



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 109270802 A  
(43)申请公布日 2019.01.25

(21)申请号 201811157236.0

(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 17/14(2006.01)

权利要求书5页 说明书18页 附图8页

(54)发明名称

一种晶圆表面光强分布的快速获取方法及装置

(57)摘要

本申请公开了一种晶圆表面光强分布的快速获取方法及装置,通过将频域上的光源函数以及频域上的光瞳函数,分别投影到Fourier-Bessel正交基函数上,获取光源函数的频域投影系数以及光瞳函数的频域投影系数。然后根据Fourier-Bessel正交基函数与Circle-Bessel正交基函数之间的变换关系,获取光源函数的空间域投影系数以及光瞳函数的空间域投影系数。接着,获取第一组预计算数据集,并根据所述第一组预计算数据集,获取交叉传递函数。然后,根据获取的第二组预计算数据集、交叉传递函数、第一组预计算数据集、光源函数的空间域投影系数以及光瞳函数的空间域投影系数,获取核函数的投影系数。最后,根据核函数的投影系数以及所获取的第三组预计算数据集,获取晶圆表面的光强分布。

CN 109270802 A



1. 一种晶圆表面光强分布的快速获取方法,其特征在于,包括:

将频域上的光源函数以及频域上的光瞳函数,分别投影到Fourier-Bessel正交基函数上,并获取所述光源函数的频域投影系数以及所述光瞳函数的频域投影系数,其中,所述Fourier-Bessel正交基函数是频域上的一组基函数;

根据Fourier-Bessel正交基函数与Circle-Bessel正交基函数之间的变换关系、所述光源函数的频域投影系数以及所述光瞳函数的频域投影系数,获取空间域上的光源函数、空间域上的光瞳函数、所述光源函数的空间域投影系数以及所述光瞳函数的空间域投影系数,其中,所述Circle-Bessel正交基函数是空间域上的一组基函数;

根据所述Circle-Bessel正交基函数,获取第一组预计算数据集,并根据所述第一组预计算数据集、所述空间域上的光源函数以及所述空间域上的光瞳函数,获取空间域上的交叉传递函数;

根据所述Circle-Bessel正交基函数,获取第二组预计算数据集,并根据所述第一组预计算数据集、所述第二组预计算数据集、所述交叉传递函数、所述光源函数的空间域投影系数以及所述光瞳函数的空间域投影系数,获取核函数的投影系数;

获取掩模版的图形函数,并根据所述掩模版的图形函数,获取第三组预计算数据集;

根据所述核函数的投影系数以及所述第三组预计算数据集,获取晶圆表面的光强分布。

2. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述将频域上的光源函数以及频域上的光瞳函数,分别投影到Fourier-Bessel正交基函数上,并获取所述光源函数的频域投影系数以及所述光瞳函数的频域投影系数,包括:

通过以下公式,将频域上的光源函数投影到Fourier-Bessel正交基函数上:

$$\tilde{\gamma}(f, g) = \tilde{\gamma}(r, \theta) = \sum_{ns} \tilde{\kappa}_{ns} F_{ns}(r, \theta);$$

其中,  $\tilde{\gamma}(\ )$  表示频域上的光源函数,  $(f, g)$  表示光源在频域正交坐标上的位置表示,  $(r, \theta)$  为光源在频域极坐标上的位置表示, 极坐标中的  $(r, \theta)$  与正交坐标中的  $(f, g)$  等价,  $\tilde{\kappa}_{ns}$  为所述光源函数的频域投影系数,  $F_{ns}(\ )$  表示Fourier-Bessel正交基函数,  $\Sigma(\ )$  表示数学运算中的求和运算;

通过以下公式,将频域上的光瞳函数投影到Fourier-Bessel正交基函数上:

$$\tilde{h}(f, g) = \tilde{h}(r, \theta) = \sum_{ns} \tilde{\mu}_{ns} F_{ns}(r, \theta);$$

其中,  $\tilde{h}(\ )$  表示频域上的光瞳函数,  $\tilde{\mu}_{ns}$  为所述光瞳函数的频域投影系数;

通过以下公式,获取所述光源函数的频域投影系数:

$$\tilde{\kappa}_{ns} = 1 / \left[ \pi \left( J_n'(\lambda_{ns}) \right)^2 \right] \iint \tilde{\gamma}(r, \theta) F_{ns}^*(r, \theta) r dr d\theta;$$

其中,  $\tilde{\kappa}_{ns}$  为所述光源函数的频域投影系数,  $J_n'(\lambda_{ns})$  为第一类Bessel函数的导数,  $\lambda_{ns}$  表示n阶Bessel函数的第s个零根,  $F_{ns}^*(\ )$  表示  $F_{ns}(\ )$  的共轭复数,  $\iint(\ )$  表示二重积分运算;

通过以下公式,获取所述光瞳函数的频域投影系数:

$$\tilde{\mu}_{ns} = 1 / \left[ \pi \left( J_n'(\lambda_{ns}) \right)^2 \right] \iint \tilde{h}(r, \theta) F_{ns}^*(r, \theta) r dr d\theta;$$

其中,  $\tilde{\mu}_{ns}$  为所述光瞳函数的频域投影系数。

3. 根据权利要求2所述的方法, 其特征在于, 所述Fourier-Bessel正交基函数是频域上的一组基函数, 描述在极坐标上, 所述Fourier-Bessel正交基函数的表达式为:

$$F_{ns}(f, g) = F_{ns}(r, \theta) = J_n(\lambda_{ns}r) \exp(in\theta);$$

其中,  $F_{ns}()$  表示Fourier-Bessel正交基函数,  $J_n(\lambda_{ns}r)$  为第一类Bessel函数,  $\lambda_{ns}$  为n阶Bessel函数的第s个零根, 极坐标中的  $(r, \theta)$  与正交坐标中的  $(f, g)$  等价。

4. 根据权利要求2所述的方法, 其特征在于, 所述根据Fourier-Bessel正交基函数与Circle-Bessel正交基函数之间的变换关系、所述光源函数的频域投影系数以及所述光瞳函数的频域投影系数, 获取空间域上的光源函数、空间域上的光瞳函数、所述光源函数的空间域投影系数以及所述光瞳函数的空间域投影系数, 包括:

通过以下公式, 获取所述空间域上的光源函数以及所述光源函数的空间域投影系数:

$$\gamma(x, y) = \gamma(\rho, \varphi) = \sum_{ns} \kappa_{ns} C_{ns}(\rho, \varphi);$$

$$\kappa_{ns} = \tilde{\kappa}_{ns} \times K_{ns};$$

其中,  $\gamma()$  表示空间域上的光源函数,  $(x, y)$  表示光源在空间域正交坐标上的位置表示,  $(\rho, \varphi)$  为光源在空间域极坐标上的位置表示, 极坐标中的  $(\rho, \varphi)$  与正交坐标中的  $(x, y)$  等价,  $\kappa_{ns}$  为所述光源函数的空间域投影系数,  $C_{ns}()$  表示Circle-Bessel正交基函数,  $K_{ns}$  为所述Fourier-Bessel正交基函数与所述Circle-Bessel正交基函数之间进行傅里叶变换时的傅里叶变换系数, 所述Fourier-Bessel正交基函数与所述Circle-Bessel正交基函数之间的变换关系为傅里叶变换关系;

通过以下公式, 获取所述空间域上的光瞳函数以及所述光瞳函数的空间域投影系数:

$$h(x, y) = h(\rho, \varphi) = \sum_{ns} \mu_{ns} C_{ns}(\rho, \varphi);$$

$$\mu_{ns} = \tilde{\mu}_{ns} \times K_{ns};$$

其中,  $h()$  表示空间域上的光瞳函数,  $\mu_{ns}$  为所述光瞳函数的空间域投影系数。

5. 根据权利要求4所述的方法, 其特征在于, 所述Circle-Bessel正交基函数是空间域上的一组基函数, 所述Circle-Bessel正交基函数的表达式为:

$$C_{ns}(x, y) = C_{ns}(\rho, \varphi) = \frac{2\lambda_{n,s}}{J'_n(\lambda_{n,s})} \frac{J_n(\rho)}{\rho^2 - \lambda_{n,s}^2} e^{jn\varphi};$$

其中,  $C_{ns}()$  表示Circle-Bessel正交基函数,  $J'_n(\lambda_{n,s})$  为第一类Bessel函数的导数,  $\lambda_{n,s}$  为n阶Bessel函数的第s个零根, 且极坐标中的  $(\rho, \varphi)$  与正交坐标中的  $(x, y)$  等价;

通过以下公式, 获取所述Fourier-Bessel正交基函数与所述Circle-Bessel正交基函数之间的傅里叶变换关系:

$$F_{ns}(f, g) = K_{ns} \times \mathcal{F}[C_{ns}(x, y)];$$

其中,  $F_{ns}()$  表示Fourier-Bessel正交基函数,  $C_{ns}()$  表示Circle-Bessel正交基函数,  $\mathcal{F}[]$  表示傅里叶变换,  $K_{ns}$  为傅里叶变换系数;

通过以下公式, 获取所述傅里叶变换系数:

$$K_{ns} = \frac{4\pi}{[J'_n(\lambda_{ns})]^2}。$$

6. 根据权利要求4所述的方法,其特征在于,所述根据所述Circle-Bessel正交基函数,获取第一组预计算数据集,并根据所述第一组预计算数据集、所述空间域上的光源函数以及所述空间域上的光瞳函数,获取空间域上的交叉传递函数,包括:

所述第一组预计算数据集通过以下公式获取:

$$\alpha_{mt,pq} = \oint C_{ns}(x_1 - x_2, y_1 - y_2) C_{mt}^*(x_1, y_1) C_{pq}(-x_2, -y_2) dx_1 dx_2 dy_1 dy_2;$$

其中,  $\alpha_{mt,pq}$  为每一组Circle-Bessel正交基函数  $C_{ns}()$  对应的投影系数,且  $\alpha_{mt,pq} \in \text{Data1}$ ,  $\text{Data1}$  表示所述第一组预计算数据集,  $n, m, p$  分别表示Circle-Bessel正交基函数中对应第一类Bessel函数的阶数,且  $n, m, p \in [0, 32]$ ,  $s, t, q$  分别为相应阶的第一类Bessel函数对应的零根,且  $s, t, q \in [1, 60]$ ,  $C_{ns}()$ 、 $C_{mt}()$  以及  $C_{pq}()$  表示Circle-Bessel正交基函数,  $C_{mt}^*()$  为所述  $C_{mt}()$  的共轭复数,  $(x_1, y_1)$  与  $(x_2, y_2)$  分别表示空间域光源的两点;

根据所述第一组预计算数据集  $\text{Data1}$ , 获取基函数分解公式,所述基函数分解公式用于将一个Circle-Bessel正交基函数分解为两个Circle-Bessel正交基函数,所述基函数分解公式为:

$$C_{ns}(x_1 - x_2, y_1 - y_2) = \sum_{mt,pq} \alpha_{mt,pq} C_{mt}(x_1, y_1) C_{pq}^*(-x_2, -y_2);$$

其中,  $C_{pq}^*()$  为所述  $C_{pq}()$  的共轭复数;

根据所述基函数分解公式,通过以下公式,分解所述空间域上的光源函数:

$$\gamma(x_1 - x_2, y_1 - y_2) = \sum_{ns} \kappa_{ns} C_{ns}(x_1 - x_2, y_1 - y_2) = \sum_{ns,mt,pq} \kappa_{ns} \alpha_{mt,pq} C_{mt}(x_1, y_1) C_{pq}^*(-x_2, -y_2);$$

其中,  $\gamma()$  表示空间域上的光源函数,  $\kappa_{ns}$  为所述光源函数的空间域投影系数;

根据所述空间域上的光源函数的分解结果以及所述空间域上的光瞳函数,通过以下公式,获取所述空间域上的交叉传递函数:

$$\begin{aligned} TCC(x_1, y_1; x_2, y_2) &= \gamma(x_1 - x_2, y_1 - y_2) h(x_1, y_1) h^*(-x_2, -y_2) \\ &= \sum_{ns} \kappa_{ns} \sum_{mt,pq} \alpha_{mt,pq} C_{mt}(x_1, y_1) C_{pq}^*(-x_2, -y_2) \times \sum_{n's'} \mu_{n's'} C_{n's'}(x_1, y_1) ; \\ &\times \sum_{n''s''} \mu_{n''s''} C_{n''s''}^*(-x_2, -y_2) = \sum_{ns} \kappa_{ns} \alpha_{mt,pq} \mu_{n's'} \mu_{n''s''} C_{mt} C_{n's'} \times C_{pq}^* C_{n''s''}^* \end{aligned}$$

其中,  $TCC(x_1, y_1; x_2, y_2)$  表示所述交叉传递函数,  $n, n'$  及  $n''$  为对应第一类Bessel函数的阶,  $s, s'$  及  $s''$  为相应第一类Bessel函数对应的零根。

7. 根据权利要求6所述的方法,其特征在于,所述根据所述Circle-Bessel正交基函数,获取第二组预计算数据集,并根据所述第一组预计算数据集、所述第二组预计算数据集、所述交叉传递函数、所述光源函数的空间域投影系数以及所述光瞳函数的空间域投影系数,获取核函数的投影系数,包括:

所述第二组预计算数据集通过以下公式获取:

$$b_{pq} = \iint C_{ns}(x, y) C_{mt}(x, y) C_{pq}^*(x, y) dx dy;$$

其中,  $b_{pq}$  为不同的Circle-Bessel正交基函数  $C_{ns}()$   $C_{mt}()$  乘积对应的投影系数, 且  $b_{pq} \in \text{Data2}$ ,  $\text{Data2}$  表示所述第二组预计算数据集,  $C_{ns}()$ 、 $C_{mt}()$  以及  $C_{pq}()$  表示Circle-Bessel正交基函数;

根据所述第二组预计算数据集  $\text{Data2}$ , 将两个Circle-Bessel正交基函数的乘积投影到一个Circle-Bessel正交基函数上, 所述基函数乘积的投影结果为:

$$C_{ns}(x, y) C_{mt}(x, y) = \sum_{pq} b_{pq} C_{pq}(x, y);$$

根据所述第二组预计算数据集  $\text{Data2}$ 、所述基函数乘积的投影结果以及所述交叉传递函数, 通过以下公式, 获取核函数:

$$\phi_{i'}(x, y) = \sum_{ns} \beta_{ns} C_{ns}(x, y);$$

其中,  $\phi_{i'}(x, y)$  为所述核函数,  $i'$  为所述核函数的指标,  $\beta_{ns}$  为所述核函数的投影系数,  $C_{ns}()$  表示Circle-Bessel正交基函数;

