

(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102346379 B

(45) 授权公告日 2013. 11. 06

(21) 申请号 201110351292. X

CN 102122111 A, 2011. 07. 13,

(22) 申请日 2011. 11. 09

CN 101561634 A, 2009. 10. 21,

(73) 专利权人 北京理工大学

JP 2004259845 A, 2004. 09. 16,

地址 100081 北京市海淀区中关村南大街 5 号

胡志卷. 基于最速下降法的可制造性模型. 《计算机工程》. 2010, 第 36 卷 (第 20 期),

审查员 章锦

(72) 发明人 李艳秋 郭学佳

(74) 专利代理机构 北京理工大学专利中心

11120

代理人 李爱英 杨志兵

(51) Int. Cl.

G03F 7/20 (2006. 01)

(56) 对比文件

US 2002/0078429 A1, 2002. 06. 20,

CN 102224459 A, 2011. 10. 19,

US 2003/0204282 A1, 2003. 10. 30,

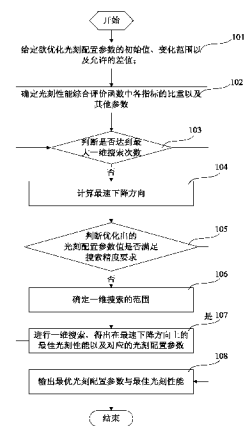
权利要求书2页 说明书6页 附图5页

(54) 发明名称

一种基于最速下降法光刻配置参数的优化方法

(57) 摘要

本发明提供一种基于最速下降法光刻配置参数的优化方法,具体步骤为:确定欲优化的 n 种光刻配置参数,确定用于评价光刻性能的 m 种光刻性能评价指标 y_j,获取最速下降方向,针对光刻配置参数 {x_i}_k,在其所对应的变化范围 {[u_i, v_i]}_k内,沿其对应的最速下降方向 {d_i}_k进行一维搜索,得到该方向最小的 F 值,记为 F_{min},获取 F_{min}对应的光刻配置参数 {x_i}_k,并将 {x_i}_k作为下一次循环的光刻配置参数,当循环次数是否达最大或满足搜索精度时,结束优化。本发明统筹考虑各种光刻评价指标,通过构造具有多种光刻性能评价指标的评价函数,实现对优化结果进行评价,因此使得优化后的光刻配置参数具有很好的光刻性能。



1. 一种基于最速下降法光刻配置参数的优化方法,其特征在于,具体步骤为:

步骤 101、确定欲优化的 n 种光刻配置参数,针对每一种光刻配置参数选定一初始值构成 $1 \times n$ 维矩阵 $\{x_i\}_1 = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$, $i = \{1, 2, \dots, n\}$; 确定每种光刻配置参数的变化范围 $\{x_i \in [a_i, b_i]\} = \{[a_1, b_1], [a_2, b_2], \dots, [a_n, b_n]\}$, 确定每种光刻配置参数用于求解差商的差值 $\{\Delta x_i \in [a_i, b_i]\}$, 其中 $|\Delta x_i| \ll |x_i|$; 给定优化精度允许误差 $\varepsilon > 0$, 最大一维搜索次数 k_{\max} , 并令循环次数 $k = 1$;

步骤 102、确定用于评价光刻性能的 m 种光刻性能评价指标 y_j , $j = \{1, 2, \dots, m\}$, 并构造光刻性能综合评价函数 $F = -\sum_{j=1}^m \gamma_j \cdot y_j$, 其中 γ_j 为针对各光刻性能评价指标设定的比重值;

步骤 103、对循环次数 k 进行判断,若 $k \leq k_{\max}$, 则进入步骤 104, 若 $k > k_{\max}$, 则进入步骤 108;

步骤 104、针对光刻配置参数 $\{x_i\}_k$ 计算其差商, 获取最速下降方向 $\{d_i\}_k$, $\{d_i\}_k = \left\{ -\nabla F(\{x_i\}_k) \right\}_k = \left\{ -\frac{F(\{x_i\}_k) - F(\{x_i\}_k - \Delta x_i)}{\{\Delta x_i\}_k} \right\}_k$, $\{d_i\}_k$ 为 $1 \times n$ 维矩阵;

步骤 105、对 $\|\{d_i\}_k\|$ 进行判断, 当判定 $\|\{d_i\}_k\| \leq \varepsilon$, 进入步骤 106, 否则进入步骤 18, 其中 $\|\cdot\|$ 为取模运算;

步骤 106、针对光刻配置参数 $\{x_i\}_k$, 根据其对应的最速下降方向 $\{d_i\}_k$ 更新其所对应的一维搜索变化范围为 $\{x_i \in [u_i, v_i]\}_k$, 且 $\{[u_i, v_i]\}_k \subseteq \{[a_i, b_i]\}_k$;

步骤 107、针对光刻配置参数 $\{x_i\}_k$, 在其所对应的变化范围 $\{[u_i, v_i]\}_k$ 内, 沿其对应的最速下降方向 $\{d_i\}_k$ 进行一维搜索, 得到该方向最小的 F 值, 记为 F_{\min} , 获取 F_{\min} 对应的光刻配置参数 $\{x_i\}_k$, 并将 $\{x_i\}_k$ 作为下一次循环的光刻配置参数, 令 $k = k+1$, 返回步骤 103;

步骤 108、输出最优光刻配置参数 $\{x_i\}_k$, 以及 $\{x_i\}_k$ 所对应的 F 值。

2. 根据权利要求 1 所述基于最速下降法光刻配置参数的优化方法,其特征在于,所述步骤 106 中针对光刻配置参数 $\{x_i\}_k$, 根据其对应的最速下降方向 $\{d_i\}_k$ 更新其所对应的变化范围为 $\{x_i \in [u_i, v_i]\}_k$ 的具体过程如下:

定义中间变量 $\{\hat{u}_1, \hat{u}_2, \dots, \hat{u}_n\}_k$ 和 $\{\hat{v}_1, \hat{v}_2, \dots, \hat{v}_n\}_k$;

步骤 201、针对第 p 种光刻配置参数 $(x_p)_k$, 其中变量 $p \in \{1, 2, \dots, n\}$, 判断 $(d_p)_k$ 的正负:

当 $(d_p)_k > 0$ 时, 则令中间变量 $(\hat{u}_p)_k = (a_p)$, 中间变量 $(\hat{v}_p)_k = (b_p)$,

当 $(d_p)_k < 0$ 时, 则令中间变量 $(\hat{u}_p)_k = (b_p)$, 中间变量 $(\hat{v}_p)_k = (a_p)$,

当 $(d_p)_k = 0$ 时, 则令中间变量 $(\hat{u}_p)_k = (x_p)_k$, 中间变量 $(\hat{v}_p)_k = (x_p)_k$;

