, g_j) M(f_i, g_j)] |^2$$

其中, $(x, y)$ 为所述指定位置的坐标, $I(x, y)$ 为所述指定位置上的光强分布。

## 基于非均匀计算的光强分布获取方法及装置

### 技术领域

[0001] 本申请属于半导体光刻技术领域,特别涉及一种基于非均匀计算的光强分布获取方法及装置。

### 背景技术

[0002] 智能设备与现在生活密不可分,智能手机,智能家居及智能穿戴设备普遍与每个人相关。智能设备的运行,更多是芯片在背后默默的运算。目前,随着智能设备功能及相关的性能要求越来越高,对于芯片的要求也在增长。随着芯片生产厂商使用技术的变化,生产设备、材料及工艺的发展,芯片的集成度越来越高,单位面积上晶体管数目成倍增加,最终使得智能设备的性能越来越高,且相对的生产成本越来越低。芯片的生产过程中,光刻技术为芯片生产中的关键技术,是利用光化学反应原理把事先设计在掩模上的图形转印到一个衬底(光刻胶)上,从而使得刻蚀及离子注入成为可能。光照射在掩模上发生衍射,不同衍射级的光汇聚在光刻胶表面,这一过程是一个光学过程;光刻胶上的图像激发化学反应,经烘烤后导致光刻胶局部可溶于显影液。在进行光刻时,需要先计算光刻模型,进而根据光刻模型控制光刻过程。计算光刻模型是指终端通过计算和数学公式描述光学过程,从而能够控制并优化光刻。

[0003] 在相关技术中,光刻模型主要包括光源,掩模版,光瞳及光刻胶,其中光源及光瞳通常定义在频域上,而掩模版及成像平面则表现在空间域上因而计算光刻需要用到傅里叶变换。确定光刻模型中光刻胶上的光强分布时,通常采用快速傅里叶变换(Fast Fourier Transformation,FFT)方法进行计算。FFT是离散傅里叶变换的有效实现。基于采样的离散傅里叶,其采样密度对模型精度有较大影响,采样密度越高,计算精度也越高,所需的计算时长也越长。由于FFT局限于均匀分布的正交网格上,频域采样及空间域采样是耦合的,导致采样密度有限。为了保证一定计算精度满足生产需要,必须提高采样密度,导致光强分布的计算量增加,计算时长也变长。

[0004] 在上述相关技术中,采用FFT计算光强分布,为了保证计算精度,计算时提高采样密度,导致光强分布的计算量增加,从而增加了计算时长,降低了对光刻胶进行光刻的效率。

### 发明内容

[0005] 本申请提供一种基于非均匀计算的光强分布获取方法及装置,可用于解决相关技术中,为了保证计算精度,提高采样密度,导致光强分布的计算量增加,从而增加了计算时长,降低了对光刻胶进行光刻的效率的问题。

[0006] 第一方面,本申请提供一种基于非均匀计算的光强分布获取方法,所述方法包括:

[0007] 对频域上的光源函数和光瞳函数进行均匀采样,得到基于相交面积的光源采样矩阵和光瞳采样矩阵;

[0008] 对所述光源采样矩阵和所述光瞳采样矩阵进行非均匀傅里叶逆变换,得到交叉传

递矩阵；

[0009] 确定所述交叉传递矩阵的频域核函数；

[0010] 建立频域上的掩模函数的采样矩阵和所述频域核函数的采样矩阵，所述掩模函数表示掩模的几何形状；

[0011] 根据所述频域上的掩模函数的采样矩阵和所述频域核函数的采样矩阵，通过非均匀傅里叶逆变换，获取用户指定位置上的光强分布。

[0012] 可选地，所述光源函数为 $J(f, g)$ ，所述光瞳函数为 $K(f, g)$ ，其中， $(f, g)$ 表示频域上的坐标；

[0013] 所述对频域上的光源函数和光瞳函数进行均匀采样，得到基于相交面积的光源采样矩阵和光瞳采样矩阵，包括：

[0014] 在频域上建立第一采样点集合；

[0015] 根据所述第一采样点集合，对所述光源函数和所述光瞳函数进行采样，得到所述光源采样矩阵 $J[n] = [J(f_i, g_j)]$ 和所述光瞳采样矩阵 $K[n] = [K(f_i, g_j)]$ ，其中， $J(f_i, g_j)$ 表示所述光源采样矩阵第 $i$ 行第 $j$ 列的元素，且 $J(f_i, g_j)$ 对应的函数值为采样区域与光源有效计算域的相交面积， $K(f_i, g_j)$ 表示所述光瞳采样矩阵第 $i$ 行第 $j$ 列的元素。

[0016] 可选地，所述对所述光源采样矩阵和所述光瞳采样矩阵进行非均匀傅里叶逆变换，得到交叉传递矩阵，包括：

[0017] 根据如下关系式计算交叉传递函数

[0018]  $j(x'-x'', y'-y'') = \text{INUFFT}[J[n]]$

[0019]  $k(x', y') = \text{INUFFT}[K[n]]$

[0020]  $t(x', y'; x'', y'') = j(x'-x'', y'-y'') k(x', y') k^*(-x'', -y'')$

[0021] 其中， $t(x', y'; x'', y'')$ 为所述交叉传递函数， $k^*(-x'', -y'')$ 为 $k(x', y')$ 的共轭函数， $(x', y')$ 和 $(x'', y'')$ 为空间域上的坐标点， $J[n]$ 为所述光源采样矩阵， $K[n]$ 为所述光瞳采样矩阵， $\text{INUFFT}[\ ]$ 表示非均匀傅里叶逆变换；

[0022] 确定所述交叉传递矩阵为 $T = [t(x', y'; x'', y'')]$ 。

[0023] 可选地，所述确定所述交叉传递矩阵的频域核函数，包括：

[0024] 根据如下关系式计算投影矩阵

[0025] 
$$b_j(x, y) = b_{ns}(x, y) = \frac{\lambda_{ns}}{J'_n(\lambda_{ns})} \frac{J_n(\sqrt{x^2 + y^2})}{x^2 + y^2 - \lambda_{ns}^2} e^{-i \tan^{-1} \frac{y}{x}}$$

[0026]  $T = [t(x', y'; x'', y'')]$

[0027]  $b = [b_j(x', y')]$

[0028]  $P = bTb^*$

[0029] 其中， $P$ 为所述投影矩阵， $b_j(x, y)$ 为空间域上的正交基函数， $b = [b_j(x', y')]$ 为所述正交基函数的矩阵， $b_j(x', y')$ 为所述正交基函数的矩阵中的元素， $J_n$ 为第 $n$ 阶第一类贝塞尔函数， $\lambda_{ns}$ 为第 $n$ 阶贝塞尔函数的第 $s$ 个零根；

[0030] 对所述投影矩阵进行特征值分解，确定所述投影矩阵的特征向量矩阵 $U$ 和特征值矩阵 $\Lambda$ ，其中， $P = U \Lambda U^*$ ；

