



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102455594 B

(45) 授权公告日 2013. 10. 30

(21) 申请号 201110310483. 1

(22) 申请日 2011. 10. 14

(30) 优先权数据

2010-234914 2010. 10. 19 JP

(73) 专利权人 佳能株式会社

地址 日本东京

(72) 发明人 中山谅 辻田好一郎 三上晃司

石井弘之

(74) 专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专

利商标事务所 11038

代理人 卜荣丽

(51) Int. Cl.

G03F 7/00 (2006. 01)

G03F 7/004 (2006. 01)

(56) 对比文件

US 2007/0019058 A1, 2007. 01. 25, 全文.

US 2010/0102255 A1, 2010. 04. 29, 全文.

EP 2133745 A1, 2009. 12. 16, 全文.

审查员 周庆成

权利要求书1页 说明书9页 附图19页

(54) 发明名称

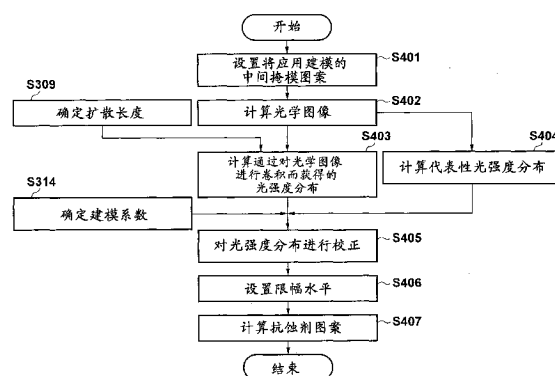
抗蚀剂图案计算方法

(57) 摘要

本申请涉及抗蚀剂图案计算方法。一种使用计算机计算形成在衬底上的抗蚀剂图案的方法包括：第一步，基于中间掩模图案和曝光条件来计算形成在抗蚀剂上的光学图像的光强度分布；第二步，使用第一扩散长度对计算的光强度分布进行卷积；第三步，从计算的光强度分布或者卷积的光强度分布计算代表性光强度；第四步，通过将校正函数与卷积的光强度分布相加来对卷积的光强度分布进行校正，所述校正函数包括由下式

给出的第一函数： $\{\sum_{k=0}^n (a_k J^k)\} \exp(-\alpha J)$ ，其

中，J 是代表性光强度的分布；和第五步，基于校正的光强度分布和预先设置的限幅水平来计算抗蚀剂图案。



1. 一种使用计算机计算抗蚀剂图案的方法,所述抗蚀剂图案是通过中间掩模的图案和投射光学系统使抗蚀剂曝光并使曝光的抗蚀剂显影而形成在衬底上的,所述方法包括:

第一步,基于所述中间掩模的图案和曝光条件来计算形成在所述抗蚀剂上的光学图像的光强度分布;

第二步,使用第一扩散长度对在第一步中计算的光强度分布进行卷积;

第三步,使用在第一步中计算的光强度分布或者在第二步中卷积的光强度分布来计算每个点的代表性光强度,所述代表性光强度代表具有预定大小并包括限定在所述抗蚀剂的平面内的所述点的区域中的光强度;

第四步,通过将校正函数与在第二步中卷积的光强度分布相加来对在第二步中卷积的光强度分布进行校正,所述校正函数包括由下式给出的第一函数:

$$\left\{ \sum_{k=0}^n (a_k J^k) \right\} \exp(-\alpha J)$$

其中, J 是所述代表性光强度的分布, a_k 和 α 是常数, n 是自然数;和

第五步,基于在第四步中校正的光强度分布和预先设置的限幅水平来计算所述抗蚀剂图案。

2. 根据权利要求 1 所述的方法,其中,

所述区域是具有等于或大于 17nm 并且等于或小于 $1 \mu\text{m}$ 的半径且以所述点作为其中心的圆形区域和每边为等于或大于 34nm 并且等于或小于 $2 \mu\text{m}$ 的正方形区域之一,以及

所述代表性光强度是所述区域中的光强度的最小值、最大值或者平均值之一。

3. 根据权利要求 1 所述的方法,其中所述校正函数不仅包括第一函数,而且还包括由下式给出的第二函数:

$$\left\{ \sum_{l=0}^m (b_l K^l) \right\} \exp(-\beta K)$$

其中, K 是通过使用比第一扩散长度大的第二扩散长度对在第一步中计算的光强度分布进行卷积而获得的光强度分布, b_l 和 β 是常数, m 是自然数。

4. 根据权利要求 3 所述的方法,其中,所述第一扩散长度不大于 50nm,所述第二扩散长度等于或大于 50nm 并且等于或小于 $200 \mu\text{m}$ 。

5. 根据权利要求 3 所述的方法,其中,设置所述常数 a_k 、 b_l 、 α 和 β ,以使得评估函数的值落在容限内,所述评估函数包括通过校正函数校正的光强度分布对中间掩模的图案的敏感度和通过校正函数校正的光强度分布对曝光量的敏感度。

6. 根据权利要求 3 所述的方法,其中,设置所述常数 a_k 、 b_l 、 α 和 β ,以使得评估函数的值落在容限内,所述评估函数被表达为从通过校正函数校正的光强度分布计算的抗蚀剂图案的线宽与通过曝光处理获得的抗蚀剂图案的线宽之间的差的均方根值。

抗蚀剂图案计算方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种抗蚀剂图案计算方法。

背景技术

[0002] 在平版印刷工艺中,抗蚀剂图案通过曝光处理和显影处理形成,在曝光处理中,来自中间掩模图案的光被投射光学系统投射到抗蚀剂上以使抗蚀剂曝光,在显影处理中,使曝光的抗蚀剂显影。具有期望形状的抗蚀剂图案期望被转印和形成在晶片上。然而,由于例如光学邻近效应(OPE)和低 k_1 ,具有期望形状的抗蚀剂图案实际上不能被转印到晶片上。这是使器件特性劣化的一个因素。因此,为了改进器件特性,必需计算抗蚀剂图案的形状。

[0003] 为了计算抗蚀剂图案,日本专利公开 No. 08-148404 公开了一种从通过对基于光学图像计算的光强度分布进行卷积而获得的光强度分布计算抗蚀剂图案的方法。在日本专利公开 No. 08-148404 中所述的技术中,使用各种方差值(以下将称为扩散长度)来对光学图像的光强度分布进行卷积,以获得与在曝光结果中获得的扩散长度接近的扩散长度。在日本专利公开 No. 08-148404 中所述的技术中,在建模结果中获得的扩散长度则被应用于计算将被计算的图案的光强度分布的卷积积分,从而计算抗蚀剂图案的大小。

[0004] 不幸的是,在日本专利公开 No. 08-148404 中所述的现有技术难以以高精度计算抗蚀剂图案的大小。本发明的发明人调查了该困难的原因,并推断出在朝向低 k_1 的当前趋势下,对基于光学图像计算的光强度分布进行算术卷积的方法不能以足够高的精度表示抗蚀剂中的酸的扩散现象。这是由于以下原因。图1是在化学增幅抗蚀剂中的曝光期间产生的化学反应的示意图。在曝光期间,在具有高光强度的区域(亮区域)中,抗蚀剂中的酸(H^+)依次经历与抗蚀剂聚合物的链式反应。与此相反,在具有低光强度的区域(暗区域)中,酸(H^+)被猝灭剂(quencher)中所包含的碱基(OH^-)中和。也就是说,酸的行为根据曝光的强度的幅度(感兴趣区域是亮还是暗)而不同。日本专利公开 No. 08-148404 中所述的无论光强度的幅度如何都以相同的算术形式对光学图像进行卷积的现有技术没有考虑酸的上述行为。

发明内容

[0005] 考虑上述情形提出本发明,本发明提供一种改进抗蚀剂图案的计算精度的技术。

[0006] 本发明提供一种使用计算机计算抗蚀剂图案的方法,所述抗蚀剂图案是通过投射光学系统将中间掩模的图案的图像投射到抗蚀剂上以使抗蚀剂曝光并使曝光的抗蚀剂显影而形成在衬底上的,所述方法包括:第一步,基于中间掩模的图案和曝光条件来计算形成在抗蚀剂上的光学图像的光强度分布;第二步,使用第一扩散长度对在第一步中计算的光强度分布进行卷积;第三步,使用在第一步中计算的光强度分布或者在第二步中卷积的光强度分布来计算点的代表性光强度,所述代表性光强度代表具有预定大小并包括限定在抗蚀剂的平面内的所述点的区域中的光强度;第四步,通过将校正函数与在第二步中卷积的光强度分布相加来对在第二步中卷积的光强度分布进行校正,所述校正函数包括通过

$\{\sum_{k=0}^n (a_k J^k)\} \exp(-\alpha J)$ 给出的第一函数, 其中, J 是所述代表性光强度的分布, a_k 和 α 是常数, n 是自然数; 和第五步, 基于在第四步中校正的光强度分布和预先设置的限幅水平来计算抗蚀剂图案。

[0007] 从以下参照附图对示例性实施例的描述, 本发明的另外的特征将变得清楚。

附图说明

- [0008] 图 1 是曝光期间生成的化学反应的示意图;
- [0009] 图 2 是显示计算抗蚀剂图案的计算机的构造的框图;
- [0010] 图 3 是通过 SEM 进行的长度测量的流程图;
- [0011] 图 4 是用于确定校正函数的流程图;
- [0012] 图 5 是用于说明参考图案及其目标大小和评估位置的视图;
- [0013] 图 6 是用于说明 SEM 边缘的图表;
- [0014] 图 7 是用于说明代表性光强度 J 的映射图;
- [0015] 图 8 是用于说明 SEM 边缘上的代表性光强度 J_{SEMedge} 的提取的图表;
- [0016] 图 9A 至 9D 是用于说明在建模中使用的建模图案中的评估函数的减小的图表;
- [0017] 图 10 是抗蚀剂图案计算方法的流程图;
- [0018] 图 11 是在建模中使用的中间掩模图案的视图;
- [0019] 图 12A 和 12B 分别是显示光学图像的光强度分布和代表性光强度分布的图表;
- [0020] 图 13A 和 13B 分别是显示具有不同间隔大小和线大小的图案的代表性光强度分布的图表;
- [0021] 图 14 是显示校正函数的图表;
- [0022] 图 15A 是示出光强度 I_{SEMedge} 与间隔大小之间的关系的示例的图表;
- [0023] 图 15B 是示出代表性光强度 J_{SEMedge} 与间隔大小之间的关系的示例的图表;
- [0024] 图 15C 是示出校正函数 $f(J_{\text{SEMedge}})$ 与间隔大小之间的关系的示例的图表;
- [0025] 图 15D 是示出光强度 I_{SEMedge} 与间隔大小之间的关系的示例的图表;
- [0026] 图 16 是显示光强度 K_{SEMedge} 与占空比之间的关系的图表;
- [0027] 图 17A 至 17C 是显示校正之前和之后的参考图案的光强度分布的图表; 和
- [0028] 图 18 是显示现有技术与本发明示例中的抗蚀剂图案的计算误差之间的比较的图表。