步骤 202、判断变量 p 是否取遍 1 至 n 上的所有正整数, 若是则进入步骤 203, 否则返回步骤 201;

步骤 203、针对第 p 种光刻配置参数 $(x_p)_k$, 判断 $(d_p)_k$ 是否为 0:

当 $(d_p)_k = 0$ 时, 则令 $(u_p)_k = (\hat{u}_p)_k$, $(v_p)_k = (\hat{v}_p)_k$;

当 $(d_p)_k \neq 0$ 时, 则 $(u_p)_k = (x_p)_k + g_k \cdot (d_p)_k$, $(v_p)_k = (x_p)_k + h_k \cdot (d_p)_k$;

其中 g_k 为 $\left\{ \frac{(\hat{u}_i)_k - (x_i)_k}{(d_i)_k} \right\}_k$ 中绝对值最小的一个, h_k 为 $\left\{ \frac{(\hat{v}_i)_k - (x_i)_k}{(d_i)_k} \right\}_k$ 中绝对值最小的一个;

步骤 204、判断变量 p 是否取遍 1 至 n 上的所有正整数, 若是则结束, 否则返回步骤 203。

一种基于最速下降法光刻配置参数的优化方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种基于最速下降法光刻配置参数的优化方法,属于光刻配置参数协同优化设计领域。

背景技术

[0002] 光学光刻是光刻机用光学投影曝光的方法将掩模板上的电路器件结构图形刻蚀到硅片上的过程。光刻机主要由光源、照明系统、掩模台、投影物镜以及硅片工件台五部分组成。为了实现良好的光刻性能,达到较大的光刻焦深,需要合理配置光刻机各部分参数,如投影物镜数值孔径NA的大小、照明相干因子Sigma的值、偏振光类型、光刻胶厚度以及掩模Bias大小等。

[0003] 评价光刻性能的指标主要有:图形对比度Contrast、归一化对数斜率NILS以及光刻焦深DOF等。光刻焦深是评价光刻系统性能的主要参数之一,光刻焦深定义为:在一定的曝光剂量变化范围EL内,光刻胶图形在一定的尺寸误差、侧壁角、光刻胶损失的约束条件下,所能实现的最大离焦量。光刻焦深越大,光刻性能越好。

[0004] 光刻配置参数优化是合理的配置光刻系统中器件结构参数、曝光工艺参数、分辨率增强技术(离轴照明、相移掩模、光学临近效应校正)、工艺叠层参数等多个系统参数,统筹考虑不同因素在其不同限定条件下的约束,以实现最优的光刻性能。

[0005] 当前,已有很多优化光刻配置参数的方法(李艳秋等,光学参数配置对ArF光刻性能影响研究[J].电子工业专用设备,2004,33(4):36-39.)。但是,当前的光刻配置参数优化方法仅限于对一个或两个光刻配置参数的优化,要使光刻机的性能达到最优,光刻机中每个参数均应合理配置;同时,当前的研究主要应用遍历仿真的方法确定光刻配置参数,计算量非常大,且精度低,难以找出最优的光刻配置参数。

发明内容

[0006] 本发明的目的是提供一种基于最速下降法光刻配置参数的优化方法;该方法同时对多种光刻配置参数进行优化配置,可使优化后的光刻机达到良好的光刻性能,且优化效率高。

[0007] 实现本发明的技术方案如下:

[0008] 一种基于最速下降法光刻配置参数的优化方法,具体步骤为:

[0009] 步骤101、确定欲优化的n种光刻配置参数,针对每一种光刻配置参数选定一初始值构成 $1 \times n$ 维矩阵 $\{x_i\}_1 = \{x_1, x_2, L, x_n\}_1, i = \{1, 2, L, n\}$;确定每种光刻配置参数的变化范围 $\{x_i \in [a_i, b_i]\} = \{[a_1, b_1], [a_2, b_2]L, [a_n, b_n]\}$,确定每种光刻配置参数用于求解差商的差值 $\{\Delta x_i \in [a_i, b_i]\}$,其中 $|\Delta x_i| \ll |x_i|$;给定优化精度允许误差 $\varepsilon > 0$,最大一维搜索次数 k_{max} ,并令循环次数 $k = 1$;

[0010] 步骤102、确定用于评价光刻性能的m种光刻性能评价指标 $y_j, j = \{1, 2, L, m\}$,并

构造光刻性能综合评价函数 $F = -\sum_{j=1}^m \gamma_j \cdot y_j$, 其中 y_j 为针对各光刻性能评价指标设定的比重值;

[0011] 步骤 103、对循环次数 k 进行判断, 若 $k \leq k_{\max}$, 则进入步骤 104, 若 $k > k_{\max}$, 则进入步骤 108;

[0012] 步骤 104、针对光刻配置参数 $\{x_i\}_k$ 计算其差商, 获取最速下降方向 $\{d_i\}_k$,

$$\{d_i\}_k = \left\{ -\nabla f(\{x_i\}_k) \right\}_k = \left\{ -\frac{F(\{x_i\}_k) - F(\{x_i\}_k - \Delta x_i)}{\{\Delta x_i\}} \right\}_k$$
, $\{d_i\}_k$ 为 $1 \times n$ 维矩阵;

[0013] 步骤 105、对 $\|\{d_i\}_k\|$ 进行判断, 当判定 $\|\{d_i\}_k\| \leq \varepsilon$, 进入步骤 106, 否则进入步骤 108, 其中 $\|\cdot\|$ 为取模运算;

[0014] 步骤 106、针对光刻配置参数 $\{x_i\}_k$, 根据其对应的最速下降方向 $\{d_i\}_k$ 更新其所对应的一维搜索变化范围为 $\{x_i \in [u_i, v_i]\}_k$, 且 $\{[u_i, v_i]\}_k \subseteq \{[a_i, b_i]\}$;

[0015] 步骤 107、针对光刻配置参数 $\{x_i\}_k$, 在其所对应的变化范围 $\{[u_i, v_i]\}_k$ 内, 沿其对应的最速下降方向 $\{d_i\}_k$ 进行一维搜索, 得到该方向最小的 F 值, 记为 F_{\min} , 获取 F_{\min} 对应的光刻配置参数 $\{x_i\}_k$, 并将 $\{x_i\}_k$ 作为下一次循环的光刻配置参数, 令 $k = k+1$, 返回步骤 103;

[0016] 步骤 108、输出最优光刻配置参数 $\{x_i\}_k$, 以及 $\{x_i\}_k$ 所对应的 F 值。

[0017] 有益效果

[0018] 本发明统筹考虑各种光刻评价指标, 通过构造具有多种光刻性能评价指标的评价函数, 实现对优化结果进行评价, 因此使得优化后的光刻配置参数具有很好的光刻性能。