[0031] 根据如下关系式计算所述交叉传递函数的频域核函数

$$[0032] \quad B_j(f, g) = J_n \left( \lambda_{ns} \sqrt{f^2 + g^2} \right) e^{\text{int} \frac{an-1g}{f}}$$

$$[0033] \quad \Psi(f, g) = \sum \gamma_i u_{ij} B_j(f, g)$$

[0034] 其中,  $\gamma_i$  为所述特征值矩阵的第  $i$  行的元素,  $u_{ij}$  为所述特征向量矩阵的第  $i$  行第  $j$  列的元素,  $B_j(f, g)$  为频域上的正交基函数, 且所述频域上的正交基函数与所述空间域上的正交基函数互为傅里叶变换,  $\Psi(f, g)$  为所述交叉传递函数的频域核函数。

[0035] 可选地, 所述建立频域上的掩模函数的采样矩阵和所述频域核函数的采样矩阵, 包括:

[0036] 根据如下关系式建立第二采样点集合

$$[0037] \quad f_i = \pm \frac{i}{w}$$

$$[0038] \quad g_j = \pm \frac{j}{h}$$

[0039] 其中, 所述第二采样点集合为  $\{(f_i, g_j)\}$ ,  $w$  和  $h$  为所述掩模函数的周期;

[0040] 根据所述第二采样点集合和如下关系式计算所述频域上的掩模函数的采样矩阵和所述频域核函数的采样矩阵

$$[0041] \quad M(0, 0) = \frac{1}{\sqrt{wh}} \sum y_i (x_{i+1} - x_i)$$

$$[0042] \quad M\left(f_i, 0\right) = M\left(\frac{i}{w}, 0\right) = \frac{j}{2\pi i} \sqrt{\frac{w}{h}} \sum_i (y_{i-1} - y_i) e^{-ix_i \frac{i}{w}}$$

$$[0043] \quad M\left(0, g_j\right) = M\left(0, \frac{j}{h}\right) = \frac{j}{2\pi j} \sqrt{\frac{h}{w}} \sum (x_{i+1} - x_i) e^{-ix_i \frac{j}{h}}$$

$$[0044] \quad M\left(f_i, g_j\right) = M\left(\frac{i}{w}, \frac{j}{h}\right) = -\frac{\sqrt{wh}}{4\pi^2 ij} \sum_i \left( e^{-ix_{i+1} \frac{i}{w}} - e^{-ix_i \frac{i}{w}} \right) e^{-iy_i \frac{j}{h}}$$

$$[0045] \quad M[n] = [M(f_i, g_j)]$$

$$[0046] \quad \Psi[n] = [\Psi(f_i, g_j)]$$

[0047] 其中,  $M[n]$  为所述频域上的掩模函数的采样矩阵,  $\Psi[n]$  为所述频域核函数的采样矩阵。

[0048] 可选地, 所述根据所述频域上的掩模函数的采样矩阵和所述频域核函数的采样矩阵, 通过非均匀傅里叶逆变换, 获取用户指定位置上的光强分布, 包括:

[0049] 根据如下关系式计算所述光强分布

$$[0050] \quad I(x, y) = \sum | \text{INUFFT} [ \Psi(f_i, g_j) M(f_i, g_j) ] |^2$$

[0051] 其中,  $(x, y)$  为所述指定位置的坐标,  $I(x, y)$  为所述指定位置上的光强分布。

[0052] 第二方面, 本申请提供一种基于非均匀计算的光强分布获取装置, 所述装置包括:

[0053] 矩阵采样模块, 用于对频域上的光源函数和光瞳函数进行均匀采样, 得到基于相交面积的光源采样矩阵和光瞳采样矩阵;

[0054] 矩阵计算模块, 用于对所述光源采样矩阵和所述光瞳采样矩阵进行非均匀傅里叶逆变换, 得到交叉传递矩阵;

- [0055] 函数确定模块,用于确定所述交叉传递矩阵的频域核函数;
- [0056] 所述矩阵采样模块,还用于建立频域上的掩模函数的采样矩阵和所述频域核函数的采样矩阵,所述掩模函数表示掩模的几何形状;
- [0057] 光强获取模块,用于根据所述频域上的掩模函数的采样矩阵和所述频域核函数的采样矩阵,通过非均匀傅里叶逆变换,获取用户指定位置上的光强分布。
- [0058] 本申请提供的方案,通过对基于相交面积的光源采样矩阵和光瞳采样矩阵进行非均匀傅里叶逆变换,得到交叉传递矩阵,进而确定交叉传递矩阵的频域核函数,最终根据频域上的掩模函数的采样矩阵和频域核函数的采样矩阵,利用非均匀傅里叶逆变换,获取用户指定位置上的光强分布。由于,采用的基于相交面积的采样方法,提高了采样精度,进而提高了计算精度,同时,采用非均匀傅里叶逆变换,在相同的采样密度下,计算量更小,计算时长更短。因此,在保证一定计算精度以满足生产需要的情况下,能够减小对光刻模型的光强分布的计算量,从而缩短了计算时长,提高了对光刻胶进行光刻的效率。

### 附图说明

- [0059] 为了更清楚地说明本申请实施例中的技术方案,下面将对实施例描述中所需要使用的附图作简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图仅仅是本申请的一些实施例,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据这些附图获得其他的附图。
- [0060] 图1是根据一示例性实施例示出的一种基于非均匀计算的光强分布获取方法的流程图;
- [0061] 图2是根据一示例性实施例示出的一种基于相交面积的采样值的示意图;
- [0062] 图3是根据一示例性实施例示出的一种对光源采样和光瞳采样的示意图;
- [0063] 图4是根据一示例性实施例示出的一种在一维上的采样点分布的示意图;
- [0064] 图5是根据一示例性实施例示出的多种掩模的几何图形的示意图;
- [0065] 图6是根据一示例性实施例示出的一种掩光强分布的示意图;
- [0066] 图7是根据一示例性实施例示出的一种基于非均匀计算的光强分布获取方法的算法流程图;
- [0067] 图8是根据一示例性实施例示出的一种基于非均匀计算的光强分布获取装置的框图。

### 具体实施方式

- [0068] 为了使本技术领域的人员更好地理解本申请实施例中的技术方案,并使本申请实施例的上述目的、特征和优点能够更加明显易懂,下面结合附图对本申请实施例中的技术方案作进一步详细的说明。
- [0069] 本申请实施例提供的方法,各步骤的执行主体可以是终端。该终端用于计算光刻过程中的光刻模型的相关数据,并根据光刻模型进行光刻。
- [0070] 图1是根据一示例性实施例示出的一种基于非均匀计算的光强分布获取方法。该方法可以包括如下几个步骤。
- [0071] 步骤101,对频域上的光源函数和光瞳函数进行均匀采样,得到基于相交面积的光