通过以下公式, 获取所述核函数的投影系数:

$$\beta_{ns} = f(\kappa_{ns}, \mu_{n's'}, \mu_{n''s''}, \alpha_{mt, pq}, b_{pq});$$

其中,  $f()$  表示数学运算中的交叉相乘运算,  $\kappa_{ns}$  为所述光源函数的空间域投影系数,  $\mu_{n's'}$  以及  $\mu_{n''s''}$  表示对应不同阶数的Circle-Bessel正交基函数时, 所述光瞳函数的空间域投影系数,  $\alpha_{mt, pq} \in \text{Data1}$ ,  $b_{pq} \in \text{Data2}$ 。

8. 根据权利要求7所述的方法, 其特征在于, 所述获取掩模版的图形函数, 并根据所述掩模版的图形函数, 获取第三组预计算数据集, 包括:

根据掩模版图形的线性组合, 通过以下公式, 获取所述掩模版的图形函数:

$$M(x, y) = \sum_i c_i M^{rect}(x, y) + \sum_j c_j M^{trap}(x, y) + \sum_k c_k M^V(x, y);$$

其中,  $M(x, y)$  表示所述掩模版的图形函数,  $rect$  表示所述掩模版图形中的矩形,  $trap$  表示所述掩模版图形中的直角梯形,  $V$  表示所述掩模版图形中的V形,  $M^{rect}(x, y)$  表示所述掩模版图形中矩形的理想函数,  $M^{trap}(x, y)$  表示所述掩模版图形中直角梯形的理想函数,  $M^V(x, y)$  表示所述掩模版图形中V形的理想函数,  $c_i = \pm 1$ ,  $c_j = \pm 1$ ,  $c_k = \pm 1$ ,  $i$  为所述掩模版图形中矩形的指标,  $j$  为所述掩模版图形中直角梯形的指标,  $k$  为所述掩模版图形中V形的指标;

根据所述掩模版的图形函数, 通过以下公式, 获取所述第三组预计算数据集:

$$d_{ns}^{rect}(x, y) = C_{ns}(x, y) \otimes M^{rect}(x, y)$$

$$d_{ns}^{trap}(x, y) = C_{ns}(x, y) \otimes M^{trap}(x, y);$$

$$d_{ns}^V(x, y) = C_{ns}(x, y) \otimes M^V(x, y)$$

其中,  $d_{ns}^{rect}(x, y) \in \text{Data3}$ ,  $d_{ns}^{trap}(x, y) \in \text{Data3}$ ,  $d_{ns}^V(x, y) \in \text{Data3}$ ,  $\text{Data3}$  表示所述第三组预计算数据集,  $C_{ns}()$  表示所述Circle-Bessel正交基函数,  $\otimes$  表示数学运算中的卷积运算。

9. 根据权利要求8所述的方法, 其特征在于, 所述根据所述核函数的投影系数以及所述第三组预计算数据集, 获取晶圆表面的光强分布, 包括:

$$\begin{aligned}
I(x, y) &= \sum_{i'} \phi_{i'}(x, y) \otimes M(x, y) \\
&= \sum_{i'} \sum_{ns} \beta_{ns} C_{ns}(x, y) \otimes \left[ \sum_i c_i M^{rect}(x, y) + \sum_j c_j M^{trap}(x, y) + \sum_k c_k M^V(x, y) \right]; \\
&= \sum_{i'} \sum_{ns} \beta_{ns} \left[ \sum_i c_i d_{ns}^{rect}(x, y) + \sum_j c_j d_{ns}^{trap}(x, y) + \sum_k c_k d_{ns}^V(x, y) \right]
\end{aligned}$$

其中,  $I(x, y)$  表示所述晶圆表面的光强分布,  $\beta_{ns}$  为所述核函数的投影系数,  $i'$  为所述核函数的指标,  $d_{ns}^{rect}(x, y) \in Data3$ ,  $d_{ns}^{trap}(x, y) \in Data3$ ,  $d_{ns}^V(x, y) \in Data3$ ,  $Data3$  表示所述第三组预计算数据集。

10. 一种晶圆表面光强分布的快速获取装置, 其特征在于, 包括:

投影模块, 用于将频域上的光源函数以及频域上的光瞳函数, 分别投影到 Fourier-Bessel 正交基函数上, 并获取所述光源函数的频域投影系数以及所述光瞳函数的频域投影系数, 其中, 所述 Fourier-Bessel 正交基函数是频域上的一组基函数;

转换模块, 用于根据 Fourier-Bessel 正交基函数与 Circle-Bessel 正交基函数之间的变换关系、所述光源函数的频域投影系数以及所述光瞳函数的频域投影系数, 获取空间域上的光源函数、空间域上的光瞳函数、所述光源函数的空间域投影系数以及所述光瞳函数的空间域投影系数, 其中, 所述 Circle-Bessel 正交基函数是空间域上的一组基函数;

第一组预计算数据集获取模块, 用于根据所述 Circle-Bessel 正交基函数, 获取第一组预计算数据集, 并根据所述第一组预计算数据集、所述空间域上的光源函数以及所述空间域上的光瞳函数, 获取空间域上的交叉传递函数;

第二组预计算数据集获取模块, 用于根据所述 Circle-Bessel 正交基函数, 获取第二组预计算数据集, 并根据所述第一组预计算数据集、所述第二组预计算数据集、所述交叉传递函数、所述光源函数的空间域投影系数以及所述光瞳函数的空间域投影系数, 获取核函数的投影系数;

第三组预计算数据集获取模块, 用于获取掩模版的图形函数, 并根据所述掩模版的图形函数, 获取第三组预计算数据集;

光强分布获取模块, 用于根据所述核函数的投影系数以及所述第三组预计算数据集, 获取晶圆表面的光强分布。

## 一种晶圆表面光强分布的快速获取方法及装置

### 技术领域

[0001] 本申请涉及光刻技术领域,尤其涉及一种晶圆表面光强分布的快速获取方法及装置。

### 背景技术

[0002] 光刻工艺利用光化学反应原理,将预先设计在掩模版上的图形转印到晶圆表面,是集成电路制造中的一个重要工艺步骤。光刻工艺过程通过光刻模型实现,参见图1所示的结构示意图,光刻模型主要包括:光源、聚光透镜、掩模版、投影光瞳、投影透镜以及晶圆。结合光刻模型,光刻工艺过程包括:从每一光源发出的光线经聚光透镜后成为平行光,该平行光照射到掩模版上,使掩模版上的图案,经过投影光瞳以及投影透镜,在晶圆表面上成像,因此晶圆表面又称为成像平面。其中,光源为一系列互不相干的点光源组成,投影光瞳用于限定所能通过的光线的频率范围,光源在成像平面上形成了光强分布。

[0003] 随着光刻系统中的光源以及掩模版的图案日趋复杂,在实际的光刻工艺过程中,由于光的衍射和干涉现象,会产生光学邻近效应,这种光学邻近效应会导致成像平面上的图案和掩模版上的图案存在一定的误差,这种误差将直接影响最终集成电路的性能。目前,通过计算光刻能够晶圆表面上的光强分布进行计算,以尽量减小成像平面上图案和掩模版上图案的误差。在计算光刻中,最初使用的晶圆表面光强分布的计算方法是,以Hopkins公式为基础,根据光源函数、光瞳函数以及掩模版的理想函数进行光强分布的计算,在Hopkins公式中通过交叉传递(Transmission Cross Coefficient, TCC)函数描述光刻模型中的光学传输性质,TCC函数是关于光源函数与光瞳函数的四维卷积函数运算,由于该函数涉及四维运算,因此,如果直接通过Hopkins公式,计算晶圆表面的光强分布,将会产生相当大的运算复杂度和运行时间。

[0004] 针对上述问题,现有技术又发展了一种快速算法,这种快速算法的流程是:将光源函数与光瞳函数投影在Bessel函数相关的基函数上,通过对投影系数的运算获得TCC函数,在此基础上,针对TCC函数进行分解,将分解所得的核函数与掩模版的理想函数进行卷积,计算得到晶圆表面的光强分布。当光刻模型中的任意工艺参数发生变化时,例如掩模版上的图形发生变化时,重新执行上述计算流程,便可计算出晶圆表面的光强分布。这种算法避免了TCC函数的四维交叉运算,能够加快晶圆表面光强分布的计算速度。

[0005] 但是,申请人在本发明的研究过程中发现,现有技术提供的晶圆表面光强分布的快速计算方法中,当光刻模型中的任意工艺参数发生变化时,尤其是在每一次更换掩模版时,都需要重新执行上述算法的流程,重新计算晶圆表面的光强分布。在需频繁更改掩模版的情况下,这种算法的计算时间将极大增加,尤其是在掩模版的图形文件达几百个GB,掩模版的理想函数复杂度较高的情况下,上述技术提供的计算方法中,针对晶圆表面光强分布的计算速度无法满足工艺需求。

## 发明内容

[0006] 为了解决现有技术中提供的晶圆表面光强分布的快速计算方法的计算速度,无法满足工艺要求的问题,本申请通过以下各个实施例公开一种晶圆表面光强分布的快速获取方法及装置。

[0007] 在本申请的第一方面,公开一种晶圆表面光强分布的快速获取方法,所述方法包括:

[0008] 将频域上的光源函数以及频域上的光瞳函数,分别投影到Fourier-Bessel正交基函数上,并获取所述光源函数的频域投影系数以及所述光瞳函数的频域投影系数,其中,所述Fourier-Bessel正交基函数是频域上的一组基函数;

[0009] 根据Fourier-Bessel正交基函数与Circle-Bessel正交基函数之间的变换关系、所述光源函数的频域投影系数以及所述光瞳函数的频域投影系数,获取空间域上的光源函数、空间域上的光瞳函数、所述光源函数的空间域投影系数以及所述光瞳函数的空间域投影系数,其中,所述Circle-Bessel正交基函数是空间域上的一组基函数;

[0010] 根据所述Circle-Bessel正交基函数,获取第一组预计算数据集,并根据所述第一组预计算数据集、所述空间域上的光源函数以及所述空间域上的光瞳函数,获取空间域上的交叉传递函数;

[0011] 根据所述Circle-Bessel正交基函数,获取第二组预计算数据集,并根据所述第一组预计算数据集、所述第二组预计算数据集、所述交叉传递函数、所述光源函数的空间域投影系数以及所述光瞳函数的空间域投影系数,获取核函数的投影系数;

[0012] 获取掩模版的图形函数,并根据所述掩模版的图形函数,获取第三组预计算数据集;

[0013] 根据所述核函数的投影系数以及所述第三组预计算数据集,获取晶圆表面的光强分布。

[0014] 可选的,所述将频域上的光源函数以及频域上的光瞳函数,分别投影到Fourier-Bessel正交基函数上,并获取所述光源函数的频域投影系数以及所述光瞳函数的频域投影系数,包括:

[0015] 通过以下公式,将频域上的光源函数投影到Fourier-Bessel正交基函数上:

$$[0016] \quad \tilde{\gamma}(f, g) = \tilde{\gamma}(r, \theta) = \sum_{ns} \tilde{\kappa}_{ns} F_{ns}(r, \theta);$$

[0017] 其中,  $\tilde{\gamma}(\ )$  表示频域上的光源函数,  $(f, g)$  表示光源在频域正交坐标上的位置表示,  $(r, \theta)$  为光源在频域极坐标上的位置表示,极坐标中的  $(r, \theta)$  与正交坐标中的  $(f, g)$  等价,  $\tilde{\kappa}_{ns}$  为所述光源函数的频域投影系数,  $F_{ns}(\ )$  表示Fourier-Bessel正交基函数,  $\Sigma(\ )$  表示数学运算中的求和运算;

[0018] 通过以下公式,将频域上的光瞳函数投影到Fourier-Bessel正交基函数上:

$$[0019] \quad \tilde{h}(f, g) = \tilde{h}(r, \theta) = \sum_{ns} \tilde{\mu}_{ns} F_{ns}(r, \theta);$$

[0020] 其中,  $\tilde{h}(\ )$  表示频域上的光瞳函数,  $\tilde{\mu}_{ns}$  为所述光瞳函数的频域投影系数;

[0021] 通过以下公式,获取所述光源函数的频域投影系数:

$$[0022] \quad \tilde{\kappa}_{ns} = 1 / \left[ \pi \left( J_n'(\lambda_{ns}) \right)^2 \right] \iint \tilde{\gamma}(r, \theta) F_{ns}^*(r, \theta) r dr d\theta ;$$

[0023] 其中,  $\tilde{\kappa}_{ns}$  为所述光源函数的频域投影系数,  $J_n'(\lambda_{ns})$  为第一类Bessel函数的导数,  $\lambda_{ns}$  表示n阶Bessel函数的第s个零根,  $F_{ns}^*( )$  表示  $F_{ns}( )$  的共轭复数,  $\iint( )$  表示二重积分运算;

[0024] 通过以下公式, 获取所述光瞳函数的频域投影系数:

$$[0025] \quad \tilde{\mu}_{ns} = 1 / \left[ \pi \left( J_n'(\lambda_{ns}) \right)^2 \right] \iint \tilde{h}(r, \theta) F_{ns}^*(r, \theta) r dr d\theta ;$$

[0026] 其中,  $\tilde{\mu}_{ns}$  为所述光瞳函数的频域投影系数。

[0027] 可选的, 所述Fourier-Bessel正交基函数是频域上的一组基函数, 描述在极坐标上, 所述Fourier-Bessel正交基函数的表达式为:

$$[0028] \quad F_{ns}(f, g) = F_{ns}(r, \theta) = J_n(\lambda_{ns}r) \exp(in\theta) ;$$

[0029] 其中,  $F_{ns}( )$  表示Fourier-Bessel正交基函数,  $J_n(\lambda_{ns}r)$  为第一类Bessel函数,  $\lambda_{ns}$  为n阶Bessel函数的第s个零根, 极坐标中的  $(r, \theta)$  与正交坐标中的  $(f, g)$  等价。

[0030] 可选的, 所述根据Fourier-Bessel正交基函数与Circle-Bessel正交基函数之间的变换关系、所述光源函数的频域投影系数以及所述光瞳函数的频域投影系数, 获取空间域上的光源函数、空间域上的光瞳函数、所述光源函数的空间域投影系数以及所述光瞳函数的空间域投影系数, 包括:

[0031] 通过以下公式, 获取所述空间域上的光源函数以及所述光源函数的空间域投影系数:

$$[0032] \quad \gamma(x, y) = \gamma(\rho, \varphi) = \sum_{ns} \kappa_{ns} C_{ns}(\rho, \varphi);$$

$$[0033] \quad \kappa_{ns} = \tilde{\kappa}_{ns} \times K_{ns} ;$$

[0034] 其中,  $\gamma( )$  表示空间域上的光源函数,  $(x, y)$  表示光源在空间域正交坐标上的位置表示,  $(\rho, \varphi)$  为光源在空间域极坐标上的位置表示, 极坐标中的  $(\rho, \varphi)$  与正交坐标中的  $(x, y)$  等价,  $\kappa_{ns}$  为所述光源函数的空间域投影系数,  $C_{ns}( )$  表示Circle-Bessel正交基函数,  $K_{ns}$  为所述Fourier-Bessel正交基函数与所述Circle-Bessel正交基函数之间进行傅里叶变换时的傅里叶变换系数, 所述Fourier-Bessel正交基函数与所述Circle-Bessel正交基函数之间的变换关系为傅里叶变换关系;

[0035] 通过以下公式, 获取所述空间域上的光瞳函数以及所述光瞳函数的空间域投影系数:

$$[0036] \quad h(x, y) = h(\rho, \varphi) = \sum_{ns} \mu_{ns} C_{ns}(\rho, \varphi);$$

$$[0037] \quad \mu_{ns} = \tilde{\mu}_{ns} \times K_{ns} ;$$

[0038] 其中,  $h( )$  表示空间域上的光瞳函数,  $\mu_{ns}$  为所述光瞳函数的空间域投影系数。

[0039] 可选的, 所述Circle-Bessel正交基函数是空间域上的一组基函数, 所述Circle-Bessel正交基函数的表达式为:

$$[0040] \quad C_{ns}(x, y) = C_{ns}(\rho, \varphi) = \frac{2\lambda_{n,s}}{J'_n(\lambda_{n,s})} \frac{J_n(\rho)}{\rho^2 - \lambda_{n,s}^2} e^{jn\varphi};$$

[0041] 其中,  $C_{ns}()$  表示Circle-Bessel正交基函数,  $J'_n(\lambda_{n,s})$  为第一类Bessel函数的导数,  $\lambda_{n,s}$  为n阶Bessel函数的第s个零根, 且极坐标中的  $(\rho, \varphi)$  与正交坐标中的  $(x, y)$  等价;

[0042] 通过以下公式, 获取所述Fourier-Bessel正交基函数与所述Circle-Bessel正交基函数之间的傅里叶变换关系:

$$[0043] \quad F_{ns}(f, g) = K_{ns} \times \mathcal{F}[C_{ns}(x, y)];$$

[0044] 其中,  $F_{ns}()$  表示Fourier-Bessel正交基函数,  $C_{ns}()$  表示Circle-Bessel正交基函数,  $\mathcal{F}[]$  表示傅里叶变换,  $K_{ns}$  为傅里叶变换系数;

[0045] 通过以下公式, 获取所述傅里叶变换系数:

$$[0046] \quad K_{ns} = \frac{4\pi}{[J'_n(\lambda_{n,s})]^2}.$$

[0047] 可选的, 所述根据所述Circle-Bessel正交基函数, 获取第一组预计算数据集, 并根据所述第一组预计算数据集、所述空间域上的光源函数以及所述空间域上的光瞳函数, 获取空间域上的交叉传递函数, 包括:

[0048] 所述第一组预计算数据集通过以下公式获取:

$$[0049] \quad \alpha_{mt,pq} = \oint C_{ns}(x_1 - x_2, y_1 - y_2) C_{mt}^*(x_1, y_1) C_{pq}(-x_2, -y_2) dx_1 dx_2 dy_1 dy_2;$$

[0050] 其中,  $\alpha_{mt,pq}$  为每一组Circle-Bessel正交基函数  $C_{ns}()$  对应的投影系数, 且  $\alpha_{mt,pq} \in \text{Data1}$ ,  $\text{Data1}$  表示所述第一组预计算数据集,  $n, m, p$  分别表示Circle-Bessel正交基函数中对应第一类Bessel函数的阶数, 且  $n, m, p \in [0, 32]$ ,  $s, t, q$  分别为相应阶的第一类Bessel函数对应的零根, 且  $s, t, q \in [1, 60]$ ,  $C_{ns}()$ 、 $C_{mt}()$  以及  $C_{pq}()$  表示Circle-Bessel正交基函数,  $C_{mt}^*()$  为所述  $C_{mt}()$  的共轭复数,  $(x_1, y_1)$  与  $(x_2, y_2)$  分别表示空间域上光源的两点;

[0051] 根据所述第一组预计算数据集  $\text{Data1}$ , 获取基函数分解公式, 所述基函数分解公式用于将一个Circle-Bessel正交基函数分解为两个Circle-Bessel正交基函数, 所述基函数分解公式为:

$$[0052] \quad C_{ns}(x_1 - x_2, y_1 - y_2) = \sum_{mt,pq} \alpha_{mt,pq} C_{mt}(x_1, y_1) C_{pq}^*(-x_2, -y_2);$$

[0053] 其中,  $C_{pq}^*()$  为所述  $C_{pq}()$  的共轭复数;

[0054] 根据所述基函数分解公式, 通过以下公式, 分解所述空间域上的光源函数:

$$[0055] \quad \gamma(x_1 - x_2, y_1 - y_2) = \sum_{ns} \kappa_{ns} C_{ns}(x_1 - x_2, y_1 - y_2) = \sum_{ns, mt, pq} \kappa_{ns} \alpha_{mt,pq} C_{mt}(x_1, y_1) C_{pq}^*(-x_2, -y_2);$$

[0056] 其中,  $\gamma()$  表示空间域上的光源函数,  $\kappa_{ns}$  为所述光源函数的空间域投影系数;

[0057] 根据所述空间域上的光源函数的分解结果以及所述空间域上的光瞳函数, 通过以下公式, 获取所述空间域上的交叉传递函数:

$$\begin{aligned}
TCC(x_1, y_1; x_2, y_2) &= \gamma(x_1 - x_2, y_1 - y_2) h(x_1, y_1) h^*(-x_2, -y_2) \\
[0058] \quad &= \sum_{ns} \kappa_{ns} \sum_{mt, pq} \alpha_{mt, pq} C_{mt}(x_1, y_1) C_{pq}^*(-x_2, -y_2) \times \sum_{n's'} \mu_{n's'} C_{n's'}(x_1, y_1) ; \\
&\times \sum_{n''s''} \mu_{n''s''} C_{n''s''}^*(-x_2, -y_2) = \sum \kappa_{ns} \alpha_{mt, pq} \mu_{n's'} \mu_{n''s''} C_{mt} C_{n's'} \times C_{pq}^* C_{n''s''}^*
\end{aligned}$$

[0059] 其中,  $TCC(x_1, y_1; x_2, y_2)$  表示所述交叉传递函数,  $n, n'$  及  $n''$  为对应第一类Bessel函数的阶,  $s, s'$  及  $s''$  为相应第一类Bessel函数对应的零根。

[0060] 可选的, 所述根据所述Circle-Bessel正交基函数, 获取第二组预计算数据集, 并根据所述第一组预计算数据集、所述第二组预计算数据集、所述交叉传递函数、所述光源函数的空间域投影系数以及所述光瞳函数的空间域投影系数, 获取核函数的投影系数, 包括:

[0061] 所述第二组预计算数据集通过以下公式获取:

$$[0062] \quad b_{pq} = \iint C_{ns}(x, y) C_{mt}(x, y) C_{pq}^*(x, y) dx dy ;$$

[0063] 其中,  $b_{pq}$  为不同的Circle-Bessel正交基函数  $C_{ns}()$   $C_{mt}()$  乘积对应的投影系数, 且  $b_{pq} \in \text{Data2}$ ,  $\text{Data2}$  表示所述第二组预计算数据集,  $C_{ns}()$ 、 $C_{mt}()$  以及  $C_{pq}()$  表示Circle-Bessel正交基函数;

[0064] 根据所述第二组预计算数据集  $\text{Data2}$ , 将两个Circle-Bessel正交基函数的乘积投影到一个Circle-Bessel正交基函数上, 所述基函数乘积的投影结果为:

$$[0065] \quad C_{ns}(x, y) C_{mt}(x, y) = \sum_{pq} b_{pq} C_{pq}(x, y) ;$$

[0066] 根据所述第二组预计算数据集  $\text{Data2}$ 、所述基函数乘积的投影结果以及所述交叉传递函数, 通过以下公式, 获取核函数:

$$[0067] \quad \phi_{i'}(x, y) = \sum_{ns} \beta_{ns} C_{ns}(x, y) ;$$

[0068] 其中,  $\phi_{i'}(x, y)$  为所述核函数,  $i'$  为所述核函数的指标,  $\beta_{ns}$  为所述核函数的投影系数,  $C_{ns}()$  表示Circle-Bessel正交基函数;

[0069] 通过以下公式, 获取所述核函数的投影系数:

$$[0070] \quad \beta_{ns} = f(\kappa_{ns}, \mu_{n's'}, \mu_{n''s''}, \alpha_{mt, pq}, b_{pq}) ;$$

[0071] 其中,  $f()$  表示数学运算中的交叉相乘运算,  $\kappa_{ns}$  为所述光源函数的空间域投影系数,  $\mu_{n's'}$  以及  $\mu_{n''s''}$  表示对应不同阶数的Circle-Bessel正交基函数时, 所述光瞳函数的空间域投影系数,  $\alpha_{mt, pq} \in \text{Data1}$ ,  $b_{pq} \in \text{Data2}$ 。

[0072] 可选的, 所述获取掩模版的图形函数, 并根据所述掩模版的图形函数, 获取第三组预计算数据集, 包括:

[0073] 根据掩模版图形的线性组合, 通过以下公式, 获取所述掩模版的图形函数:

$$[0074] \quad M(x, y) = \sum_i c_i M^{\text{rect}}(x, y) + \sum_j c_j M^{\text{trap}}(x, y) + \sum_k c_k M^V(x, y) ;$$

[0075] 其中,  $M(x, y)$  表示所述掩模版的图形函数,  $\text{rect}$  表示所述掩模版图形中的矩形,  $\text{trap}$  表示所述掩模版图形中的直角梯形,  $V$  表示所述掩模版图形中的V形,  $M^{\text{rect}}(x, y)$  表示所述掩模版图形中矩形的理想函数,  $M^{\text{trap}}(x, y)$  表示所述掩模版图形中直角梯形的理想函数,  $M^V(x, y)$  表示所述掩模版图形中V形的理想函数,  $c_i = \pm 1$ ,  $c_j = \pm 1$ ,  $c_k = \pm 1$ ,  $i$  为所述掩模版图形中矩形的指标,  $j$  为所述掩模版图形中直角梯形的指标,  $k$  为所述掩模版图形中V形的指

标;

[0076] 根据所述掩模版的图形函数,通过以下公式,获取所述第三组预计算数据集:

$$d_{ns}^{rect}(x,y) = C_{ns}(x,y) \otimes M^{rect}(x,y)$$

[0077]  $d_{ns}^{trap}(x,y) = C_{ns}(x,y) \otimes M^{trap}(x,y)$ ;

$$d_{ns}^V(x,y) = C_{ns}(x,y) \otimes M^V(x,y)$$

[0078] 其中,  $d_{ns}^{rect}(x,y) \in Data3$ ,  $d_{ns}^{trap}(x,y) \in Data3$ ,  $d_{ns}^V(x,y) \in Data3$ , Data3表示所述第三组预计算数据集,  $C_{ns}()$ 表示所述Circle-Bessel正交基函数,  $\otimes$ 表示数学运算中的卷积运算。

[0079] 可选的,所述根据所述核函数的投影系数以及所述第三组预计算数据集,获取晶圆表面的光强分布,包括:

$$I(x,y) = \sum_{i'} \phi_{i'}(x,y) \otimes M(x,y)$$

$$\begin{aligned} [0080] \quad &= \sum_{i'} \sum_{ns} \beta_{ns} C_{ns}(x,y) \otimes \left[ \sum_i c_i M^{rect}(x,y) + \sum_j c_j M^{trap}(x,y) + \sum_k c_k M^V(x,y) \right]; \\ &= \sum_{i'} \sum_{ns} \beta_{ns} \left[ \sum_i c_i d_{ns}^{rect}(x,y) + \sum_j c_j d_{ns}^{trap}(x,y) + \sum_k c_k d_{ns}^V(x,y) \right] \end{aligned}$$

[0081] 其中,  $I(x,y)$ 表示所述晶圆表面的光强分布,  $\beta_{ns}$ 为所述核函数的投影系数,  $i'$ 为所述核函数的指标,  $d_{ns}^{rect}(x,y) \in Data3$ ,  $d_{ns}^{trap}(x,y) \in Data3$ ,  $d_{ns}^V(x,y) \in Data3$ , Data3表示所述第三组预计算数据集。

[0082] 在本申请的第二方面,公开一种晶圆表面光强分布的快速获取装置,所述装置包括:

[0083] 投影模块,用于将频域上的光源函数以及频域上的光瞳函数,分别投影到Fourier-Bessel正交基函数上,并获取所述光源函数的频域投影系数以及所述光瞳函数的频域投影系数,其中,所述Fourier-Bessel正交基函数是频域上的一组基函数;

[0084] 转换模块,用于根据Fourier-Bessel正交基函数与Circle-Bessel正交基函数之间的变换关系、所述光源函数的频域投影系数以及所述光瞳函数的频域投影系数,获取空间域上的光源函数、空间域上的光瞳函数、所述光源函数的空间域投影系数以及所述光瞳函数的空间域投影系数,其中,所述Circle-Bessel正交基函数是空间域上的一组基函数;

[0085] 第一组预计算数据集获取模块,用于根据所述Circle-Bessel正交基函数,获取第一组预计算数据集,并根据所述第一组预计算数据集、所述空间域上的光源函数以及所述空间域上的光瞳函数,获取空间域上的交叉传递函数;

[0086] 第二组预计算数据集获取模块,用于根据所述Circle-Bessel正交基函数,获取第二组预计算数据集,并根据所述第一组预计算数据集、所述第二组预计算数据集、所述交叉传递函数、所述光源函数的空间域投影系数以及所述光瞳函数的空间域投影系数,获取核函数的投影系数;

[0087] 第三组预计算数据集获取模块,用于获取掩模版的图形函数,并根据所述掩模版的图形函数,获取第三组预计算数据集;

