



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 109164683 A

(43)申请公布日 2019.01.08

(21)申请号 201811157255.3

(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 17/50(2006.01)

权利要求书3页 说明书9页 附图3页

(54)发明名称

基于掩模版图形处理的光强分布快速确定方法及装置

(57)摘要

本申请公开了一种基于掩模版图形处理的光强分布快速确定方法及装置。该方法包括:根据光源函数和光瞳函数,建立交叉传递函数;对交叉传递函数进行奇异值分解,得到至少一个频域核函数;确定掩模版图形划分成的至少一个矩形,以及至少一个矩形中每个矩形的特征信息;确定每个矩形各自对应的矩形投影系数和至少一个频域核函数中每个频域核函数各自对应的核函数投影系数;根据矩形投影系数,核函数投影系数和每个矩形的特征信息,确定用户指定位置上的光强分布。本申请中,通过核函数投影系数和矩形投影系数,快速确定光强分布。由于掩模版图形划分的矩形中存在重复矩形,因此,计算矩形投影系数时能够避免重复计算,减少计算时间,提高光刻效率。



1. 一种基于掩模版图形处理的光强分布快速确定方法,其特征在于,所述方法包括:
根据光源函数和光瞳函数,建立交叉传递函数;

对所述交叉传递函数进行奇异值分解,得到至少一个频域核函数;

确定掩模版图形划分成的至少一个矩形,以及所述至少一个矩形中每个矩形的特征信息,所述特征信息包括:矩形的长,矩形的宽和矩形中心的坐标;

确定所述每个矩形各自对应的矩形投影系数和所述至少一个频域核函数中每个频域核函数各自对应的核函数投影系数;

根据所述矩形投影系数,所述核函数投影系数和所述每个矩形的特征信息,确定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,所述确定所述每个矩形各自对应的矩形投影系数和所述至少一个频域核函数中每个频域核函数各自对应的核函数投影系数,包括:

根据如下关系式计算所述矩形投影系数

$$\alpha_{ns} = \sum_j \text{sinc}(h, w) J_n \left(\lambda_{ns} \sqrt{f_j^2 + g_j^2} \right) e^{-i \text{intan}^{-1}(g_j/f_j)}$$

其中, α_{ns} 为所述矩形投影系数, h 表示所述矩形的长, w 表示所述矩形的宽, J_n 表示第一类 n 阶贝塞尔函数, λ_{ns} 表示第一类 n 阶贝塞尔函数的第 s 个零根, f_j 和 g_j 表示频域离散采样点的坐标;

根据如下关系式计算所述每个频域核函数各自对应的核函数投影系数

$$\beta_{mt}^k = \sum_j \Phi_k(f_j, g_j) J_m \left(\lambda_{mt} \sqrt{f_j^2 + g_j^2} \right) e^{-i \text{intan}^{-1}(g_j/f_j)}$$

其中, β_{mt}^k 为所述至少一个频域核函数中第 k 个频域核函数对应的核函数投影系数, $\Phi_k(f_j, g_j)$ 表示所述至少一个频域核函数中第 k 个频域核函数在 (f_j, g_j) 上的值, J_m 表示第一类 m 阶贝塞尔函数, λ_{mt} 表示第一类 m 阶贝塞尔函数的第 t 个零根。

3. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述根据所述矩形投影系数,所述核函数投影系数和所述每个矩形的特征信息,确定用户指定位置上的光强分布,包括:

根据如下关系式确定所述用户指定位置上的光强分布

$$I(x, y) = \sum_k \left| \sum_l \left[e^{i2\pi(f\Delta x + g\Delta y)} \sum_{n, m, s, t, q} \alpha_{ns} \beta_{mt}^k \gamma_{n+m, q} C_{n+m, q}(x, y) \right] \right|^2$$

其中, $I(x, y)$ 表示用户指定位置 (x, y) 上的光强分布, α_{ns} 为所述矩形投影系数, β_{mt}^k 为所述至少一个频域核函数中第 k 个频域核函数对应的核函数投影系数, Δx 和 Δy 表示所述矩形中心的坐标, $C_{n+m, q}(x, y)$ 表示空间域上的 $n+m$ 阶 q 零根的正交基函数, $\gamma_{n+m, q}$ 为基函数乘积投影系数。

4. 根据权利要求3所述的方法,其特征在于,所述根据所述矩形投影系数,所述核函数投影系数和所述每个矩形的特征信息,确定用户指定位置上的光强分布之前,还包括:

根据如下关系式确定所述基函数乘积投影系数

$$\gamma_{n+m, q} = \sum_j FB_{ns}(f_j, g_j) FB_{mt}(f_j, g_j) FB_{n+m, q}^*(f_j, g_j)$$

其中, $FB_{ns}(f_j, g_j)$ 表示 n 阶 s 零根的傅里叶贝塞尔基函数在 (f_j, g_j) 上的值, $FB_{mt}(f_j, g_j)$ 表

示m阶t零根的傅里叶贝塞尔基函数在 (f_j, g_j) 上的值, $FB_{n+m,q}^*(f_j, g_j)$ 表示n+m阶q零根的傅里叶贝塞尔基函数的共轭函数在 (f_j, g_j) 上的值。

5. 一种基于掩模版图形处理的光强分布快速确定装置,其特征在于,所述装置包括:

函数建立模块,用于根据光源函数和光瞳函数,建立交叉传递函数;

函数分解模块,用于对所述交叉传递函数进行奇异值分解,得到至少一个频域核函数;

矩形确定模块,用于确定掩模版图形划分成的至少一个矩形,以及所述至少一个矩形中每个矩形的特征信息,所述特征信息包括:矩形的长,矩形的宽和矩形中心的坐标;