源采样矩阵和光瞳采样矩阵。

[0072] 在终端计算光刻模型的光强分布时,先确定光源函数和光瞳函数。光源发出的光线经过光瞳时,有部分光线无法通过光瞳,光瞳函数则表示能够通过该光瞳的光线。光源函数和光瞳函数由光源和光瞳决定,光源不同,则光源函数也不同;光瞳不同,则光瞳函数也不同。因此,光源函数和光瞳函数可以根据实际采用的光源和光瞳预先确定。

[0073] 确定光源函数和光瞳函数后,终端在标准坐标系中对光源函数和光瞳函数进行均匀采样,得到基于相交面积的光源采样矩阵和光瞳采样矩阵。此时,光源函数和光瞳函数是在频域坐标系中。

[0074] 可选地,光源函数为 $J(f, g)$ ,光瞳函数为 $K(f, g)$ ,其中, $(f, g)$ 表示函数在频域上的坐标,即 $J(f, g)$ 和 $K(f, g)$ 是在频域上的函数。光源函数和光瞳函数的频率受限,为一个圆函数,其半径为允许通过透镜的最高频率。对光源函数和光瞳函数进行均匀采样时,先在频域上建立第一采样点集合。该集合为进行均匀采样的均匀采样点集合,包括多个采样点。终端根据第一采样点集合,对光源函数和光瞳函数进行采样,得到光源采样矩阵 $J[n] = [J(f_i, g_j)]$ 和光瞳采样矩阵 $K[n] = [K(f_i, g_j)]$ ,其中, $J(f_i, g_j)$ 表示光源采样矩阵第 $i$ 行第 $j$ 列的元素, $K(f_i, g_j)$ 表示光瞳采样矩阵第 $i$ 行第 $j$ 列的元素。 $(f_i, g_j)$ 表示第一采样点集合中的采样点,其对应于一个几何中心为该点的正方形,则该采样点的采样值为其对应的正方形与圆函数对应几何图形的相交面积。对光源函数和光瞳函数进行均匀采样,是通过基于相交面积的采样方法,获取采样值,即 $J(f_i, g_j)$ 对应的函数值为采样区域与光源有效计算域的相交面积。示例性地,如图2所示,其示出了基于相交面积的采样值的示意图,采样点201的采样值为正方形的采样区域202的面积,而采样点203的采样值为正方形的采样区域204与圆形的光源有效计算域205的相交部分206的面积。通过基于相交面积的采样方法,得到基于相交面积的光源采样矩阵和光瞳采样矩阵。其中,矩阵中的元素为采样点对应的采样值,即上述相交面积。

[0075] 示例性地,采用四极光源的光源函数和理想的光瞳函数,通过基于相交面积的采样方法,且对最高采样频率归一化 $f_{\max} = g_{\max} = 1$ 。参考图3,其示出了光源采样和光瞳采样的示意图。其中,左边为光源采样,右边为光瞳采样。

[0076] 由于终端采用了基于相交面积的采样方法,在相同的计算时长内,提高了采样精度,进而提高了计算精度。因此,在相同的计算精度下,采用基于相交面积的采样方法减少了计算时长。

[0077] 步骤102,对光源采样矩阵和光瞳采样矩阵进行非均匀傅里叶逆变换,得到交叉传递矩阵。

[0078] 上述光源采样矩阵和光瞳采样矩阵对应的采样点是在频域上的采样点,因此,终端对光源采样矩阵和光瞳采样矩阵进行非均匀傅里叶逆变换,进而得到空间域上的交叉传递矩阵。空间域上的采样点与频域的采样点不存在耦合关系,且空间上采样为非均匀采样,在靠近中心采样较多,采样点越远离中心,则采样越稀疏。请参考图4,其示出了在一维上的采样点分布。其中,越靠近中心401,采样越密集。

[0079] 由于空间域上的采样点与频域的采样点不存在耦合关系,避免了空间域与频域的耦合关系,减少了多余的计算过程,进而缩短了计算时长。

[0080] 可选地,终端根据如下关系式计算交叉传递函数:

[0081]  $j(x'-x'', y'-y'') = \text{INUFFT}[J[n]]$

[0082]  $k(x', y') = \text{INUFFT}[K[n]]$

[0083]  $t(x', y'; x'', y'') = j(x'-x'', y'-y'') k(x', y') k^*(-x'', -y'')$

[0084] 其中,  $t(x', y'; x'', y'')$  为交叉传递函数,  $k^*(-x'', -y'')$  为  $k(x'', y'')$  的共轭函数,  $(x', y')$  和  $(x'', y'')$  为空间域上的坐标点。其中  $\text{INUFFT}[\ ]$  表示非均匀傅里叶逆变换。 $\text{INUFFT}[\ ]$  具体的计算关系式为:

[0085]  $h(x, y) = \iint H(f, g) e^{-i(fx+gy)} df dg = \text{INUFFT}[H(f, g)]$

[0086] 其中,  $h(x, y)$  为空间域上的函数, 则  $H(f, g)$  对应于频域。

[0087] 终端在得到交叉传递函数后, 确定交叉传递矩阵为  $T = [t(x', y'; x'', y'')]$ 。

[0088] 步骤103, 确定交叉传递矩阵的频域核函数。

[0089] 终端确定交叉传递矩阵后, 确定空间域上的交叉传递函数, 再对交叉传递函数关于正交基函数的投影矩阵进行特征值分解, 获得空间域核函数, 最终, 利用正交基函数的傅里叶变换, 确定频域核函数。

[0090] 首先, 终端根据如下关系式计算投影矩阵:

[0091] 
$$b_j(x, y) = b_{ns}(x, y) = \frac{\lambda_{ns}}{J'_n(\lambda_{ns})} \frac{J_n(\sqrt{x^2 + y^2})}{x^2 + y^2 - \lambda_{ns}^2} e^{-i \arctan^{-1} \frac{y}{x}}$$

[0092]  $T = [t(x', y'; x'', y'')]$

[0093]  $b = [b_j(x', y')]$

[0094]  $P = bTb^*$

[0095]  $P$  为投影矩阵,  $b_j(x, y)$  为空间域上的正交基函数,  $b = [b_j(x', y')]$  为正交基函数的矩阵,  $b_j(x', y')$  为正交基函数的矩阵中的元素,  $J_n$  为第  $n$  阶第一类贝塞尔函数,  $\lambda_{ns}$  为第  $n$  阶贝塞尔函数的第  $s$  个零根。其中, 关系式  $P = bTb^*$  是由终端将交叉传递函数投影到上述正交基函数得到的。终端在正交基函数投影交叉传递函数得到如下关系式:

[0096] 
$$t(x', y'; x'', y'') = \sum_{ij} p_{ij} b_j(x', y') b_j^*(x'', y'')$$

[0097] 该关系式的矩阵表示为  $T = bPb^*$ , 由矩阵运算规律可知,  $P = bTb^*$ 。

[0098] 终端在得到投影矩阵后, 对投影矩阵进行特征值分解, 确定投影矩阵的特征向量矩阵和特征值矩阵。投影矩阵  $P = U \Lambda U^*$ ,  $\Lambda$  为特征值矩阵,  $U$  为特征向量矩阵,  $U^*$  为特征向量矩阵的复共轭。由上述在正交基函数投影交叉传递函数的计算可知:  $T = bPb^*$ , 将进而得到关系式:  $T = bU \Lambda U^* b^*$ 。其中, 交叉传递函数的空间域核函数为:  $\Phi(x, y) = bU$ 。因此, 终端根据如下关系式计算交叉传递函数的空间域核函数:

[0099]  $\Phi(x, y) = \sum \gamma_i u_{ij} b_j(x, y)$

[0100] 其中,  $\gamma_i$  为特征值矩阵  $\Lambda$  中第  $i$  行的元素,  $u_{ij}$  特征向量矩阵  $U$  中第  $i$  行第  $j$  列的元素。由于, 频域上的正交基函数与空间域上的正交基函数为一对傅里叶变换, 交叉传递函数的频域核函数和交叉传递函数的空间域核函数为一对傅里叶变换, 因此, 终端确定交叉传递函数的频域核函数。

[0101] 最终, 终端根据如下关系式计算交叉传递函数的频域核函数:

$$[0102] \quad B_j(f, g) = J_n \left( \lambda_{ns} \sqrt{f^2 + g^2} \right) e^{\text{int} \frac{an-1g}{f}}$$

$$[0103] \quad \Psi(f, g) = \sum \gamma_{i,j} B_j(f, g)$$

[0104] 其中,  $B_j(f, g)$  为频域上的正交基函数,  $\Psi(f, g)$  为交叉传递函数的频域核函数。

[0105] 步骤104, 建立频域上的掩模函数的采样矩阵和频域核函数的采样矩阵。

[0106] 终端在确定交叉传递矩阵的频域核函数后, 分别对频域上的掩模函数和频域核函数进行均匀采样, 建立频域上的掩模函数的采样矩阵和频域核函数的采样矩阵, 用于后续计算光强分布。其中, 掩模函数表示掩模的几何形状。示例性地, 如图5所示, 其示出了多种掩模的几何图形。对于建立掩模函数的采样矩阵, 终端可以利用多边形的快速傅里叶方法进行采样矩阵的建立。

[0107] 可选地, 为了得到频域上的掩模函数的采样矩阵和频域核函数的采样矩阵, 终端先建立第二采样点集合  $\{(f_i, g_j)\}$ 。其中, 第二采样点集合中的采样点  $(f_i, g_j)$  根据如下关系式建立:

$$[0108] \quad f_i = \pm \frac{i}{w}$$

$$[0109] \quad g_j = \pm \frac{j}{h}$$

[0110] 其中,  $w$  和  $h$  为掩模函数的周期。终端再根据第二采样点集合和如下关系式计算频域上的掩模函数的采样矩阵和频域核函数的采样矩阵:

$$[0111] \quad M(0, 0) = \frac{1}{\sqrt{wh}} \sum y_i (x_{i+1} - x_i)$$

$$[0112] \quad M\left(f_i, 0\right) = M\left(\frac{i}{w}, 0\right) = \frac{j}{2\pi i} \sqrt{\frac{w}{h}} \sum_i (y_{i-1} - y_i) e^{-ix_i \frac{i}{w}}$$

$$[0113] \quad M\left(0, g_j\right) = M\left(0, \frac{j}{h}\right) = \frac{j}{2\pi j} \sqrt{\frac{h}{w}} \sum (x_{i+1} - x_i) e^{-ix_i \frac{j}{h}}$$

$$[0114] \quad M\left(f_i, g_j\right) = M\left(\frac{i}{w}, \frac{j}{h}\right) = -\frac{\sqrt{wh}}{4\pi^2 ij} \sum_i \left( e^{-ix_{i+1} \frac{i}{w}} - e^{-ix_i \frac{i}{w}} \right) e^{-iy_i \frac{j}{h}}$$

$$[0115] \quad M[n] = [M(f_i, g_j)]$$

$$[0116] \quad \Psi[n] = [\Psi(f_i, g_j)]$$

[0117] 其中,  $M[n]$  为频域上的掩模函数的采样矩阵,  $\Psi[n]$  为频域核函数的采样矩阵。 $\Psi(f_i, g_j)$  为频域核函数的采样矩阵中第  $i$  行第  $j$  列的元素,  $M(f_i, g_j)$  为频域上的掩模函数的采样矩阵中第  $i$  行第  $j$  列的元素。并且,  $M(f_i, g_j)$  为采样点  $(f_i, g_j)$  对应的在频域上的掩模函数中的值。 $x_i$  和  $y_i$  为空间域上的掩模函数的坐标。

[0118] 步骤105, 根据频域上的掩模函数的采样矩阵和频域核函数的采样矩阵, 通过非均匀傅里叶逆变换, 获取用户指定位置上的光强分布。

[0119] 终端在获取到频域上的掩模函数的采样矩阵和频域核函数的采样矩阵后, 利用非均匀傅里叶逆变换, 获取用户指定位置上的光强分布。示例性地, 如图6所示, 其示出了4种掩模与其各自对应的光强分布的示意图。其中, 光强分布与掩模的几何形状对应。如掩模

601对应的光强分布的曲线602与掩模601的几何形状相对应。

[0120] 可选地,终端根据如下关系式计算光强分布:

[0121]  $I(x, y) = \sum | \text{INUFFT}[\Psi(f_i, g_j)M(f_i, g_j)] |^2$ , 其中,  $(x, y)$  为用户指定位置的坐标, 则 $I(x, y)$ 为用户指定位置上的光强分布。

[0122] 在光刻模型的相关计算中,通过非均匀傅里叶逆变换,是计算用户位置上的光强分布,而不需计算整个光刻胶平面的光强分布,相交于FFT计算光强分布的方式,减少了获取无效位置的光强分布所需的计算。因此,在相同的采样密度下,非均匀傅里叶逆变换的计算量更小,计算时长更短。此外,由于采用了基于相交面积的采样方法,避免了空间域与频域的耦合关系,因此,在相同的采样密度下,减少了终端的计算时长。

[0123] 可选地,如图7所示,其示出了基于非均匀计算的光强分布获取方法的算法流程图。如图所示,Polygon FFT是指多边形的快速傅里叶方法,EVD是指特征值分解运算, $m(x, y)$ 表示空间域上的掩模函数。