[0088] 光强分布获取模块,用于根据所述核函数的投影系数以及所述第三组预计算数据集,获取晶圆表面的光强分布。

[0089] 通过上述技术方案可知,本申请公开了一种晶圆表面光强分布的快速获取方法及装置,通过将频域上的光源函数以及频域上的光瞳函数,分别投影到Fourier-Bessel正交基函数上,获取所述光源函数的频域投影系数以及所述光瞳函数的频域投影系数。然后,根据Fourier-Bessel正交基函数与Circle-Bessel正交基函数之间的变换关系,获取所述光源函数的空间域投影系数以及所述光瞳函数的空间域投影系数。接着,获取第一组预计算数据集,并根据所述第一组预计算数据集,获取交叉传递函数。然后,根据获取的第二组预计算数据集、所述交叉传递函数、所述第一组预计算数据集、所述光源函数的空间域投影系数以及所述光瞳函数的空间域投影系数,获取核函数的投影系数。然后,根据所获取掩模版的图形函数,获取第三组预计算数据集。最后,根据所述核函数的投影系数以及所述第三组预计算数据集,获取晶圆表面的光强分布。

[0090] 通过本申请公开的一种晶圆表面光强分布的快速获取方法,将最终计算晶圆表面光强分布的公式,简化为核函数的投影系数与所述第三组预计算数据集之间的运算,能够根据实际工艺生产情况,快速获取晶圆表面的光强分布。其中,所述核函数的投影系数为光源函数的空间域投影系数、光瞳函数的空间域投影系数、第一组预计算数据集以及第二组预计算数据集交叉相乘的结果,第一组预计算数据集为预先计算好的每一组Circle-Bessel正交基函数对应的投影系数,第二组预计算数据集是预先计算好的不同的Circle-Bessel正交基函数乘积对应的投影系数。当光刻模型中的任意工艺参数发生变化时,即光源函数的空间域投影系数以及光瞳函数的空间域投影系数发生相应变化,此时,不用重新执行整个计算流程,仅需考虑交叉相乘运算中的相应两个投影系数的变化,便能够快速计算出核函数的投影系数。另外,本申请中获取的第三组预计算数据集能够表征任意的掩模版图形,在实际生产过程中,不管掩模版的图形是什么形状,都能通过本申请建立的第三组预计算数据集进行描述,也就是说,本申请中所建立的第三组预计算数据集相当于一个表格,这个表格中包含了任意形状的掩模版图案的表征方式,即包含了具有任意形状的掩模版的图形函数,而所述具有任意形状的掩模版的图形函数进一步对应了光强分布的大小。在进行晶圆表面光强分布的计算时,若更换掩模版,或者工艺参数发生了改变,不用重新执行整个计算流程,仅需根据光源函数的空间域投影系数以及光瞳函数的空间域投影系数的变化,进行相应的交叉运算,获取核函数的投影系数,然后根据实际掩模版的图形,通过查表,即查取第三组预计算数据集,获取相应的掩模版图形函数,进而快速获取晶圆表面的光强分布,实际工艺生产中,本申请公开的一种晶圆表面光强分布的快速获取方法及装置能够满足工艺要求。

## 附图说明

[0091] 为了更清楚地说明本申请的技术方案,下面将对实施例中所需要使用的附图作简单地介绍,显而易见地,对于本领域普通技术人员而言,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。

[0092] 图1为现有技术公开的光刻模型结构示意图;

[0093] 图2为本申请公开的一种晶圆表面光强分布的快速获取方法的工作流程示意图;

[0094] 图3为本申请公开的一种晶圆表面光强分布的快速获取方法中,Fourier-Bessel正交基函数的示意图;

[0095] 图4为本申请公开的一种晶圆表面光强分布的快速获取方法中,Circle-Bessel正交基函数的示意图;

[0096] 图5为本申请公开的一种晶圆表面光强分布的快速获取方法中,掩模版图形划分的示意图;

[0097] 图6为本申请公开的一种晶圆表面光强分布的快速获取方法中,矩形表征简单多边形的示意图;

[0098] 图7为本申请公开的一种晶圆表面光强分布的快速获取方法中,第三组预计算数据集中矩形图形的数据建立示意图;

[0099] 图8为本申请公开的一种晶圆表面光强分布的快速获取方法中,第三组预计算数据集的示意图;

[0100] 图9为本申请公开的一种晶圆表面光强分布的快速获取方法中,四类直角三角形的示意图;

[0101] 图10为本申请公开的一种晶圆表面光强分布的快速获取方法中,使用第三组预计算数据集计算光强示意图;

[0102] 图11为本申请公开的一种晶圆表面光强分布的快速获取方法中,掩模版在晶圆表面光强分布的轮廓示意图。

### 具体实施方式

[0103] 为了解决现有技术中提供的晶圆表面光强分布的快速计算方法的计算速度,无法满足工艺要求的问题,本申请通过以下各个实施例公开一种晶圆表面光强分布的快速获取方法及装置。

[0104] 本申请第一实施例公开一种晶圆表面光强分布的快速获取方法,参见图2所示的工作流程示意图,所述方法包括:

[0105] 步骤S11,将频域上的光源函数以及频域上的光瞳函数,分别投影到Fourier-Bessel正交基函数上,并获取所述光源函数的频域投影系数以及所述光瞳函数的频域投影系数,其中,所述Fourier-Bessel(傅里叶-贝塞尔)正交基函数是频域上的一组基函数。

[0106] 作为示例,本申请实施例中的光源为简单的环形光源,其内径 $\sigma_{in}=0.2$ ,其外径 $\sigma_{out}=0.6$ ,该光源在频域上的函数为:

$$[0107] \quad \tilde{\gamma}(f, g) = \begin{cases} 1, \sqrt{f^2 + g^2} \in [\sigma_{in}, \sigma_{out}] \\ 0, \text{其它} \end{cases};$$

[0108] 其中,  $(f, g)$  为光源在频域正交坐标上的位置表示,  $f$  表示光源在频域正交坐标中的横坐标大小,  $g$  表示光源在频域正交坐标中的纵坐标大小。

[0109] 光瞳函数为:

$$[0110] \quad \tilde{h}(f, g) = \begin{cases} 1, \sqrt{f^2 + g^2} \leq 1 \\ 0, \text{其它} \end{cases}。$$

[0111] 步骤S12,根据Fourier-Bessel正交基函数与Circle-Bessel正交基函数之间的变换关系、所述光源函数的频域投影系数以及所述光瞳函数的频域投影系数,获取空间域上的光源函数、空间域上的光瞳函数、所述光源函数的空间域投影系数以及所述光瞳函数的空间域投影系数,其中,所述Circle-Bessel正交基函数是空间域上的一组基函数。

[0112] 步骤S13,根据所述Circle-Bessel正交基函数,获取第一组预计算数据集,并根据所述第一组预计算数据集、所述空间域上的光源函数以及所述空间域上的光瞳函数,获取空间域上的交叉传递函数。

[0113] 步骤S14,根据所述Circle-Bessel正交基函数,获取第二组预计算数据集,并根据所述第一组预计算数据集、所述第二组预计算数据集、所述交叉传递函数、所述光源函数的空间域投影系数以及所述光瞳函数的空间域投影系数,获取核函数的投影系数。

[0114] 步骤S15,获取掩模版的图形函数,并根据所述掩模版的图形函数,获取第三组预计算数据集。

[0115] 步骤S16,根据所述核函数的投影系数以及所述第三组预计算数据集,获取晶圆表面的光强分布。

[0116] 由上述技术方案可知,本申请公开了一种晶圆表面光强分布的快速获取方法,通过将频域上的光源函数以及频域上的光瞳函数,分别投影到Fourier-Bessel正交基函数上,获取所述光源函数的频域投影系数以及所述光瞳函数的频域投影系数。然后,根据Fourier-Bessel正交基函数与Circle-Bessel正交基函数之间的变换关系,获取所述光源函数的空间域投影系数以及所述光瞳函数的空间域投影系数。接着,获取第一组预计算数据集,并根据所述第一组预计算数据集,获取交叉传递函数。然后,根据获取的第二组预计算数据集、所述交叉传递函数、所述第一组预计算数据集、所述光源函数的空间域投影系数以及所述光瞳函数的空间域投影系数,获取核函数的投影系数。然后,根据所获取掩模版的图形函数,获取第三组预计算数据集。最后,根据所述核函数的投影系数以及所述第三组预计算数据集,获取晶圆表面的光强分布。

[0117] 通过本申请公开的一种晶圆表面光强分布的快速获取方法,将最终计算晶圆表面光强分布的公式,简化为核函数的投影系数与所述第三组预计算数据集之间的运算,能够根据实际工艺生产情况,快速获取晶圆表面的光强分布。其中,所述核函数的投影系数为光源函数的空间域投影系数、光瞳函数的空间域投影系数、第一组预计算数据集以及第二组预计算数据集交叉相乘的结果,第一组预计算数据集为预先计算好的每一组Circle-Bessel正交基函数对应的投影系数,第二组预计算数据集是预先计算好的不同的Circle-Bessel正交基函数乘积对应的投影系数。当光刻模型中的任意工艺参数发生变化时,即光源函数的空间域投影系数以及光瞳函数的空间域投影系数发生相应变化,此时,不用重新执行整个计算流程,仅需考虑交叉相乘运算中的相应两个投影系数的变化,便能够快速计算出核函数的投影系数。另外,本申请中获取的第三组预计算数据集能够表征任意的掩模版图形,在实际生产过程中,不管掩模版的图形是什么形状,都能通过本申请建立的第三组预计算数据集进行描述,也就是说,本申请中所建立的第三组预计算数据集相当于一个表格,这个表格中包含了任意形状的掩模版图案的表征方式,即包含了具有任意形状的掩模版的图形函数,而所述具有任意形状的掩模版的图形函数能够进一步对应光强分布的大小。在进行晶圆表面光强分布的计算时,若更换掩模版,或者工艺参数发生了改变,不用重

新执行整个计算流程, 仅需根据光源函数的空间域投影系数以及光瞳函数的空间域投影系数的变化, 进行相应的交叉运算, 获取核函数的投影系数, 然后根据实际掩模版的图形, 通过查表, 即查取第三组预计算数据集, 获取相应的掩模版图形函数, 进而快速获取晶圆表面的光强分布, 实际工艺生产中, 本申请公开的一种晶圆表面光强分布的快速获取方法及装置能够满足工艺要求。

[0118] 进一步的, 所述将频域上的光源函数以及频域上的光瞳函数, 分别投影到Fourier-Bessel正交基函数上, 并获取所述光源函数的频域投影系数以及所述光瞳函数的频域投影系数, 包括:

[0119] 通过以下公式, 将频域上的光源函数投影到Fourier-Bessel正交基函数上:

$$[0120] \quad \tilde{\gamma}(f, g) = \tilde{\gamma}(r, \theta) = \sum_{ns} \tilde{\kappa}_{ns} F_{ns}(r, \theta);$$

[0121] 其中,  $\tilde{\gamma}(\ )$  表示频域上的光源函数,  $(f, g)$  表示光源在频域正交坐标上的位置表示,  $f$  表示光源在频域正交坐标中的横坐标大小,  $g$  表示光源在频域正交坐标中的纵坐标大小,  $(r, \theta)$  为光源在频域极坐标上的位置表示,  $r$  表示光源在频域极坐标中的极径大小,  $\theta$  表示光源在频域极坐标中的极角大小, 极坐标中的  $(r, \theta)$  与正交坐标中的  $(f, g)$  等价,  $\tilde{\kappa}_{ns}$  为所述光源函数的频域投影系数,  $F_{ns}(\ )$  表示Fourier-Bessel正交基函数,  $\Sigma(\ )$  表示数学运算中的求和运算。

[0122] 通过以下公式, 将频域上的光瞳函数投影到Fourier-Bessel正交基函数上:

$$[0123] \quad \tilde{h}(f, g) = \tilde{h}(r, \theta) = \sum_{ns} \tilde{\mu}_{ns} F_{ns}(r, \theta);$$

[0124] 其中,  $\tilde{h}(\ )$  表示频域上的光瞳函数,  $\tilde{\mu}_{ns}$  为所述光瞳函数的频域投影系数。

[0125] 通过以下公式, 获取所述光源函数的频域投影系数:

$$[0126] \quad \tilde{\kappa}_{ns} = 1 / \left[ \pi \left( J_n'(\lambda_{ns}) \right)^2 \right] \iint \tilde{\gamma}(r, \theta) F_{ns}^*(r, \theta) r dr d\theta;$$

[0127] 其中,  $\tilde{\kappa}_{ns}$  为所述光源函数的频域投影系数,  $J_n'(\lambda_{ns})$  为第一类Bessel函数的导数,  $\lambda_{ns}$  表示n阶Bessel函数的第s个零根,  $F_{ns}^*(\ )$  表示  $F_{ns}(\ )$  的共轭复数,  $\iint(\ )$  表示二重积分运算。

[0128] 通过以下公式, 获取所述光瞳函数的频域投影系数:

$$[0129] \quad \tilde{\mu}_{ns} = 1 / \left[ \pi \left( J_n'(\lambda_{ns}) \right)^2 \right] \iint \tilde{h}(r, \theta) F_{ns}^*(r, \theta) r dr d\theta;$$

[0130] 其中,  $\tilde{\mu}_{ns}$  为所述光瞳函数的频域投影系数。

[0131] 进一步的, 参见图3, 所述Fourier-Bessel正交基函数是频域上的一组基函数, 描述在极坐标上, 所述Fourier-Bessel正交基函数的表达式为:

$$[0132] \quad F_{ns}(f, g) = F_{ns}(r, \theta) = J_n(\lambda_{ns}r) \exp(in\theta);$$

[0133] 其中,  $F_{ns}(\ )$  表示Fourier-Bessel正交基函数,  $J_n(\lambda_{ns}r)$  为第一类Bessel函数,  $\lambda_{ns}$  为n阶Bessel函数的第s个零根, 极坐标中的  $(r, \theta)$  与正交坐标中的  $(f, g)$  等价,  $\exp(in\theta)$  表示  $e^{in\theta}$  的  $(in\theta)$  次方,  $i$  表示虚数,  $n$  表示第一类Bessel函数的阶,  $\theta$  表示极坐标中的角度。图3中的横坐标为Fourier-Bessel正交基函数中的  $r$ , 纵坐标为Fourier-Bessel正交基函数中的  $\theta$ , 图中显示了  $n=0$  时,  $s$  分别为1, 2, 3, 4, 5的五组Fourier-Bessel正交基函数的图形, 每一组  $n, s$