投影确定模块,用于确定所述每个矩形各自对应的矩形投影系数和所述至少一个频域核函数中每个频域核函数各自对应的核函数投影系数;

光强确定模块,用于根据所述矩形投影系数,所述核函数投影系数和所述每个矩形的特征信息,确定用户指定位置上的光强分布。

6. 根据权利要求5所述的装置,其特征在于,所述投影确定模块,具体用于:

根据如下关系式计算所述矩形投影系数

$$\alpha_{ns} = \sum_j \text{sinc}(h, w) J_n(\lambda_{ns} \sqrt{f_j^2 + g_j^2}) e^{-\text{intan}^{-1}(g_j/f_j)}$$

其中, α_{ns} 为所述矩形投影系数, h 表示所述矩形的长, w 表示所述矩形的宽, J_n 表示第一类n阶贝塞尔函数, λ_{ns} 表示第一类n阶贝塞尔函数的第s个零根, f_j 和 g_j 表示频域离散采样点的坐标;

根据如下关系式计算所述每个频域核函数各自对应的核函数投影系数

$$\beta_{mt}^k = \sum_j \Phi_k(f_j, g_j) J_m(\lambda_{mt} \sqrt{f_j^2 + g_j^2}) e^{-\text{intan}^{-1}(g_j/f_j)}$$

其中, β_{mt}^k 为所述至少一个频域核函数中第k个频域核函数对应的核函数投影系数, $\Phi_k(f_j, g_j)$ 表示所述至少一个频域核函数中第k个频域核函数在 (f_j, g_j) 上的值, J_m 表示第一类m阶贝塞尔函数, λ_{mt} 表示第一类m阶贝塞尔函数的第t个零根。

7. 根据权利要求5所述的装置,其特征在于,所述光强确定模块,具体用于:

根据如下关系式确定所述用户指定位置上的光强分布

$$I(x, y) = \sum_k \left| \sum_l \left[e^{i2\pi(f\Delta x + g\Delta y)} \sum_{n,m,s,t,q} \alpha_{ns} \beta_{mt}^k \gamma_{n+m,q} C_{n+m,q}(x, y) \right] \right|^2$$

其中, $I(x, y)$ 表示用户指定位置 (x, y) 上的光强分布, α_{ns} 为所述矩形投影系数, β_{mt}^k 为所述至少一个频域核函数中第k个频域核函数对应的核函数投影系数, Δx 和 Δy 表示所述矩形中心的坐标, $C_{n+m,q}(x, y)$ 表示空间域上的n+m阶q零根的正交基函数, $\gamma_{n+m,q}$ 为基函数乘积投影系数。

8. 根据权利要求7所述的装置,其特征在于,所述光强确定模块,还用于:

根据如下关系式确定所述基函数乘积投影系数

$$\gamma_{n+m,q} = \sum_j FB_{ns}(f_j, g_j) FB_{mt}(f_j, g_j) FB_{n+m,q}^*(f_j, g_j)$$

其中, $FB_{ns}(f_j, g_j)$ 表示n阶s零根的傅里叶贝塞尔基函数在 (f_j, g_j) 上的值, $FB_{mt}(f_j, g_j)$ 表

示 m 阶 t 零根的傅里叶贝塞尔基函数在 (f_j, g_j) 上的值, $FB_{n+m,q}^*(f_j, g_j)$ 表示 $n+m$ 阶 q 零根的傅里叶贝塞尔基函数的共轭函数在 (f_j, g_j) 上的值。

基于掩模版图形处理的光强分布快速确定方法及装置

技术领域

[0001] 本申请属于半导体光刻技术领域,特别涉及一种基于掩模版图形处理的光强分布快速确定方法及装置。

背景技术

[0002] 随着工业生产技术相关因素的提升,集成电路器件越来越小,芯片的集成度越来越高,使得智能设备相关的器件制造成本降低。而当前的社会生活中,智能设备的使用使得集成电路与现在生活息息相关。在集成电路的工业生产中,光刻技术利用光化学反应原理把事先设计在掩模版图形转印到一个成像平面(晶圆)上,是一道不可避免的工艺。

[0003] 集成电路器件中的逻辑器件及存储器件,由于其设计存在较大的区别,制造的工艺流程也存在区别。集成电路是依靠所谓的平面工艺一层一层制备起来的,由于逻辑器件相对于存储器件设计结构比较复杂,因而需要更多的光刻层。存储器件的图形比较简单,其掩膜中心区域是存储单元,是规则的一维图形。逻辑器件的图形比较复杂,为复杂的二维图形。光刻工艺将掩模版图形从掩模转移到成像平面(晶圆)上,一套完整的光刻工艺需要多道工序的执行,其耗费巨大。真实的生产不可能对掩模版,通过工业生产优化工艺参数。此时,需要通过计算光刻模型来模拟光刻过程,进而优化和控制光刻,例如增大光刻分辨率。光刻模型包括:光源,掩模,光瞳及成像平面。其中,计算成像平面上的光强分布是光刻计算中不可避免的一步。

[0004] 在相关技术中,计算成像平面上的光强分布需要对掩模函数的卷积运算,由于掩模版图形数量巨大,导致进行卷积运算的数据量巨大,需要大量的计算时间。当光刻模型越来越复杂时,进行光刻所需的计算时间过长,降低了进行光刻的效率。

发明内容

[0005] 本申请提供一种基于掩模版图形处理的光强分布快速确定方法及装置,可用于解决相关技术中,由于掩模版图形数量巨大,导致进行卷积运算的数据量巨大,需要大量的计算时间,降低了进行光刻效率的问题。

[0006] 第一方面,本申请提供一种基于掩模版图形处理的光强分布快速确定方法,所述方法包括:

[0007] 根据光源函数和光瞳函数,建立交叉传递函数;

[0008] 对所述交叉传递函数进行奇异值分解,得到至少一个频域核函数;

[0009] 确定掩模版图形划分成的至少一个矩形,以及所述至少一个矩形中每个矩形的特征信息,所述特征信息包括:矩形的长,矩形的宽和矩形中心的坐标;

[0010] 确定所述每个矩形各自对应的矩形投影系数和所述至少一个频域核函数中每个频域核函数各自对应的核函数投影系数;

[0011] 根据所述矩形投影系数,所述核函数投影系数和所述每个矩形的特征信息,确定用户指定位置上的光强分布。

[0012] 可选地,所述确定所述每个矩形各自对应的矩形投影系数和所述至少一个频域核函数中每个频域核函数各自对应的核函数投影系数,包括:

[0013] 根据如下关系式计算所述矩形投影系数

$$[0014] \quad \alpha_{ns} = \sum_j \text{sinc}(h, w) J_n \left(\lambda_{ns} \sqrt{f_j^2 + g_j^2} \right) e^{-\text{intan}^{-1}(g_j/f_j)}$$

[0015] 其中, α_{ns} 为所述矩形投影系数, h 表示所述矩形的长, w 表示所述矩形的宽, J_n 表示第一类 n 阶贝塞尔函数, λ_{ns} 表示第一类 n 阶贝塞尔函数的第 s 个零根, f_j 和 g_j 表示频域离散采样点的坐标;

[0016] 根据如下关系式计算所述每个频域核函数各自对应的核函数投影系数

$$[0017] \quad \beta_{mt}^k = \sum_j \Phi_k(f_j, g_j) J_m \left(\lambda_{mt} \sqrt{f_j^2 + g_j^2} \right) e^{-\text{intan}^{-1}(g_j/f_j)}$$

[0018] 其中, β_{mt}^k 为所述至少一个频域核函数中第 k 个频域核函数对应的核函数投影系数, $\Phi_k(f_j, g_j)$ 表示所述至少一个频域核函数中第 k 个频域核函数在 (f_j, g_j) 上的值, J_m 表示第一类 m 阶贝塞尔函数, λ_{mt} 表示第一类 m 阶贝塞尔函数的第 t 个零根。

[0019] 可选地,所述根据所述矩形投影系数,所述核函数投影系数和所述每个矩形的特征信息,确定用户指定位置上的光强分布,包括:

[0020] 根据如下关系式确定所述用户指定位置上的光强分布

$$[0021] \quad I(x, y) = \sum_k \left| \sum_l \left[e^{i2\pi(f\Delta x + g\Delta y)} \sum_{n,m,s,t,q} \alpha_{ns} \beta_{mt}^k \gamma_{n+m,q} C_{n+m,q}(x, y) \right] \right|^2$$

[0022] 其中, $I(x, y)$ 表示用户指定位置 (x, y) 上的光强分布, α_{ns} 为所述矩形投影系数, β_{mt}^k 为所述至少一个频域核函数中第 k 个频域核函数对应的核函数投影系数, Δx 和 Δy 表示所述矩形中心的坐标, $C_{n+m,q}(x, y)$ 表示空间域上的 $n+m$ 阶 q 零根的正交基函数, $\gamma_{n+m,q}$ 为基函数乘积投影系数。

[0023] 可选地,所述根据所述矩形投影系数,所述核函数投影系数和所述每个矩形的特征信息,确定用户指定位置上的光强分布之前,还包括:

[0024] 根据如下关系式确定所述基函数乘积投影系数

$$[0025] \quad \gamma_{n+m,q} = \sum_j FB_{ns}(f_j, g_j) FB_{mt}(f_j, g_j) FB_{n+m,q}^*(f_j, g_j)$$

[0026] 其中, $FB_{ns}(f_j, g_j)$ 表示 n 阶 s 零根的傅里叶贝塞尔基函数在 (f_j, g_j) 上的值, $FB_{mt}(f_j, g_j)$ 表示 m 阶 t 零根的傅里叶贝塞尔基函数在 (f_j, g_j) 上的值, $FB_{n+m,q}^*(f_j, g_j)$ 表示 $n+m$ 阶 q 零根的傅里叶贝塞尔基函数的共轭函数在 (f_j, g_j) 上的值。

[0027] 第二方面,本申请提供一种基于掩模版图形处理的光强分布快速确定装置,其特征在于,所述装置包括:

[0028] 函数建立模块,用于根据光源函数和光瞳函数,建立交叉传递函数;

[0029] 函数分解模块,用于对所述交叉传递函数进行奇异值分解,得到至少一个频域核函数;

[0030] 矩形确定模块,用于确定掩模版图形划分成的至少一个矩形,以及所述至少一个矩形中每个矩形的特征信息,所述特征信息包括:矩形的长,矩形的宽和矩形中心的坐标;

[0031] 投影确定模块,用于确定所述每个矩形各自对应的矩形投影系数和所述至少一个频域核函数中每个频域核函数各自对应的核函数投影系数;

[0032] 光强确定模块,用于根据所述矩形投影系数,所述核函数投影系数和所述每个矩形的特征信息,确定用户指定位置上的光强分布。

[0033] 本申请提供的方案,通过确定频域核函数对应的核函数投影系数和掩模版图形划分的矩形对应的矩形投影系数,能够快速确定用户指定位置上的光强分布。由于掩模版图形划分成的矩形中会出现重复矩形,而对于长和宽相等的矩形,矩形投影系数也相等,因此,在确定矩形投影系数时能够避免重复计算,减少计算时间,进而提高光刻的效率。

附图说明

[0034] 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。

[0035] 图1是根据一示例性实施例示出的一种基于掩模版图形处理的光强分布快速确定方法的流程图;