[0124] 在本申请实施例提供的方法中,通过对基于相交面积的光源采样矩阵和光瞳采样矩阵进行非均匀傅里叶逆变换,得到交叉传递矩阵,进而确定交叉传递矩阵的频域核函数,最终根据频域上的掩模函数的采样矩阵和频域核函数的采样矩阵,利用非均匀傅里叶逆变换,计算用户指定位置上的光强分布。由于,采用的基于相交面积的采样方法,提高了采样精度,进而提高了计算精度,同时,采用非均匀傅里叶逆变换,在相同的采样密度下,计算量更小,计算时长更短。因此,在保证一定计算精度以满足生产需要的情况下,能够减小对光刻模型的光强分布的计算量,从而缩短了计算时长,提高了对光刻胶进行光刻的效率。

[0125] 图8是根据一示例性实施例示出的一种基于非均匀计算的光强分布获取装置的框图。该装置具有实现上述方法示例的功能。该装置可以包括:矩阵采样模块801,矩阵计算模块802,函数确定模块803和光强获取模块804。

[0126] 矩阵采样模块801,用于对频域上的光源函数和光瞳函数进行均匀采样,得到基于相交面积的光源采样矩阵和光瞳采样矩阵。

[0127] 矩阵计算模块802,用于对所述光源采样矩阵和所述光瞳采样矩阵进行非均匀傅里叶逆变换,得到交叉传递矩阵。

[0128] 函数确定模块803,用于确定所述交叉传递矩阵的频域核函数。

[0129] 所述矩阵采样模块801,还用于建立频域上的掩模函数的采样矩阵和所述频域核函数的采样矩阵,所述掩模函数表示掩模的几何形状。

[0130] 光强获取模块804,用于根据所述频域上的掩模函数的采样矩阵和所述频域核函数的采样矩阵,通过非均匀傅里叶逆变换,获取用户指定位置上的光强分布。

[0131] 在本申请实施例提供的装置中,通过对基于相交面积的光源采样矩阵和光瞳采样矩阵进行非均匀傅里叶逆变换,得到交叉传递矩阵,进而确定交叉传递矩阵的频域核函数,最终根据频域上的掩模函数的采样矩阵和频域核函数的采样矩阵,利用非均匀傅里叶逆变换,获取用户指定位置上的光强分布。由于,采用的基于相交面积的采样方法,提高了采样精度,进而提高了计算精度,同时,采用非均匀傅里叶逆变换,在相同的采样密度下,计算量更小,计算时长更短。因此,在保证一定计算精度以满足生产需要的情况下,能够减小对光刻模型的光强分布的计算量,从而缩短了计算时长,提高了对光刻胶进行光刻的效率。

[0132] 可选地,所述光源函数为 $J(f, g)$ ,所述光瞳函数为 $K(f, g)$ ,其中, $(f, g)$ 表示频域上

的坐标。所述矩阵采样模块801,具体用于:

[0133] 在频域上建立第一采样点集合;

[0134] 根据所述第一采样点集合,对所述光源函数和所述光瞳函数进行采样,得到所述光源采样矩阵 $J[n] = [J(f_i, g_j)]$ 和所述光瞳采样矩阵 $K[n] = [K(f_i, g_j)]$ ,其中, $J(f_i, g_j)$ 表示所述光源采样矩阵第*i*行第*j*列的元素,且 $J(f_i, g_j)$ 对应的函数值为采样区域与光源有效计算域的相交面积, $K(f_i, g_j)$ 表示所述光瞳采样矩阵第*i*行第*j*列的元素。

[0135] 可选地,所述矩阵计算模块802,具体用于:

[0136] 根据如下关系式计算交叉传递函数

[0137]  $j(x'-x'', y'-y'') = \text{INUFFT}[J[n]]$

[0138]  $k(x', y') = \text{INUFFT}[K[n]]$

[0139]  $t(x', y'; x'', y'') = j(x'-x'', y'-y'') k(x', y') k^*(-x'', -y'')$

[0140] 其中, $t(x', y'; x'', y'')$ 为所述交叉传递函数, $k^*(-x'', -y'')$ 为 $k(x', y')$ 的共轭函数, $(x', y')$ 和 $(x'', y'')$ 为空间域上的坐标点, $J[n]$ 为所述光源采样矩阵, $K[n]$ 为所述光瞳采样矩阵,INUFFT[ ]表示非均匀傅里叶逆变换;

[0141] 确定所述交叉传递矩阵为 $T = [t(x', y'; x'', y'')]$ 。

[0142] 可选地,所述函数确定模块803,具体用于:

[0143] 根据如下关系式计算投影矩阵

[0144] 
$$b_j(x, y) = b_{ns}(x, y) = \frac{\lambda_{ns}}{J'_n(\lambda_{ns})} \frac{J_n(\sqrt{x^2 + y^2})}{x^2 + y^2 - \lambda_{ns}^2} e^{-\text{intan}^{-1} \frac{y}{x}}$$

[0145]  $T = [t(x', y'; x'', y'')]$

[0146]  $b = [b_j(x', y')]$

[0147]  $P = bTb^*$

[0148] 其中, $P$ 为所述投影矩阵, $b_j(x, y)$ 为空间域上的正交基函数, $b = [b_j(x', y')]$ 为所述正交基函数的矩阵, $b_j(x', y')$ 为所述正交基函数的矩阵中的元素, $J_n$ 为第*n*阶第一类贝塞尔函数, $\lambda_{ns}$ 为第*n*阶贝塞尔函数的第*s*个零根;

[0149] 对所述投影矩阵进行特征值分解,确定所述投影矩阵的特征向量矩阵 $U$ 和特征值矩阵 $\Lambda$ ,其中, $P = U \Lambda U^*$ ;

[0150] 根据如下关系式计算所述交叉传递函数的频域核函数

[0151] 
$$B_j(f, g) = J_n(\lambda_{ns} \sqrt{f^2 + g^2}) e^{\text{intan}^{-1} \frac{g}{f}}$$

[0152]  $\Psi(f, g) = \sum \gamma_i u_{ij} B_j(f, g)$

[0153] 其中, $\gamma_i$ 为所述特征值矩阵的第*i*行的元素, $u_{ij}$ 为所述特征向量矩阵的第*i*行第*j*列的元素, $B_j(f, g)$ 为频域上的正交基函数,且所述频域上的正交基函数与所述空间域上的正交基函数互为傅里叶变换, $\Psi(f, g)$ 为所述交叉传递函数的频域核函数。

[0154] 可选地,根据权利要求10所述的装置,其特征在于,所述矩阵采样模块801,具体用于:

[0155] 根据如下关系式建立第二采样点集合

$$[0156] \quad f_i = \pm \frac{i}{w}$$

$$[0157] \quad g_j = \pm \frac{j}{h}$$

[0158] 其中,所述第二采样点集合为  $\{(f_i, g_j)\}$ ,  $w$  和  $h$  为所述掩模函数的周期;