具体实施方式

[0029] 在本发明的实施例中, 使用仿真器计算抗蚀剂图案, 所述抗蚀剂图案是通过投射光学系统将中间掩模的图案的图像投射到抗蚀剂上以使抗蚀剂曝光并使曝光的抗蚀剂显影而形成在衬底上的。图 2 显示配备有该仿真器的计算机的构造。该计算机包括 CPU 101、存储程序和数据的记录介质 102、主存储器 103、诸如键盘或鼠标的输入设备 104、诸如液晶显示器的显示装置 105、和读取记录介质 107 的读出装置 106。记录介质 102、主存储器 103、输入设备 104、显示装置 105 和读出装置 106 都连接至 CPU 101。在该计算机中, 存储用于计算抗蚀剂图案的程序的记录介质 107 安装在读出装置 106 中。CPU101 从记录介质 107 读

出程序,将它存储在记录介质 102 上,并执行它,从而对抗蚀剂图案进行建模和计算。通过下述方式对抗蚀剂图案进行建模,即,将在被曝光装置曝光的晶片上的评估部分中通过扫描电子显微镜 (SEM) 获得的临界尺寸 (CD) 的测量结果与通过仿真器获得的该临界尺寸的计算结果进行比较。此外,通过下述方式计算抗蚀剂图案,即,将其建模结果应用于光学仿真,以计算中间掩模图案的图像。

[0030] 图 3 是由 SEM 执行的长度测量的流程图。在步骤 201 中,确定曝光条件,诸如曝光中的 NA、曝光量、照明形状和抗蚀剂的类型。在步骤 S202 中,曝光装置在步骤 S201 中确定的曝光条件下使衬底(晶片)上的抗蚀剂曝光。在步骤 S203 中,显影装置使在步骤 S202 中曝光的抗蚀剂显影。在步骤 S204 中,使用 SEM 执行在步骤 S203 中显影的抗蚀剂图案的长度测量。

[0031] 图 4 是显示抗蚀剂图案的建模的流程图。在步骤 S301 中,设置在建模中使用的多个中间掩模图案。在步骤 S302 中,确定将从在步骤 S301 中设置的多个中间掩模图案选择的参考图案,及其目标大小和评估位置。例如,图 5 是用于说明参考图案的目标大小和评估位置的视图,从多个中间掩模图案选择具有给定间距的线和间隔图案作为参考图案,并将该图案中心处的遮光部分设置为评估位置。此外,由例如 SEM 在所设置的评估位置处测量的值作为目标大小输入。输入的目标大小将被用在步骤 S305 中。在步骤 S303 中,仿真器对于在步骤 S301 中设置的在建模中使用的每个中间掩模图案计算基于曝光条件形成在抗蚀剂上的光学图像的光强度分布(第一步)。在步骤 S304 中,仿真器使用给定的扩散长度对光学图像的光强度分布进行卷积。在步骤 S305 中,仿真器基于在步骤 S302 中确定的参考图案的目标大小和评估位置设置限幅水平(slice level)(CD 计算中的强度)。注意,可预先分离地设置限幅水平。在步骤 S306 中,仿真器基于在步骤 S305 中确定的限幅电平来计算在建模中使用的图案的 CD。

[0032] 在步骤 S307 中,仿真器将在步骤 S306 中计算的在建模中使用的图案的 CD 的结果与在步骤 S204 中由 SEM 测量的在建模中使用的图案的 CD 的结果之间的差的均方根(RMS)值进行比较。在步骤 S308 中,仿真器改变在步骤 S304 中设置的扩散长度。仿真器然后将所述处理返回到步骤 S304,并重复步骤 S304 至 S307。在步骤 S309 中,仿真器在通过重复步骤 S304 至 S307 而在计算结果中获得的扩散长度中确定使 RMS 差最小的扩散长度。在步骤 S310 中,仿真器计算通过使用在步骤 S309 中确定的扩散长度(第一扩散长度)进行卷积而获得的光强度分布(第二步)。在步骤 S309 中确定的扩散长度(第一扩散长度)例如是 50nm 或更小。以下将在步骤 S310 中计算的光强度分布称为校正之前的光强度分布。在步骤 S311 中,仿真器提取校正之前的光强度 $I_{0_{SEMedge}}$ 。本文将参照图 6 对 SEM 边缘进行描述。如图 6 所示,可基于当通过 SEM 测量曝光的抗蚀剂时的二次电子的信号强度的变化来检测该抗蚀剂的边缘。如图 6 所示,SEM 边缘是指将被测量的抗蚀剂的两个边缘的坐标。此外, $I_{0_{SEMedge}}$ 是 SEM 边缘上的光强度,该光强度由仿真器计算。

[0033] 在步骤 S312 中,仿真器从基于光学图像计算的光强度分布来计算代表性光强度的值(第三步)。图 7 显示在步骤 S301 中设置的抗蚀剂图案之一。参照图 7,对于每个点计算代表性光强度 J,代表性光强度 J 代表具有预定大小并包括限定在抗蚀剂的平面内的线上的点的区域中的光强度。再次参照图 7,用于计算代表性光强度的区域是具有半径 X nm 和以每个点作为其中心的圆。对于该线上的所有点执行该计算操作。虽然在该实施例中

计算光强度的最小值作为代表性光强度 J , 但是代表性光强度 J 不限于光强度的最小值, 可以是该区域内的其最大值、其平均值或者它们的组合。代表性光强度 J 可以是与最小值相邻的值。在其中将计算代表性光强度 J 的范围 X 期望地至少等于或者宽于最小线宽。

[0034] 假设具有 $k_1 = 0.25$ 的 ArF 浸没式曝光装置, 则最小线宽为 35nm, 所以必须计算等于或者宽于该最小线宽的至少一个范围的信息。因此, 当假设某个绘制的点为范围 X 的中心时, 范围 X 期望地是 17nm, 也就是说, 大约为最小线宽的一半或者更大。此外, 猝灭剂不太可能对超过 $1\mu\text{m}$ 的范围施加影响, 所以范围 X 期望地是 $1\mu\text{m}$ 或更小。总之, 范围 X 期望地是 17nm (包括) 到 $1\mu\text{m}$ (包括)。稍后将参照示例对计算的分布的示例进行描述。用于计算图 7 中所示的代表性光强度 J 的区域的形状是圆。然而, 该区域的形状不限于圆, 由于许多器件结构具有四边形形状, 所以该区域的形状可以是例如正方形。如果用于计算代表性光强度 J 的区域的形状是正方形, 则该正方形的每个边可以是 34nm (包括) 到 $2\mu\text{m}$ (包括)。此外, 虽然在该实施例中从基于光学图像计算的光强度分布计算代表性光强度, 但是可通过使用任意扩散长度对基于光学图像计算的光强度分布进行卷积来获得代表性光强度 J 。

[0035] 在步骤 S313 中, 仿真器如图 8 所示那样基于在步骤 S312 中计算的代表性光强度的分布来提取目标 SEM 边缘上的代表性光强度 J_{SEMedge} 。在步骤 S314 中, 仿真器对校正函数的系数进行建模, 以确定这些系数。在确定系数时, 使用在步骤 S311 中提取的 SEM 边缘上的校正之前的光强度 $I_{0\text{SEMedge}}$ 和在步骤 S313 中获得的代表性光强度 J_{SEMedge} 。仿真器确定校正函数, 并将它与光强度 $I_{0\text{SEMedge}}$ 相加, 从而对 SEM 边缘上的校正之前的光强度 $I_{0\text{SEMedge}}$ 进行校正 (第四步), 所述校正函数包括具有作为变量的代表性光强度 J_{SEMedge} 的第一函数。此时, 用于 SEM 边缘上的光强度的校正函数 $f(J_{\text{SEMedge}})$ 由下式给出:

$$[0036] \quad f(J_{\text{SEMedge}}) = \left\{ \sum_{k=0}^n (a_k J_{\text{SEMedge}}^k) \right\} \exp(-\alpha J_{\text{SEMedge}}) \quad \dots (1)$$

[0037] 其中, a_k 和 α 是常数, n 是自然数。注意, 在该式中, 为了易于计算常数 a_k 和 α , 给出约束 $f(J_{\text{SEMedge}})|_{J_{\text{SEMedge}}=0} = 0 = 0$ 和 $f(J_{\text{SEMedge}})|_{J_{\text{SEMedge}}=1} = 1 = 0$ 。在式 (1) 中, 常数 a_k 和 α 不全都同时为零。因此, 该实施例中的校正函数 $f(J_{\text{SEMedge}})$ 通常是具有作为变量的代表性光强度 J_{SEMedge} 的指数函数和多项式的乘积。然而, 如果常数 a_k 都是零 (也就是说, 常数 α 不是零), 则将校正函数 $f(J_{\text{SEMedge}})$ 表达为具有作为变量的代表性光强度 J_{SEMedge} 的指数函数。相反, 如果常数 α 是零 (也就是说, 常数 a_k 中的至少一个不是零), 则将校正函数 $f(J_{\text{SEMedge}})$ 表达为具有作为变量的代表性光强度 J_{SEMedge} 的多项式。

[0038] 通过使用式 (1), SEM 边缘上的校正之后的光强度 I_{SEMedge} 由以下给出:

$$[0039] \quad I_{\text{SEMedge}} = I_{0\text{SEMedge}} + f(J_{\text{SEMedge}}) \dots (2)$$

[0040] 当常数 a_k 和 α 固定时, 可使用式 (2) 来确定校正之后的光强度 I_{SEMedge} , 所以可对每个图案计算 SEM 边缘上的光强度。设 $I_{p\text{SEMedge}}$ 为校正之后的光强度, $I_{a\text{SEMedge}}$ 为该图案的校正之后的光强度 $I_{p\text{SEMedge}}$ 的平均值。然后, 使用光强度 $I_{p\text{SEMedge}}$ 和平均值 $I_{a\text{SEMedge}}$ 将评估函数 C 定义为:

$$[0041] \quad C = \sum_{\text{pattern}} \left\{ \left(\frac{I_{p\text{SEMedge}} - I_{a\text{SEMedge}}}{I_{a\text{SEMedge}}} \right)^2 + \left(\frac{I_{p\text{SEMedge}, d_2}}{I_{p\text{SEMedge}, d_1}} - \frac{d_1}{d_2} \right)^2 \right\} \quad \dots (3)$$

[0042] 其中, $I_{p_{SEMedge, d1}}$ 和 $I_{p_{SEMedge, d2}}$ 是当以两个不同的曝光量 d_1 和 d_2 使抗蚀剂曝光时 SEM 边缘上的光强度。式 (3) 右手侧的第一项表示对图案的敏感度, 其第二项表示对曝光量的敏感度。虽然在该实施例中使用两个不同的曝光量时的光强度 $I_{SEMedge}$, 但是可使用多于两个的曝光量。设置建模中的系数 a_k 和 α , 以使得式 (3) 中表达的评估函数 C 的值例如最小。当评估函数 C 的值最小时的系数 a_k 和 α 可通过例如拟牛顿法来确定, 拟牛顿法可用例如求解程序 (诸如 Excel) 来实现。稍后将参照示例对系数的计算和基于计算的系数的校正函数 $f(J_{SEMedge})$ 与代表性光强度 $J_{SEMedge}$ 之间的关系的示例进行描述。