[0036] 图2是根据一示例性实施例示出的一种频域光源和空间域光源的示意图;

[0037] 图3是根据一示例性实施例示出的一种掩模版图形的示意图;

[0038] 图4是根据一示例性实施例示出的一种光强分布的示意图;

[0039] 图5是根据一示例性实施例示出的一种基于掩模版图形处理的光强分布快速确定装置的框图。

具体实施方式

[0040] 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。

[0041] 本申请实施例提供的方法,各步骤的执行主体可以是终端。该终端用于光刻过程中的光刻计算,进而优化和控制光刻。

[0042] 图1是根据一示例性实施例示出的一种基于掩模版图形处理的光强分布快速确定方法的流程图。该方法可以包括如下几个步骤。

[0043] 步骤101,根据光源函数和光瞳函数,建立交叉传递函数。

[0044] 在终端确定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光刻过程中实际采用的光源和光瞳预先确定。

[0045] 在确定光源函数和光瞳函数后,终端根据光源函数和光瞳函数,建立交叉传递函数(Transmission Cross Coefficient,TCC)。

[0046] 可选地,终端根据如下关系式建立交叉传递函数:

[0047] $TCC(x_1, y_1; x_2, y_2) = J(x_1 - x_2, y_1 - y_2) H(x_1, y_1) H^*(-x_2, -y_2)$

[0048] 其中, $J(x, y)$ 表示空间域上的光源函数, $H(x, y)$ 表示空间域上的光瞳函数。 (x_1, y_1) 和 (x_2, y_2) 分别表示空间上两个坐标点, $TCC(x_1, y_1; x_2, y_2)$ 表示终端所要建立的交叉传递函数。

[0049] 可选地, 光源函数表示频域上的圆环光源, 空间域上的光源函数 $J(x, y)$ 为频域上的光源函数在空间上的响应。其中, 频域上的光源函数与其空间上的响应通过快速傅里叶变换实现。示例性地, 如图2所示, 圆环光源201的内径为0.4, 外径为0.6, 表示空间域上的光源函数, 光源202表示频域上的光源。

[0050] 空间域上的光瞳函数 $H(x, y)$ 为频域上的光瞳函数在空间上的响应。其中, 频域上的光瞳函数与其空间上的响应通过快速傅里叶变换实现。光瞳函数表示频域上的圆函数, 其半径为1。

[0051] 步骤102, 对交叉传递函数进行奇异值分解, 得到至少一个频域核函数。

[0052] 终端所建立的交叉传递函数可以表示为一个大小为 $n \times n \times n \times n$ 的矩阵, 即交叉传递矩阵。该交叉传递矩阵为四维矩阵, 终端将该矩阵变换为 $n^2 \times n^2$ 的二维矩阵, 再对其进行矩阵分解。因为上述交叉传递矩阵为正定矩阵, 因此终端能够对其进行奇异值分解。通过奇异值分解, 终端得到至少一个空间域核函数, 如下关系式所示:

$$[0053] \quad TCC(x_1, y_1; x_2, y_2) = \sum_k \phi_k(x_1, y_1) \phi_k^*(x_2, y_2)$$

[0054] 其中, $\phi_k(x, y)$ 表示至少一个空间域核函数中的第 k 个空间域核函数。终端通过傅里叶变换, 确定至少一个空间域核函数中的每个空间域核函数对应的频域核函数, 得到至少一个频域核函数。至少一个频域核函数中的第 k 个频域核函数表示为 $\Phi_k(f, g)$ 。

[0055] 步骤103, 确定掩模版图形划分成的至少一个矩形, 以及至少一个矩形中每个矩形的特征信息。

[0056] 掩模版图形为二维的简单多边形, 且仅包含直角线段。因此, 可以将掩模版图形划分成至少一个矩形。在本申请实施例中, 掩模版图形的划分可以由技术人员预先进行划分, 也可以由终端根据掩模版图形的顶点信息进行划分。需要说明的是, 在光刻模型中, 掩模版图形又称为掩版上的光刻图形或光刻图形。

[0057] 示例性, 如图3所示, 掩模版图形301为二维的多边形, 包含多个直角线段。终端根据掩模版图形301的顶点信息对其进行划分, 得到划分后的掩模版图形302。划分后的掩模版图形302由包括多个矩形, 例如, 图3所示的矩形303和矩形304。

[0058] 终端确定掩模版图形划分成的至少一个矩形, 以及至少一个矩形中每个矩形的特征信息, 即终端确定划分后的掩模版图形中的每一个矩形以及每一个矩形的特征信息。特征信息包括: 矩形的长, 矩形的宽和矩形中心的坐标。

[0059] 可选地, 掩模版图形被划分为至少一个矩形, 则表示掩模版图形的掩模函数由表示划分得到的矩形的矩形函数表示。如下关系式所示:

$$[0060] \quad M(x, y) = \sum_l M_l^{rect}(x, y)$$

[0061] $M(x, y)$ 为空间域上的掩模函数, $M_l^{rect}(x, y)$ 为上述至少一个矩形中第 l 个矩形空间域上的矩形函数。相应地, 终端通过傅里叶变化确定频域上的掩模函数, 如下关系式所示:

$$[0062] \quad M(f, g) = \sum_I e^{i2\pi(f\Delta x + g\Delta y)} \text{sinc}(h, w)$$

[0063] $M(f, g)$ 为频域上的掩模函数, Δx 和 Δy 为矩形中心的坐标, h 为矩形的长, w 为矩形的宽, i 表示复数的虚数单位, sinc 函数为 $M_I^{\text{rect}}(x, y)$ 在频域上的响应, 如下关系式所示:

$$[0064] \quad F[M_I^{\text{rect}}(x, y)] = \text{sinc}(h, w) = h \times \text{sinc}(\pi hf) \times w \times \text{sinc}(\pi wg)$$

