



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 109634070 B

(45)授权公告日 2020.09.01

(21)申请号 201910103564.0

(22)申请日 2019.02.01

(65)同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 109634070 A

(43)申请公布日 2019.04.16

(73)专利权人 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)

(56)对比文件

- CN 101675385 A,2010.03.17
- CN 101675385 B,2012.09.05
- CN 107450266 A,2017.12.08
- JP 2006035925 X,2008.05.15
- EP 1890192 A1,2008.02.20
- CN 104216235 A,2014.12.17
- CN 107479331 A,2017.12.15
- CN 101675385 B,2012.09.05

审查员 王杰

权利要求书3页 说明书10页 附图5页

(54)发明名称

一种基于掩模版拐角圆化的计算光刻方法及装置

(57)摘要

本申请公开了一种基于掩模版拐角圆化的计算光刻方法及装置,在获取晶圆表面的光强分布之前,通过圆化处理图形对预先设计的理想的掩模版图形进行圆化处理,获取掩模版的几何图形,通过理想的掩模版图形以及圆化处理图形在频域上的响应函数,获取几何图形的响应函数,根据几何图形的响应函数,计算晶圆表面光强分布。相较于现有技术,本申请中的计算光刻方法所使用的圆化处理图形的一边为圆弧边,通过圆化处理图形对掩模版图形的拐角进行处理之后,能够有效消除与实际光刻工艺中圆化的拐角之间的偏差,保证了计算光刻结果的精确度。



1. 一种基于掩模版拐角圆化的计算光刻方法,其特征在于,包括:

获取圆化处理图形以及预先设计的掩模版图形,其中,所述掩模版图形为理想的掩模版图形,所述圆化处理图形用于对所述掩模版图形进行圆化处理,所述圆化处理图形中包括圆弧边,所述圆化处理图形包括第一圆化处理图形以及第二圆化处理图形,所述第一圆化处理图形与所述第二圆化处理图形的透射率相反,所述圆化处理图形为通过将矩形去除一个固定形状之后所剩的图形,所述固定形状为直角扇形,所述直角扇形以所述矩形的顶点为圆心,以所述矩形的边长为半径;

根据所述掩模版图形,通过傅里叶变换,获取第一响应函数,所述第一响应函数为所述掩模版图形在频域上的响应函数;

根据所述圆化处理图形,通过傅里叶变换,获取第二响应函数,所述第二响应函数为所述圆化处理图形在频域上的响应函数;

根据所述掩模版图形,获取所述掩模版图形中的拐角,并标识所述拐角的类型,所述拐角的类型包括凸角以及凹角;

根据所述拐角的类型,将所述圆化处理图形增加到所述掩模版图形中,对所述掩模版进行圆化处理,其中,若所述拐角为凸角,则将所述第一圆化处理图形增加到所述凸角处,所述第一圆化处理图形与所述掩模版图形的透射率相反;若所述拐角为凹角,则将所述第二圆化处理图形增加到所述凹角处,所述第二圆化处理图形与所述掩模版图形的透射率相同;

根据圆化处理后的掩模版,获取所述圆化处理后的掩模版中包括的几何图形;

根据所述第一响应函数以及所述第二响应函数,获取第三响应函数,所述第三响应函数为所述几何图形在频域上的响应函数;

根据所述第三响应函数,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,所述根据所述圆化处理图形,通过傅里叶变换,获取第二响应函数,包括:

根据傅里叶变换,通过以下公式获取所述矩形在频域上的响应函数:

$$M^{\text{rect}}(f, g) = l^2 \times \text{sinc}(l \times f) \times \text{sinc}(l \times g);$$

其中,  $M^{\text{rect}}()$  表示所述矩形在频域上的响应函数,  $(f, g)$  为频域坐标系上的坐标表示,  $l$  表示所述矩形的边长,  $\text{sinc}()$  表示数学运算中的辛格函数;

根据傅里叶变换,通过以下公式获取所述直角扇形在频域上的响应函数:

$$M^{\text{sector}}(f, g) = \sum_n 2\pi i^{-n} e^{i \cdot n \cdot \text{atan}(g, f)} f_n \int_0^l J_n(2\pi r \sqrt{f^2 + g^2}) dr;$$

其中,  $M^{\text{sector}}()$  表示所述直角扇形在频域上的响应函数,  $i$  表示虚数单位,且  $i^2 = -1$ ,  $\text{atan}()$  表示数学运算中的反正切函数,  $J_n$  表示第一类Bessel函数,  $n$  表示所述第一类Bessel函数的阶数,  $r$  表示所述直角扇形的半径,  $\Sigma()$  表示数学运算中的求和函数,

$$f_n = \begin{cases} 0.25, n = 0 \\ \frac{i}{2n\pi} \left( e^{\frac{-in\pi}{2}} - 1 \right), n \neq 0 \end{cases};$$

根据所述矩形在频域上的响应函数以及所述直角扇形在频域上的响应函数,通过以下公式获取所述第二响应函数:

$$M_2(f, g) = M^{\text{rect}}(f, g) - M^{\text{sector}}(f, g);$$

其中,  $M_2(f, g)$  表示所述第二响应函数。

3. 根据权利要求2所述的方法, 其特征在于, 所述根据所述第一响应函数以及所述第二响应函数, 获取第三响应函数, 包括:

通过以下公式获取所述第三响应函数:

$$M(f, g) = M_1(f, g) + \sum_j \alpha_j e^{j(x_j f + y_j g)} M_2(f, g);$$

其中,  $M(f, g)$  表示所述第三响应函数,  $M_1(f, g)$  表示所述第一响应函数,  $\alpha_j = \pm 1$ ,  $j$  表示所述掩模版图形中多边形的第  $j$  个顶点, 所述掩模版图形中包括多个多边形。

4. 一种基于掩模版拐角圆化的计算光刻装置, 其特征在于, 包括:

图形获取模块, 用于获取圆化处理图形以及预先设计的掩模版图形, 其中, 所述掩模版图形为理想的掩模版图形, 所述圆化处理图形用于对所述掩模版图形进行圆化处理, 所述圆化处理图形中包括圆弧边, 所述圆化处理图形包括第一圆化处理图形以及第二圆化处理图形, 所述第一圆化处理图形与所述第二圆化处理图形的透射率相反, 所述圆化处理图形为通过将矩形去除一个固定形状之后所剩的图形, 所述固定形状为直角扇形, 所述直角扇形以所述矩形的顶点为圆心, 以所述矩形的边长为半径;

第一响应函数获取模块, 用于根据所述掩模版图形, 通过傅里叶变换, 获取第一响应函数, 所述第一响应函数为所述掩模版图形在频域上的响应函数;

第二响应函数获取模块, 用于根据所述圆化处理图形, 通过傅里叶变换, 获取第二响应函数, 所述第二响应函数为所述圆化处理图形在频域上的响应函数;

拐角标识模块, 用于根据所述掩模版图形, 获取所述掩模版图形中的拐角, 并标识所述拐角的类型, 所述拐角的类型包括凸角以及凹角;

圆化处理模块, 用于根据所述拐角的类型, 将所述圆化处理图形增加到所述掩模版图形中, 对所述掩模版进行圆化处理;

几何图形获取模块, 用于根据圆化处理后的掩模版, 获取所述圆化处理后的掩模版中包括的几何图形;

第三响应函数获取模块, 用于根据所述第一响应函数以及所述第二响应函数, 获取第三响应函数, 所述第三响应函数为所述几何图形在频域上的响应函数;

光强分布获取模块, 用于根据所述第三响应函数, 获取晶圆表面的光强分布;

其中, 所述圆化处理模块包括:

凸角圆化处理单元, 用于将第一圆化处理图形增加到所述凸角处, 所述第一圆化处理图形与所述掩模版图形的透射率相反;

凹角圆化处理单元, 用于将第二圆化处理图形增加到所述凹角处, 所述第二圆化处理图形与所述掩模版图形的透射率相同。

5. 根据权利要求4所述的装置, 其特征在于, 所述第二响应函数获取模块包括:

矩形响应函数获取单元, 用于根据傅里叶变换, 通过以下公式获取矩形在频域上的响应函数:

$$M^{\text{rect}}(f, g) = l^2 \times \text{sinc}(l \times f) \times \text{sinc}(l \times g);$$

其中,  $M^{\text{rect}}()$  表示所述矩形在频域上的响应函数,  $(f, g)$  为所述矩形在频域坐标系上的

坐标表示,  $l$ 表示所述矩形的边长,  $\text{sinc}()$ 表示数学运算中的辛格函数;

直角扇形响应函数获取单元, 用于根据傅里叶变换, 通过以下公式获取直角扇形在频域上的响应函数:

$$M^{\text{sector}}(f, g) = \sum_n 2\pi i^{-n} e^{i \cdot n \cdot \text{atan}(g, f)} f_n \int_0^l J_n(2\pi r \sqrt{f^2 + g^2}) dr;$$

其中,  $M^{\text{sector}}()$ 表示所述直角扇形在频域上的响应函数,  $i$ 表示虚数单位, 且  $i^2 = -1$ ,  $\text{atan}()$ 表示数学运算中的反正切函数,  $J_n$ 表示第一类Bessel函数,  $n$ 表示所述第一类Bessel函数的阶数,  $r$ 表示所述直角扇形的半径,  $\Sigma()$ 表示数学运算中的求和函数,

$$f_n = \begin{cases} 0.25, n = 0 \\ \frac{i}{2n\pi} \left( e^{\frac{-in\pi}{2}} - 1 \right), n \neq 0 \end{cases};$$

第二响应函数获取单元, 用于根据所述矩形在频域上的响应函数以及所述直角扇形在频域上的响应函数, 通过以下公式获取所述第二响应函数:

$$M_2(f, g) = M^{\text{rect}}(f, g) - M^{\text{sector}}(f, g);$$

其中,  $M_2(f, g)$ 表示所述第二响应函数。

6. 根据权利要求5所述的装置, 其特征在于, 所述第三响应函数获取模块包括:

第三响应函数获取单元, 用于通过以下公式获取所述第三响应函数:

$$M(f, g) = M_1(f, g) + \sum_j \alpha_j e^{j(x_j f + y_j g)} M_2(f, g);$$

其中,  $M(f, g)$ 表示所述第三响应函数,  $M_1(f, g)$ 表示所述第一响应函数,  $\alpha_j = \pm 1$ ,  $j$ 表示所述掩模版图形中多边形的第  $j$  个顶点, 所述掩模版图形包括多个多边形。

## 一种基于掩模版拐角圆化的计算光刻方法及装置

### 技术领域

[0001] 本申请涉及计算光刻技术领域,尤其涉及一种基于掩模版拐角圆化的计算光刻方法及装置。

### 背景技术

[0002] 光刻工艺是集成电路制造中的一个重要工艺步骤,该工艺通过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上,其主要过程可以通过光刻模型实现。光刻模型包括: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,使掩模版上的图形,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,光源在成像平面上形成了光强分布。实际应用中,为了尽量减小晶圆表面最终的成像图形和掩模版图形之间的误差,一般通过计算光刻,获取晶圆表面上的光强分布,进而从理论上对光刻工艺过程中的工艺参数进行优化。

[0003] 掩模版是光刻工艺中不可缺少的部件,掩模版上加工有预先设计的图形,该图形通常由数个多边形组成,每个多边形基本上包含有 $90^\circ$ 以及 $270^\circ$ 的拐角。在掩模版的制造工艺中,一般通过电子束照射的方法,将预先设计的图形加工到掩模版上。但是在实际制造过程中,由于各种原因,预先设计的图形不会理想的呈现在掩模版上,掩模版上最终的图形在拐角处会出现圆化的现象。也就是说,在实际的光刻工艺过程中,所用到的掩模版图形不是理想的预先设计的图形,而是在拐角处出现圆化的图形。但是,计算光刻是基于光刻模型的,而光刻模型中的掩模版图形却是预先设计的理想的掩模版图形,所以计算光刻过程中使用的掩模版图形,在拐角处并没有出现圆化。这种情况导致计算光刻所获取的光强分布结果与实际光刻工艺结果之间产生误差,使得通过计算光刻无法精确的对光刻工艺过程中的工艺参数进行优化。

[0004] 针对上述问题,现有技术中公开了一份发明专利,该专利的授权公告号为CN101675385B,专利名称为“通过对掩模拐角圆化效果进行建模来改进工艺模型准确度”。该专利中,针对光刻模型中的掩模版图形,通过在多边形的拐角处添加斜面或者台阶切口,对拐角进行近似圆化的处理,减小光刻模型中的掩模版图形拐角与实际光刻工艺过程中使用的掩模版图形拐角之间的偏差。

[0005] 但是,申请人在本发明的研究过程中发现,上述方法中,在使用斜面对掩模版图形的拐角进行近似圆化处理之后,拐角处仍存在一定的棱角,与实际光刻工艺所使用的掩模版图形中圆化的拐角之间具有一定的偏差。随着光刻系统中掩模版的图形日趋复杂,其包含的多边形以及拐角越来越多的情况下,所有拐角的偏差累积起来的大小将达到无法忽视的程度。因此,亟需一种计算光刻方法,能够针对掩模版图形进行处理,进而提高计算光刻的精度。

## 发明内容

[0006] 为了解决现有技术中的计算光刻方法对掩模版图形的拐角进行处理时,仍存在误差的问题,本申请通过以下实施例公开一种基于掩模版拐角圆化的计算光刻方法及装置。

[0007] 在本申请的第一方面,公开一种基于掩模版拐角圆化的计算光刻方法,包括:

[0008] 获取圆化处理图形以及预先设计的掩模版图形,其中,所述掩模版图形为理想的掩模版图形,所述圆化处理图形用于对所述掩模版图形进行圆化处理,所述圆化处理图形中包括圆弧边;

[0009] 根据所述掩模版图形,通过傅里叶变换,获取第一响应函数,所述第一响应函数为所述掩模版图形在频域上的响应函数;

[0010] 根据所述圆化处理图形,通过傅里叶变换,获取第二响应函数,所述第二响应函数为所述圆化处理图形在频域上的响应函数;

[0011] 根据所述掩模版图形,获取所述掩模版图形中的拐角,并标识所述拐角的类型,所述拐角的类型包括凸角以及凹角;

[0012] 根据所述拐角的类型,将所述圆化处理图形增加到所述掩模版图形中,对所述掩模版进行圆化处理;

[0013] 根据圆化处理后的掩模版,获取所述圆化处理后的掩模版中包括的几何图形;

[0014] 根据所述第一响应函数以及所述第二响应函数,获取第三响应函数,所述第三响应函数为所述几何图形在频域上的响应函数;

[0015] 根据所述第三响应函数,获取晶圆表面的光强分布。

[0016] 可选的,

[0017] 所述圆化处理图形包括第一圆化处理图形以及第二圆化处理图形;

[0018] 所述第一圆化处理图形与所述第二圆化处理图形的透射率相反。

[0019] 可选的,所述根据所述拐角的类型,将所述圆化处理图形增加到所述掩模版图形中,对所述掩模版进行圆化处理,包括:

[0020] 若所述拐角为凸角,则将所述第一圆化处理图形增加到所述凸角处,所述第一圆化处理图形与所述掩模版图形的透射率相反;

[0021] 若所述拐角为凹角,则将所述第二圆化处理图形增加到所述凹角处,所述第二圆化处理图形与所述掩模版图形的透射率相同。

[0022] 可选的,所述圆化处理图形为通过将矩形去除一个固定形状之后所剩的图形,所述固定形状为直角扇形,所述直角扇形以所述矩形的顶点为圆心,以所述矩形的边长为半径。

[0023] 可选的,所述根据所述圆化处理图形,通过傅里叶变换,获取第二响应函数,包括:

[0024] 根据傅里叶变换,通过以下公式获取所述矩形在频域上的响应函数:

[0025]  $M^{\text{rect}}(f, g) = l^2 \times \text{sinc}(l \times f) \times \text{sinc}(l \times g)$ ;

[0026] 其中,  $M^{\text{rect}}()$  表示所述矩形在频域上的响应函数,  $(f, g)$  为所述矩形在频域坐标系上的坐标表示,  $l$  表示所述矩形的边长,  $\text{sinc}()$  表示数学运算中的辛格函数;

[0027] 根据傅里叶变换,通过以下公式获取所述直角扇形在频域上的响应函数:

[0028]  $M^{\text{sector}}(f, g) = \sum_n 2\pi i^{-n} e^{i \cdot n \cdot \text{atan}(g, f)} f_n \int_0^l J_n(2\pi r \sqrt{f^2 + g^2}) dr$ ;

[0029] 其中,  $M^{\text{sector}}()$  表示所述直角扇形在频域上的响应函数,  $i$  表示虚数单位, 且  $i^2 = -1$ ,  $\text{atan}()$  表示数学运算中的反正切函数,  $J_n$  表示第一类 Bessel 函数,  $n$  表示所述第一类 Bessel 函数的阶数,  $r$  表示所述直角扇形的半径,  $\Sigma()$  表示数学运算中的求和函数,

$$[0030] \quad f_n = \begin{cases} 0.25, n = 0 \\ \frac{i}{2n\pi} \left( e^{\frac{-in\pi}{2}} - 1 \right), n \neq 0; \end{cases}$$

[0031] 根据所述矩形在频域上的响应函数以及所述直角扇形在频域上的响应函数, 通过以下公式获取所述第二响应函数:

$$[0032] \quad M_2(f, g) = M^{\text{rect}}(f, g) - M^{\text{sector}}(f, g);$$

[0033] 其中,  $M_2(f, g)$  表示所述第二响应函数。

[0034] 可选的, 所述根据所述第一响应函数以及所述第二响应函数, 获取第三响应函数, 包括:

[0035] 通过以下公式获取所述第三响应函数:

$$[0036] \quad M(f, g) = M_1(f, g) + \sum_j \alpha_j e^{j(x_j f + y_j g)} M_2(f, g);$$

[0037] 其中,  $M(f, g)$  表示所述第三响应函数,  $M_1(f, g)$  表示所述第一响应函数,  $\alpha_j = \pm 1$ ,  $j$  表示所述掩模版图形中多边形的第  $j$  个顶点, 所述掩模版图形中包括多个多边形。

[0038] 在本申请的第二方面, 公开一种基于掩模版拐角圆化的计算光刻装置, 包括:

[0039] 图形获取模块, 用于获取圆化处理图形以及预先设计的掩模版图形, 其中, 所述掩模版图形为理想的掩模版图形, 所述圆化处理图形用于对所述掩模版图形进行圆化处理, 所述圆化处理图形中包括圆弧边;

[0040] 第一响应函数获取模块, 用于根据所述掩模版图形, 通过傅里叶变换, 获取第一响应函数, 所述第一响应函数为所述掩模版图形在频域上的响应函数;

[0041] 第二响应函数获取模块, 用于根据所述圆化处理图形, 通过傅里叶变换, 获取第二响应函数, 所述第二响应函数为所述圆化处理图形在频域上的响应函数;

[0042] 拐角标识模块, 用于根据所述掩模版图形, 获取所述掩模版图形中的拐角, 并标识所述拐角的类型, 所述拐角的类型包括凸角以及凹角;

[0043] 圆化处理模块, 用于根据所述拐角的类型, 将所述圆化处理图形增加到所述掩模版图形中, 对所述掩模版进行圆化处理;

[0044] 几何图形获取模块, 用于根据圆化处理后的掩模版, 获取所述圆化处理后的掩模版中包括的几何图形;

[0045] 第三响应函数获取模块, 用于根据所述第一响应函数以及所述第二响应函数, 获取第三响应函数, 所述第三响应函数为所述几何图形在频域上的响应函数;

[0046] 光强分布获取模块, 用于根据所述第三响应函数, 获取晶圆表面的光强分布。

[0047] 可选的, 所述圆化处理模块包括:

[0048] 凸角圆化处理单元, 用于将第一圆化处理图形增加到所述凸角处, 所述第一圆化处理图形与所述掩模版图形的透射率相反;

[0049] 凹角圆化处理单元, 用于将第二圆化处理图形增加到所述凹角处, 所述第二圆化

处理图形与所述掩模版图形的透射率相同。

[0050] 可选的,所述第二响应函数获取模块包括:

[0051] 矩形响应函数获取单元,用于根据傅里叶变换,通过以下公式获取矩形在频域上的响应函数:

$$[0052] \quad M^{\text{rect}}(f, g) = l^2 \times \text{sinc}(l \times f) \times \text{sinc}(l \times g);$$

[0053] 其中,  $M^{\text{rect}}()$  表示所述矩形在频域上的响应函数,  $(f, g)$  为所述矩形在频域坐标系上的坐标表示,  $l$  表示所述矩形的边长,  $\text{sinc}()$  表示数学运算中的辛格函数;

[0054] 直角扇形响应函数获取单元,用于根据傅里叶变换,通过以下公式获取直角扇形在频域上的响应函数:

$$[0055] \quad M^{\text{sector}}(f, g) = \sum_n 2\pi i^{-n} e^{i \cdot n \cdot \text{atan}(g, f)} f_n \int_0^l J_n(2\pi r \sqrt{f^2 + g^2}) dr;$$

[0056] 其中,  $M^{\text{sector}}()$  表示所述直角扇形在频域上的响应函数,  $i$  表示虚数单位, 且  $i^2 = -1$ ,  $\text{atan}()$  表示数学运算中的反正切函数,  $J_n$  表示第一类Bessel函数,  $n$  表示所述第一类Bessel函数的阶数,  $r$  表示所述直角扇形的半径,  $\Sigma()$  表示数学运算中的求和函数,

$$[0057] \quad f_n = \begin{cases} 0.25, n = 0 \\ \frac{i}{2n\pi} \left( e^{\frac{-in\pi}{2}} - 1 \right), n \neq 0; \end{cases}$$

[0058] 第二响应函数获取单元,用于根据所述矩形在频域上的响应函数以及所述直角扇形在频域上的响应函数,通过以下公式获取所述第二响应函数:

$$[0059] \quad M_2(f, g) = M^{\text{rect}}(f, g) - M^{\text{sector}}(f, g);$$

[0060] 其中,  $M_2(f, g)$  表示所述第二响应函数。

[0061] 可选的,所述第三响应函数获取模块包括:

[0062] 第三响应函数获取单元,用于通过以下公式获取所述第三响应函数:

$$[0063] \quad M(f, g) = M_1(f, g) + \sum_j \alpha_j e^{j(x_j f + y_j g)} M_2(f, g);$$