对应一组Fourier-Bessel正交基函数 $F_{ns}()$ 。

[0134] 结合Fourier-Bessel正交基函数以及所述光源函数,所述光源函数的频域投影系数可以通过以下公式表示:

$$[0135] \quad \tilde{\kappa}_{ns} = 1 / \left[ \pi \left( J'_n(\lambda_{ns}) \right)^2 \right] \int_0^{2\pi} \int_{\sigma_{in}}^{\sigma_{out}} J_n(\lambda_{ns}r) \exp(in\theta) dr d\theta ;$$

[0136] 其中,上述公式中的积分部分容易利用第一类Bessel函数的积分结果表示:

$$[0137] \quad \int_{\sigma_{in}}^{\sigma_{out}} J_0(\lambda_{0s}r) r dr = J_1(\lambda_{0s}r) r \Big|_{r=\sigma_{in}}^{r=\sigma_{out}} ;$$

[0138] 其中, $J_0(\lambda_{0s}r)$ 中的0表示第一类Bessel函数的阶数, $\lambda_{0s}$ 为0阶第一类Bessel函数的第s个零根。

[0139] 结合Fourier-Bessel正交基函数以及所述光瞳函数,所述光瞳函数的频域投影系数可以通过以下公式表示:

$$[0140] \quad \tilde{\mu}_{ns} = 1 / \left[ \pi \left( J'_n(\lambda_{ns}) \right)^2 \right] \int_0^{2\pi} \int_0^1 J_n(\lambda_{ns}r) \exp(in\theta) dr d\theta .$$

[0141] 进一步的,所述根据Fourier-Bessel正交基函数与Circle-Bessel正交基函数之间的变换关系、所述光源函数的频域投影系数以及所述光瞳函数的频域投影系数,获取空间域上的光源函数、空间域上的光瞳函数、所述光源函数的空间域投影系数以及所述光瞳函数的空间域投影系数,包括:

[0142] 通过以下公式,获取所述空间域上的光源函数以及所述光源函数的空间域投影系数:

$$[0143] \quad \gamma(x, y) = \gamma(\rho, \varphi) = \sum_{ns} \kappa_{ns} C_{ns}(\rho, \varphi);$$

$$[0144] \quad \kappa_{ns} = \tilde{\kappa}_{ns} \times K_{ns} ;$$

[0145] 其中, $\gamma()$ 表示空间域上的光源函数, $(x, y)$ 表示光源在空间域正交坐标上的位置表示, $x$ 表示光源在空间域正交坐标上的横坐标大小, $y$ 表示光源在空间域正交坐标上的纵坐标大小, $(\rho, \varphi)$ 为光源在空间域极坐标上的位置表示, $\rho$ 表示光源在空间域极坐标上的横坐标大小, $\varphi$ 表示光源在空间域极坐标上的纵坐标大小,极坐标中的 $(\rho, \varphi)$ 与正交坐标中的 $(x, y)$ 等价, $\kappa_{ns}$ 为所述光源函数的空间域投影系数, $C_{ns}()$ 表示Circle-Bessel正交基函数, $K_{ns}$ 为所述Fourier-Bessel正交基函数与所述Circle-Bessel正交基函数之间进行傅里叶变换时的傅里叶变换系数,所述Fourier-Bessel正交基函数与所述Circle-Bessel正交基函数之间的变换关系为傅里叶变换关系。

[0146] 通过以下公式,获取所述空间域上的光瞳函数以及所述光瞳函数的空间域投影系数:

$$[0147] \quad h(x, y) = h(\rho, \varphi) = \sum_{ns} \mu_{ns} C_{ns}(\rho, \varphi);$$

$$[0148] \quad \mu_{ns} = \tilde{\mu}_{ns} \times K_{ns} ;$$

[0149] 其中, $h()$ 表示空间域上的光瞳函数, $\mu_{ns}$ 为所述光瞳函数的空间域投影系数。

[0150] 进一步的,参见图4,所述Circle-Bessel正交基函数是空间域上的一组基函数,所

述Circle-Bessel正交基函数的表达式为:

$$[0151] \quad C_{ns}(x, y) = C_{ns}(\rho, \varphi) = \frac{2\lambda_{n,s} J_n(\rho)}{J'_n(\lambda_{n,s}) \rho^2 - \lambda_{n,s}^2} e^{jn\varphi};$$

[0152] 其中,  $C_{ns}()$  表示Circle-Bessel正交基函数,  $J'_n(\lambda_{n,s})$  为第一类Bessel函数的导数,  $\lambda_{n,s}$  为n阶Bessel函数的第s个零根, 且极坐标中的  $(\rho, \varphi)$  与正交坐标中的  $(x, y)$  等价, 图4中的横坐标对应Circle-Bessel正交基函数中的  $\rho$ , 纵坐标对应Circle-Bessel正交基函数中的  $\varphi$ , 图中显示了  $n=0$  时,  $s$  分别为1, 2, 3, 4, 5的五组Circle-Bessel正交基函数的图形, 每一组  $n, s$  对应一组Circle-Bessel正交基函数  $C_{ns}()$ 。

[0153] 通过以下公式, 获取所述Fourier-Bessel正交基函数与所述Circle-Bessel正交基函数之间的傅里叶变换关系:

$$[0154] \quad F_{ns}(f, g) = K_{ns} \times \mathcal{F}[C_{ns}(x, y)];$$

[0155] 其中,  $F_{ns}()$  表示Fourier-Bessel正交基函数,  $C_{ns}()$  表示Circle-Bessel正交基函数,  $\mathcal{F}[]$  表示傅里叶变换,  $K_{ns}$  为傅里叶变换系数。

[0156] 通过以下公式, 获取所述傅里叶变换系数:

$$[0157] \quad K_{ns} = \frac{4\pi}{[J'_n(\lambda_{n,s})]^2}。$$

[0158] 空间域上的光源函数  $\gamma(x, y)$  及空间域上的光瞳函数  $h(x, y)$ , 分别通过频域上光源函数  $\tilde{\gamma}(f, g)$  与频域上光瞳函数  $\tilde{h}(f, g)$  的傅里叶变换所得, 光源函数的空间域投影系数与频域投影系数之间的关系满足:  $\kappa_{ns} = \tilde{\kappa}_{ns} \times K_{ns}$ , 同样的, 光瞳函数的空间域投影系数与频域投影系数之间的关系满足:  $\mu_{ns} = \tilde{\mu}_{ns} \times K_{ns}$ 。

[0159] 进一步的, 所述根据所述Circle-Bessel正交基函数, 获取第一组预计算数据集, 并根据所述第一组预计算数据集、所述空间域上的光源函数以及所述空间域上的光瞳函数, 获取空间域上的交叉传递函数, 包括:

[0160] 所述第一组预计算数据集通过以下公式获取:

$$[0161] \quad \alpha_{mt,pq} = \oint C_{ns}(x_1 - x_2, y_1 - y_2) C_{mt}^*(x_1, y_1) C_{pq}(-x_2, -y_2) dx_1 dx_2 dy_1 dy_2;$$

[0162] 其中,  $\alpha_{mt,pq}$  为每一组Circle-Bessel正交基函数  $C_{ns}()$  对应的投影系数, 且  $\alpha_{mt,pq} \in \text{Data1}$ ,  $\text{Data1}$  表示所述第一组预计算数据集,  $n, m, p$  分别表示Circle-Bessel正交基函数中对应第一类Bessel函数的阶数, 且  $n, m, p \in [0, 32]$ ,  $s, t, q$  分别为相应阶的第一类Bessel函数对应的零根, 且  $s, t, q \in [1, 60]$ ,  $C_{ns}()$ 、 $C_{mt}()$  以及  $C_{pq}()$  表示Circle-Bessel正交基函数,  $C_{mt}^*( )$  为所述  $C_{mt}()$  的共轭复数,  $(x_1, y_1)$  与  $(x_2, y_2)$  分别表示空间域上光源的两点的位置表示。

[0163] 通过预先计算好上述多组Circle-Bessel正交基函数  $C_{ns}()$  对应的投影系数  $\alpha_{mt,pq}$ , 保存之后形成第一组预计算数据集, 使得在进行光强分布计算时, 所述第一组预计算数据集作为已知量参与计算, 并且, 所述第一组预计算数据集是针对光刻系统中具有不变性质的数据进行预先计算, 当光刻模型的工艺参数发生改变时, 所述第一组预计算数据集并不

会发生变化,在实际工艺生产中,利用预先计算好的数据集直接参与最终光强分布的计算,极大的提高了晶圆表面光强分布计算的速度。作为示例,在本申请的实施例中,利用HDF5格式文件存储第一组预计算数据集Data1,且第一组预计算数据集Data1中共存在1920个文件,分别对应不同的Circle-Bessel正交基函数,每个文件分别存在1920\*1920个数据。

[0164] 根据所述第一组预计算数据集Data1,获取基函数分解公式,所述第一组预计算数据集Data1本质上为Circle-Bessel正交基函数的分离变量,所述基函数分解公式用于将一个Circle-Bessel正交基函数分解为两个Circle-Bessel正交基函数,所述基函数分解公式为:

$$[0165] \quad C_{ns}(x_1-x_2, y_1-y_2) = \sum_{mt,pq} \alpha_{mt,pq} C_{mt}(x_1, y_1) C_{pq}^*(-x_2, -y_2);$$

[0166] 其中,  $C_{pq}^*( )$  为所述  $C_{pq}( )$  的共轭复数。

[0167] 根据所述基函数分解公式,再结合上述所获取的空间域上的光源函数:  
 $\gamma(x, y) = \gamma(\rho, \varphi) = \sum_{ns} \kappa_{ns} C_{ns}(\rho, \varphi)$ , 通过以下公式,分解所述空间域上的光源函数:

$$[0168] \quad \gamma(x_1-x_2, y_1-y_2) = \sum_{ns} \kappa_{ns} C_{ns}(x_1-x_2, y_1-y_2) = \sum_{ns,mt,pq} \kappa_{ns} \alpha_{mt,pq} C_{mt}(x_1, y_1) C_{pq}^*(-x_2, -y_2);$$

[0169] 其中,  $\gamma( )$  表示空间域上的光源函数,  $\kappa_{ns}$  为所述光源函数的空间域投影系数。

[0170] 根据所述空间域上的光源函数的分解结果以及所述空间域上的光瞳函数,通过以下公式,获取所述空间域上的交叉传递函数:

$$[0171] \quad \begin{aligned} TCC(x_1, y_1; x_2, y_2) &= \gamma(x_1-x_2, y_1-y_2) h(x_1, y_1) h^*(-x_2, -y_2) \\ &= \sum_{ns} \kappa_{ns} \sum_{mt,pq} \alpha_{mt,pq} C_{mt}(x_1, y_1) C_{pq}^*(-x_2, -y_2) \times \sum_{n's'} \mu_{n's'} C_{n's'}(x_1, y_1) ; \\ &\times \sum_{n''s''} \mu_{n''s''} C_{n''s''}^*(-x_2, -y_2) = \sum_{ns} \kappa_{ns} \alpha_{mt,pq} \mu_{n's'} \mu_{n''s''} C_{mt} C_{n's'} \times C_{pq}^* C_{n''s''}^* \end{aligned}$$

[0172] 其中,  $TCC(x_1, y_1; x_2, y_2)$  表示所述交叉传递函数,  $n, n'$  及  $n''$  为对应第一类Bessel函数的阶,  $s, s'$  及  $s''$  为相应第一类Bessel函数对应的零根。

[0173] 进一步的,所述根据所述Circle-Bessel正交基函数,获取第二组预计算数据集,并根据所述第一组预计算数据集、所述第二组预计算数据集、所述交叉传递函数、所述光源函数的空间域投影系数以及所述光瞳函数的空间域投影系数,获取核函数的投影系数,包括:

[0174] 所述第二组预计算数据集通过以下公式获取:

$$[0175] \quad b_{pq} = \iint C_{ns}(x, y) C_{mt}(x, y) C_{pq}^*(x, y) dx dy ;$$

[0176] 其中,  $b_{pq}$  为不同的Circle-Bessel正交基函数  $C_{ns}( ) C_{mt}( )$  乘积对应的投影系数,且  $b_{pq} \in \text{Data2}$ ,  $\text{Data2}$  表示所述第二组预计算数据集,  $C_{ns}( )$ 、 $C_{mt}( )$  以及  $C_{pq}( )$  表示Circle-Bessel正交基函数。

[0177] 与所述第一组预计算数据集同理,所述第二组预计算数据集是通过预先计算并保存上述不同的Circle-Bessel正交基函数  $C_{ns}( ) C_{mt}( )$  乘积对应的投影系数  $b_{pq}$  所形成的。在进行光强分布计算时,所述第二组预计算数据集作为已知量参与计算,并且,所述第二组预计算数据集同样是针对光刻系统中具有不变性质的数据进行预先计算,当光刻模型的工艺参

数发生改变时,所述第二组预计算数据集并不会发生变化,在实际工艺生产中,利用预先计算好的数据集直接参与最终光强分布的计算,能够极大的提高晶圆表面光强分布计算的速度。作为示例,在本申请实施例中,利用HDF5格式文件存储第二组预计算数据Data2中,且第二组预计算数据Data2共存在1920\*1920个文件,分别对应不同的Circle-Bessel正交基函数乘积,每个文件分别存在1920个数据,该数据量与Data1数据量相同。

[0178] 根据所述第二组预计算数据集Data2,将两个Circle-Bessel正交基函数的乘积投影到一个Circle-Bessel正交基函数上,所述基函数乘积的投影结果为:

$$[0179] \quad C_{ns}(x, y) C_{mt}(x, y) = \sum_{pq} b_{pq} C_{pq}(x, y);$$

[0180] 根据所述第二组预计算数据集Data2、所述基函数乘积的投影结果以及所述交叉传递函数,所述交叉传递函数为上述根据空间域上的光源函数的分解结构以及空间域上的光瞳函数所获取的空间域上的交叉传递函数,再结合交叉传递函数的另一种表达公式:

$TCC(x_1, y_1; x_2, y_2) = \sum \phi_i(x_1, y_1) \phi_i^*(x_2, y_2)$ ,可以从交叉传递函数中分解出所需核函数,通过以下公式,获取核函数:

$$[0181] \quad \phi_{i'}(x, y) = \sum_{ns} \beta_{ns} C_{ns}(x, y);$$

[0182] 其中,  $\phi_{i'}(x, y)$  为所述核函数,  $i'$  为所述核函数的指标,表示第  $i'$  个核函数,  $\beta_{ns}$  为所述核函数的投影系数,  $C_{ns}()$  表示Circle-Bessel正交基函数。

[0183] 通过以下公式,获取所述核函数的投影系数:

$$[0184] \quad \beta_{ns} = f(k_{ns}, \mu_n's', \mu_n''s'', \alpha_{mt,pq}, b_{pq});$$