[0065] 终端可以通过掩模版图形被划分为的至少一个矩形表示空间域和频域上的掩模函数。

[0066] 步骤104, 确定每个矩形各自对应的矩形投影系数和至少一个频域核函数中每个频域核函数各自对应的核函数投影系数。

[0067] 在得到上述至少一个频域核函数, 以及确定每个矩形的特征信息后, 终端确定每个矩形各自对应的矩形投影系数和每个频域核函数各自对应的核函数投影系数。其中, 矩形投影系数和核函数投影系数是指终端利用数值积分运算将频域上的矩形函数即 sinc 函数和频域核函数投影到傅里叶贝塞尔基函数得到的投影系数。每个矩形都对应着一个矩形投影系数, 每个频域核函数都对应着一个核函数投影系数。并且, 长宽相等的矩形所对应的矩形投影系数相等。

[0068] 可选地, 终端通过如下关系式计算矩形投影系数:

$$[0069] \quad \alpha_{ns} = \sum_j \text{sinc}(h, w) J_n(\lambda_{ns} \sqrt{f_j^2 + g_j^2}) e^{-\text{intan}^{-1}(g_j/f_j)}$$

[0070] 其中, α_{ns} 为矩形投影系数, h 表示矩形的长, w 表示矩形的宽, J_n 表示第一类 n 阶贝塞尔函数, λ_{ns} 表示第一类 n 阶贝塞尔函数的第 s 个零根, f_j 和 g_j 表示频域离散采样点的坐标。由于每个矩形都对应着一个矩形投影系数, 因此对于掩模版图形被划分成的至少一个矩形, 终端需要确定与矩形的数量相同的矩形投影系数。但是, 由上述关系式可知, 计算矩形投影系数时, 不同矩形的之间的区别在于矩形的长和宽, 即 sinc 函数的值。由于掩模版图形为二维的简单多边形, 因此, 由掩模版图形划分成的矩形中会出现重复矩形, 即出现长和宽相等的矩形。对于长和宽相等的矩形, sinc 函数的值也相等, 它们对应的矩形投影系数也相等。所以, 终端在确定每个矩形对应的矩形投影系数时, 对于长和宽相等的矩形, 只需计算一次, 无需进行重复计算, 节省了计算时间。

[0071] 可选地, 终端根据如下关系式计算每个频域核函数各自对应的核函数投影系数:

$$[0072] \quad \beta_{mt}^k = \sum_j \Phi_k(f_j, g_j) J_m(\lambda_{mt} \sqrt{f_j^2 + g_j^2}) e^{-\text{intan}^{-1}(g_j/f_j)}$$

[0073] 其中, β_{mt}^k 为至少一个频域核函数中第 k 个频域核函数对应的核函数投影系数, $\Phi_k(f_j, g_j)$ 表示至少一个频域核函数中第 k 个频域核函数在 (f_j, g_j) 上的值, J_m 表示第一类 m 阶贝塞尔函数, λ_{mt} 表示第一类 m 阶贝塞尔函数的第 t 个零根。

[0074] 可选地, 终端确定每个矩形各自对应的矩形投影系数和至少一个频域核函数中每个频域核函数各自对应的核函数投影系数后, 根据如下关系式确定投影后的掩模函数和频域核函数:

$$[0075] \quad M(f, g) = \sum_l \left[e^{i2\pi(f\Delta x + g\Delta y)} \sum_{n,s} \alpha_{ns} FB_{ns}(f, g) \right]$$

$$[0076] \quad \Phi_k(f, g) = \sum_{m,t} \beta_{mt}^k FB_{mt}(f, g)$$

[0077] $FB_{ns}(f, g)$ 表示n阶s零根的傅里叶贝塞尔基函数, $FB_{mt}(f, g)$ 表示m阶t零根的傅里叶贝塞尔基函数。

[0078] 步骤105, 根据矩形投影系数, 核函数投影系数和每个矩形的特征信息, 确定用户指定位置上的光强分布。

[0079] 终端确定每个矩形各自对应的矩形投影系数和至少一个频域核函数中每个频域核函数各自对应的核函数投影系数后, 根据矩形投影系数, 核函数投影系数和每个矩形的特征信息, 确定用户指定位置上的光强分布。

[0080] 终端根据如下关系式确定用户指定位置上的光强分布

$$[0081] \quad I(x, y) = \sum_k \left| \sum_l \left[e^{i2\pi(f\Delta x + g\Delta y)} \sum_{n,m,s,t,q} \alpha_{ns} \beta_{mt}^k \gamma_{n+m,q} C_{n+m,q}(x, y) \right] \right|^2$$

[0082] $I(x, y)$ 表示用户指定位置 (x, y) 上的光强分布, $C_{n+m,q}(x, y)$ 表示空间域上的n+m阶q零根的正交基函数, $\gamma_{n+m,q}$ 为基函数乘积投影系数。其中, $C_{n+m,q}(x, y)$ 与n+m阶q零根的傅里叶贝塞尔基函数互为傅里叶变换。 $\gamma_{n+m,q}$ 是将傅里叶贝塞尔基函数的乘积投影到傅里叶贝塞尔基函数上得到的投影系数。

[0083] 示例性地, 如图4所示, 其示出了最终在成像平面上的光强分布。其中, 不同区域的不同颜色表示了不同的光强, 区域401与区域402的颜色不同, 光强也不同。

[0084] 可选地, 根据如下关系式确定基函数乘积投影系数 $\gamma_{n+m,q}$

$$[0085] \quad \gamma_{n+m,q} = \sum_j FB_{ns}(f_j, g_j) FB_{mt}(f_j, g_j) FB_{n+m,q}^*(f_j, g_j)$$