[0043] 以下将对评估函数 C 的值减小的意义进行说明。图 9A 是显示图案类型与光强度 $I_{0_{SEMedge}}$ 之间的关系的图表。从不同的观点来讲, 图 9A 中所示的关系意味着, 只要对用于每个图案的光强度 $I_{0_{SEMedge}}$ 的值确定限幅水平, 就可预测实际测量结果。如从图 9A 可见, 光强度 $I_{0_{SEMedge}}$ 的值在每单个图案中变化。该变化意味着, 当在确定给定的限幅水平时计算 CD 时, 该变化如此大, 以至于抗蚀剂图案的预测误差大, 也就是说, 预测不精确。图 9C 是显示坐标上的校正之后的 SEM 边缘上的光强度 $I_{SEMedge}$ 的图表, 并显示当通过累加使用校正函数的强度校正量来校正图 9A 中所示的光强度 $I_{0_{SEMedge}}$ 的变化时的理想形式, 所述校正函数具有作为变量的图 9D 中所示的代表性光强度 $J_{SEMedge}$ 。如图 9C 所示, 当校正之后的光强度 $I_{SEMedge}$ 的变化可被抵消并且在这种状态下确定限幅水平时计算 CD 时, 抗蚀剂图案的预测误差可被消除, 也就是说, 可精确地计算抗蚀剂图案。这解释了评估函数 C 的值的减小的意义。然而, 实际上, 如图 9C 所示, 难以抵消光强度 $I_{SEMedge}$ 的变化。因此, 现实的是如图 9B 所示那样使校正之后的光强度 $I_{SEMedge}$ 的变化小于图 9A 中所示的校正之前的光强度 $I_{SEMedge}$ 的变化, 以降低预测误差。以上述方式, 具有作为变量的代表性光强度 $J_{SEMedge}$ 的校正函数被用于执行考虑曝光光的强度的幅度的建模。此外, 可使用诸如下降单纯形法 (downhill simplex) 的优化方法来确定每个系数值, 以使得评估函数 C 的值落在容限内, 所述评估函数 C 的值被表达为将被建模的图案的线宽与通过曝光处理而获得的抗蚀剂图案的线宽之间的差的均方根值。

[0044] 为了考虑闪光的影响, 不仅描述代表性光强度的函数 (第一函数), 而且描述通过使用大于在步骤 S309 中设置的第一扩散长度的第二扩散长度进行卷积而获得的光强度分布的函数 (第二函数) 也可被包括在校正函数中 (第六步)。闪光是由于例如曝光装置的透镜的不期望的反射和散射而产生的杂散光。通过使用更大的扩散长度进行卷积而获得的光强度分布在物理上表示占空比 (白与黑之比)。将在以下示例中阐明该代表性的示例。在这种情况下, 设 $K_{SEMedge}$ 为通过使用更大的扩散长度进行卷积而获得的分布中的 SEM 边缘上的光强度, 则校正函数由以下给出:

[0045]

$$f(J_{SEMedge}, K_{SEMedge}) = \left\{ \sum_{k=0}^n (a_k J_{SEMedge}^k) \right\} \exp(-\alpha J_{SEMedge}) + \left\{ \sum_{l=0}^m (b_l K_{SEMedge}^l) \right\} \exp(-\beta K_{SEMedge}) \quad \dots (4)$$

[0046] 其中, b_1 和 β 是常数, m 是自然数。

[0047] 此外, 校正之后的光强度分布由以下给出:

[0048] $I_{SEMedge} = I_{0_{SEMedge}} + f(J_{SEMedge}, K_{SEMedge}) \dots (5)$

[0049] 用于计算第二校正函数中的变量 K 的第二扩散长度落在 50nm (包括) 到 $200\text{ }\mu\text{m}$ (包括) 的范围内, 闪光对该范围施加影响。接下来将参照图 10 对使用校正函数计算抗蚀剂图案的方法进行描述。在步骤 S401 中, 不仅设置图 4 的流程图中所示的在建模中使用的图案, 而且还设置将应用建模结果的中间掩模图案。在步骤 S402 中, 仿真器不仅对图 4 中所示的流程图中的步骤 S401 中的在建模中使用的每个中间掩模图案, 而且还对每个设置的中间掩模图案, 计算形成在晶片上的光学图像的光强度分布 (第一步)。在步骤 S403 中, 仿真器使用在步骤 S309 中确定的第一扩散长度对在步骤 S402 中计算的光强度分布进行卷积 (第二步)。在步骤 S404 中, 仿真器从在步骤 S402 中计算的光强度分布计算代表性光强度 J_{SEMedge} 的分布 (第三步)。在步骤 S405 中, 仿真器使用在图 4 中所示的流程图的步骤 S314 中确定的校正函数来计算校正之后的光强度 I_{SEMedge} (第四步)。仿真器在建模中使用 SEM 边缘上的光强度, 当应用建模结果时, 将该光强度应用于整个光强度分布的数据。也就是说, 将在步骤 S314 中确定的系数代入到式 (1) 和 (2) 中表达的关系中, 并将获得的关系应用于所有绘制的点。稍后将对校正之前和之后的光强度分布之间的比较的示例进行描述。

[0050] 在步骤 S406 中, 仿真器设置与图案的评估位置对应的限幅水平, 以用作将应用在步骤 S405 中获得的建模结果的中间掩模图案的校正之后的光强度分布的参考。在步骤 S407 中, 仿真器基于在步骤 S405 中校正的光强度 I_{SEMedge} 的分布和在步骤 S406 中设置的限幅水平来计算将应用建模结果的中间掩模图案的 CD, 从而计算抗蚀剂图案 (第五步)。这使得可以以比现有技术高的精度计算抗蚀剂图案。稍后将参照示例对当应用建模结果时现有技术与本发明之间的比较进行描述。

[0051] 【示例】

[0052] 将对上述实施例中的示例进行描述。在步骤 S301 中, 设置在建模中使用的多个中间掩模图案。图 11 是所使用的图案的示意图。在图案 A 中, 所有条具有长度 $W = 5\text{ }\mu\text{m}$ 。虽然为了简化起见图案 A 在图 11 中具有三条线, 但是它实际上具有 17 条线。此外, 图案 A 具有在图案 A 的整个区域中周期性布置的线和间隔, 以及 17 条线中的作为评估部分的中心线。通过定义线和间隔大小的不同组合, 获得 25 种类型的图案 A。在图案 B 中, 所有条具有长度 $W = 2\text{ }\mu\text{m}$ 。虽然为简化起见图案 B 在图 11 中具有三条线, 但是它实际上具有 9 条线。此外, 图案 B 具有在图案 B 的整个场中周期性布置的线、间隔和间隙以及 9 条线中的作为评估部分的中心线。通过定义线、间隔和间隙大小的不同组合, 获得 8 种类型的图案 B。图案 C 是通过将图案 B 的遮光部分和透光部分反转而获得的中间掩模图案。图案 C 利用与图案 B 相同的大小定义, 并使用 5 种类型的图案 C。图 18 描述实际大小。虽然在该示例中使用上述总共 38 种类型的图案, 但是图案类型、这些图案的条的长度和数量以及这些图案的线、间隔和间隙的大小不限于具有上述数值的图案。

[0053] 在步骤 S302 中, 确定将从在步骤 S301 中设置的多个中间掩模图案选择的参考图案及其目标大小和评估位置。参考图案在本文中是指用于确定中间掩模图案上的曝光量的图案。在该示例中, 图 11 中所示的 50nm 线和间隔图案被确定为参考图案。在步骤 S303 中, 仿真器对在步骤 S301 中设置的在建模中使用的每个中间掩模图案, 计算形成在晶片上的光学图像的光强度分布。在步骤 S304 中, 仿真器使用给定的扩散长度对光学图像的光强度分布进行卷积。在步骤 S305 中, 仿真器设置限幅水平。在该示例中, 将限幅水平设置

为与参考图案中的中间条的实际大小匹配的光强度（曝光量）。在步骤 S306 中，仿真器基于在步骤 S305 中确定的限幅水平来计算各个图案的 CD。在步骤 S307 中，仿真器将在步骤 S306 中计算的在建模中使用的图案的 CD 的结果与在步骤 S204 中通过 SEM 测量的在建模中使用的图案的 CD 的结果之间的差的 RMS（均方根）值进行比较。在步骤 S308 中，仿真器改变在步骤 S304 中设置的扩散长度。仿真器然后重复步骤 S304 至 S307。在该示例中，通过在 50nm 或更小的范围内改变扩散长度来重复地进行计算。注意，直到 SEM 测量为止的序列与图 3 中所示的流程图中的序列相同。此外，使用 NA 为 1.35、环形区域比为 0.90/0.72 的环形照明和下述晶片进行曝光，在所述晶片上，从晶片侧起依次形成 39-nm BARC、42-nm TARC、90-nm 抗蚀剂和 35-nm 表面涂层。

[0054] 在步骤 S309 中，仿真器确定所述差的 RMS 值最小的扩散长度。在该示例中，该扩散长度为 19.3nm。在步骤 S310 中，仿真器计算通过使用在步骤 S309 中确定的扩散长度进行卷积而获得的校正之前的光强度分布。在步骤 S311 中，仿真器提取 SEM 边缘上的校正之前的光强度 $I_{0_SEMedge}$ 。在步骤 S312 中，仿真器从基于光学图像计算的光强度分布，计算在外围区域中的光强度的最小值 J 作为代表性光强度。在该示例中，从基于光学图像计算的光强度分布提取环境光的强度的最小值。图 12A 显示如图 7 所示的通过限定参考图案中的条的中心部分的线所指示的部分中的光强度分布。此外，图 12B 显示通过提取下述区域内的光强度的最小值而获得的光强度 J 的分布，所述区域具有 300nm 的半径，并落在该线上的 17nm（包括）到 $1\mu m$ （包括）的范围内。图 13A 示出对在建模中使用的图案执行如上所述方法的结果的示例，所述图案在线大小固定为 80nm 并且改变间隔大小时获得。图 13B 示出对在建模中使用的图案执行如上所述的方法的结果的示例，所述图案在间隔大小固定为 80nm 并且改变线大小时获得。如从图 13A 和 13B 可见，可能的的光强度 J 的范围根据线大小（遮光部分的大小）而不同。

[0055] 在步骤 S313 中，仿真器基于在步骤 S312 中计算的代表性光强度的分布来提取目标 SEM 边缘上的代表性光强度 $J_{SEMedge}$ 。在步骤 S314 中，仿真器对校正函数的系数进行建模，以确定这些系数。在确定系数时，使用两个不同的曝光量 $d_1 = 290J/m^2$ 和 $d_2 = 300J/m^2$ 时的 SEM 边缘上的光强度 $I_{SEMedge}$ 。虽然在该示例中使用两个不同曝光量时的光强度 $I_{SEMedge}$ ，但是可使用多于两个的曝光量。此外，仿真器使用 $f(J_{SEMedge})|_{J_{SEMedge}=1} = 0$ 和使用具有 $a_0 = 0$ 的多项式的四次方程来确定系数。系数值的结果是 $a_1 = 11.5$ 、 $a_2 = -155.3$ 、 $a_3 = 1197.6$ 、 $a_4 = -1053.8$ 和 $\alpha = 18.6$ 。图 14 显示当使用系数值的这些结果时校正函数 $f(J_{SEMedge})$ 与代表性光强度 $J_{SEMedge}$ 之间的关系。