[0159] 根据所述第二采样点集合和如下关系式计算所述频域上的掩模函数的采样矩阵和所述频域核函数的采样矩阵

$$[0160] \quad M(0,0) = \frac{1}{\sqrt{wh}} \sum y_i (x_{i+1} - x_i)$$

$$[0161] \quad M(f_i,0) = M\left(\frac{i}{w},0\right) = \frac{j}{2\pi i} \sqrt{\frac{w}{h}} \sum (y_{i-1} - y_i) e^{-ix_i \frac{i}{w}}$$

$$[0162] \quad M(0,g_j) = M\left(0,\frac{j}{h}\right) = \frac{j}{2\pi j} \sqrt{\frac{h}{w}} \sum (x_{i+1} - x_i) e^{-ix_i \frac{j}{h}}$$

$$[0163] \quad M(f_i,g_j) = M\left(\frac{i}{w},\frac{j}{h}\right) = -\frac{\sqrt{wh}}{4\pi^2 ij} \sum \left( e^{-ix_{i+1} \frac{i}{w}} - e^{-ix_i \frac{i}{w}} \right) e^{-iy_i \frac{j}{h}}$$

$$[0164] \quad M[n] = [M(f_i, g_j)]$$

$$[0165] \quad \Psi [n] = [\Psi (f_i, g_j)]$$

[0166] 其中,  $M[n]$  为所述频域上的掩模函数的采样矩阵,  $\Psi [n]$  为所述频域核函数的采样矩阵。

[0167] 可选地,所述光强获取模块804,具体用于:

[0168] 根据如下关系式计算所述光强分布

$$[0169] \quad I(x,y) = \Sigma | \text{INUFFT} [ \Psi (f_i, g_j) M(f_i, g_j) ] |^2$$

[0170] 其中,  $(x,y)$  为所述指定位置的坐标,  $I(x,y)$  为所述指定位置上的光强分布。

[0171] 需要说明的是,上述实施例提供的装置在实现其功能时,仅以上述各个功能模块的划分进行举例说明,实际应用中,可以根据实际需要而将上述功能分配由不同的功能模块完成,即将设备的内容结构划分成不同的功能模块,以完成以上描述的全部或者部分功能。另外,上述实施例提供的装置与方法实施例属于同一构思,其具体实现过程详见方法实施例,这里不再赘述。

[0172] 此外,本申请还提供一种计算机存储介质,其中,该计算机存储介质可存储有程序,该程序执行时可包括本申请提供的基于非均匀计算的光强分布获取方法的各实施例中的部分或全部步骤。所述的存储介质可为磁碟、光盘、只读存储记忆体 (Read-Only Memory, ROM) 或随机存储记忆体 (Random Access Memory, RAM) 等。

[0173] 在上述实施例中,可以全部或部分通过软件、硬件、固件或者其任意组合来实现。当使用软件实现时,可以全部或部分地以计算机程序产品的形式实现。

[0174] 所述计算机程序产品包括一个或多个计算机指令。在计算机加载和执行所述计算机程序时,全部或部分地产生按照本申请上述各个实施例所述的流程或功能。所述计算机可以是通用计算机、专用计算机、计算机网络或者其他可编程装置。

[0175] 所述计算机指令可以存储在计算机可读存储介质中,或者从一个计算机可读存储

介质向另一个计算机可读存储介质传输,例如,所述计算机指令可以从一个网络节点、计算机、服务器或数据中心通过有线或无线方式向另一个站点、计算机或服务器进行传输。

[0176] 此外,在本申请的描述中,除非另有说明,“多个”是指两个或多于两个。另外,为了便于清楚描述本申请实施例的技术方案,在本申请的实施例中,采用了“第一”、“第二”等字样对功能和作用基本相同的相同项或相似项进行区分。本领域技术人员可以理解“第一”、“第二”等字样并不对数量和执行次序进行限定,并且“第一”、“第二”等字样也并不限定一定不同。