[0019] 同时, 本发明通过最速下降优化算法确定每一光刻配置参数的最速下降方向, 并沿最速下降方向对光刻性能进行优化, 获取具有最优光刻性能的光刻配置参数, 因此本发明可以快速有效地优化得出最优的光刻配置参数, 并有较高的精度。

附图说明

[0020] 图 1 为基于最速下降法光刻配置参数的优化方法流程图。

[0021] 图 2 为搜索范围与最速下降方向、迭代光刻配置参数点关系图。

[0022] 图 3 为一维搜索的流程图。

[0023] 图 4 为第一次确定一维搜索范围示意图。

[0024] 图 5 为优化过程中光刻性能综合评价函数的下降曲线。

[0025] 图 6 为优化过程中光刻焦深的变化曲线

具体实施方式

[0026] 下面结合附图进一步对本发明进行详细说明。

[0027] 图 1 为本发明基于最速下降法光刻配置参数的优化方法流程图, 其具体步骤为:

[0028] 步骤 101、确定欲优化的 n 种光刻配置参数, 针对每一种光刻配置参数选定一初始值构成 $1 \times n$ 维矩阵 $\{x_i\}_1 = \{x_1, x_2, L, x_n\}_1$, $i = \{1, 2, L, n\}$; 确定每种光刻配置参数的变化范围 $\{x_i \in [a_i, b_i]\} = \{[a_1, b_1], [a_2, b_2] L, [a_n, b_n]\}$, 确定每种光刻配置参数的用于求解差商的差值 $\{\Delta x_i \in [a_i, b_i]\}$, 其中 $|\Delta x_i| \ll |x_i|$; 给定优化精度允许误差 $\varepsilon > 0$, 最大一

维搜索次数 k_{\max} , 并令循环次数 $k = 1$ 。

[0029] 在优化光刻配置参数的过程中需要统筹考虑对光刻性能存在影响的参数, 因此本发明所述欲优化的光刻参数包括投影物镜数值孔径 NA 的大小、照明相干因子 Sigma 的值、偏振光类型、光刻胶厚度以及掩模 Bias 大小等。针对某一光刻技术节点下的图形结构, 其每一光刻配置参数的大概可变化范围是确定的, 因此本发明根据选定光刻技术节点以及图形结构类型, 确定其对应的每一光刻配置参数的可变化范围。本发明精度允许误差 ε 可以根据实际的需要进行选取, 例如当优化的光刻机需要有较高的光学性能要求时, 则可将 ε 选取为小于 0.01 的数。

[0030] 步骤 102、确定用于评价光刻性能的 m 种光刻性能评价指标 $y_j, j = \{1, 2, L, m\}$, 并构造光刻性能综合评价函数 $F = -\sum_{j=1}^m \gamma_j \cdot y_j$, 其中 γ_j 为针对各光刻性能评价指标设定的比重值。

[0031] 本发明光刻性能的评价指标包括图形对比度 Contrast、归一化对数斜率 NILS 以及光刻焦深 DOF 等, 其中比重值是根据每种评价指标对光刻性能的重要程度进行设定, 当重要程度高时, 则比重值可设置较大, 当重要程度低, 则比重值可设置较小, 通过综合考虑各种评价指标构造综合评价函数, 可以很好地实现对优化光刻配置参数的光刻机的光刻性能进行评价。

[0032] 步骤 103、对循环次数 k 进行判断, 若 $k \leq k_{\max}$, 则进入步骤 104, 若 $k > k_{\max}$, 则进入步骤 108。

[0033] 步骤 104、针对光刻配置参数 $\{x_i\}_k$ 计算其差商, 获取最速下降方向 $\{d_i\}_k$, $\{d_i\}_k = \left\{ -\nabla f(\{x_i\}_k) \right\}_k = \left\{ -\frac{F(\{x_i\}_k) - F(\{x_i\}_k - \Delta x_i)}{\{\Delta x_i\}} \right\}_k$, 其中 $\{d_i\}_k$ 为 $1 \times n$ 维矩阵。

[0034] 步骤 105、对 $\|\{d_i\}_k\|$ 进行判断, 当判定 $\|\{d_i\}_k\| \leq \varepsilon$, 进入步骤 106, 否则进入步骤 108, 其中 $\|\cdot\|$ 为取模运算。

[0035] 步骤 106、针对光刻配置参数 $\{x_i\}_k$, 根据其对应的最速下降方向 $\{d_i\}_k$ 更新其所对应的一维搜索变化范围为 $\{x_i \in [u_i, v_i]\}_k$, 且 $\{[u_i, v_i]\}_k \subseteq \{[a_i, b_i]\}_k$;

[0036] 步骤 107、针对光刻配置参数 $\{x_i\}_k$, 在其所对应的变化范围 $\{[u_i, v_i]\}_k$ 内, 沿其对应的最速下降方向 $\{d_i\}_k$ 进行一维搜索, 得到该方向最小的 F 值, 记为 F_{\min} , 获取 F_{\min} 对应的光刻配置参数 $\{x_i\}_k$, 并将 $\{x_i\}_k$ 作为下一次循环的光刻配置参数, 令 $k = k+1$, 返回步骤 103;

[0037] 步骤 108、输出最优光刻配置参数 $\{x_i\}_k$, 以及 $\{x_i\}_k$ 所对应的 F 值。

[0038] 由于一维搜索的范围 (或端点) 需根据最速下降方向、迭代光刻配置参数点 $\{x_i\}_k$ 以及光刻配置参数的变化范围共同确定。如图 2 所示, 例如图 2(1) 中的搜索的维数为 2, 其对应的范围分别为 (a_1, b_1) 和 (a_2, b_2) , 其最速下降方向为 \overrightarrow{BA} 方向, 迭代光刻配置参数点为 (x_1, x_2) , 根据上述条件所更新的搜索范围为 (u_1, v_1) 和 (u_2, v_2) 。以下对如何更新搜索范围进行具体的说明, 其步骤如下:

[0039] 定义中间变量 $\{\hat{u}_1, \hat{u}_2, L, \hat{u}_n\}_k$ 和 $\{\hat{v}_1, \hat{v}_2, L, \hat{v}_n\}_k$;

[0040] 步骤 201、针对第 p 种光刻配置参数 $(x_p)_k$, 其中变量 $p \in \{1, 2, L, n\}$, 判断 $(d_p)_k$ 的正负:

[0041] 当 $(d_p)_k > 0$ 时,则令中间变量 $(\hat{u}_p)_k = (a_p)$,中间变量 $(\hat{v}_p)_k = (b_p)$,