[0064] 其中,  $M(f, g)$  表示所述第三响应函数,  $M_1(f, g)$  表示所述第一响应函数,  $\alpha_j = \pm 1$ ,  $j$  表示所述掩模版图形中多边形的第  $j$  个顶点,所述掩模版图形包括多个多边形。

[0065] 本申请公开了一种基于掩模版拐角圆化的计算光刻方法及装置,在获取晶圆表面的光强分布之前,通过圆化处理图形对预先设计的理想的掩模版图形进行圆化处理,获取掩模版的几何图形,所述几何图形与实际光刻工艺过程中使用的拐角圆化的掩模版图形相符合。在此基础上,通过理想的掩模版图形以及圆化处理图形在频域上的响应函数,获取几何图形的响应函数,利用几何图形的响应函数计算晶圆表面光强分布。

[0066] 相较于现有技术中,本申请中的计算光刻方法所使用的圆化处理图形的一边为圆弧边,通过圆化处理图形对掩模版图形的拐角进行处理之后,能够有效消除与实际光刻工艺中圆化的拐角之间的偏差,进一步的,基于拐角圆化处理后的掩模版图形,对晶圆表面光强分布进行计算,在很大程度上降低了计算光刻结果与实际光刻工艺结果之间的误差,保证了计算光刻结果的精确度。



## 附图说明

[0067] 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。

[0068] 图1为本申请实施例公开的一种基于掩模版拐角圆化的计算光刻方法的工作流程示意图;

[0069] 图2为本申请实施例公开的一种基于掩模版拐角圆化的计算光刻方法中,一种预先设计的掩模版图形示意图;

[0070] 图3为本申请实施例公开的一种基于掩模版拐角圆化的计算光刻方法中,圆化处理图形的示意图;

[0071] 图4为本申请实施例公开的一种基于掩模版拐角圆化的计算光刻方法中,利用圆化处理图形对拐角进行圆化处理的示意图;

[0072] 图5为本申请实施例公开的一种基于掩模版拐角圆化的计算光刻方法中,根据拐角的类型进行圆化处理的示意图;

[0073] 图6为本申请实施例公开的一种基于掩模版拐角圆化的计算光刻方法中,掩模版图形拐角圆化的结果示意图;

[0074] 图7为本申请实施例公开的一种基于掩模版拐角圆化的计算光刻方法中,获取圆化处理图形的示意图;

[0075] 图8为本申请实施例公开的一种基于掩模版拐角圆化的计算光刻装置的结构示意图。

## 具体实施方式

[0076] 为了解决现有技术中的计算光刻方法对掩模版图形的拐角进行处理时,仍存在误差的问题,本申请通过以下实施例公开一种基于掩模版拐角圆化的计算光刻方法及装置。

[0077] 参见图1所示的工作流程示意图,本申请第一实施例公开一种基于掩模版拐角圆化的计算光刻方法,包括:

[0078] 步骤S11,获取圆化处理图形以及预先设计的掩模版图形,其中,所述掩模版图形为理想的掩模版图形,所述圆化处理图形用于对所述掩模版图形进行圆化处理,所述圆化处理图形中包括圆弧边。

[0079] 原始未加工的掩模版为透明的玻璃/石英基片,预先设计的掩模版图形一般由版图工程师设计而成,并通过相应的软件进行绘制。在掩模版的制造工艺中,通过版图读取软件,获取预先设计并保存好的掩模版图形文件,然后使用电子束照射的方法,将预先设计的掩模版图形加工到原始的透明掩模版基片上。但是使用电子束照射的方法,所获取的用于实际光刻工艺中的掩模版图形,不存在理想的拐角,在拐角处皆存在圆化的问题。

[0080] 根据掩模版的版图设计规则,预先设计的掩模版图形通常包含数个多边形,每个多边形基本上包含有 $90^\circ$ 以及 $270^\circ$ 的拐角。参见图2所示,图2为本申请实施例公开的一种预先设计的掩模版图形示意图,为了便于理解以及说明,图中标注了两个顶点,容易理解到,顶点A处的拐角为 $90^\circ$ ,顶点B处的拐角为 $270^\circ$ 。

[0081] 参见图3所示,图3为本申请实施例公开的圆化处理图形的示意图,从图中可以看

出,所述圆化处理图形包含圆弧边。相较于现有技术中使用斜面对掩模版图形的拐角进行处理,本申请中使用包含圆弧边的圆化处理图形,对掩模版图形的拐角进行圆化处理,能够使得处理后的拐角与实际光刻工艺中所使用的掩模版图形的拐角相同。

[0082] 步骤S12,根据所述掩模版图形,通过傅里叶变换,获取第一响应函数,所述第一响应函数为所述掩模版图形在频域上的响应函数。

[0083] 基于现有技术中的掩模版图形函数获取方法,根据傅里叶变化,容易获取所述掩模版图形在频域上的响应函数,即所述第一响应函数。

[0084] 步骤S13,根据所述圆化处理图形,通过傅里叶变换,获取第二响应函数,所述第二响应函数为所述圆化处理图形在频域上的响应函数。

[0085] 步骤S14,根据所述掩模版图形,获取所述掩模版图形中的拐角,并标识所述拐角的类型,所述拐角的类型包括凸角以及凹角。

[0086] 具体的,根据掩模版的版图设计规则,所述预先设计的掩模版图形所包含的数个多边形中,每个多边形包含有 $90^\circ$ 以及 $270^\circ$ 的拐角。针对这两种类型的拐角,将大小为 $90^\circ$ 的拐角标识为凸角,将大小为 $270^\circ$ 的拐角标识为凹角。相应的,结合上述图2中的掩模版图形,图中A顶点处的拐角即为凸角,B顶点处的拐角即为凹角。

[0087] 步骤S15,根据所述拐角的类型,将所述圆化处理图形增加到所述掩模版图形中,对所述掩模版进行圆化处理。

[0088] 参见图4所示,图4公开了利用本申请公开的圆化处理图形,对拐角进行圆化处理的原理示意图,图4中左边的图为预先设计的掩模版图形中的一个多边形示意图,右边的图为将所述圆化处理图形增加到所述多边形其中一个拐角处的结果图,从该结果图中可以看出,处理之后的拐角被圆化,与实际光刻工艺中使用的掩模版图形的拐角相符合。

[0089] 步骤S16,根据圆化处理后的掩模版,获取所述圆化处理后的掩模版中包括的几何图形。

[0090] 其中,几何图形为经过圆化处理后的掩模版中的图形,也就是说,几何图形中多边形的拐角都是经过圆化的拐角。

[0091] 具体的,根据上述几何图形的获取方式,可以理解,所述几何图形在空间域上的函数为所述掩模版图形在空间域上的函数与所述圆化处理图形在空间域上的函数之和。实际计算光刻中,可以通过以下公式获取所述几何图形在空间域上的函数:

$$[0092] \quad m(x, y) = m_1(x, y) + m_2(x, y);$$

[0093] 其中, $m(x, y)$ 表示所述几何图形在空间域上的函数, $m_1(x, y)$ 表示所述掩模版图形在空间域上的函数, $m_2(x, y)$ 表示所述圆化处理图形在空间域上的函数, $(x, y)$ 为空间域坐标系上的坐标表示。

[0094] 步骤S17,根据所述第一响应函数以及所述第二响应函数,获取第三响应函数,所述第三响应函数为所述几何图形在频域上的响应函数。

[0095] 结合上述几何图形在空间域上的函数,基于所述第一响应函数以及所述第二响应函数,根据傅里叶变化原理,容易获取所述几何图形在频域上的响应函数,即所述第三响应函数。