[0177] 以上所述的本申请实施方式并不构成对本申请保护范围的限定。

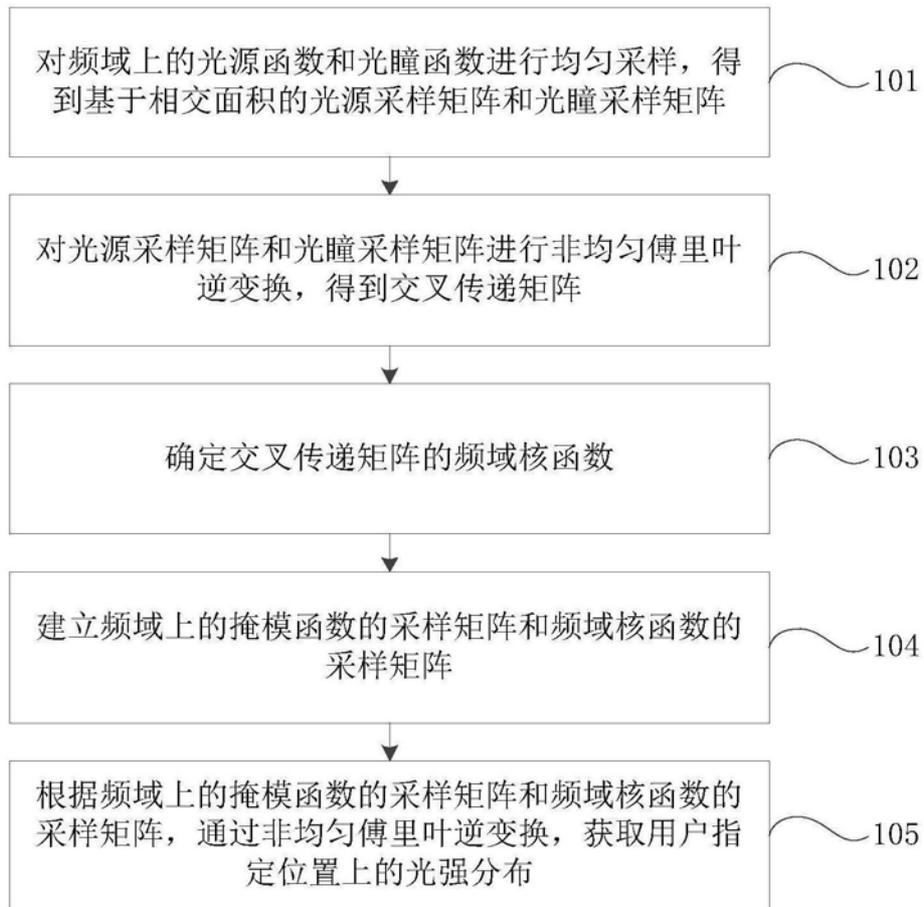


图1

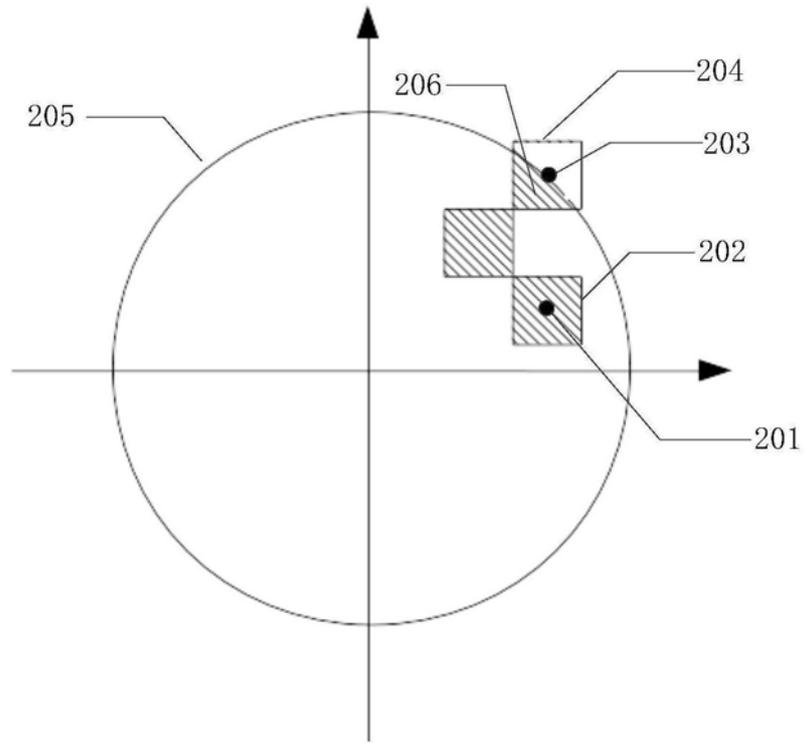


图2

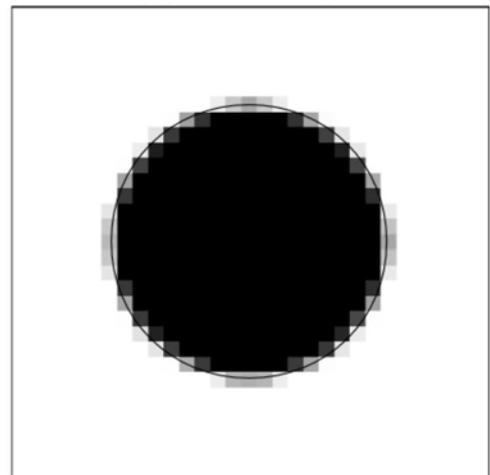
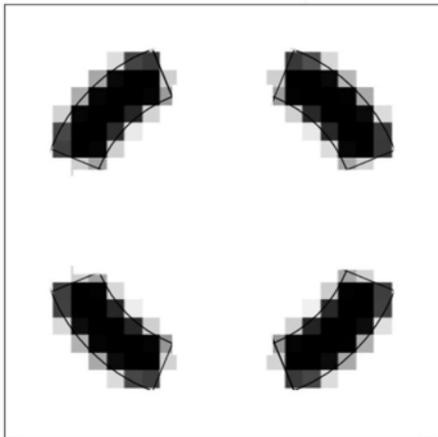