[0185] 其中,  $f()$  表示数学运算中的交叉相乘运算,  $k_{ns}$  为所述光源函数的空间域投影系数,  $\mu_n's'$  以及  $\mu_n''s''$  表示对应不同阶数的Circle-Bessel正交基函数时,所述光瞳函数的空间域投影系数,  $\alpha_{mt,pq} \in \text{Data1}$ ,  $b_{pq} \in \text{Data2}$ 。

[0186] 可以说,所述核函数的投影系数为光源函数的空间域投影系数、光瞳函数的空间域投影系数、第一组预计算数据集以及第二组预计算数据集交叉相乘的结果。其中,第一组预计算数据集为预先计算好的每一组Circle-Bessel正交基函数对应的投影系数,第二组预计算数据集是预先计算好的不同的Circle-Bessel正交基函数乘积对应的投影系数,由于第一组预计算数据集与第二组预计算数据集具有不变性质,当光刻模型中的工艺参数发生变化时,仅会涉及到光源函数与光瞳函数的变化,也就是说,此时只有光源函数的空间域投影系数、光瞳函数的空间域投影系数会根据工艺参数的变化而产生相应变化,这时计算核函数的投影系数,仅需改动交叉相乘中的相应数据,便能快速的获取核函数的投影系数,在实际工艺生产中,能够有效提高最终针对晶圆表面光强分布的计算速度,满足工艺要求。

[0187] 进一步的,在掩模版图形的多边形仅包括Manhattan线段及对角线段情况下,容易将所述多边形划分为简单直角表示的多边形及等腰直角三角形的组合,其中,Manhattan线段是一种使用在几何度量空间的几何学用语。参见图5,图5中包含3个图形,最左边的图形为本申请实施例采用的掩模版图形,在该最左边的图形中,存在两处对角线段,即用两个圆圈标出的位置。中间的图形以及最右边的图形分别为,划分上述两处对角线段的示意图。在中间的图形中,圆圈所标出的位置上,较大的图形块减去三角形,形成最左边图形的第一个圆圈标出的图形。最右边的图形中,上面的图形块相应减去下面的两个三角形之后,形成最左边图形的第二个圆圈所标出的图形。通过上述过程,可以将最左边的掩模版的原始图形分解成为一个仅含有Manhattan线段的多边形以及三个等腰直角多边形。

[0188] 所述获取掩模版的图形函数,并根据所述掩模版的图形函数,获取第三组预计算数据集,包括:

[0189] 划分完成的掩模版图形,仅含有Manhattan线段的多边形,此时可以通过一组完备图形(矩形,直角梯形,V形)使用线性组合运算进行描述。作为示例,在本申请实施例中,参见图6,图中阴影表示1/4无穷平面,通过无穷平面的加减运算(线性组合),将该多边形表示为顶点相关矩形的交替加减法运算,也就是说,使用几何图形的运算过程,可等价描述左侧的多边形。本申请提供的三种基本图形(矩形,直角梯形,V形)作为掩模版图形的基函数,并且这三种基本图形具有不变性质,任意掩模版图形都可被表征为这三种图形的线性运算。

[0190] 根据掩模版图形的线性组合,通过以下公式,获取所述掩模版的图形函数:

$$[0191] \quad M(x, y) = \sum_i c_i M^{rect}(x, y) + \sum_j c_j M^{trap}(x, y) + \sum_k c_k M^V(x, y);$$

[0192] 其中, $M(x, y)$ 表示所述掩模版的图形函数,rect表示所述掩模版图形中的矩形,trap表示所述掩模版图形中的直角梯形,V表示所述掩模版图形中的V形, $M^{rect}(x, y)$ 表示所述掩模版图形中矩形的理想函数, $M^{trap}(x, y)$ 表示所述掩模版图形中直角梯形的理想函数, $M^V(x, y)$ 表示所述掩模版图形中V形的理想函数, $c_i = \pm 1, c_j = \pm 1, c_k = \pm 1, i$ 为所述掩模版图形中矩形的指标,表示第*i*个矩形, $j$ 为所述掩模版图形中直角梯形的指标,表示第*j*个直角梯形, $k$ 为所述掩模版图形中V形的指标,表示第*k*个V形。

[0193] 由于三种基本图形具有不变性质,因此所获取的掩模版的图形函数也具有不变性质,因此根据所述掩模版的图形函数,通过以下公式,获取所述第三组预计算数据集:

$$d_{ns}^{rect}(x, y) = C_{ns}(x, y) \otimes M^{rect}(x, y)$$

$$[0194] \quad d_{ns}^{trap}(x, y) = C_{ns}(x, y) \otimes M^{trap}(x, y);$$

$$d_{ns}^V(x, y) = C_{ns}(x, y) \otimes M^V(x, y)$$

[0195] 其中, $d_{ns}^{rect}(x, y) \in Data3, d_{ns}^{trap}(x, y) \in Data3, d_{ns}^V(x, y) \in Data3, Data3$ 表示所述第三组预计算数据集, $C_{ns}()$ 表示所述Circle-Bessel正交基函数, $\otimes$ 表示数学运算中的卷积运算。利用HDF5格式文件存储第三组预计算数据集Data3,第三组预计算数据集Data3中关于Circle-Bessel正交基函数,共包含1920个数据文件。此时,所述第三组预计算数据集也具有不变性质,并且,第三组预计算数据集可以表征任意掩模版的图形函数,也就是说,第三组预计算数据集相当于一个表格,在这个表格中包含了任意形状的掩模版的图形函数,并且所述任意形状的掩模版的图形函数进一步对应了光强分布的大小,在最终计算晶圆表面光强分布时,只需计算相应核函数投影系数,再结合第三组预计算数据集,使用查表的方式,便能快速获取晶圆表面光强分布。

[0196] 作为示例,本申请实施例中Circle-Bessel正交基函数 $C_{ns}()$ 关于原点对称,且函数能量集中在 $\lambda_{n, s+4}$ 内,即:

$$[0197] \quad \frac{\oint_{x, y \in [-\lambda_{n, s+4}, \lambda_{n, s+4}]} C_{ns}(x, y) dx dy}{\oint_{x, y \in [-\infty, \infty]} C_{ns}(x, y) dx dy} > 0.99;$$

[0198] 因而,本申请实施例采用卷积模板的方法计算上述第三组预计算数据集, $C_{02}(x, y)$

对应的卷积模板如图7最左边的图形所示,  $(x, y) \in [-\lambda_{06}, \lambda_{06}]$ , 卷积模板为一个在有效范围  $\lambda_{n, s+4}$  内的采样矩阵, 矩阵的大小为  $N \times N$ 。矩形图形如图7中间的图形所示, 为长宽分别为  $2\lambda_{06}$  的矩形, 且矩形的左下点位于原点, 因而对应的理想函数:

$$[0199] \quad M^{rect}(x, y) = \begin{cases} 1, & x, y \in [0, 2\lambda_{06}] \\ 0, & \text{其它} \end{cases};$$

[0200] 矩形图形的理想函数为一个在有效范围  $2\lambda_{n, s+4}$  内的采样矩阵, 矩阵的大小为  $2N \times 2N$ 。本申请实施例中的计算坐标位置  $(x_0, y_0)$  的预计算数据  $d_{ns}^{rect}(x_0, y_0)$  为卷积模板矩阵的部分元素和为:

$$[0201] \quad d_{ns}^{rect}(x_0, y_0) = \sum_{x, y} C_{ns}(x, y), x \geq -x_0, y \geq -y_0;$$

[0202] 即将卷积模板中心位置移动至  $(x_0, y_0)$ , 该坐标位置的卷积为卷积模板有效区域与矩形图形有效区域重叠部分的元素之和, 如图7最右边的图形所示。

[0203] 参见图8, 根据Circle-Bessel正交基函数以及上述三种基本图形的不变性, 第三组预计算数据集Data3为:  $C_{ns}(x, y) \otimes M(x, y)$ , 其中, 所述掩模板的图形函数为:

$$[0204] \quad M(x, y) = \begin{cases} 1, & (x, y) \text{ 位于多边形内} \\ 0, & (x, y) \text{ 位于多边形外} \end{cases};$$

[0205] 图8展示了第三组预计算数据集, 上面一排的3个图形为三种基础几何图形, 其中,  $M^{rect}(x, y)$  表示所述掩模板图形中矩形的理想函数;  $M^{trap}(x, y)$  表示所述掩模板图形中直角梯形的理想函数。  $M^V(x, y)$  表示所述掩模板图形中V形的理想函数。下面一排的3个图形为相应几何图形关于某一个Circle-Bessel正交基函数  $C_{ns}()$  所对应的第三组预计算数据集(卷积)的图像, 其中,  $d_{0,10}^{rect}(x, y) = C_{0,10}(x, y) \otimes M^{rect}(x, y)$  表示第三组预计算数据集中矩形的预计算数据元素,  $d_{0,10}^{trap}(x, y) = C_{0,10}(x, y) \otimes M^{trap}(x, y)$  表示第三组预计算数据集中直角梯形的预计算数据元素,  $d_{0,10}^V(x, y) = C_{0,10}(x, y) \otimes M^V(x, y)$  表示第三组预计算数据集中V形的预计算数据元素,  $C_{0,10}(x, y)$  为一组Circle-Bessel正交基函数, 且该Circle-Bessel正交基函数中的  $n$  为0,  $s$  为10。

[0206] 另外, 参见图9, 图中显示了等腰直角三角形的4种类型, 本申请实施例中仅存在两类等腰直角三角形, 即图5中出现的两类等腰直角三角形, 对于复杂的掩模板图形, 至多存在4类等腰直角三角形, 即图9中展示的4类, 图4中出现的两类三角形对应于图9中的其中两种三角形类型。

[0207] 进一步的, 所述根据所述核函数的投影系数以及所述第三组预计算数据集, 获取晶圆表面的光强分布, 包括:

$$\begin{aligned}
 I(x, y) &= \sum_{i'} \phi_{i'}(x, y) \otimes M(x, y) \\
 [0208] \quad &= \sum_{i'} \sum_{ns} \beta_{ns} C_{ns}(x, y) \otimes \left[ \sum_i c_i M^{rect}(x, y) + \sum_j c_j M^{trap}(x, y) + \sum_k c_k M^V(x, y) \right]; \\
 &= \sum_{i'} \sum_{ns} \beta_{ns} \left[ \sum_i c_i d_{ns}^{rect}(x, y) + \sum_j c_j d_{ns}^{trap}(x, y) + \sum_k c_k d_{ns}^V(x, y) \right]
 \end{aligned}$$

[0209] 其中,  $I(x, y)$  表示所述晶圆表面的光强分布,  $\beta_{ns}$  为所述核函数的投影系数,  $i'$  为所述核函数的指标,  $d_{ns}^{rect}(x, y) \in Data3$ ,  $d_{ns}^{trap}(x, y) \in Data3$ ,  $d_{ns}^V(x, y) \in Data3$ ,  $Data3$  表示所述第三组预计算数据集。通过晶圆表面光强分布的计算公式可知, 计算光强分布的最终步骤只包含了核函数的投影系数以及第三组预计算数据集之间的运算, 第三组预计算数据集是预先计算好的, 并具有类似表格的功能, 在这个表格中包含了任意形状的掩模版的图形函数, 因此计算晶圆表面的光强分布最终简化为核函数投影系数的计算, 进一步结合第三组预计算数据集的查表, 便能获取晶圆表面光强分布。而针对核函数投影系数的计算中, 第一组预计算数据集以及第二组预计算数据集都是事先计算好的, 只需根据工艺参数, 获取相应的光源函数的空间域投影系数、光瞳函数的空间域投影系数, 便可以快速计算出核函数的投影系数, 因此本申请的方法能够快速获取晶圆表面的光强分布。而且, 本申请实施例中获取第三组预计算数据集, Circle-Bessel 正交基函数对应的卷积模板矩阵的计算数据极大可能被重复应用, 此时晶圆表面光强分布的计算速度足以满足工艺要求。

[0210] 参见图10, 图中上面一排图形显示三角形几何运算的过程, 对应于图6中关于使用几何图形的运算过程, 等价描述左侧的多边形的内容。中间一排图形为通过第三组预计算数据集使用查表法的一个使用实例, 黑色阴影对应图8中第三组预计算数据集, 下面的图形为使用第三组预计算数据通过查表方法的使用实例结果图, 从图10中可以看出, 最先指定的掩模版图案, 即图中左上角的一个三角形, 通过本申请公开的方法, 在使用第三组预计算数据集的查表后, 最终快速得到了对应的光强分布, 即最下面的一幅图。图11为通过本申请公开的一种晶圆表面光强分布的快速获取方法, 所获取的掩模版在晶圆表面光强分布的轮廓示意图。

[0211] 下述为本申请装置实施例, 可以用于执行本申请方法实施例。对于本申请装置实施例中未披露的细节, 请参照本申请方法实施例。

[0212] 相应的, 本申请另一实施例公开一种晶圆表面光强分布的快速获取装置, 所述装置包括:

[0213] 投影模块, 用于将频域上的光源函数以及频域上的光瞳函数, 分别投影到 Fourier-Bessel 正交基函数上, 并获取所述光源函数的频域投影系数以及所述光瞳函数的频域投影系数, 其中, 所述 Fourier-Bessel 正交基函数是频域上的一组基函数。

[0214] 转换模块, 用于根据 Fourier-Bessel 正交基函数与 Circle-Bessel 正交基函数之间的变换关系、所述光源函数的频域投影系数以及所述光瞳函数的频域投影系数, 获取空间域上的光源函数、空间域上的光瞳函数、所述光源函数的空间域投影系数以及所述光瞳函数的空间域投影系数, 其中, 所述 Circle-Bessel 正交基函数是空间域上的一组基函数。

[0215] 第一组预计算数据集获取模块, 用于根据所述 Circle-Bessel 正交基函数, 获取第

一组预计算数据集,并根据所述第一组预计算数据集、所述空间域上的光源函数以及所述空间域上的光瞳函数,获取空间域上的交叉传递函数。

[0216] 第二组预计算数据集获取模块,用于根据所述Circle-Bessel正交基函数,获取第二组预计算数据集,并根据所述第一组预计算数据集、所述第二组预计算数据集、所述交叉传递函数、所述光源函数的空间域投影系数以及所述光瞳函数的空间域投影系数,获取核函数的投影系数。