[0096] 步骤S18,根据所述第三响应函数,获取晶圆表面的光强分布。

[0097] 现有技术中,在进行计算光刻时,基于Hopkins光学原理,以Hopkins公式为基础,

利用光学系统中光源函数以及光瞳函数构成交叉传递函数,对所述交叉传递函数进行分解,获得一组核函数,通过获取所述掩模版的理想函数与核函数的卷积结果的平方,获取晶圆表面的光强分布,其中,所述掩模版的理想函数为所述掩模版预先设计的理想图形函数。

[0098] 基于上述现有技术中的计算光刻基本原理,本申请公开了一种基于掩模版拐角圆化的计算光刻方法及装置,在获取晶圆表面的光强分布之前,通过圆化处理图形对预先设计的理想的掩模版图形进行圆化处理,获取掩模版的几何图形,所述几何图形与实际光刻工艺过程中使用的拐角圆化的掩模版图形相符合。在此基础上,通过理想的掩模版图形以及圆化处理图形在频域上的响应函数,获取几何图形的响应函数,根据几何图形的响应函数,计算晶圆表面光强分布。

[0099] 相较于现有技术,本申请中的计算光刻方法所使用的圆化处理图形的一边为圆弧边,通过圆化处理图形对掩模版图形的拐角进行处理之后,能够有效消除与实际光刻工艺中圆化的拐角之间的偏差,进一步的,基于拐角圆化处理后的掩模版图形,获取所述几何图形在频域上的响应函数,即第三响应函数,在获取晶圆表面光强分布时,将第三响应函数作为掩模版的函数进行计算,获取晶圆表面光强分布,有效消除了计算光刻结果与实际光刻工艺结果之间的误差,保证了计算光刻结果的精确度。

[0100] 进一步的,所述圆化处理图形包括第一圆化处理图形以及第二圆化处理图形。

[0101] 所述第一圆化处理图形与所述第二圆化处理图形的透射率相反。

[0102] 光刻工艺原理中,掩模版上加工有预先设计的图形,光线透过掩模版,能够将预先设计的图形透射在晶圆表面上。本申请巧妙地利用该光刻工艺原理,在对拐角进行圆化处理时,设置了两种圆化处理图形:第一圆化处理图形与第二圆化处理图形,并将这两种圆化处理图形设置为形状相同,透射率相反,所述透射率表示透过光的程度。在对掩模版图形进行圆化处理时,能够根据掩模版图形拐角的种类,利用透射率不同的圆化处理图形,对拐角进行分类处理。

[0103] 进一步的,所述根据所述拐角的类型,将所述圆化处理图形增加到所述掩模版图形中,对所述掩模版进行圆化处理,包括:

[0104] 若所述拐角为凸角,则将所述第一圆化处理图形增加到所述凸角处,所述第一圆化处理图形与所述掩模版图形的透射率相反。

[0105] 若所述拐角为凹角,则将所述第二圆化处理图形增加到所述凹角处,所述第二圆化处理图形与所述掩模版图形的透射率相同。

[0106] 对掩模版图形进行圆化处理时,任意选择掩模版图形中的一个多边形作为目标多边形,对所述目标多边形进行圆化处理。具体的,首先,选定目标多边形的某一点,并以逆时针为方向,按照拐角的大小,依次将拐角标识为凸角或者凹角,然后按照拐角的种类,分别利用第一圆化处理图形或者第二圆化处理图形,对拐角进行处理。

[0107] 参见图5所示,图5中分为上下两组图,上面一组图为对凸角进行圆化处理的示意图,下面一组图为对凹角进行圆化处理的示意图。为了实现对凸角的圆化处理,将第一圆化处理图形的透射率设置为与掩模版图形的透射率相反,从图中便可看出,第一圆化处理图形对凸角实现了圆化处理。另外,为了实现对凹角的圆化处理,将第二圆化处理图形的透射率设置为与掩模版图形的透射率相同,从图中可以看出,第二圆化处理图形对凹角实现了圆化处理。

[0108] 参见图6所示,图6为本申请实施例公开的掩模版图形拐角圆化处理的结果示意图,图中分为上下两组图,分别表示对不同的多边形,利用本申请公开的方法,对拐角进行圆化处理所获得的结果示意图,从图中可以看出,处理后的掩模版图形,更加接近真实的电子束照射获得的掩模版图形。

[0109] 进一步的,所述圆化处理图形为通过将矩形去除一个固定形状之后所剩的图形,所述固定形状为直角扇形,所述直角扇形以所述矩形的顶点为圆心,以所述矩形的边长为半径。

[0110] 参见图7所示,图7为本申请实施例公开的获取圆化处理图形的示意图,从图中可以看出,在获取圆化处理图形时,通过将一个矩形刨去一个直角扇形之后所剩的图形,设置为圆化处理图形,所述直角扇形以所述矩形的一个顶点为圆心,以所述矩形的边长为半径。简单的说,所述圆化处理图形为两条直角边与一个圆弧边所组成的图形,在利用这样的圆化处理图形对拐角进行处理时,可以将所述圆化处理图形两条直角边的交点作为基准,将所述交点与所述拐角的拐点重合,进而对拐角进行圆化。

[0111] 具体的,在获取圆化处理图形时,所述矩形的边长,即所述直角扇形的半径为光刻模型中的可优化变量,可根据实际应用中掩模版图形进行设定。

[0112] 进一步的,所述根据所述圆化处理图形,通过傅里叶变换,获取第二响应函数,包括:

[0113] 根据傅里叶变换,通过以下公式获取所述矩形在频域上的响应函数:

[0114]  $M^{\text{rect}}(f, g) = l^2 \times \text{sinc}(l \times f) \times \text{sinc}(l \times g)$ ;

[0115] 其中,  $M^{\text{rect}}()$  表示所述矩形在频域上的响应函数,  $(f, g)$  为所述矩形在频域坐标系上的坐标表示,  $l$  表示所述矩形的边长,  $\text{sinc}()$  表示数学运算中的辛格函数。

[0116] 根据傅里叶变换,通过以下公式获取所述直角扇形在频域上的响应函数:

[0117]  $M^{\text{sector}}(f, g) = \sum_n 2\pi i^{-n} e^{i \cdot n \cdot \text{atan}(g, f)} f_n \int_0^l J_n(2\pi r \sqrt{f^2 + g^2}) dr$ ;

[0118] 其中,  $M^{\text{sector}}()$  表示所述直角扇形在频域上的响应函数,  $i$  表示虚数单位,且  $i^2 = -1$ ,  $\text{atan}()$  表示数学运算中的反正切函数,  $J_n$  表示第一类Bessel函数,  $n$  表示所述第一类Bessel函数的阶数,  $\Sigma()$  表示数学运算中的求和函数,

[0119]  $f_n = \begin{cases} 0.25, n = 0 \\ \frac{i}{2n\pi} \left( e^{\frac{-in\pi}{2}} - 1 \right), n \neq 0 \end{cases}$

[0120] 本申请中公开的直角扇形的频域响应函数,通过连续傅里叶变化获得,能够快速获取频域坐标位置对应的函数值,对比离散采样方法,本申请公开的直角扇形频域响应函数不存在采样误差。

[0121] 根据本申请公开的圆化处理图形获取的方法,便能够基于所述矩形与所述直角扇形之间的关系,结合傅里叶变换的性质,获取所述圆化处理图形在频域上的响应函数,即所述第二响应函数。根据所述矩形在频域上的响应函数以及所述直角扇形在频域上的响应函数,通过以下公式获取所述第二响应函数:

[0122]  $M_2(f, g) = M^{\text{rect}}(f, g) - M^{\text{sector}}(f, g)$ ;

[0123] 其中,  $M_2(f, g)$  表示所述第二响应函数。

[0124] 进一步的,所述根据所述第一响应函数以及所述第二响应函数,获取第三响应函数,包括:

[0125] 通过以下公式获取所述第三响应函数:

$$[0126] \quad M(f, g) = M_1(f, g) + \sum_j \alpha_j e^{j(x_j f + y_j g)} M_2(f, g);$$

[0127] 其中, $M(f, g)$ 表示所述第三响应函数, $M_1(f, g)$ 表示所述第一响应函数, $\alpha_j = \pm 1$ , $j$ 表示所述掩模版图形中多边形的第 $j$ 个顶点,所述掩模版图形中包括多个多边形。此处的掩模版图形是指未经过圆化处理的掩模版图形。

[0128] 具体的, $\alpha_j$ 表示所述圆化处理图形的透射率。当 $\alpha_j = 1$ 时,所述圆化处理图形的透射率与所述掩模版图形的透射率相同,此时,表示第 $j$ 个顶点处的拐角为凹角,第 $j$ 个顶点处所增加的圆化处理图形为第二圆化处理图形;当 $\alpha_j = -1$ 时,所述圆化处理图形的透射率与所述掩模版图形的透射率相反,此时,表示第 $j$ 个顶点处的拐角为凸角,第 $j$ 个顶点处所增加的圆化处理图形为第一圆化处理图形。

[0129] 本申请公开的计算光刻方法,基于光刻模型中理想的预先设计的掩模版图形,将经过圆化处理的掩模版图形应用到计算光刻中。相较于现有技术中经处理所获得的掩模版图形,本申请中经过圆化处理后的掩模版图形,更加接近真实的电子束照射获得的掩模版图形,其计算精度更高,有效的避免了因掩模版仿真精度不高,而导致的计算光刻结果的误差。

[0130] 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。

[0131] 相应的,参见图8所示,本申请另一实施例公开一种基于掩模版拐角圆化的计算光刻装置,包括:

[0132] 图形获取模块10,用于获取圆化处理图形以及预先设计的掩模版图形,其中,所述掩模版图形为理想的掩模版图形,所述圆化处理图形用于对所述掩模版图形进行圆化处理,所述圆化处理图形中包括圆弧边;

[0133] 第一响应函数获取模块20,用于根据所述掩模版图形,通过傅里叶变换,获取第一响应函数,所述第一响应函数为所述掩模版图形在频域上的响应函数;

[0134] 第二响应函数获取模块30,用于根据所述圆化处理图形,通过傅里叶变换,获取第二响应函数,所述第二响应函数为所述圆化处理图形在频域上的响应函数;

[0135] 拐角标识模块40,用于根据所述掩模版图形,获取所述掩模版图形中的拐角,并标识所述拐角的类型,所述拐角的类型包括凸角以及凹角;

[0136] 圆化处理模块50,用于根据所述拐角的类型,将所述圆化处理图形增加到所述掩模版图形中,对所述掩模版进行圆化处理;

[0137] 几何图形获取模块60,用于根据圆化处理后的掩模版,获取所述圆化处理后的掩模版中包括的几何图形;

[0138] 第三响应函数获取模块70,用于根据所述第一响应函数以及所述第二响应函数,获取第三响应函数,所述第三响应函数为所述几何图形在频域上的响应函数;

[0139] 光强分布获取模块80,用于根据所述第三响应函数,获取晶圆表面的光强分布。

[0140] 进一步的,所述圆化处理模块50包括:

[0141] 凸角圆化处理单元,用于将第一圆化处理图形增加到所述凸角处,所述第一圆化处理图形与所述掩模版图形的透射率相反;

[0142] 凹角圆化处理单元,用于将第二圆化处理图形增加到所述凹角处,所述第二圆化处理图形与所述掩模版图形的透射率相同。

[0143] 进一步的,所述第二响应函数获取模块30包括:

[0144] 矩形响应函数获取单元,用于根据傅里叶变换,通过以下公式获取矩形在频域上的响应函数:

$$[0145] \quad M^{\text{rect}}(f, g) = l^2 \times \text{sinc}(l \times f) \times \text{sinc}(l \times g);$$

[0146] 其中,  $M^{\text{rect}}()$  表示所述矩形在频域上的响应函数,  $(f, g)$  为所述矩形在频域坐标系上的坐标表示,  $l$  表示所述矩形的边长,  $\text{sinc}()$  表示数学运算中的辛格函数;

[0147] 直角扇形响应函数获取单元,用于根据傅里叶变换,通过以下公式获取直角扇形在频域上的响应函数:

$$[0148] \quad M^{\text{sector}}(f, g) = \sum_n 2\pi i^{-n} e^{i \cdot n \cdot \text{atan}(g, f)} f_n \int_0^l J_n(2\pi r \sqrt{f^2 + g^2}) dr;$$

[0149] 其中,  $M^{\text{sector}}()$  表示所述直角扇形在频域上的响应函数,  $i$  表示虚数单位,且  $i^2 = -1$ ,  $\text{atan}()$  表示数学运算中的反正切函数,  $J_n$  表示第一类Bessel函数,  $n$  表示所述第一类Bessel函数的阶数,  $r$  表示所述直角扇形的半径,  $\Sigma()$  表示数学运算中的求和函数,

$$[0150] \quad f_n = \begin{cases} 0.25, n = 0 \\ \frac{i}{2n\pi} \left( e^{\frac{-in\pi}{2}} - 1 \right), n \neq 0 \end{cases}$$

[0151] 第二响应函数获取单元,用于根据所述矩形在频域上的响应函数以及所述直角扇形在频域上的响应函数,通过以下公式获取所述第二响应函数:

$$[0152] \quad M_2(f, g) = M^{\text{rect}}(f, g) - M^{\text{sector}}(f, g);$$

[0153] 其中,  $M_2(f, g)$  表示所述第二响应函数。

[0154] 进一步的,所述第三响应函数获取模块70包括:

[0155] 第三响应函数获取单元,用于通过以下公式获取所述第三响应函数:

$$[0156] \quad M(f, g) = M_1(f, g) + \sum_j \alpha_j e^{j(x_j f + y_j g)} M_2(f, g);$$

[0157] 其中,  $M(f, g)$  表示所述第三响应函数,  $M_1(f, g)$  表示所述第一响应函数,  $\alpha_j = \pm 1$ ,  $j$  表示所述掩模版图形中多边形的第  $j$  个顶点,所述掩模版图形包括多个多边形。

[0158] 本说明书中各个实施例之间相同相似的部分互相参见即可。尤其,对于装置实施例而言,由于其基本相似于方法实施例,所以描述的比较简单,相关之处参见方法实施例中的说明即可。

[0159] 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保护范围。本申请的保护范围以所附权利要求为准。