图3

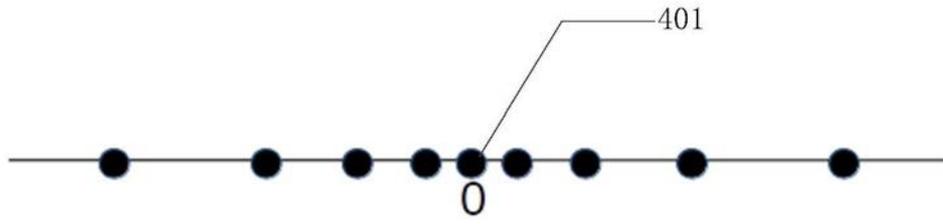


图4

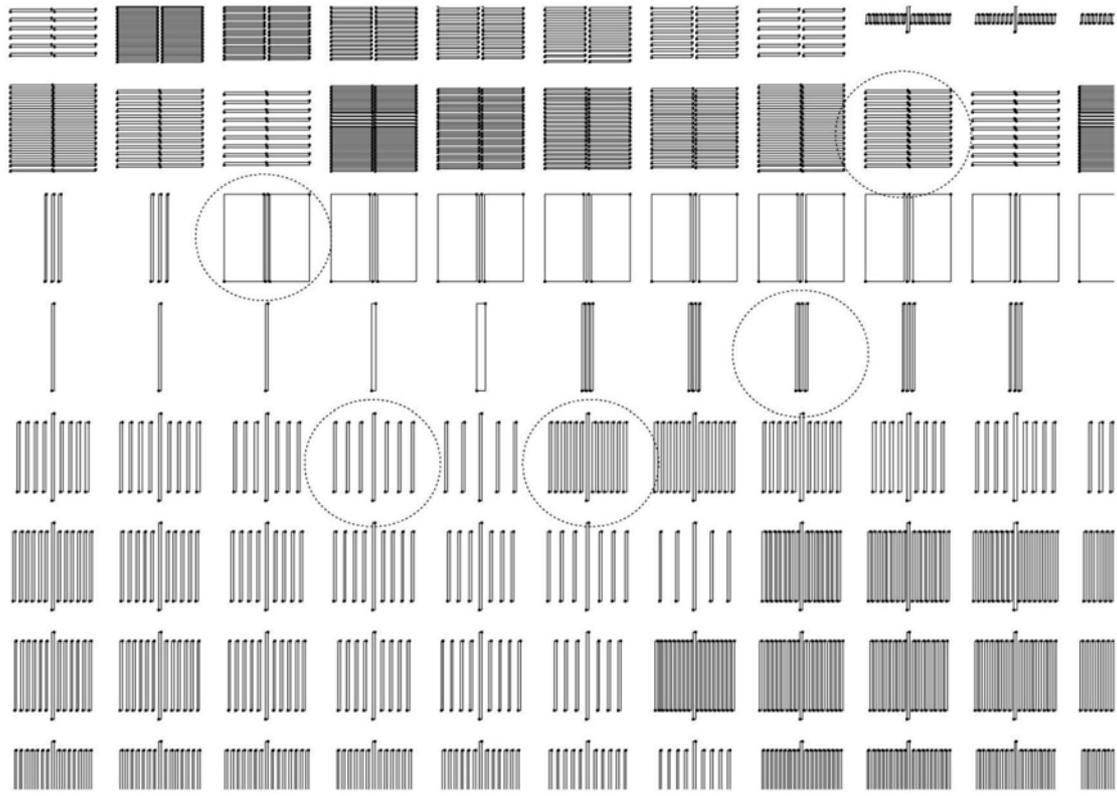


图5

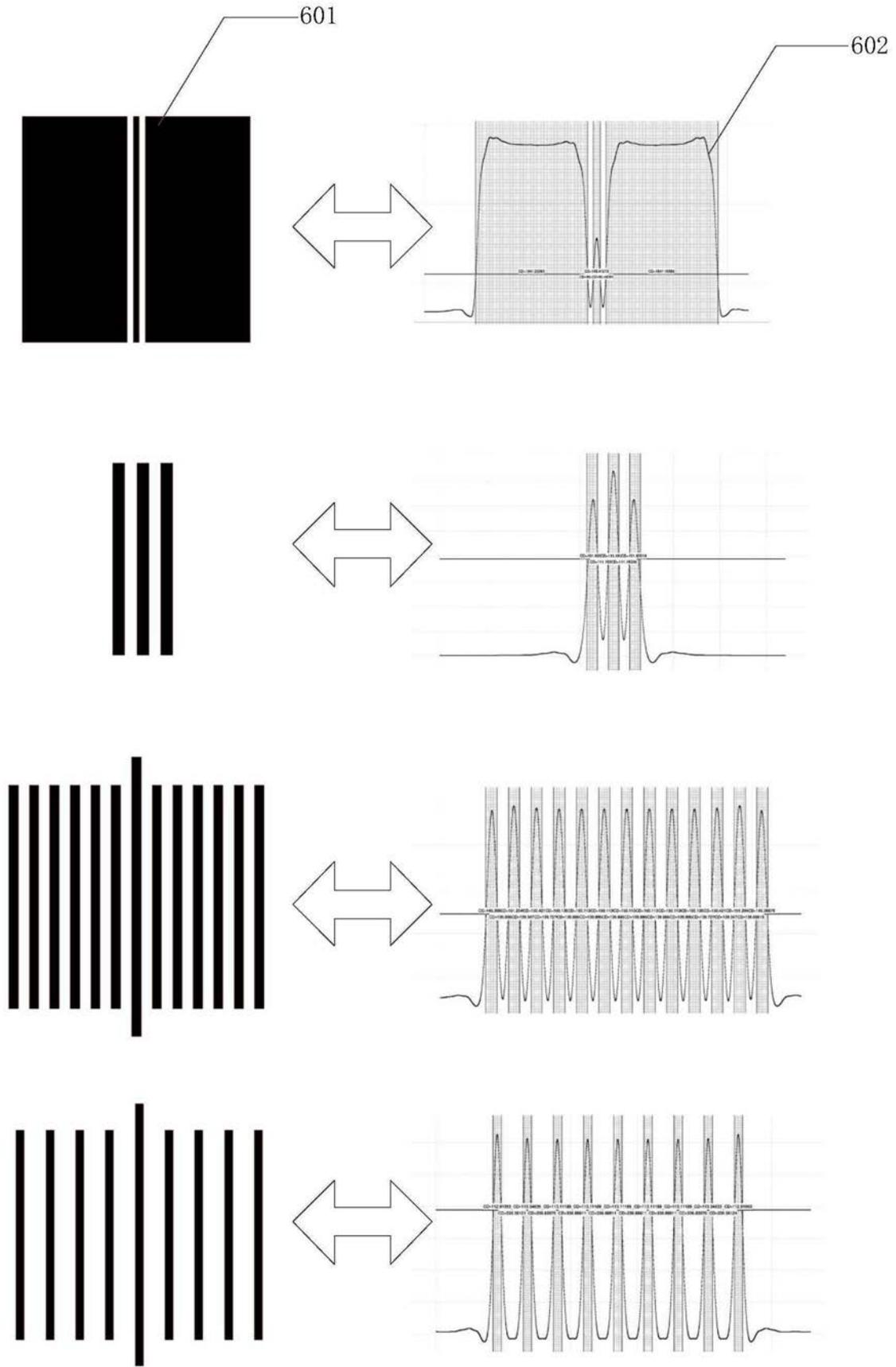


图6

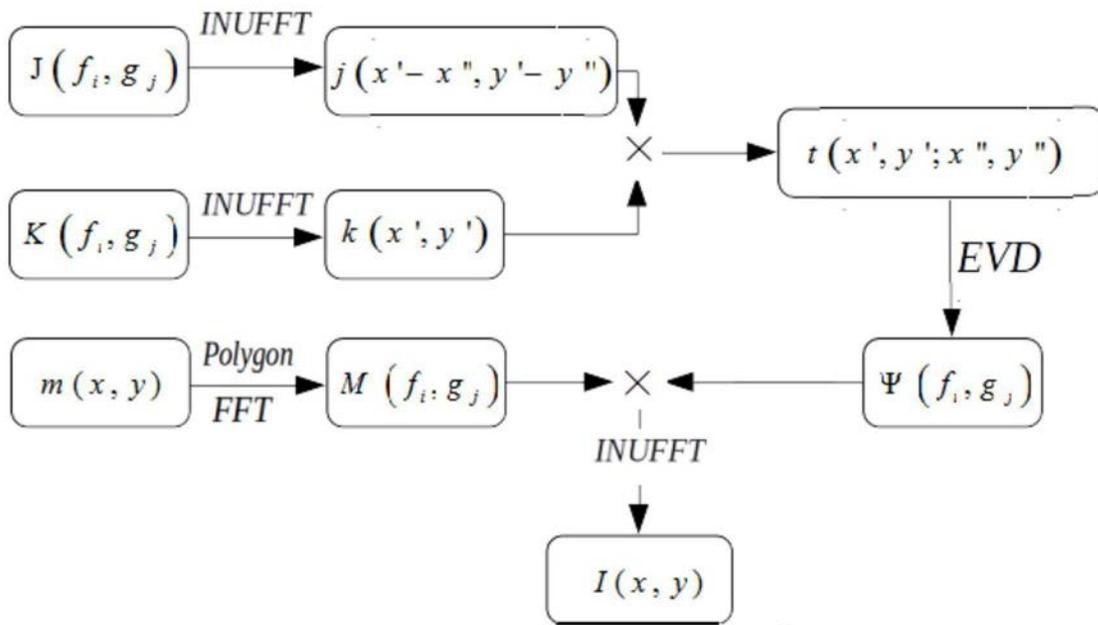


图7

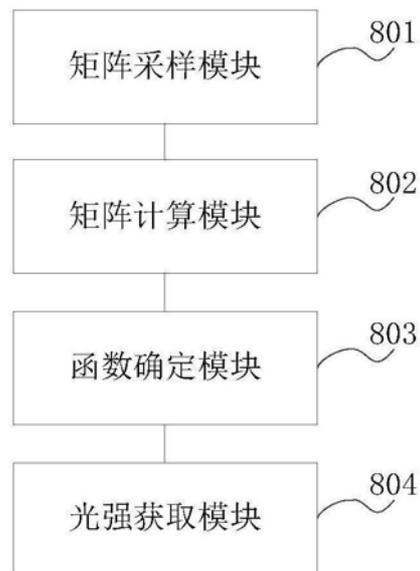


图8