[0042] 当 $(d_p)_k < 0$ 时,则令中间变量 $(\hat{u}_p)_k = (b_p)$,中间变量 $(\hat{v}_p)_k = (a_p)$,

[0043] 当 $(d_p)_k = 0$ 时,则令中间变量 $(\hat{u}_p)_k = (x_p)_k$,中间变量 $(\hat{v}_p)_k = (x_p)_k$;

[0044] 步骤 202、判断变量 p 是否取遍 1 至 n 上的所有正整数,若是则进入步骤 203,否则返回步骤 201;

[0045] 步骤 203、针对第 p 种光刻配置参数 $(x_p)_k$,判断 $(d_p)_k$ 是否为 0:

[0046] 当 $(d_p)_k = 0$ 时,则令 $(u_p)_k = (\hat{u}_p)_k$, $(v_p)_k = (\hat{v}_p)_k$;

[0047] 当 $(d_p)_k \neq 0$ 时,则 $(u_p)_k = (x_p)_k + g_k \cdot (d_p)_k$, $(v_p)_k = (x_p)_k + h_k \cdot (d_p)_k$;

[0048] 其中 g_k 为 $\left\{ \frac{(\hat{u}_i)_k - (x_i)_k}{(d_i)_k} \right\}_k$ 中绝对值最小的一个, h_k 为 $\left\{ \frac{(\hat{v}_i)_k - (x_i)_k}{(d_i)_k} \right\}_k$ 中绝对值最小的一个;

[0049] 步骤 204、判断变量 p 是否取遍 1 至 n 上的所有正整数,若是则结束,否则返回步骤 203。

[0050] 为了快速准确地获取具有最小光刻性能综合评价函数值 F 的 $1 \times n$ 维矩阵 $\{x_i\}_{k+1}$,本发明利用 Hopfinger 黄金分割法,逐步缩小光刻配置参数的范围进行一维搜索,直至获取具有最小光刻性能综合评价函数值 F 的 $1 \times n$ 维矩阵 $\{x_i\}_{k+1}$ 为止,如图 3 所示,由于步骤 107 中针对每一光刻配置参数,其进行一维搜索的方法相同,针对第 q 种光刻配置参数,一维搜索的具体步骤为:

[0051] 设定变量 $\{u'_{i1}, u'_{i2}, L, u'_{in}\}_t$ 、 $\{v'_{i1}, v'_{i2}, L, v'_{in}\}_t$ 、 $\{\lambda'_{i1}, \lambda'_{i2}, L, \lambda'_{in}\}_t$ 以及 $\{\mu'_{i1}, \mu'_{i2}, L, \mu'_{in}\}_t$;

[0052] 步骤 301、令 $\{u'_{i1}\}_t = \{u_i\}_k$, $\{v'_{i1}\}_t = \{v_i\}_k$, $i = \{1, 2, L, n\}$,并设定一维搜索精度因子 δ 。

[0053] 步骤 302、根据黄金分割法计算搜索分割点光刻配置参数值 $\{\lambda'_{i1}\}_t$ 和 $\{\mu'_{i1}\}_t$,令循环次数 $t = 1$, $\{\lambda'_{i1}\}_t = \{u'_{i1}\}_t + 0.382(\{v'_{i1}\}_t - \{u'_{i1}\}_t)$, $\{\mu'_{i1}\}_t = \{u'_{i1}\}_t + 0.618(\{v'_{i1}\}_t - \{u'_{i1}\}_t)$,获得搜索区间端点光刻配置参数值 $\{u'_{i1}\}_t$ 和 $\{v'_{i1}\}_t$,以及搜索区间分割点光刻配置参数值 $\{\lambda'_{i1}\}_t$ 和 $\{\mu'_{i1}\}_t$,其中 $\{u'_{i1}\}_t$ 、 $\{v'_{i1}\}_t$ 、 $\{\lambda'_{i1}\}_t$ 和 $\{\mu'_{i1}\}_t$ 这四个集合中的每一个对应一种光刻配置方式;仿真计算 $\{u'_{i1}\}_t$ 、 $\{v'_{i1}\}_t$ 、 $\{\lambda'_{i1}\}_t$ 和 $\{\mu'_{i1}\}_t$ 分别对应的 m 种光刻性能评价指标 $\{y_j\}_{u',t}$ 、 $\{y_j\}_{v',t}$ 、 $\{y_j\}_{\lambda',t}$ 和 $\{y_j\}_{\mu',t}$;将光刻性能评价指标 $\{y_j\}_{u',t}$ 、 $\{y_j\}_{v',t}$ 、 $\{y_j\}_{\lambda',t}$ 和 $\{y_j\}_{\mu',t}$ 代入公式 $F = -\sum_{j=1}^m \gamma_j \cdot y_j$,

得到 $\{u'_{i1}\}_t$ 、 $\{v'_{i1}\}_t$ 、 $\{\lambda'_{i1}\}_t$ 和 $\{\mu'_{i1}\}_t$ 对应的光刻性能综合评价函数值,分别记为 $F_{u',t}$ 、 $F_{v',t}$ 、 $F_{\lambda',t}$ 以及 $F_{\mu',t}$ 。本发明针对一确定的光刻系统,获取其对应的光刻性能评价指标为现有技术,因此在此不对获取性能评价指标的过程作具体的描述。

[0054] 步骤 303、比较搜索区间端点与分割点光刻配置参数值所对应的光刻性能综合评价函数值 $F_{u',t}$ 、 $F_{v',t}$ 、 $F_{\lambda',t}$ 以及 $F_{\mu',t}$ 的大小,令 $F_{\min} = \min\{F_{u',t}, F_{v',t}, F_{\lambda',t}, F_{\mu',t}\}$;

[0055] 步骤 304、若 $F_{u',t} = F_{\min}$ 或 $F_{\lambda',t} = F_{\min}$,则进入步骤 305;若 $F_{\mu',t} = F_{\min}$ 或 $F_{v',t} = F_{\min}$,则进入步骤 306。

[0056] 步骤 305、令 $\{u'_i\}_{t+1} = \{u'_i\}_t$, $\{v'_i\}_{t+1} = \{\mu'_i\}_t$, $\{\mu'_i\}_{t+1} = \{\lambda'_i\}_t$, $\{\lambda'_i\}_{t+1} = \{u'_i\}_{t+1} + 0.382(\{v'_i\}_{t+1} - \{u'_i\}_{t+1})$, 仿真计算出 $\{\lambda'_i\}_{t+1}$ 对应的光刻性能评价指标 $\{y_j\}_{\lambda', t+1}$, 根据性能评价指标 $\{y_j\}_{\lambda', t+1}$ 获取 $\{\lambda'_i\}_{t+1}$ 对应的光刻性能综合评价函数值 $F_{\lambda', t+1}$, 并进入步骤 307。