[0086] 其中, $FB_{ns}(f_j, g_j)$ 表示n阶s零根的傅里叶贝塞尔基函数在 (f_j, g_j) 上的值, $FB_{mt}(f_j, g_j)$ 表示m阶t零根的傅里叶贝塞尔基函数在 (f_j, g_j) 上的值, $FB_{n+m,q}^*(f_j, g_j)$ 表示n+m阶q零根的傅里叶贝塞尔基函数的共轭函数在 (f_j, g_j) 上的值。由于傅里叶贝塞尔基函数与计算光刻时的光源函数、光瞳函数以及掩模函数无关, 因此, 可以在确定光强分布前预先确定或设置, 节省计算时间。

[0087] 可选地, 在确定投影后的掩模函数和频域核函数后, 终端利用投影后的掩模函数和频域核函数计算场强, 再根据对场强进行逆傅里叶变换, 最终确定用户指定位置上的光强分布的解析式。其中, 终端根据如下关系式确定每个频域核函数对应的场强:

$$[0088] \quad E_k(f, g) = M(f, g) \Phi_k(f, g) = \sum_l \left[e^{i2\pi(f\Delta x + g\Delta y)} \sum_{n,s} \alpha_{ns} FB_{ns}(f, g) \right] \times \sum_{m,t} \beta_{mt}^k FB_{mt}(f, g)$$

[0089] 根据该关系式技术场强, 实际是计算傅里叶贝塞尔基函数 $FB_{ns}(f, g)$ 和 $FB_{mt}(f, g)$ 的乘积, 将傅里叶贝塞尔基函数的乘积投影到傅里叶贝塞尔基函数上, 如下关系式所示:

$$[0090] \quad FB_{ns}(f, g) FB_{mt}(f, g) = \sum_q \gamma_{n+m,q} FB_{n+m,q}(f, g)$$

[0091] $B_{n+m,q}(f, g)$ 表示 $n+m$ 阶 q 零根的傅里叶贝塞尔基函数。其中, n, m, s, t 和 q 可以根据实际经验设定。因此, 终端确定每个频域核函数对应的场强如下关系式所示:

$$[0092] \quad E_k(f, g) = \sum_l \left[e^{i2\pi(f\Delta x + g\Delta y)} \sum_{n,m,s,t,q} \alpha_{ns} \beta_{mt}^k \gamma_{n+m,q} FB_{n+m,q}(f, g) \right]$$

[0093] 在确定每个频域核函数对应的场强后, 根据如下关系式确定用户指定位置上的光强分布:

$$[0094] \quad I(x, y) = \sum_k \left| F^{-1} [E_k(f, g)] \right|^2$$

[0095] F^{-1} 表示逆傅里叶变换。由于空间域上的 $n+m$ 阶 q 零根的正交基函数 $C_{n+m,q}(x, y)$ 与 $n+m$ 阶 q 零根的傅里叶贝塞尔基函数互为傅里叶变换, 因此 $F^{-1}[E_k(f, g)]$ 为 $C_{n+m,q}(x, y)$ 的线性组合, 则得到如下关系式:

$$[0096] \quad F^{-1} [E_k(f, g)] = \sum_l \left[e^{i2\pi(f\Delta x + g\Delta y)} \sum_{n,m,s,t,q} \alpha_{ns} \beta_{mt}^k \gamma_{n+m,q} C_{n+m,q}(x, y) \right]$$

[0097] 终端最终确定用户指定位置上的光强分布的解析式为:

$$[0098] \quad I(x, y) = \sum_k \left| \sum_l \left[e^{i2\pi(f\Delta x + g\Delta y)} \sum_{n,m,s,t,q} \alpha_{ns} \beta_{mt}^k \gamma_{n+m,q} C_{n+m,q}(x, y) \right] \right|^2$$

[0099] 在本申请实施例提供的方法中, 通过确定频域核函数对应的核函数投影系数和掩模版图形划分的矩形对应的矩形投影系数, 能够快速确定用户指定位置上的光强分布。由于掩模版图形划分成的矩形中会出现重复矩形, 而对于长和宽相等的矩形, 矩形投影系数也相等, 因此, 在确定矩形投影系数时能够避免重复计算, 减少计算时间, 进而提高光刻的效率。

[0100] 图5是根据一示例性实施例示出的一种基于掩模版图形处理的光强分布快速确定装置的框图。该装置具有实现上述方法示例的功能。该装置可以包括: 函数建立模块501, 函数分解模块502, 矩形确定模块503, 投影确定模块504和光强确定模块505。

[0101] 函数建立模块501, 用于根据光源函数和光瞳函数, 建立交叉传递函数。

[0102] 函数分解模块502, 用于对所述交叉传递函数进行奇异值分解, 得到至少一个频域核函数。

[0103] 矩形确定模块503, 用于确定掩模版图形划分成的至少一个矩形, 以及所述至少一个矩形中每个矩形的特征信息, 所述特征信息包括: 矩形的长, 矩形的宽和矩形中心的坐标。

[0104] 投影确定模块504, 用于确定所述每个矩形各自对应的矩形投影系数和所述至少一个频域核函数中每个频域核函数各自对应的核函数投影系数。

[0105] 光强确定模块505, 用于根据所述矩形投影系数, 所述核函数投影系数和所述每个矩形的特征信息, 确定用户指定位置上的光强分布。

[0106] 在本申请实施例提供的装置中, 通过确定频域核函数对应的核函数投影系数和掩模版图形划分的矩形对应的矩形投影系数, 能够快速确定用户指定位置上的光强分布。由于掩模版图形划分成的矩形中会出现重复矩形, 而对于长和宽相等的矩形, 矩形投影系数也相等, 因此, 在确定矩形投影系数时能够避免重复计算, 减少计算时间, 进而提高光刻