[0056] 图 15A 至 15D 显示当线大小固定为 80nm 并且改变间隔大小时获得的对于每个线和间隔图案的校正之前的光强度、代表性光强度、校正函数和校正之后的光强度的结果。所有这些图表在横坐标上显示改变的间隔大小。如从图 15A 至 15D 可见，具有作为变量的代表性光强度的校正函数 $f(J_{SEMedge})$ 的使用使得光强度的变化在校正之后的光强度 $I_{SEMedge}$ 中比在校正之前的光强度 $I_{0_SEMedge}$ 中小。如上所述，使用代表性光强度执行考虑曝光光的强度的幅度的信息的建模。此外，为了执行考虑闪光的影响的建模，不仅代表性光强度的分布，而且描述通过下述光强度分布的函数也需要被包括到校正函数中，所述光强度分布通过使用更大的扩散长度对通过中间掩模投射而获得的光强度分布进行卷积而获得。通过使用更大的扩散长度进行卷积而获得的光强度分布 K 在物理上表示图案的占空比（白与黑；间隔

/线之比)。图 16 示出该光强度分布的示例。图 16 是显示 SEM 边缘上的光强度 K_{SEMedge} 与通过使用 300nm 的扩散长度进行卷积而获得的线和间隔图案中的占空比之间的关系的图表, 300nm 的扩散长度远大于在步骤 S309 中确定的扩散长度 (19.3nm)。如从图 16 可见, SEM 边缘上的光强度 K_{SEMedge} 和占空比具有给定的相关性。因此, 代表性光强度 J_{SEMedge} 和使用相对大的扩散长度计算的光强度 K_{SEMedge} 的同时使用使得可实现反映曝光光的强度的幅度和占空比的建模。

[0057] 接着应用建模结果。将参照图 10 中所示的流程图对该操作进行描述。在步骤 S401 中, 设置将应用建模的中间掩模图案。在该示例中, 使用在步骤 S301 中设置的总共 38 种类型的中间掩模图案。在步骤 S402 中, 仿真器对在步骤 S401 中设置的每个中间掩模图案, 计算形成在晶片上的光学图像的光强度分布。在步骤 S403 中, 仿真器使用在步骤 S309 中确定的扩散长度对光学图像的光强度分布进行卷积。该示例中的扩散长度为 19.3nm。在步骤 S404 中, 仿真器从在步骤 S402 中计算的光学图像的光强度分布计算代表性光强度的分布。在步骤 S405 中, 仿真器基于在图 4 中所示的流程图的步骤 S314 中确定的校正函数的系数, 创建对在步骤 S401 中设置的每个中间掩模图案的校正之后的光强度分布。图 17A 至 17C 举例说明在参考图案的评估线上应用式 (1) 和 (2) 中表达的关系的情况, 其中, 图 17A 是显示校正之前的光强度分布的图表, 图 17B 是显示代表性光强度 J 的分布的图表, 图 17C 是显示校正之前与之后的光强度分布之间的比较的图表。图 17C 揭示校正之后的光强度分布的最小水平比校正之前的光强度分布的最小水平高, 所以可校正校正之前的光强度分布, 而不显著地改变其形状。

[0058] 在步骤 S406 中, 仿真器为在步骤 S405 中获得的校正之后的光强度分布设置限幅水平。在该示例中, 将限幅水平设置为与参考图案中的中心条的实际大小匹配的强度。在步骤 S407 中, 仿真器基于在步骤 406 中确定的限幅水平来计算在步骤 S401 中设置的图案的 CD, 从而计算抗蚀剂图案。图 18 是显示在日本专利公开 No. 08-148404 中所述的现有技术和该示例中的抗蚀剂图案的计算精度的图表。图 18 显示在纵坐标上的抗蚀剂图案的计算值相对于通过 SEM 获得的实际测量值的偏移 (正或负偏移) 和在横坐标上的在建模中使用的中间掩模图案的大小 (单位: nm)。图 18 中的图案 A、B 和 C 的定义以及线、间隔和间隙的大小对应于图 11 中的图案 A、B 和 C 的定义以及线、间隔和间隙的大小。图 18 揭示计算的抗蚀剂图案的大部分的误差在该实施例中比在现有技术中小。这些抗蚀剂图案的误差的 RMS 值在现有技术中为 8.08nm、而在该示例中为 2.63nm 的事实还揭示了在该示例中能以更高的精度计算抗蚀剂图案。

[0059] 虽然在该示例中不关心例如由投射光学系统产生的像差的影响地计算抗蚀剂图案, 但是还可通过考虑例如由投射光学系统产生的像差的影响来计算抗蚀剂图案, 这是因为与该示例中的模式相同的模式是可实现的。此外, 该示例可与用于优化诸如有效光源的曝光条件的操作组合使用。本发明的方面还可通过系统或装置的计算机 (或者诸如 CPU 或 MPU 的设备) 和通过如下方法来实现, 所述计算机读出并执行记录在存储设备上的程序以执行上述实施例的功能, 所述方法的步骤通过系统或装置的计算机例如读出并执行记录在存储设备上的程序以执行上述实施例的功能来执行。为此目的, 例如通过网络或者从用作存储设备的各种类型的记录介质 (例如, 计算机可读介质) 将所述程序提供给所述计算机。在这样的情况下, 所述系统或装置和存储所述程序的记录介质包括在本发明的范围内。

[0060] 尽管已参照示例性实施例对本发明进行了描述,但是将理解的是,本发明不限于所公开的示例性实施例。将给予权利要求的范围以最广泛的解释,以涵盖所有这样的修改以及等同的结构和功能。