[0057] 步骤 306、令 $\{u'_i\}_{t+1} = \{\lambda'_i\}_t$, $\{v'_i\}_{t+1} = \{v'_i\}_t$, $\{\lambda'_i\}_{t+1} = \{\mu'_i\}_t$, $\{\mu'_i\}_{t+1} = \{u'_i\}_{t+1} + 0.618(\{v'_i\}_{t+1} - \{u'_i\}_{t+1})$, 仿真计算出 $\{\mu'_i\}_{t+1}$ 对应的光刻性能评价指标 $\{y_j\}_{\mu', t+1}$, 根据性能评价指标 $\{y_j\}_{\mu', t+1}$ 获取 $\{\mu'_i\}_{t+1}$ 对应的光刻性能综合评价函数值 $F_{\mu', t+1}$, 并进入步骤 307。

[0058] 步骤 307、当判定 $|\{\mu'_i\}_{t+1} - \{\lambda'_i\}_{t+1}| < \delta$ 时, 进入步骤 308, 否则, 令 $t = t+1$, 返回步骤 303。

[0059] 步骤 308、令 $F_{\min} = \min\{F_{u', t+1}, F_{v', t+1}, F_{\lambda', t+1}, F_{\mu', t+1}\}$, 获取 F_{\min} 对应的光刻配置参数 $\{x_i\}_k$, 结束一维搜索。

[0060] 本发明实施实例：

[0061] 下面以优化 45nm 节点光刻配置参数为例说明本发明的优化过程。

[0062] 对 45nm 节点密集线条, 采用浸没式光刻, 浸没液体折射率为 1.44, 投影物镜数值孔径在 $[1, 1.35]$ 内可调, 曝光波长为 193nm, 使用分辨率增强技术来提高其分辨率和增大光刻焦深, 掩模类型选择衰减相移掩模, 照明方式选择环形照明, 在提高分辨率的同时为了保证产率, 环形照明方式的环宽选择为 0.15, 也即外相干因子与内相干因子之间的差为 0.15 ($\Delta\sigma = \sigma_{out} - \sigma_{in} = 0.15$)。为了进一步增大光刻焦深, 光刻仿真时使用了和线条方向相同的线偏振光。

[0063] 为简明起见, 本发明仅以优化光刻机中数值孔径和相干因子为例, 说明基于最速下降法光刻配置参数的优化方法。针对上述光刻配置, 给定数值孔径的初始值为 1.15, 变化范围为 $[1, 1.35]$, 差值为 0.01; 给定相干因子的初始值为 0.915, 变化范围为 $[0.64, 0.99]$, 差值为 0.01; 选择空气中像对比度 y_1 、光刻胶中归一化对数斜率 y_2 、光刻焦深 y_3 为光刻性能评价指标, 分别给定 0.2、0.2、5 的比重值, 则光刻性能综合评价函数为 $F = -(\gamma_1 \cdot y_1 + \gamma_2 \cdot y_2 + \gamma_3 \cdot y_3) = -(0.2 \cdot y_1 + 0.2 \cdot y_2 + 5 \cdot y_3)$; 给定优化精度允许误差 $\epsilon = 0.001$, 给定最大一维搜索次数为 45 次。下面通过本发明的方法来确定最佳的光刻配置参数 (数值孔径与相干因子的配置), 以得到最优光刻性能。

[0064] 在给定初始点 $\{x_n\}_1 = \{x_1, x_2\}_1 = \{x_{NA}, x_{\sigma_{\text{sigma}}}\}_1 = \{1.15, 0.915\}_1$ 处求最速下降方向, 最速下降方向为初始点处的负梯度方向, 则最速下降方向为：

$$[0065] \quad \{d_1, d_2\}_1 = \{-\nabla f(\{x_n\})\}_1$$

$$[0066] \quad = \left\{ -\frac{F(\{x_1, x_2\}) - F(\{x_1 - \Delta x_1, x_2\})}{\Delta x_1}, -\frac{F(\{x_1, x_2\}) - F(\{x_1, x_2 - \Delta x_2\})}{\Delta x_2} \right\}_1$$

$$[0067] \quad = \left\{ -\frac{F(\{1.15, 0.915\}) - F(\{1.14, 0.915\})}{0.01}, -\frac{F(\{1.15, 0.915\}) - F(\{1.15, 0.905\})}{0.01} \right\}_1$$

$$[0068] \quad = \{3.5986, 0.0046\}_1$$

[0069] 根据初始点 $\{x_1, x_2\}_1 = \{1.15, 0.915\}_1$ 和最速下降方向 $\{d_1, d_2\}_1 = \{3.5986, 0.0046\}_1$, 并在参数变化范围 $[a_1, b_1]_1 = [1, 1.35]$ 和 $[a_2, b_2]_1 = [0.64, 0.99]$ 内, 确定一

维搜索的范围,如图 4 所示。具体的过程为:

[0070] 首先、由于 $d_1 > 0$, 则令 $\hat{u}_1 = a_1$, $\hat{v}_1 = b_1$; $d_2 > 0$, 则令 $\hat{u}_2 = a_2$, $\hat{v}_2 = b_2$, 即 $[\hat{u}_1, \hat{v}_1]_1 = [1, 1.35]$, $[\hat{u}_2, \hat{v}_2]_1 = [0.64, 0.99]$;

[0071] 其次、由于 $d_1 > 0$, 则 $u_1 = x_1 + g \cdot d_1$, $v_1 = x_1 + h \cdot d_1$; $d_2 > 0$, 则 $u_2 = x_2 + g \cdot d_2$, $v_2 = x_2 + h \cdot d_2$;

[0072] 其中 g 为 $\left\{ \frac{\hat{u}_i - x_i}{d_i} \right\}$, $i = 1, 2$ 中绝对值最小的一个:

$$[0073] \quad \min \left\{ \left| \frac{\hat{u}_i - x_i}{d_i} \right| \right\} = \min \left\{ \left| \frac{\hat{u}_1 - x_1}{d_1} \right|, \left| \frac{\hat{u}_2 - x_2}{d_2} \right| \right\}$$

$$[0074] \quad = \min \left\{ \left| \frac{1 - 1.15}{3.5986} \right|, \left| \frac{0.64 - 0.915}{0.0046} \right| \right\} = \min \{ |-0.0417|, |-66.3043| \} = 0.0417$$

[0075] 则 $g = -0.0417$;