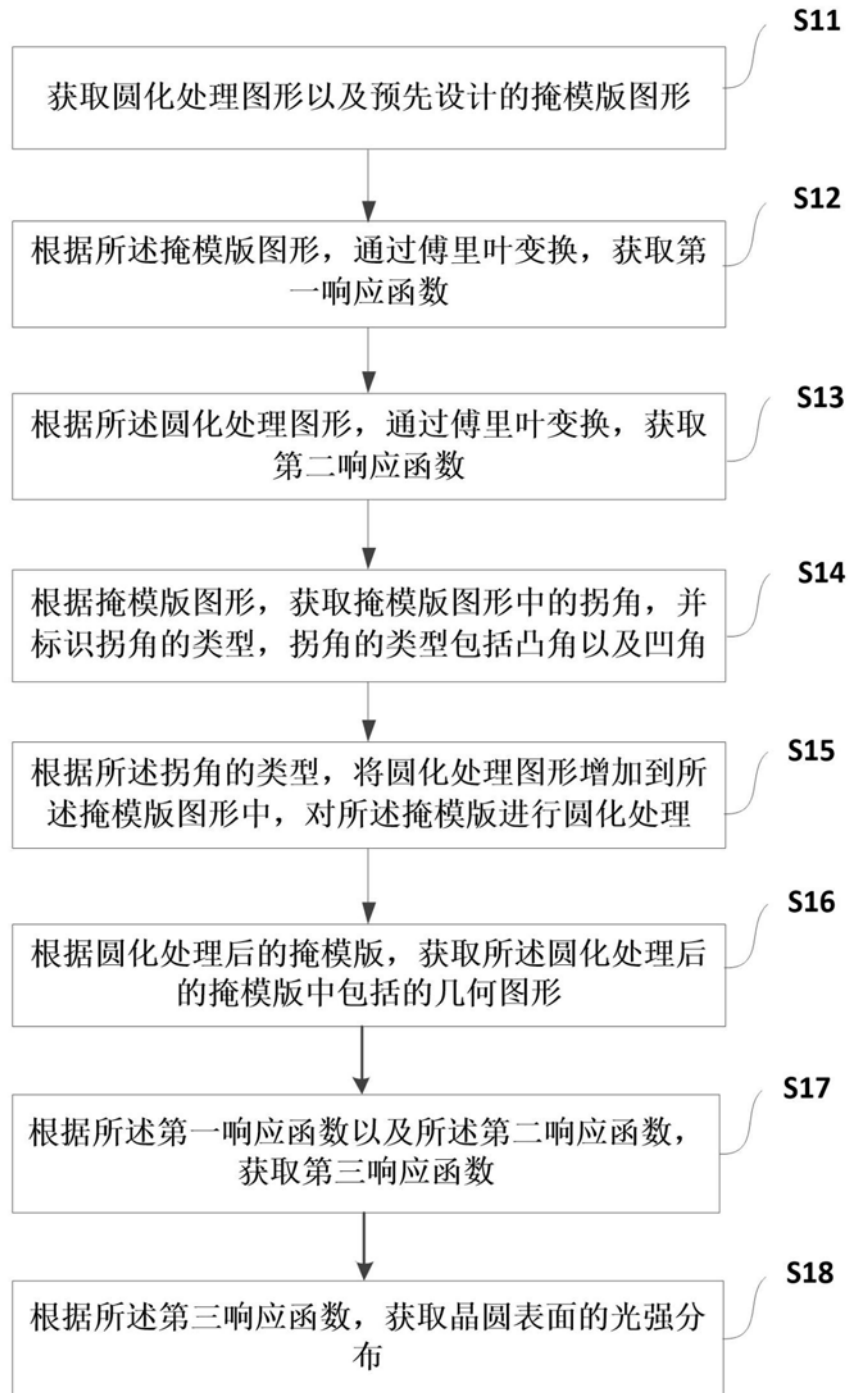


图1

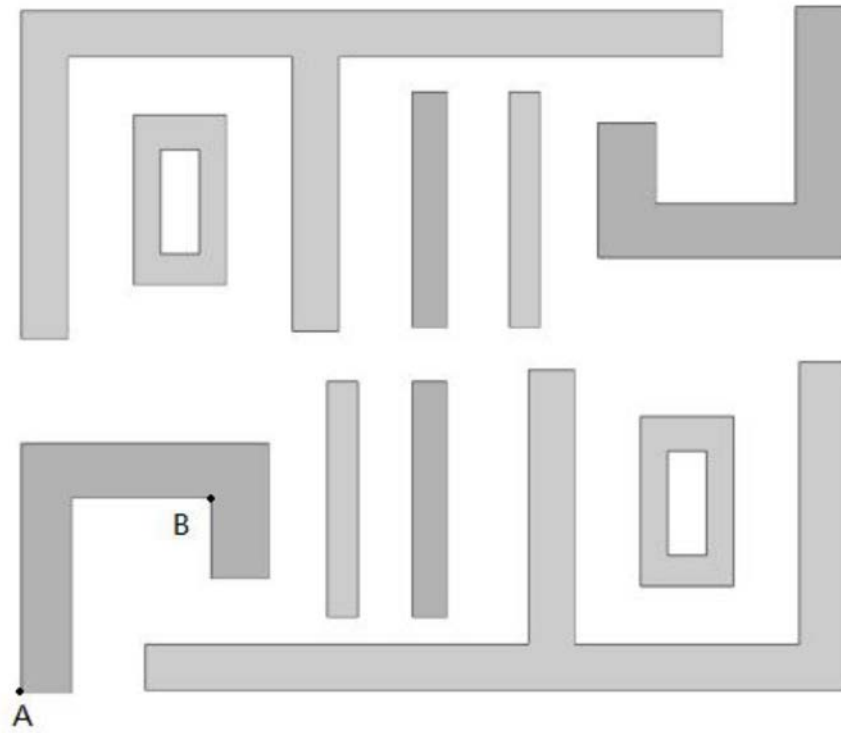


图2

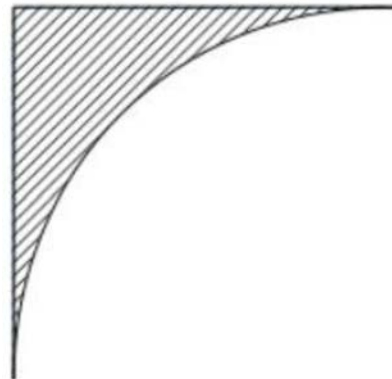


图3



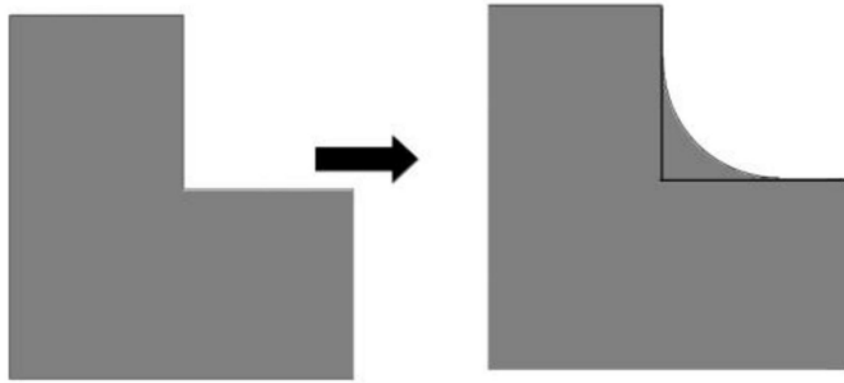