[0217] 第三组预计算数据集获取模块,用于获取掩模版的图形函数,并根据所述掩模版的图形函数,获取第三组预计算数据集。

[0218] 光强分布获取模块,用于根据所述核函数的投影系数以及所述第三组预计算数据集,获取晶圆表面的光强分布。

[0219] 以上结合具体实施方式和范例性实例对本申请进行了详细说明,不过这些说明并不能理解为对本申请的限制。本领域技术人员理解,在不偏离本申请精神和范围的情况下,可以对本申请技术方案及其实施方式进行多种等价替换、修饰或改进,这些均落入本申请的范围内。本申请的保护范围以所附权利要求为准。

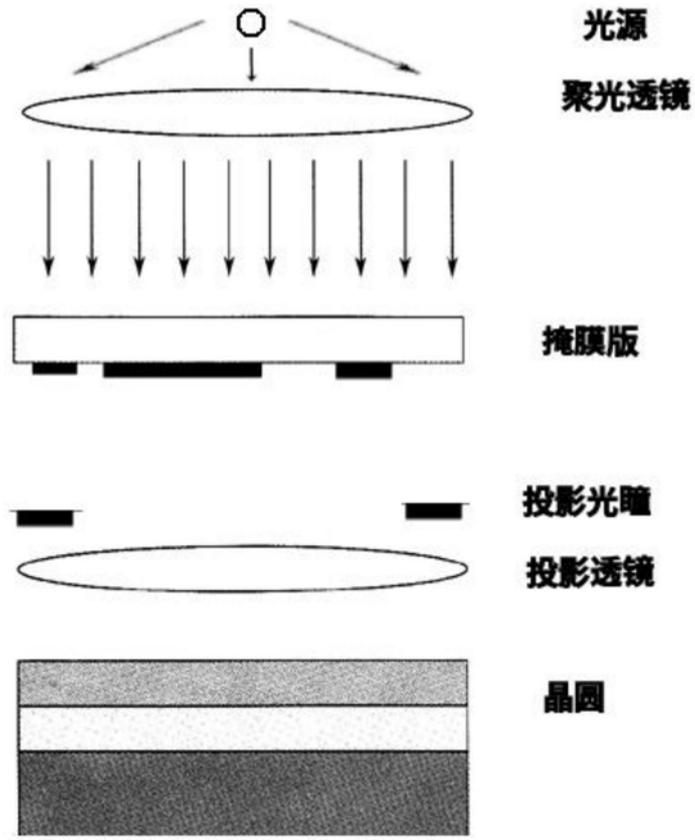


图1

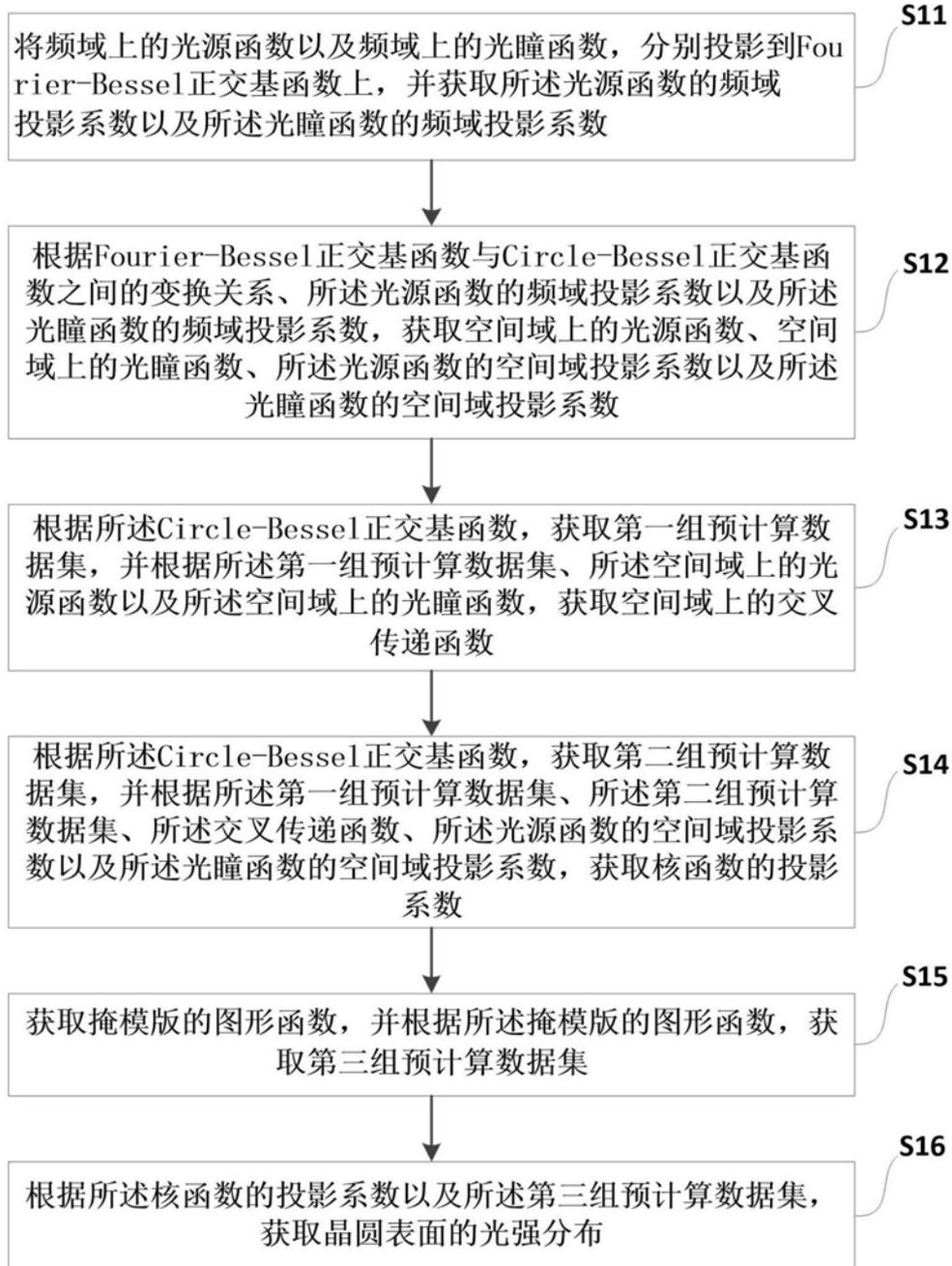


图2

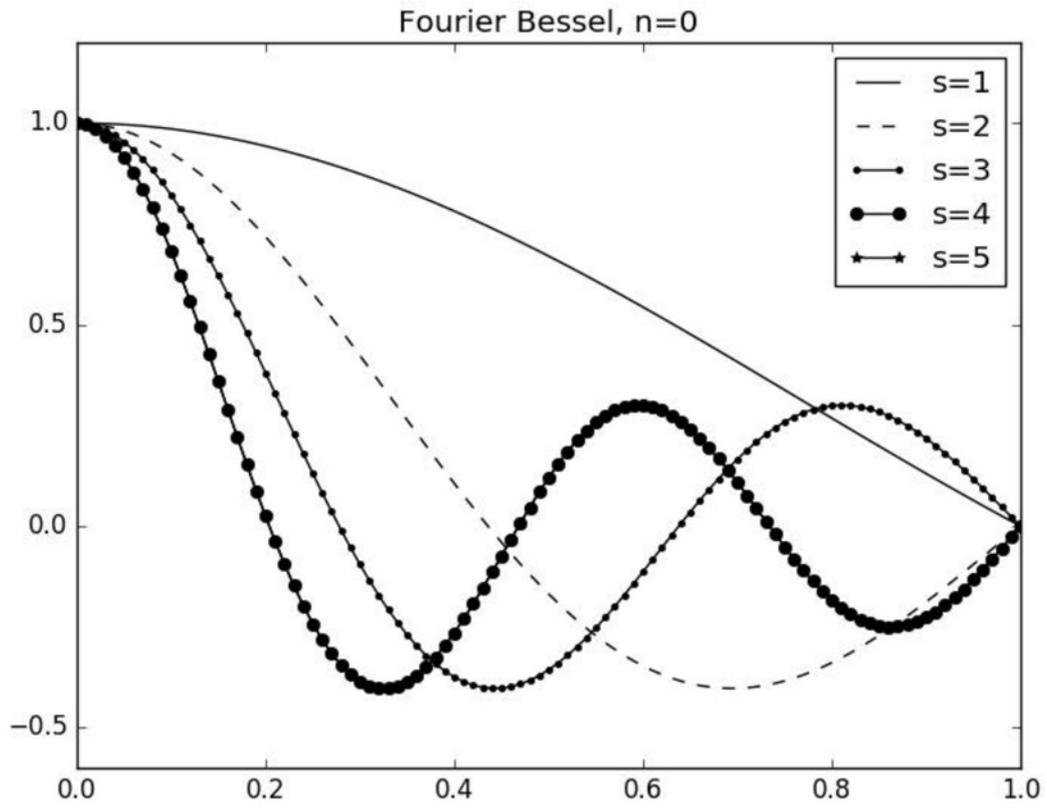