[0076] h 为 $\left\{ \frac{\hat{v}_i - x_i}{d_i} \right\}$, $i = 1, 2$ 中绝对值最小的一个:

$$[0077] \quad \min \left\{ \left| \frac{\hat{v}_i - x_i}{d_i} \right| \right\} = \min \left\{ \left| \frac{\hat{v}_1 - x_1}{d_1} \right|, \left| \frac{\hat{v}_2 - x_2}{d_2} \right| \right\}$$

$$[0078] \quad = \min \left\{ \left| \frac{1.35 - 1.15}{3.5986} \right|, \left| \frac{0.99 - 0.915}{0.0046} \right| \right\} = \min \{ |0.0556|, |-16.3043| \} = 0.0556$$

[0079] 则 $h = 0.0556$ 。

[0080] 可得 $[u_1, v_1]_1 = [1, 1.35]$, $[u_2, v_2]_1 = [0.9148, 0.9153]$ 。

[0081] 接下来在一维搜索范围 $\{[u_i, v_i]\}_1$ 内进行一维搜索, 搜得在 $\{x_1, x_2\}_2 = \{1.15, 0.915\}_2$ 处综合评价函数值 $F = -(0.2 \cdot 0.5418 + 0.2 \cdot 1.6595 + 5 \cdot 0.5291) = -3.0859$ 最小, 结束第一轮循环。

[0082] 图 5 为光刻性能综合评价函数的下降曲线, 图 6 为光刻焦深的变化曲线, 从图 5 和图 6 中可看出, 经过一次一维搜索即可将光刻性能综合评价函数下降到最优值附近, 极大地提高了光刻性能。在初始点处, 光刻性能综合评价函数值为 -0.0817 , 光刻焦深为 0 , 经过第一次一维搜索, 光刻性能综合评价函数值为迅速降为 -3.0859 , 光刻焦深变为 0.5291 微米, 经过不断的一维搜索后, 光刻性能也在不断地变优, 最终在数值孔径为 1.283 , 相干因子为 0.915 时, 光刻性能综合评价函数值为 -3.0966 , 光刻焦深为 0.5312 微米。

[0083] 虽然结合附图描述了本发明的具体实施方式, 但是对于本技术领域的技术人员来说, 在不脱离本发明的前提下, 还可以做若干变形、替换和改进, 这些也视为属于本发明的保护范围。