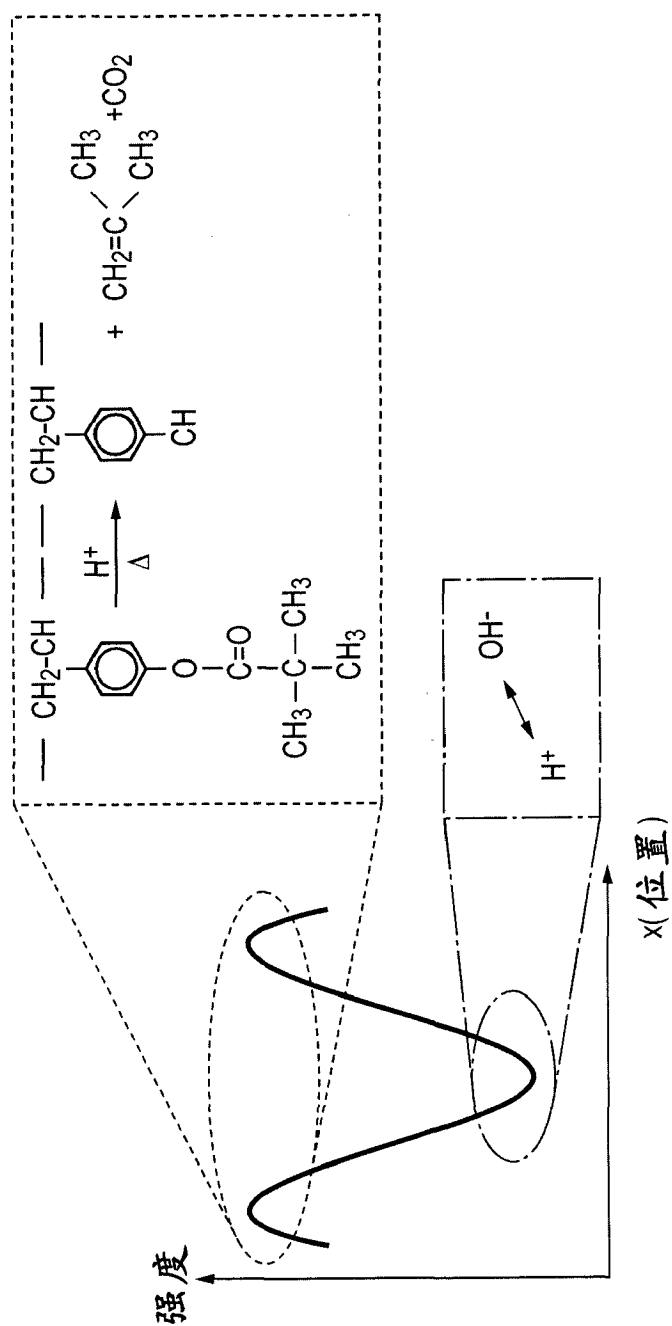


图 1

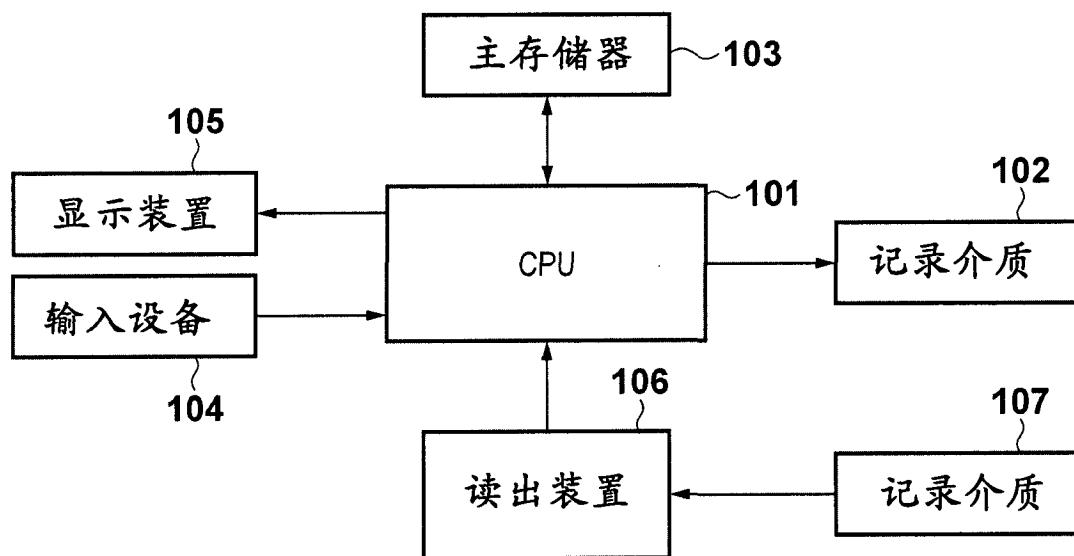


图 2

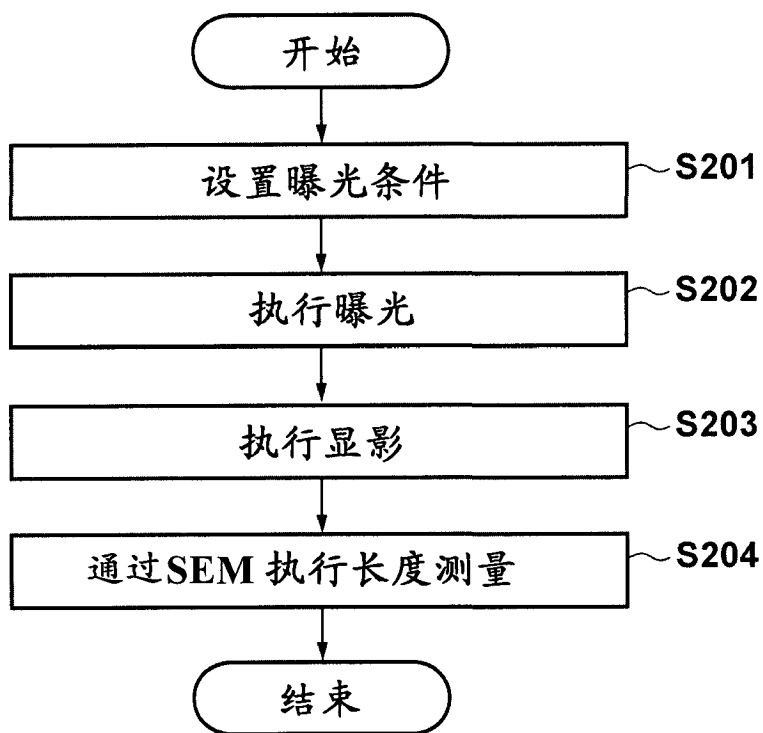


图 3

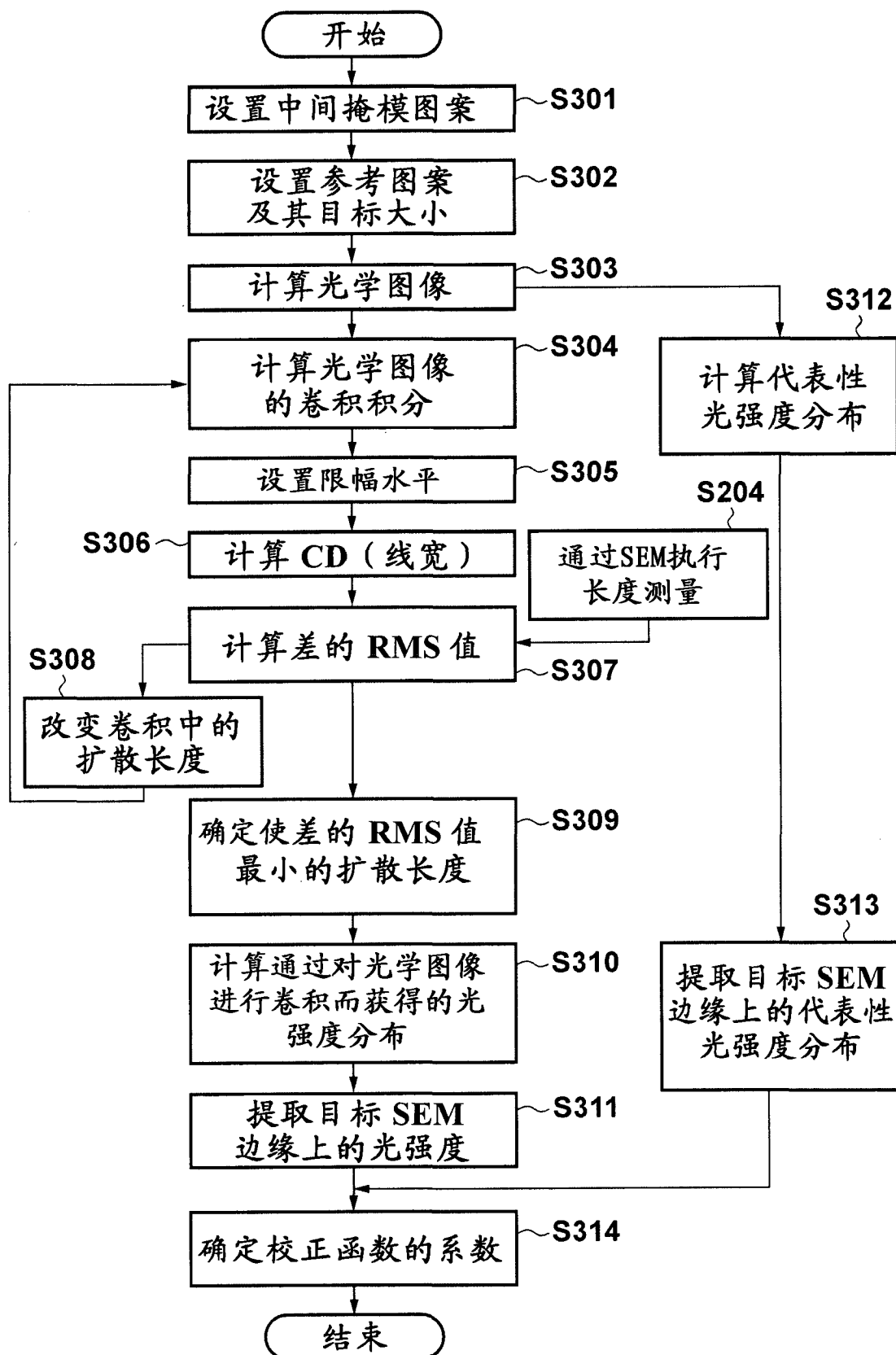


图 4

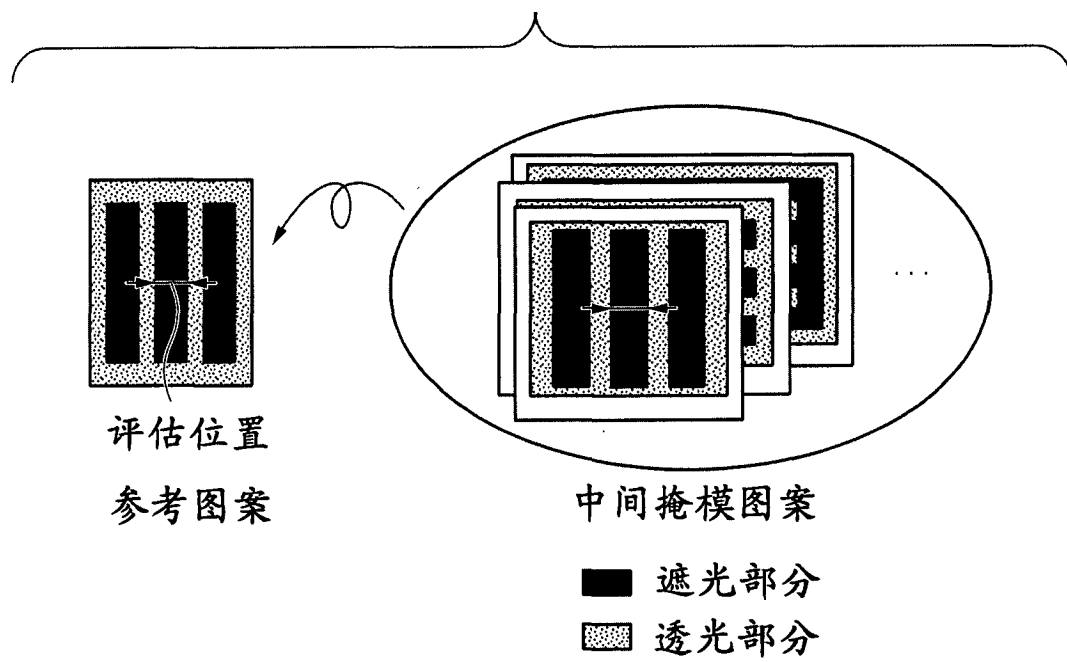


图 5

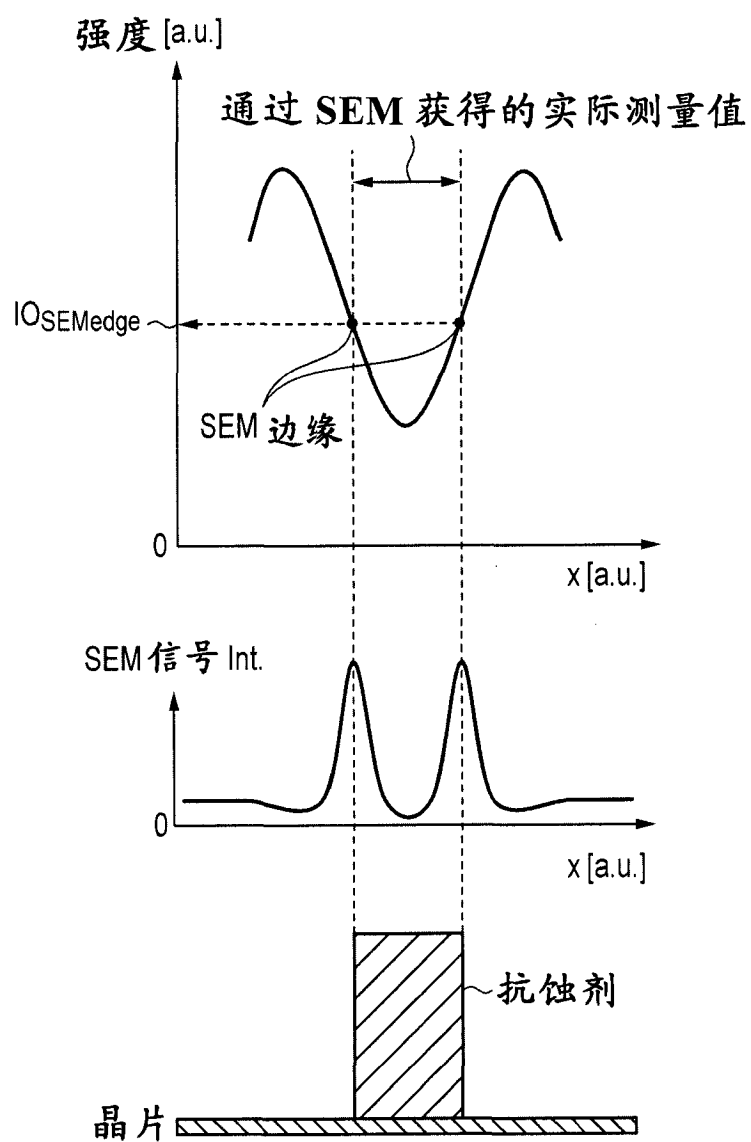


图 6