的效率。

[0107] 可选地,所述投影确定模块504,具体用于:

[0108] 根据如下关系式计算所述矩形投影系数

$$[0109] \quad \alpha_{ns} = \sum_j \text{sinc}(h, w) J_n \left(\lambda_{ns} \sqrt{f_j^2 + g_j^2} \right) e^{-\text{int} \arctan^{-1}(g_j/f_j)}$$

[0110] 其中, α_{ns} 为所述矩形投影系数, h 表示所述矩形的长, w 表示所述矩形的宽, J_n 表示第一类 n 阶贝塞尔函数, λ_{ns} 表示第一类 n 阶贝塞尔函数的第 s 个零根, f_j 和 g_j 表示频域离散采样点的坐标;

[0111] 根据如下关系式计算所述每个频域核函数各自对应的核函数投影系数

$$[0112] \quad \beta_{mt}^k = \sum_j \Phi_k(f_j, g_j) J_m \left(\lambda_{mt} \sqrt{f_j^2 + g_j^2} \right) e^{-\text{int} \arctan^{-1}(g_j/f_j)}$$

[0113] 其中, β_{mt}^k 为所述至少一个频域核函数中第 k 个频域核函数对应的核函数投影系数, $\Phi_k(f_j, g_j)$ 表示所述至少一个频域核函数中第 k 个频域核函数在 (f_j, g_j) 上的值, J_m 表示第一类 m 阶贝塞尔函数, λ_{mt} 表示第一类 m 阶贝塞尔函数的第 t 个零根。

[0114] 可选地,所述光强确定模块505,具体用于:

[0115] 根据如下关系式确定所述用户指定位置上的光强分布

$$[0116] \quad I(x, y) = \sum_k \left| \sum_l \left[e^{i2\pi(f\Delta x + g\Delta y)} \sum_{n,m,s,t,q} \alpha_{ns} \beta_{mt}^k \gamma_{n+m,q} C_{n+m,q}(x, y) \right] \right|^2$$

[0117] 其中, $I(x, y)$ 表示用户指定位置 (x, y) 上的光强分布, α_{ns} 为所述矩形投影系数, β_{mt}^k 为所述至少一个频域核函数中第 k 个频域核函数对应的核函数投影系数, Δx 和 Δy 表示所述矩形中心的坐标, $C_{n+m,q}(x, y)$ 表示空间域上的 $n+m$ 阶 q 零根的正交基函数, $\gamma_{n+m,q}$ 为基函数乘积投影系数。

[0118] 可选地,所述光强确定模块505,还用于:

[0119] 根据如下关系式确定所述基函数乘积投影系数

$$[0120] \quad \gamma_{n+m,q} = \sum_j FB_{ns}(f_j, g_j) FB_{mt}(f_j, g_j) FB_{n+m,q}^*(f_j, g_j)$$

[0121] 其中, $FB_{ns}(f_j, g_j)$ 表示 n 阶 s 零根的傅里叶贝塞尔基函数在 (f_j, g_j) 上的值, $FB_{mt}(f_j, g_j)$ 表示 m 阶 t 零根的傅里叶贝塞尔基函数在 (f_j, g_j) 上的值, $FB_{n+m,q}^*(f_j, g_j)$ 表示 $n+m$ 阶 q 零根的傅里叶贝塞尔基函数的共轭函数在 (f_j, g_j) 上的值。

[0122] 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。

[0123] 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基于掩模版图形处理的光强分布快速确定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。