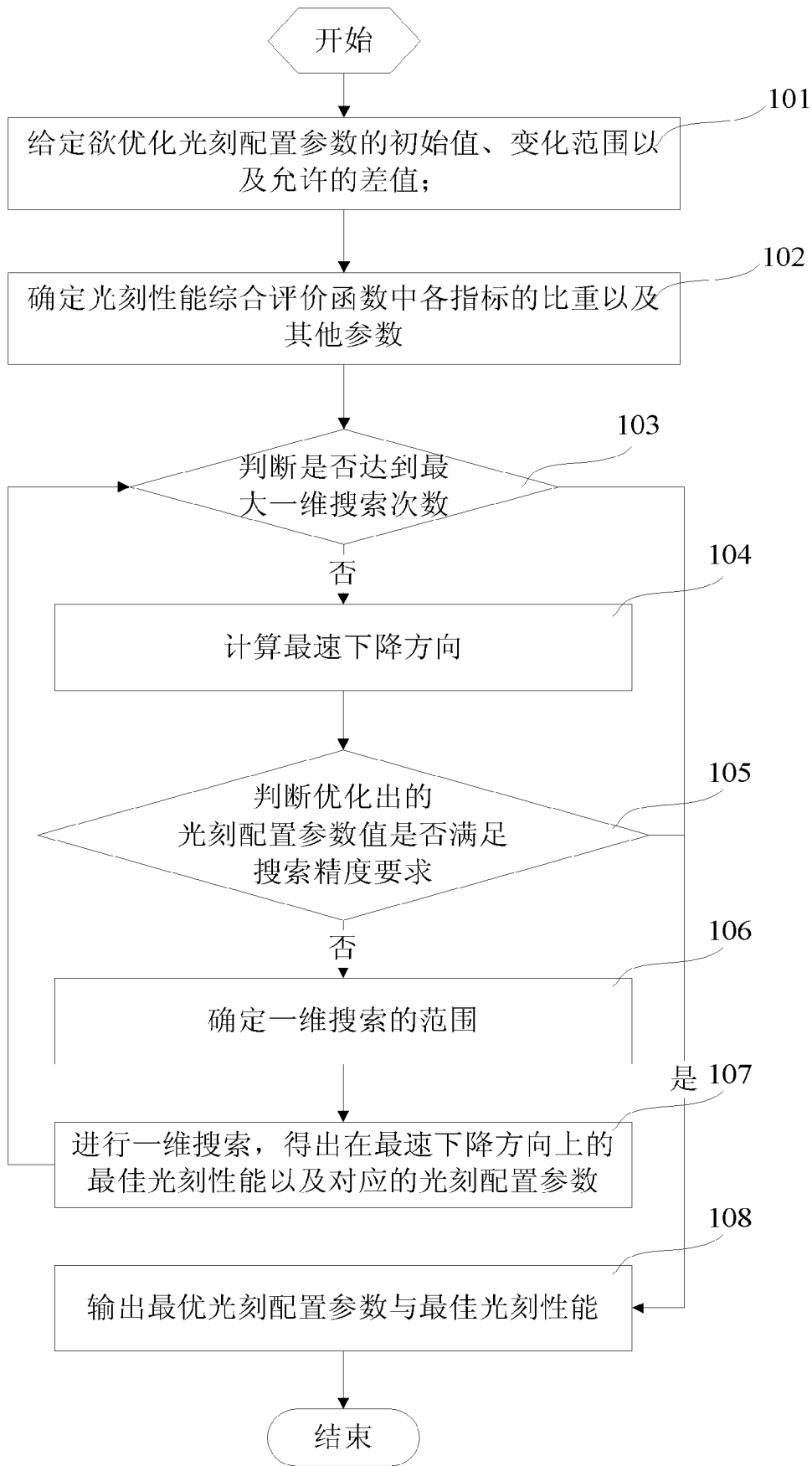


图 1

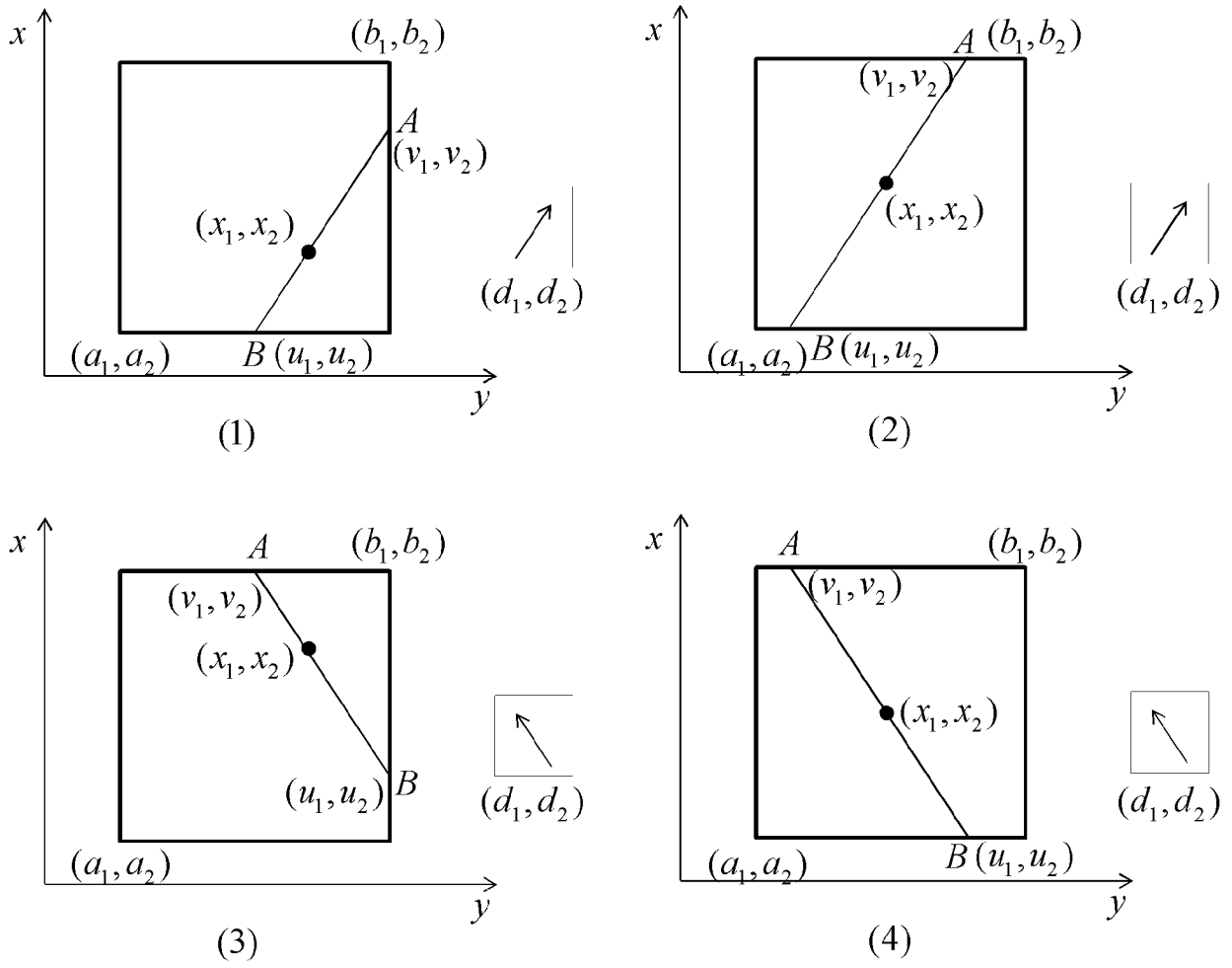


图 2

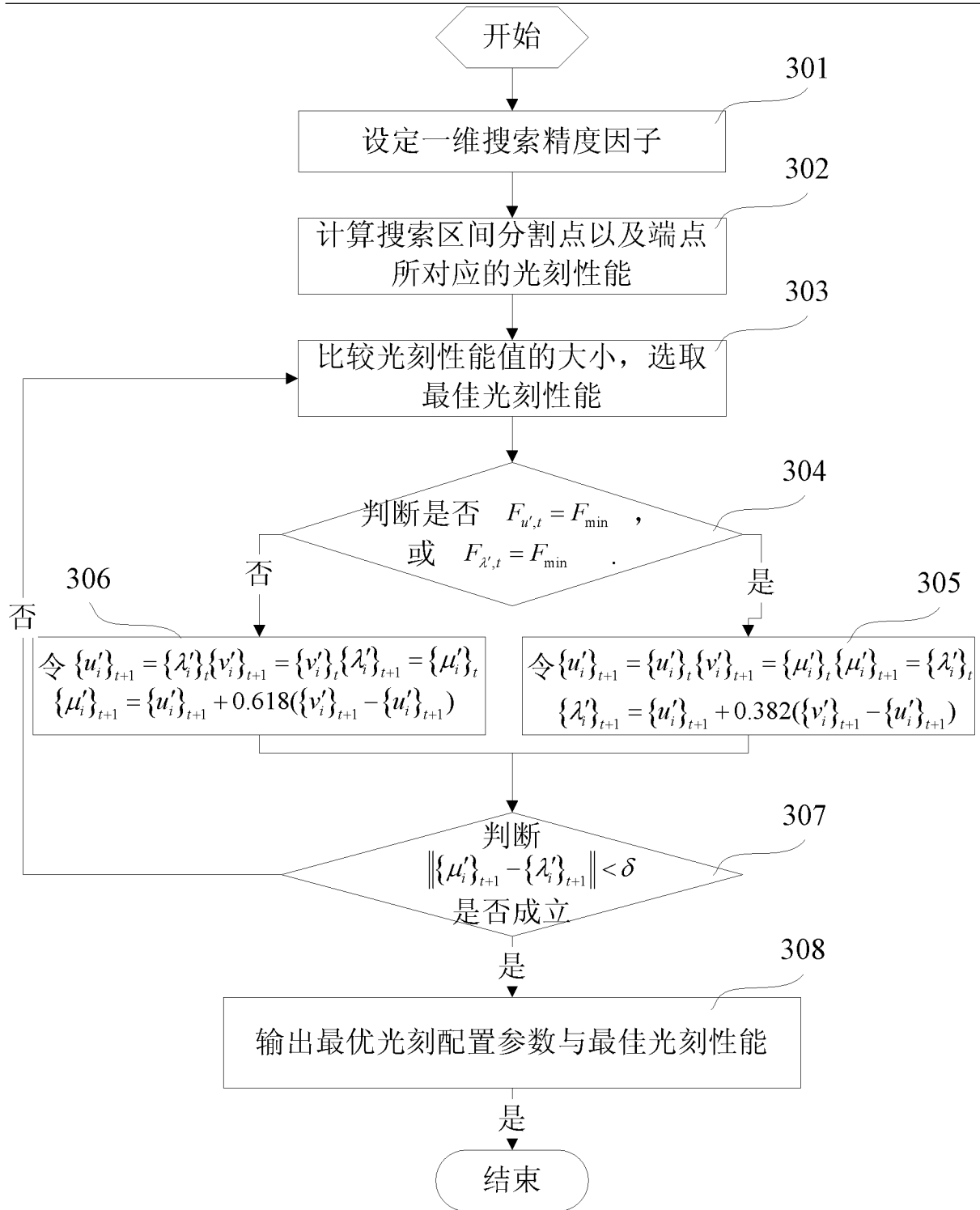


图 3