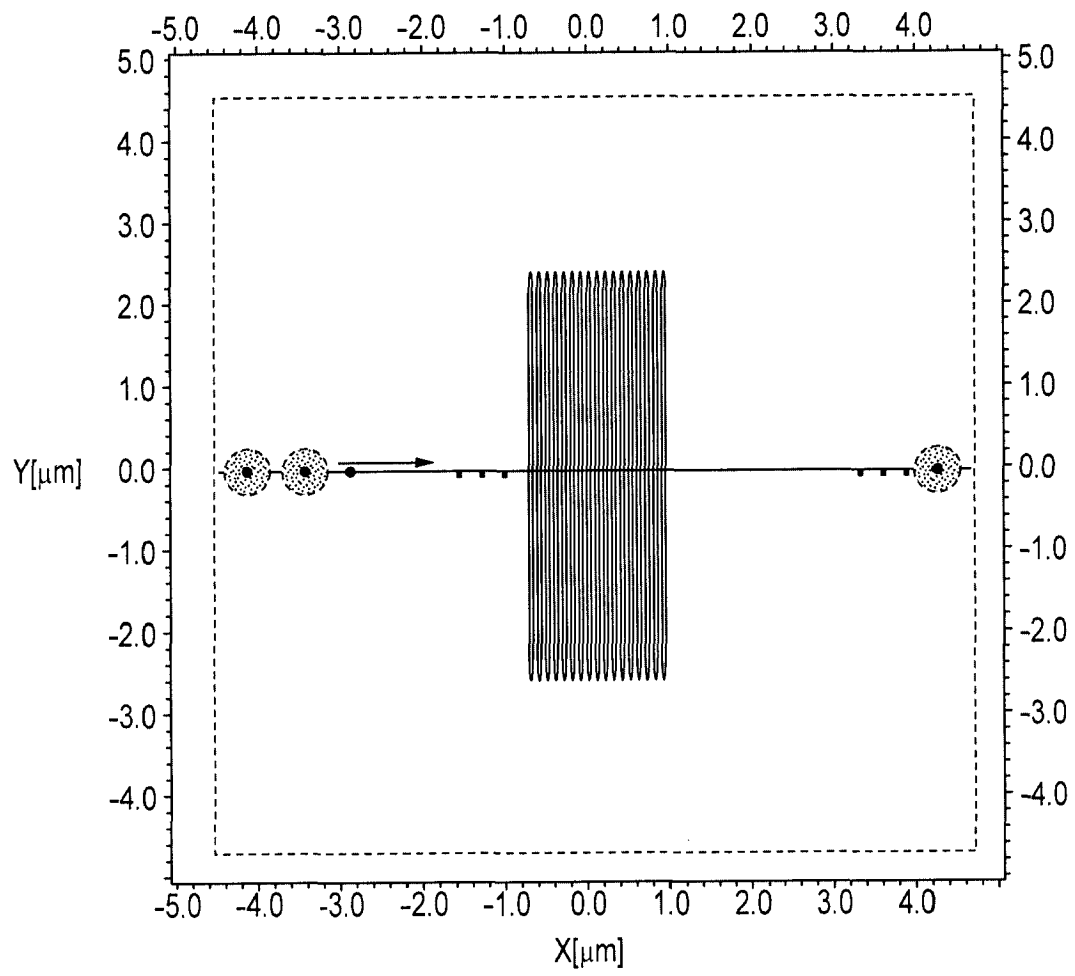


图 7

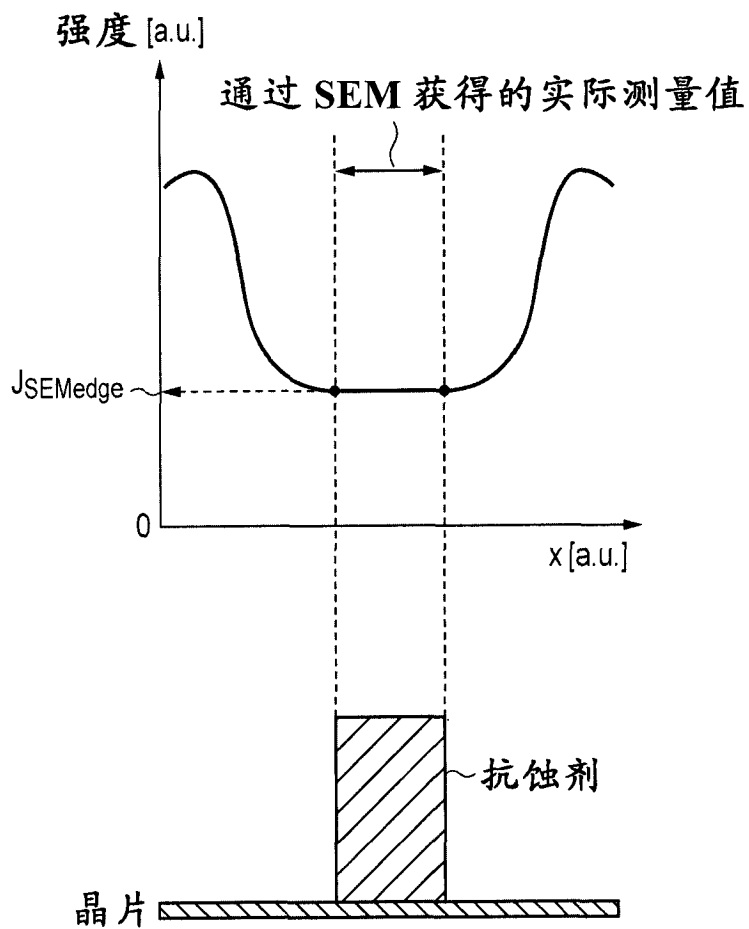


图 8

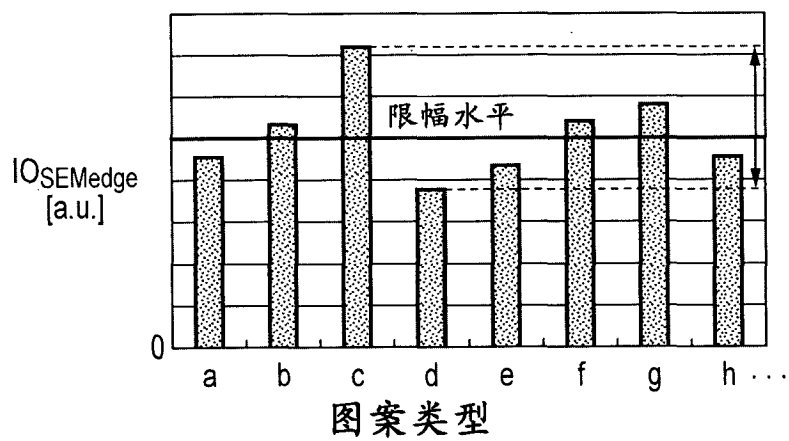


图 9A

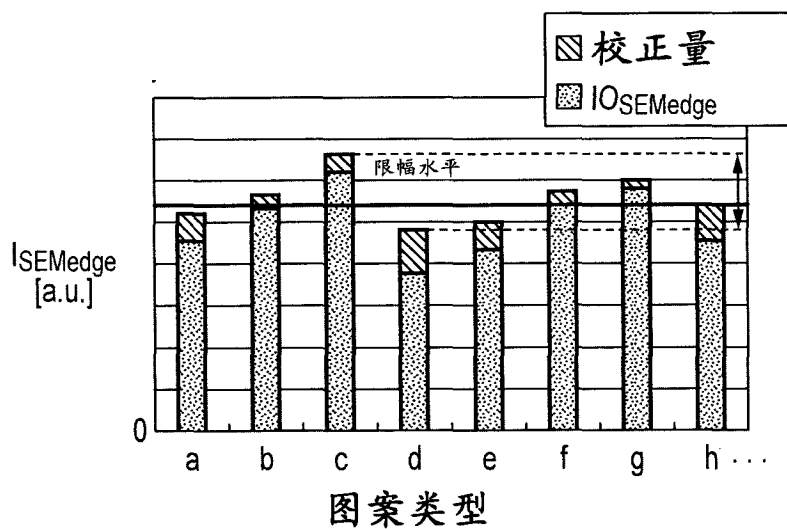


图 9B

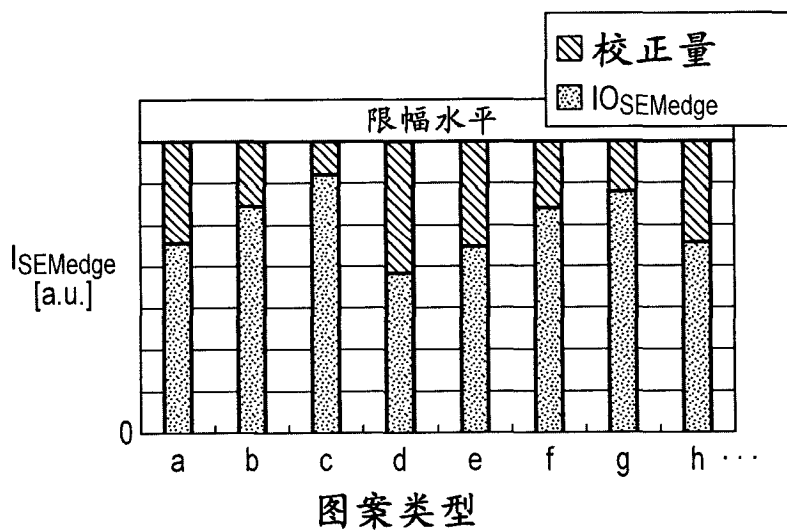


图 9C

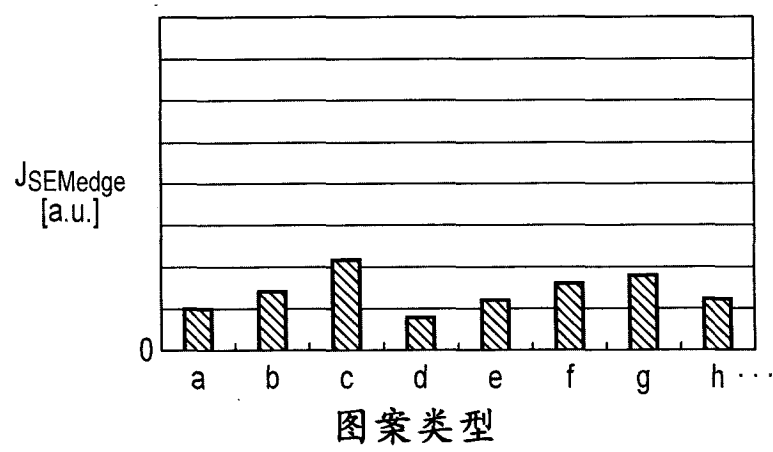


图 9D

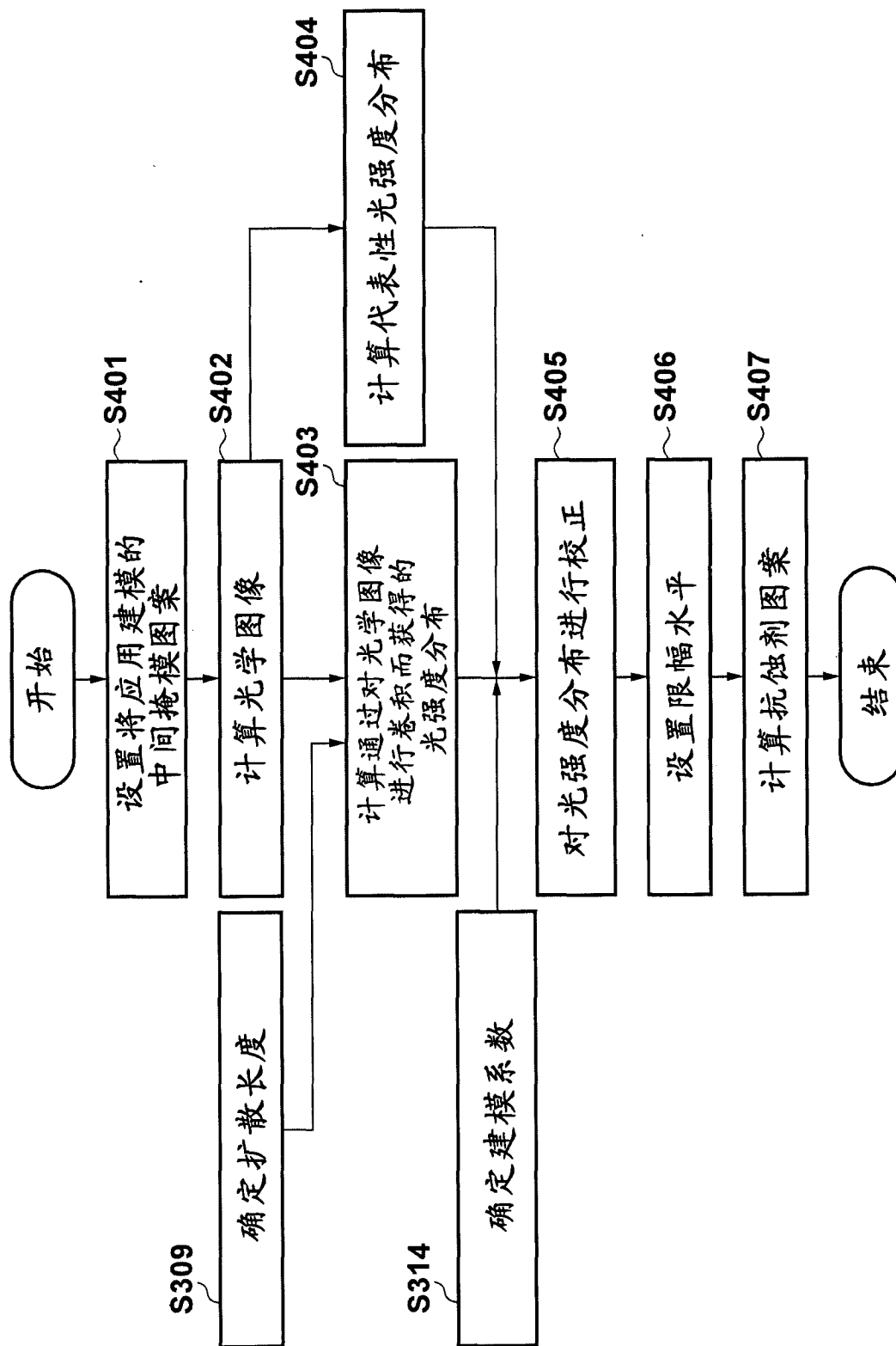