图3

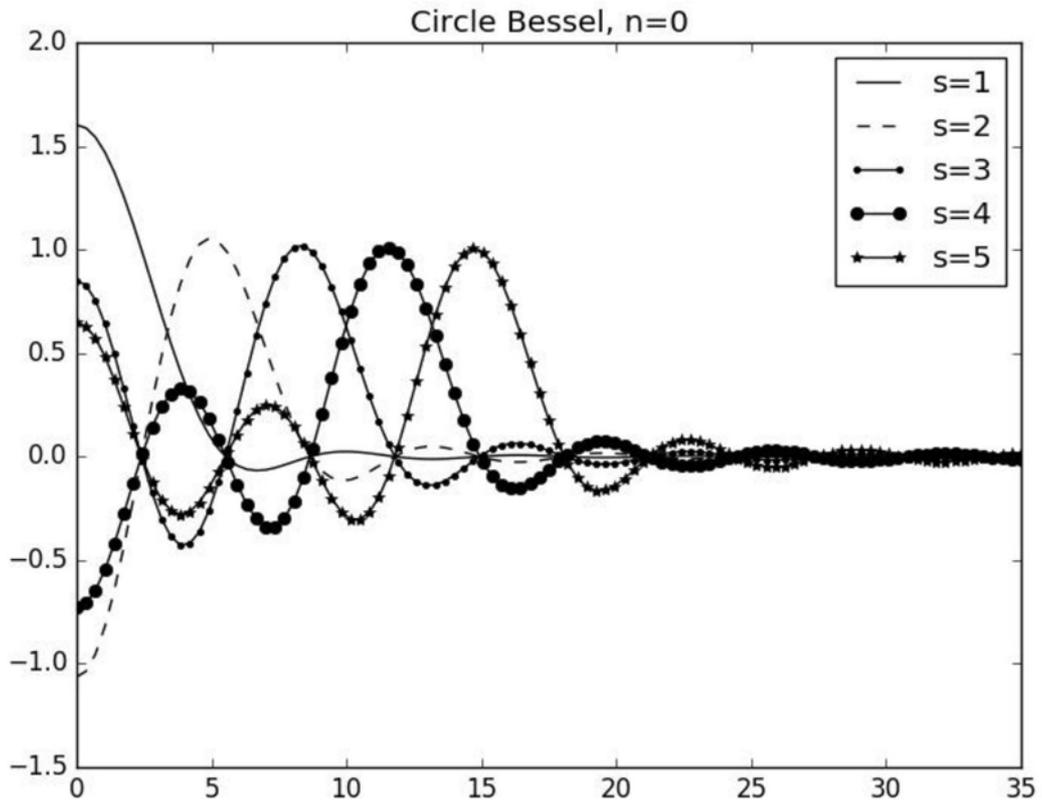


图4

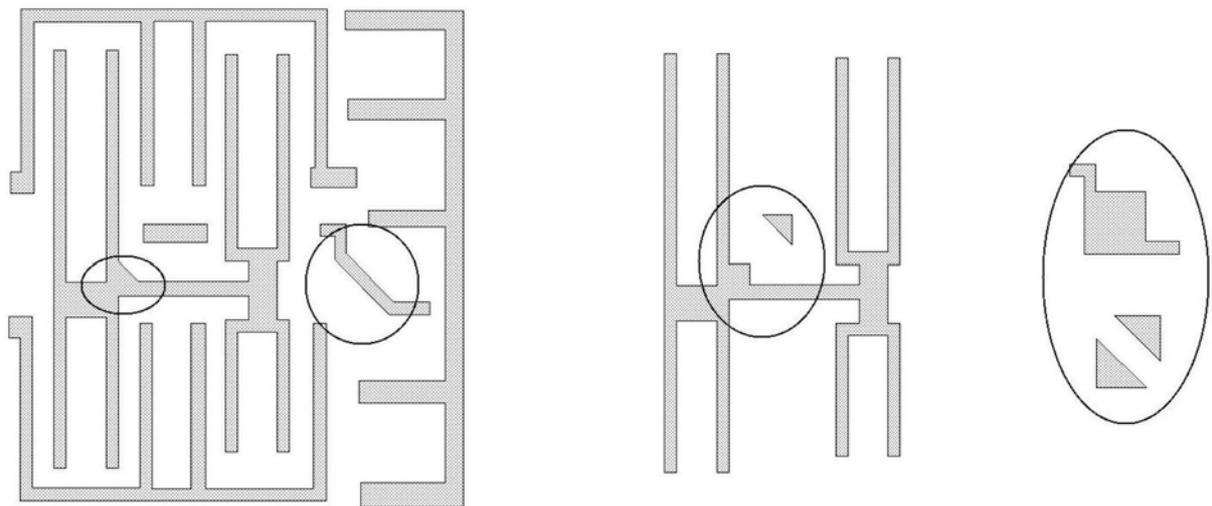


图5

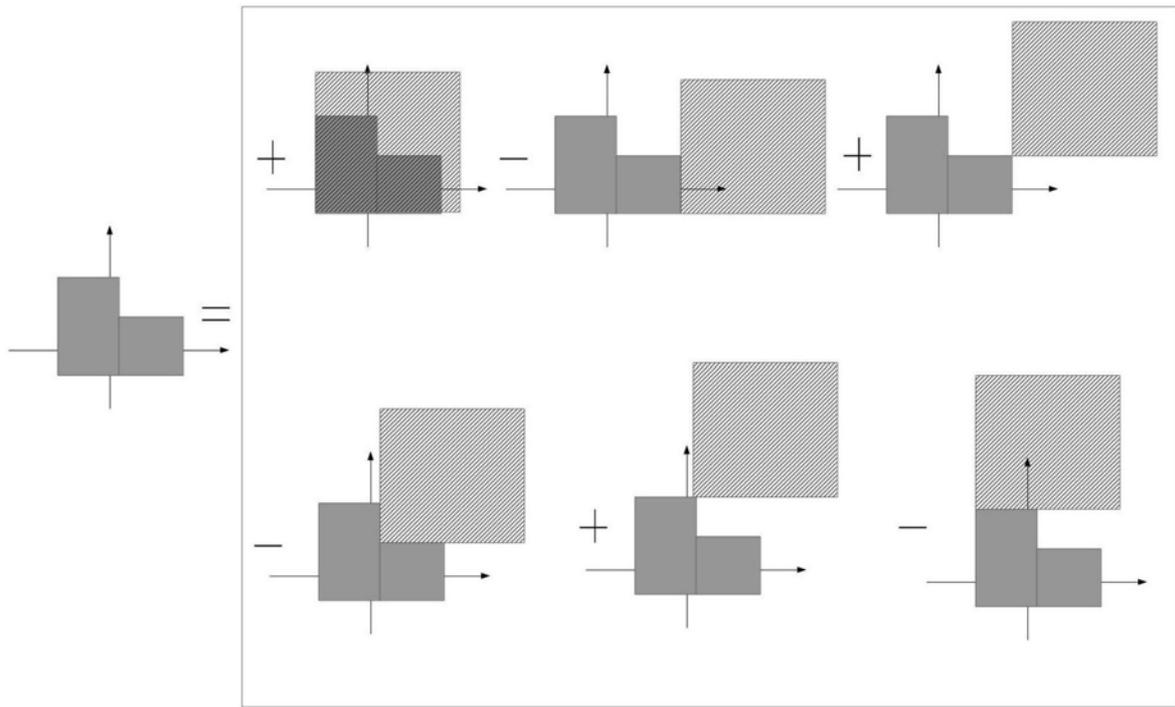


图6

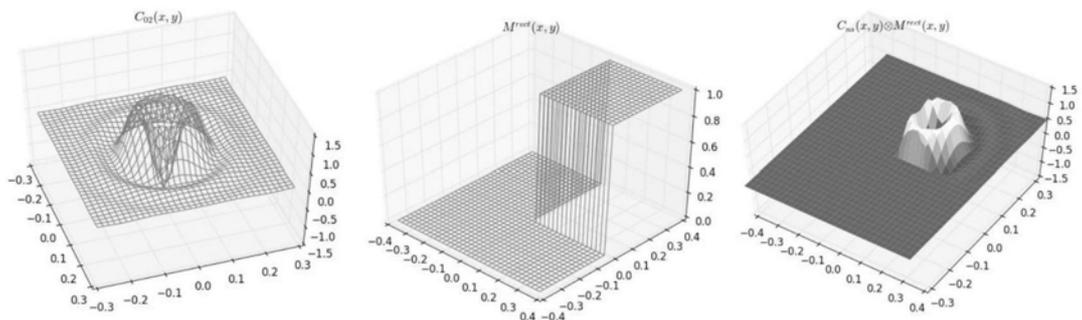


图7

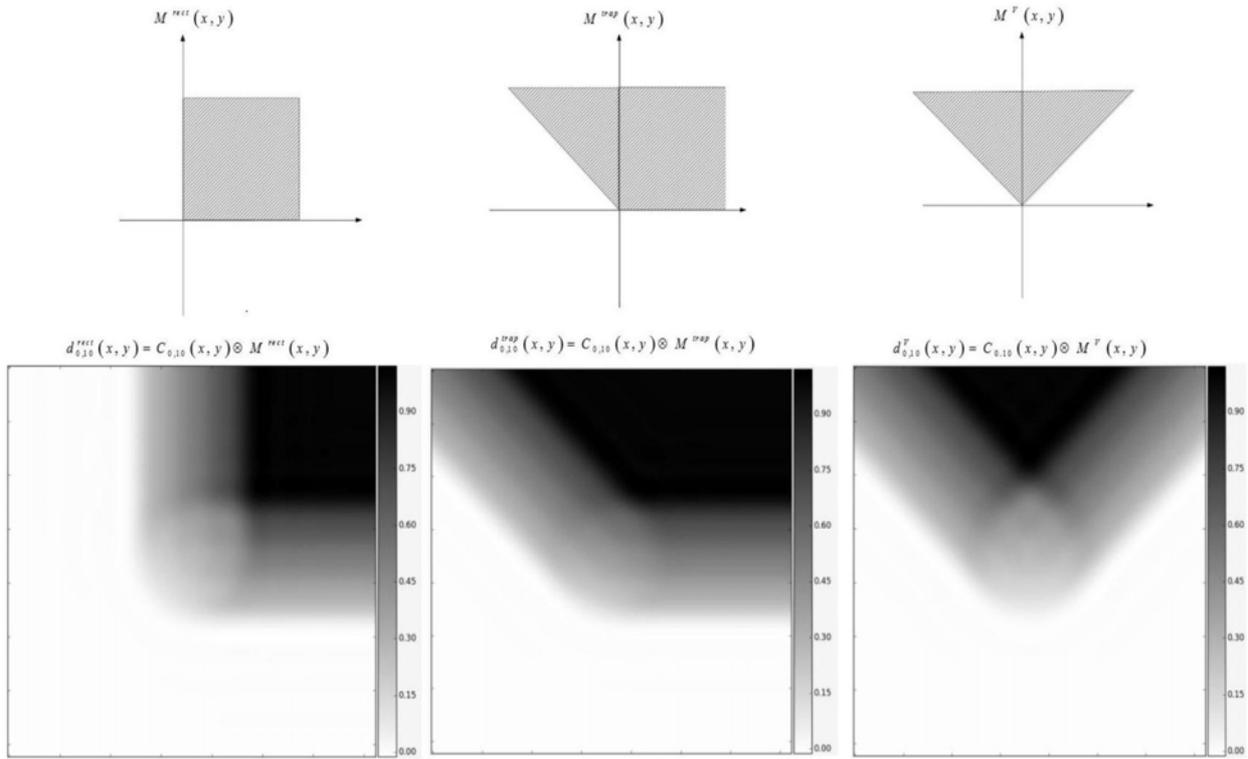


图8

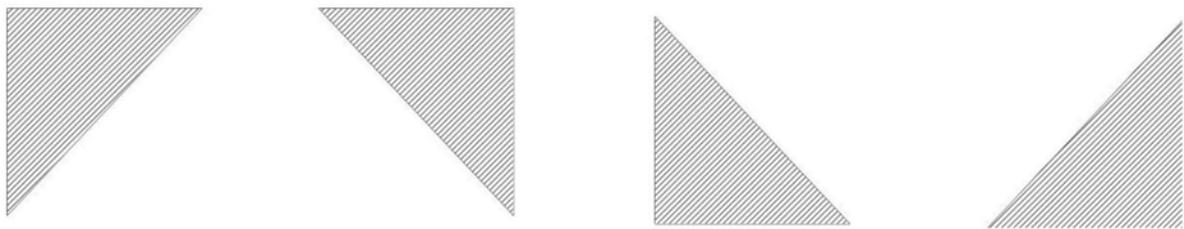


图9

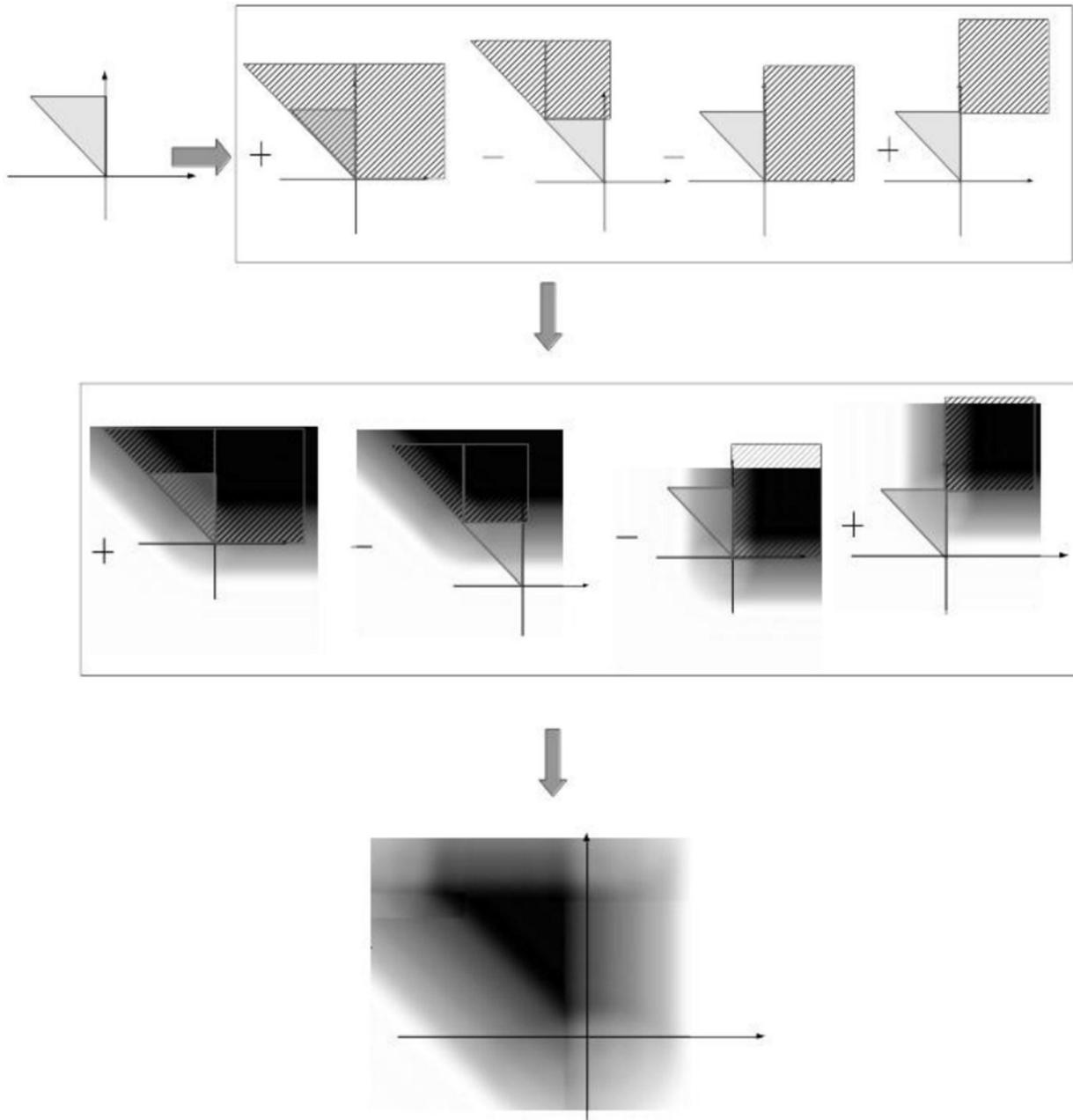


图10

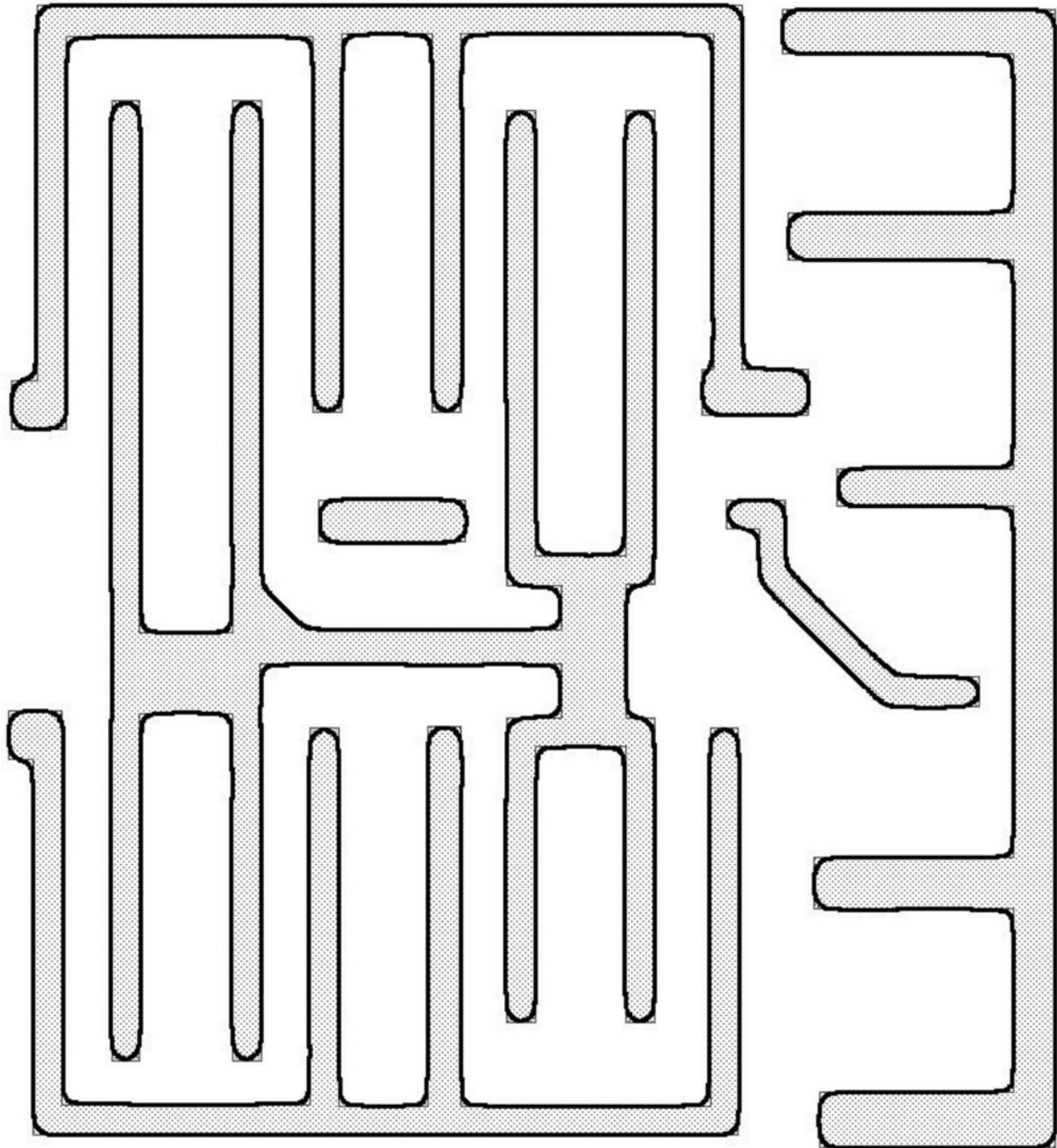


图11