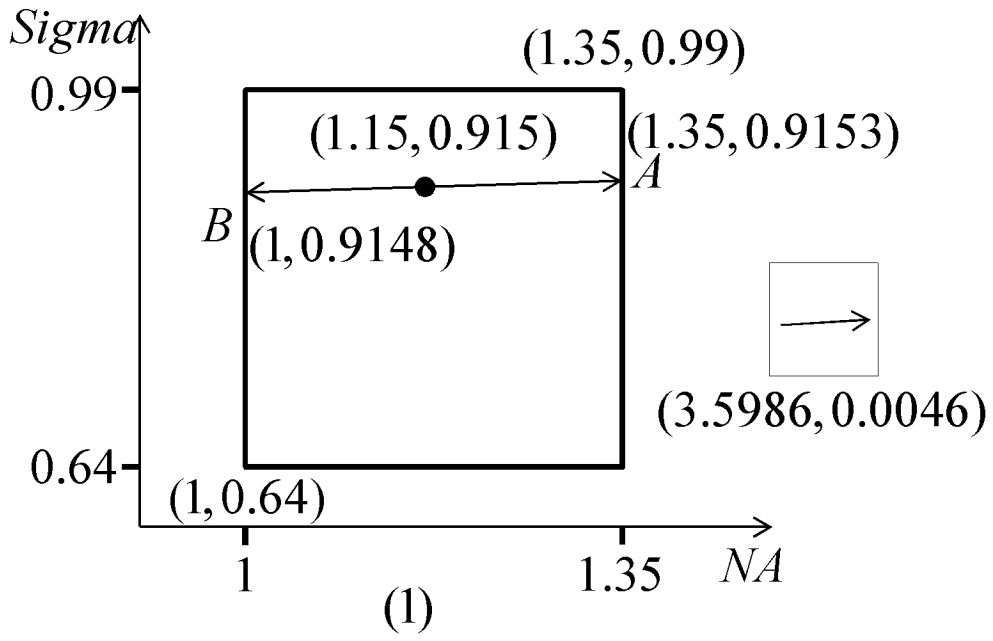


图 4

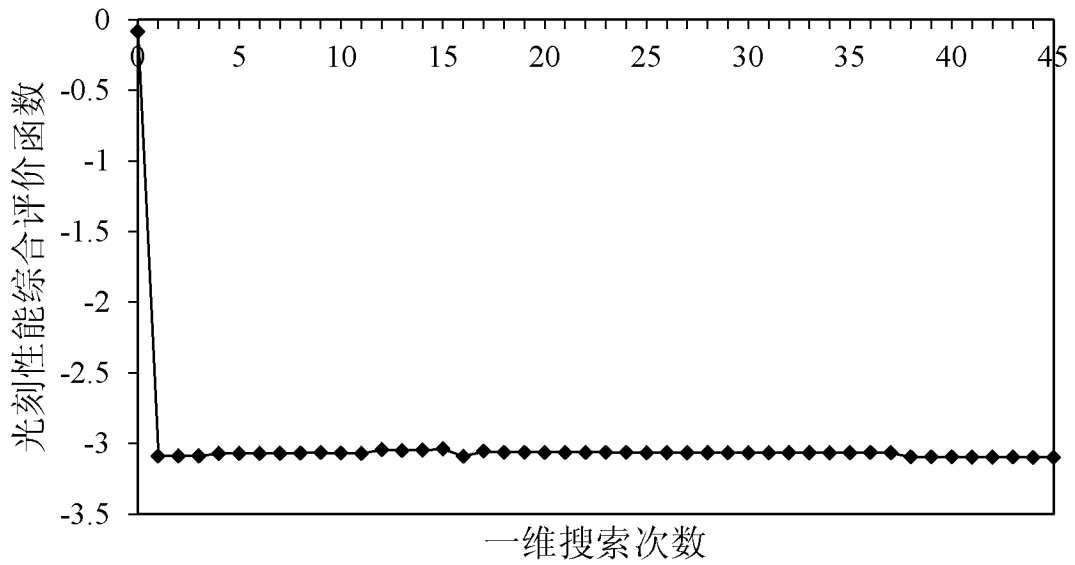


图 5

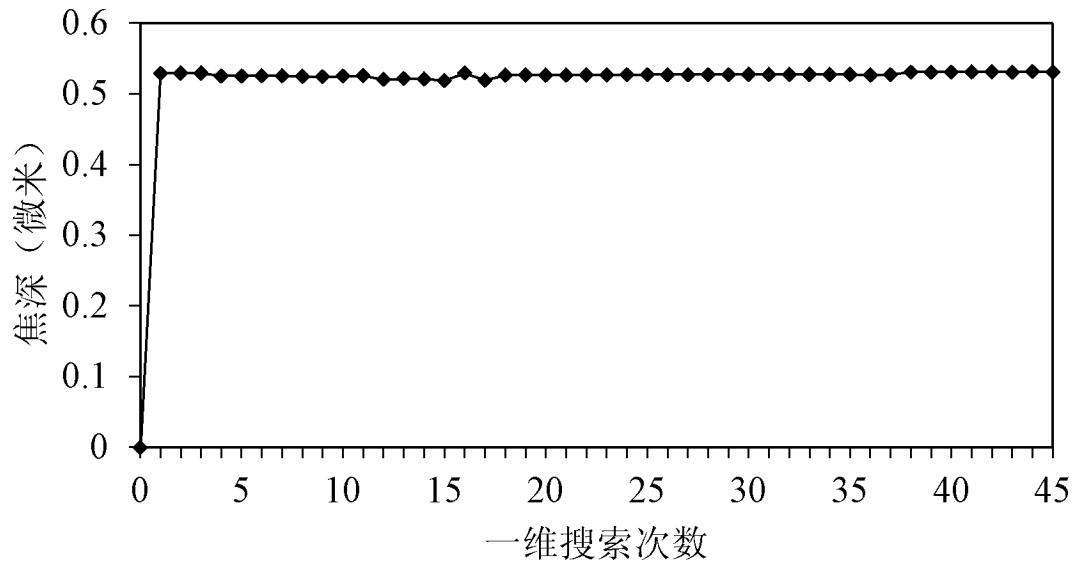


图 6