图4

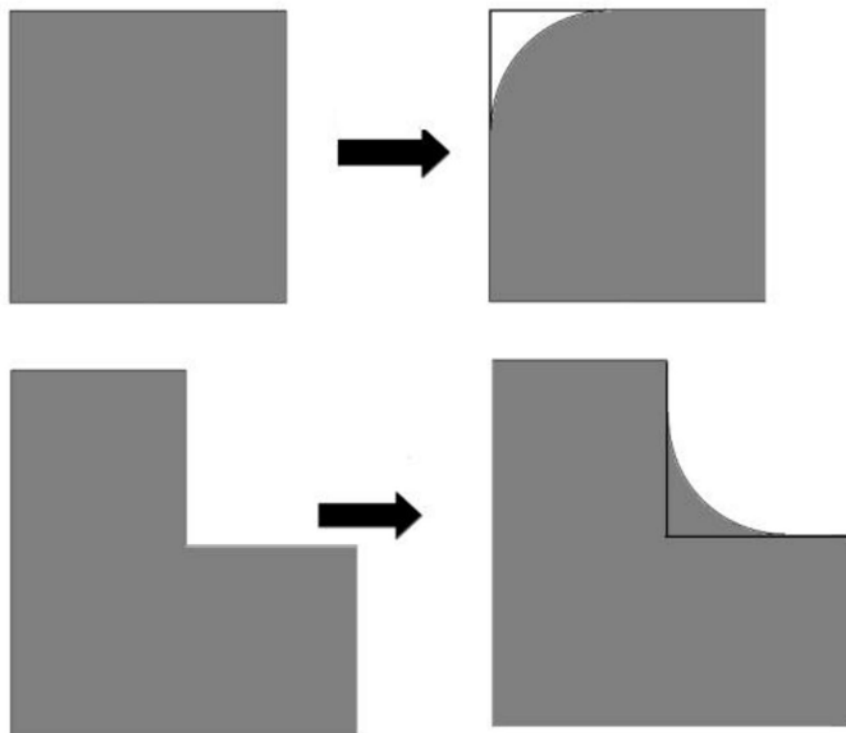


图5

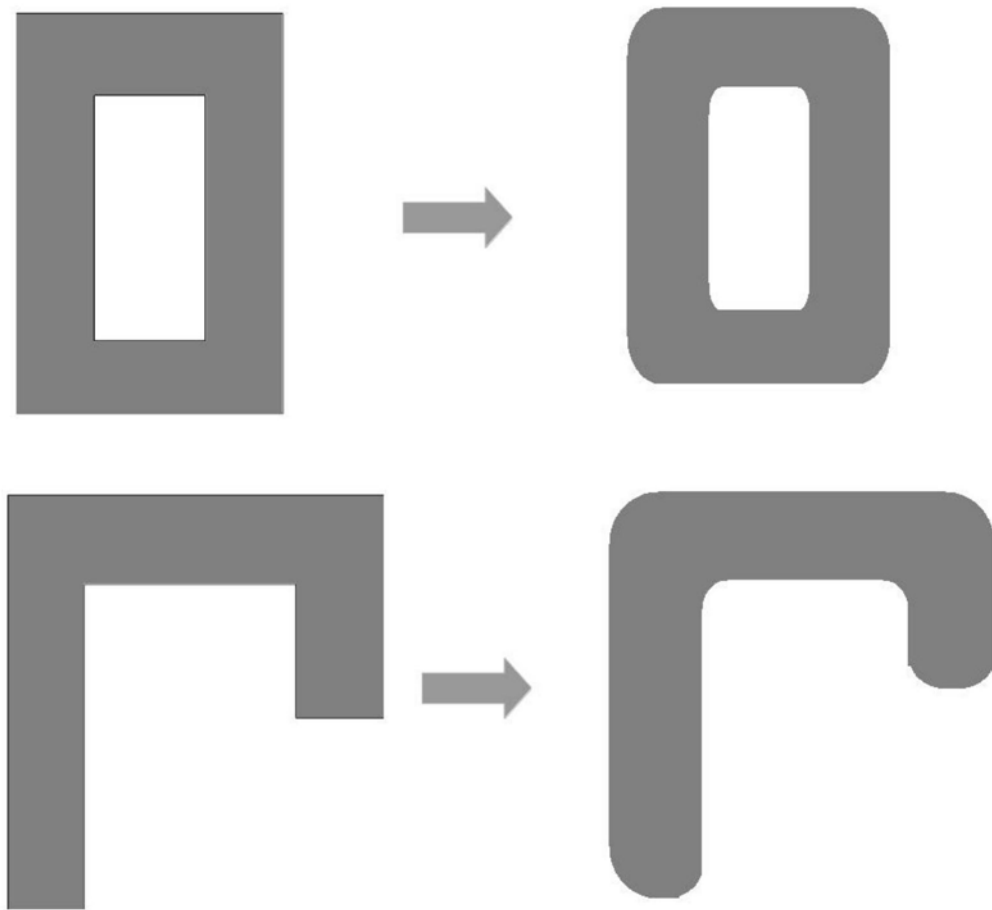


图6

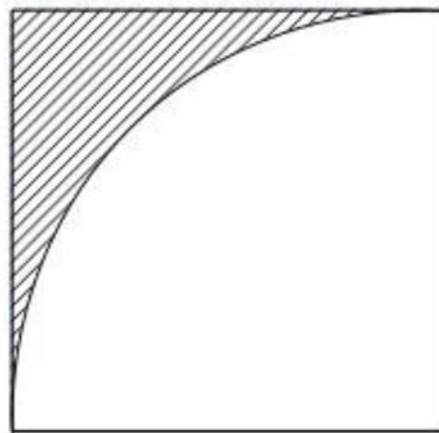


图7

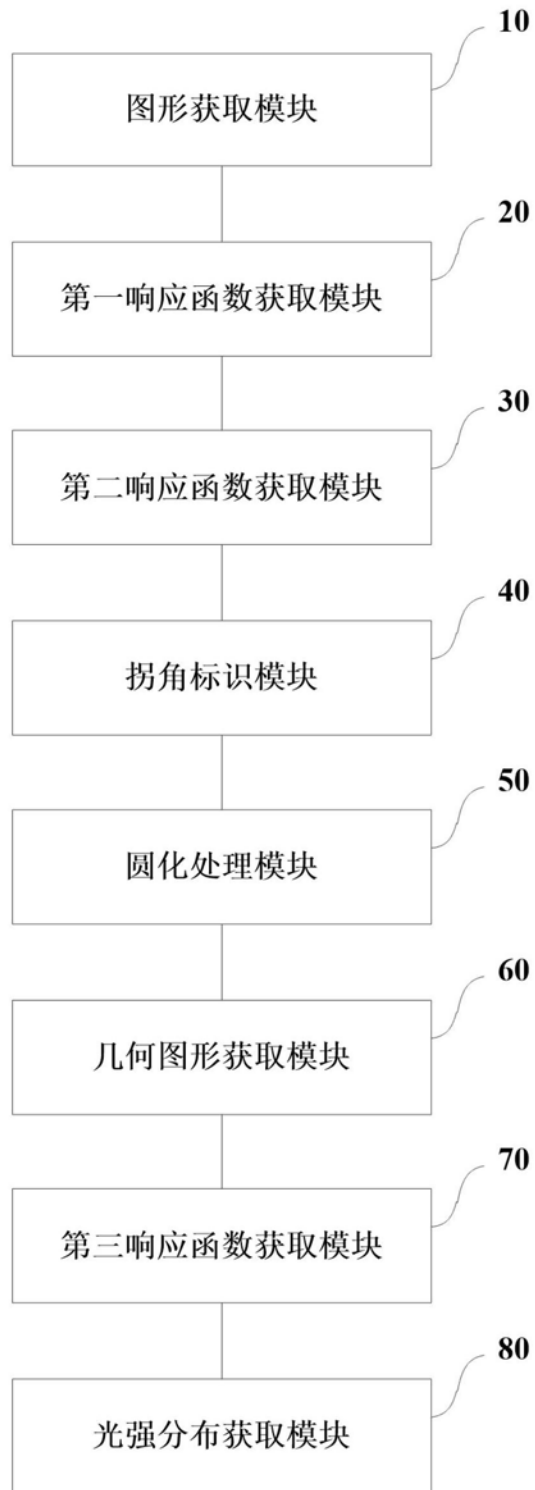


图8