图 10

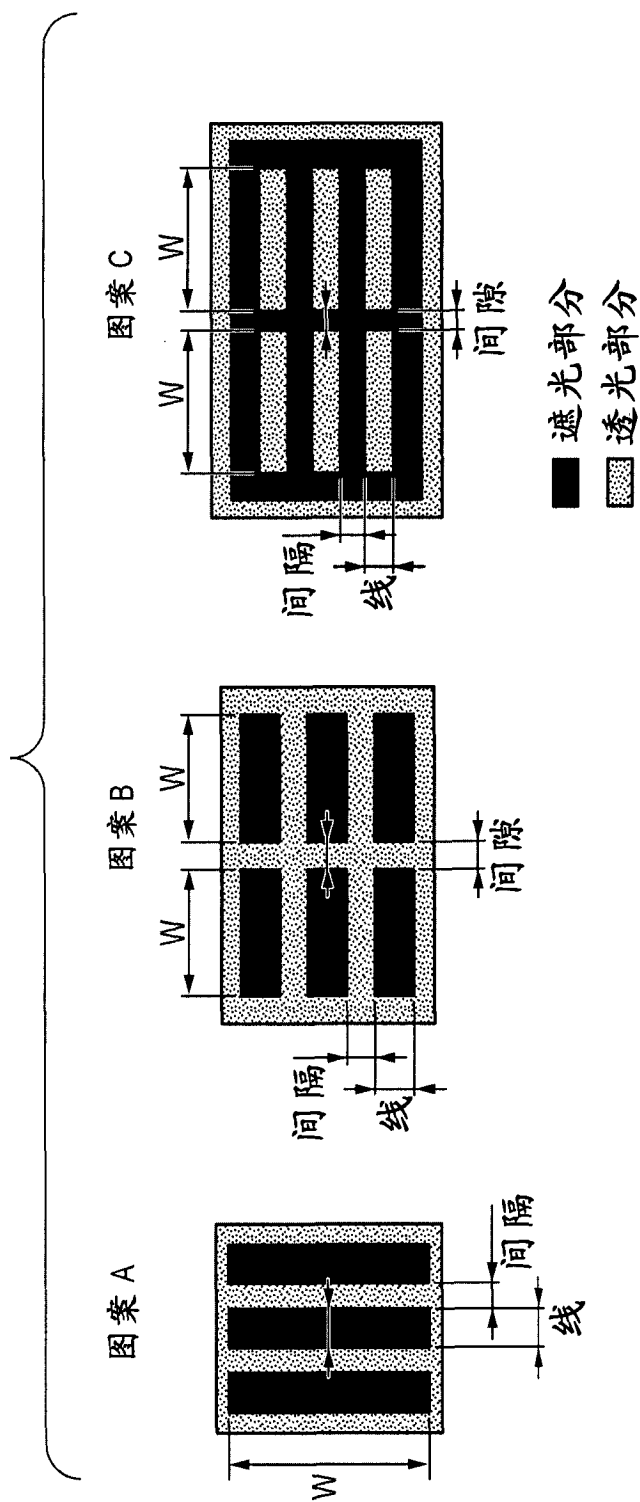


图 11

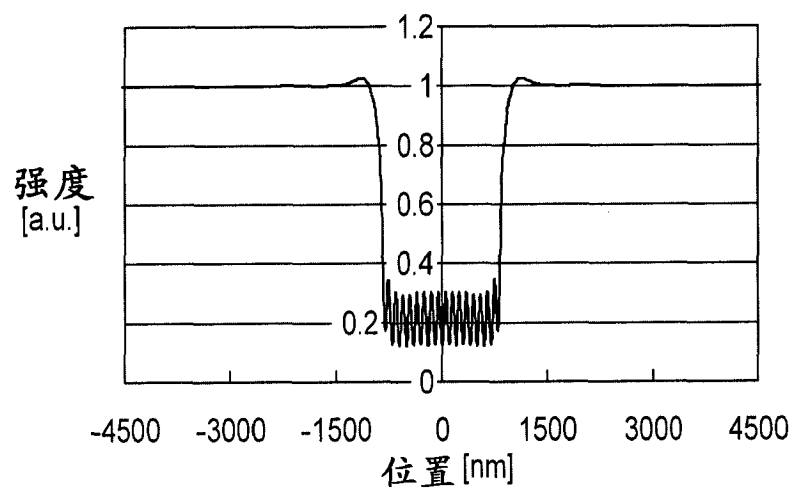


图 12A

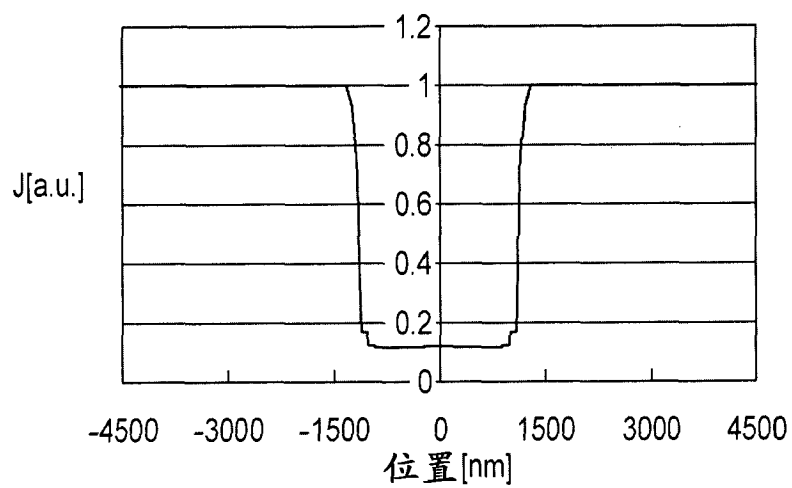


图 12B

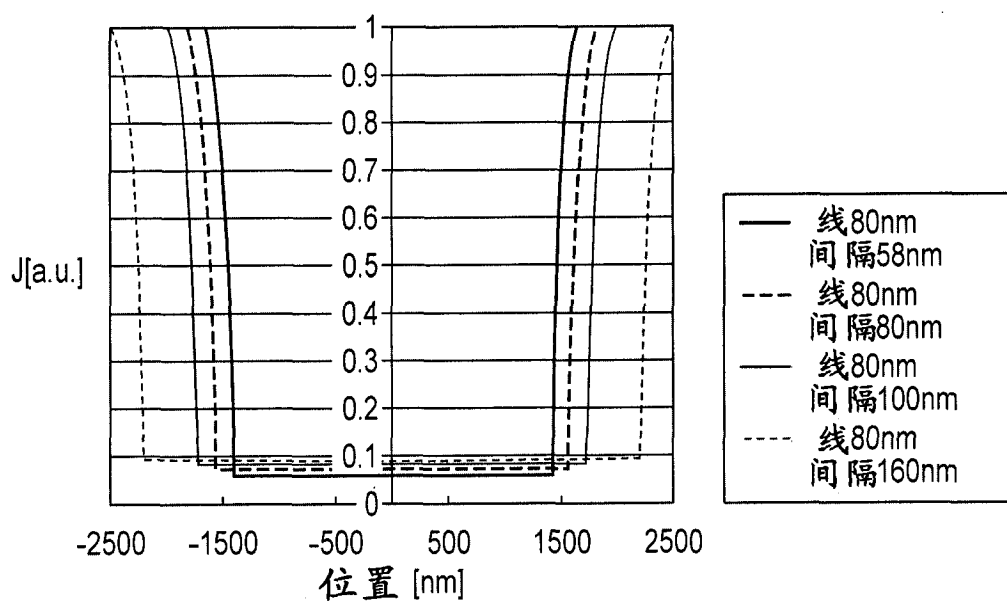


图 13A

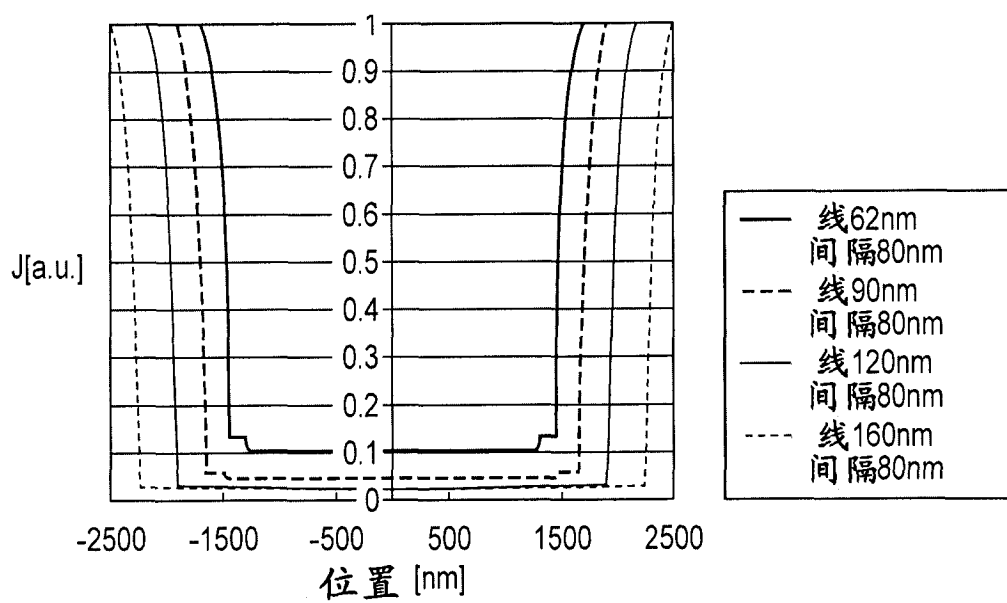


图 13B

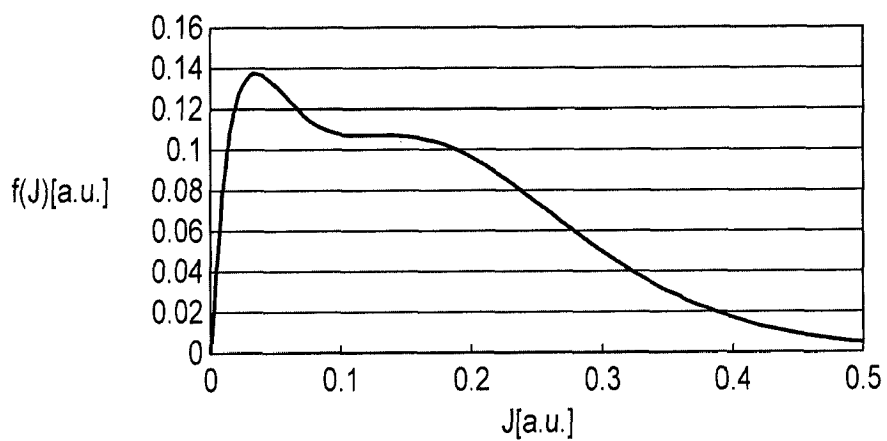