[0124] 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。

[0125] 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。

[0126] 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。

[0127] 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。

[0128] 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。

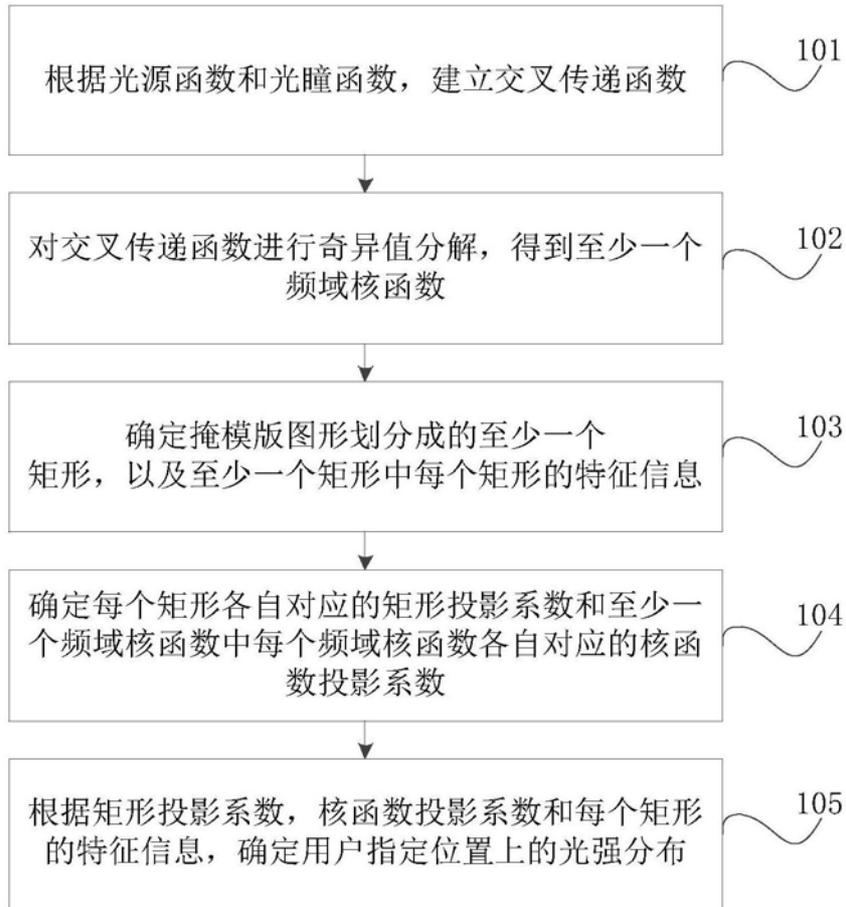


图1



图2

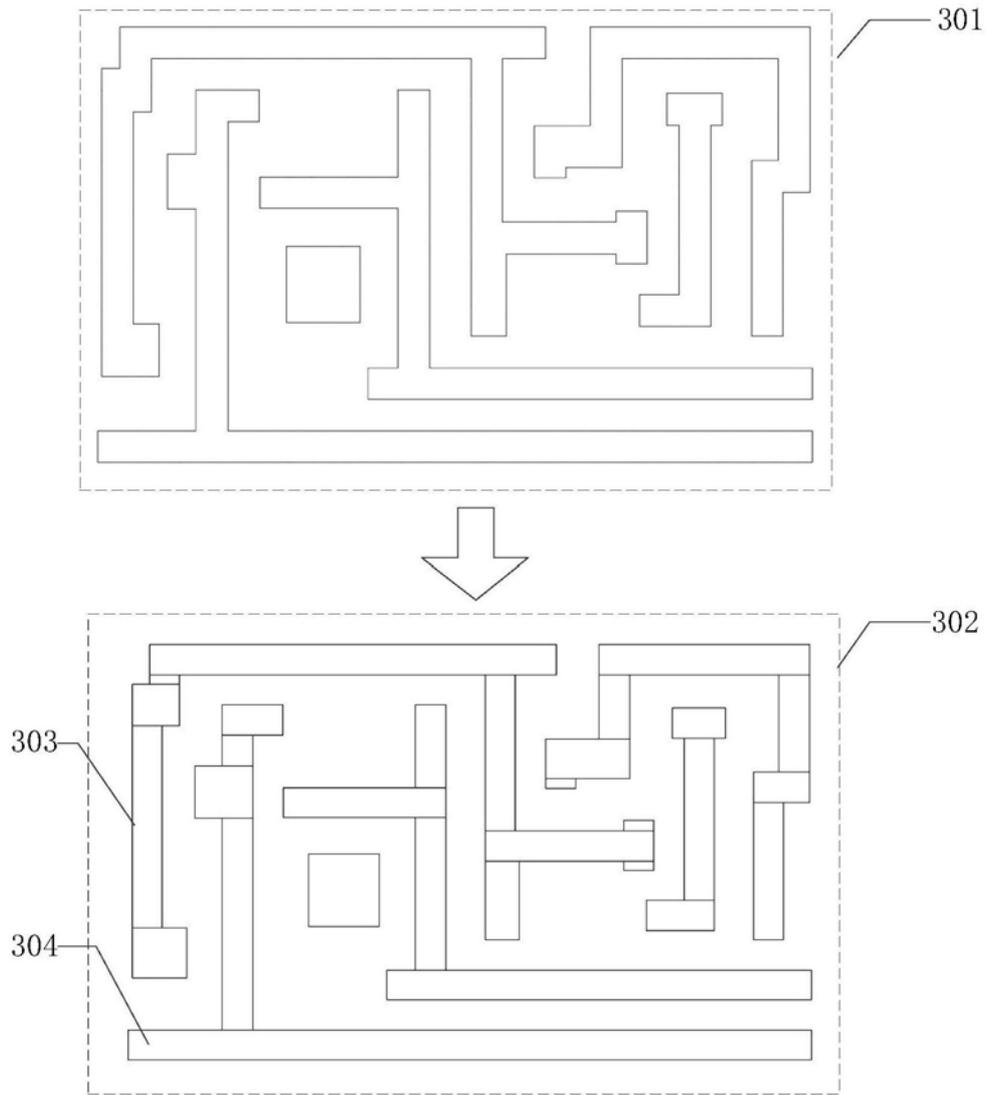


图3

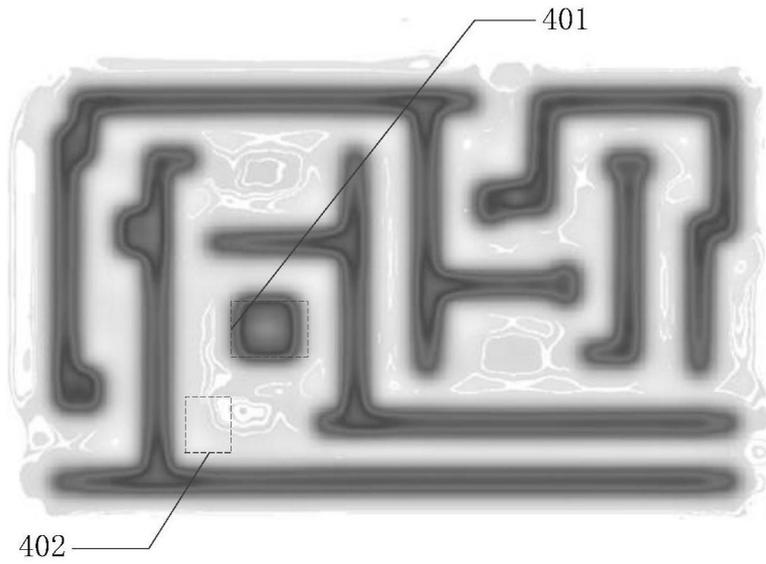


图4



图5