图 14

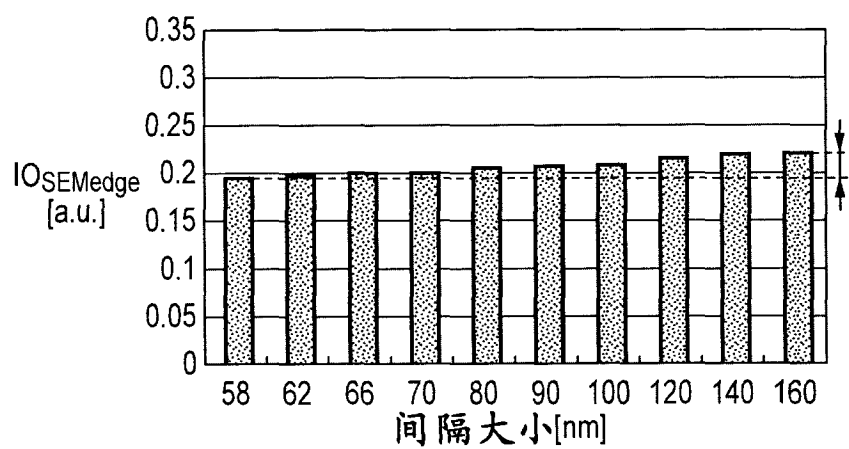


图 15A

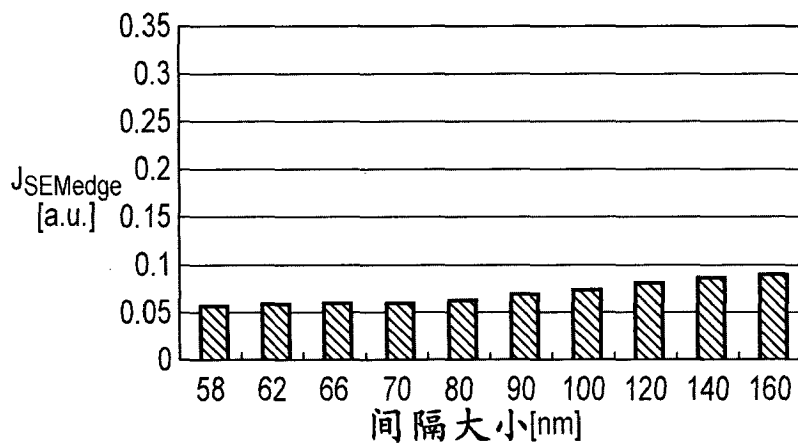


图 15B

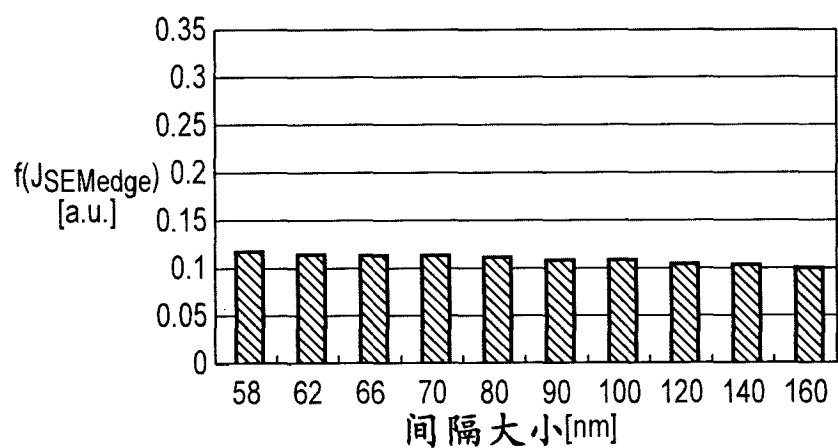


图 15C

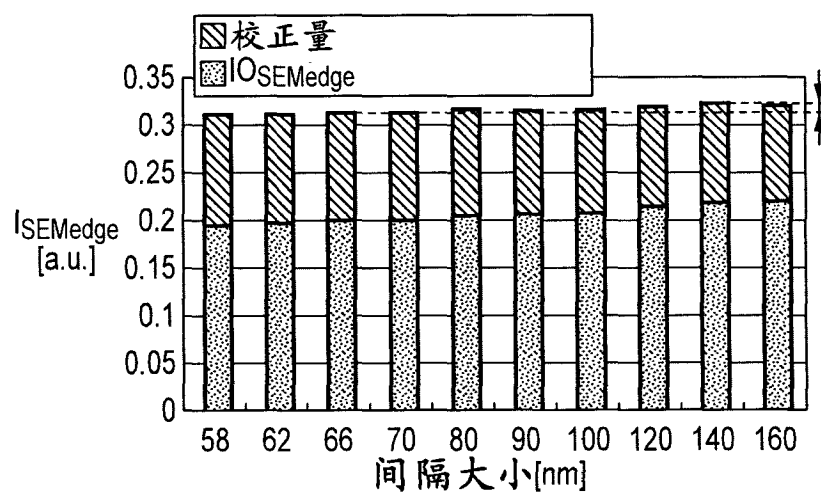


图 15D

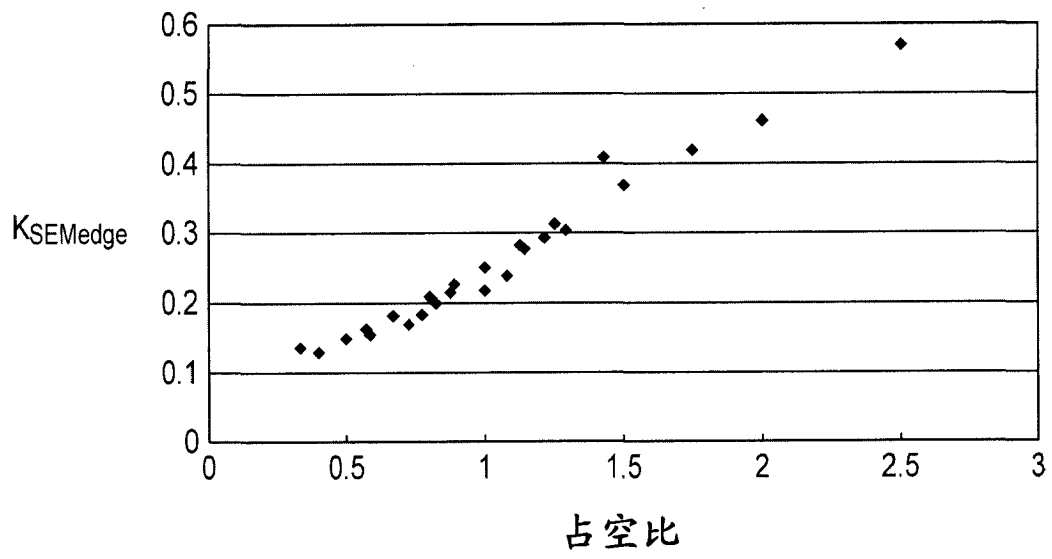


图 16

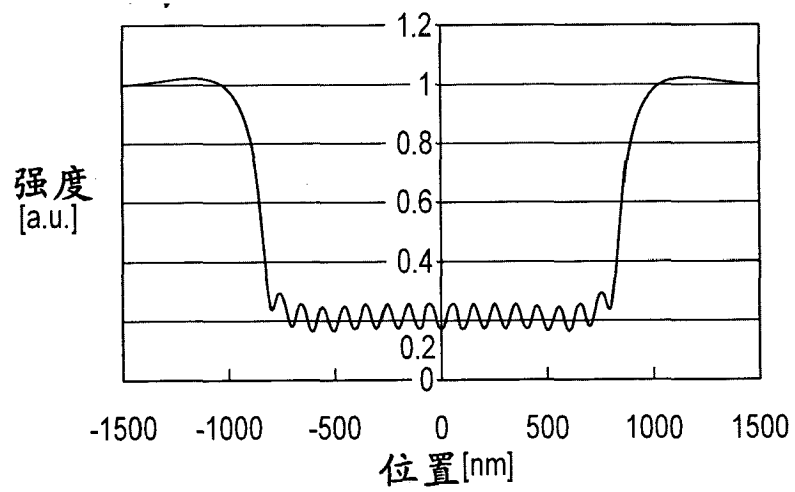


图 17A

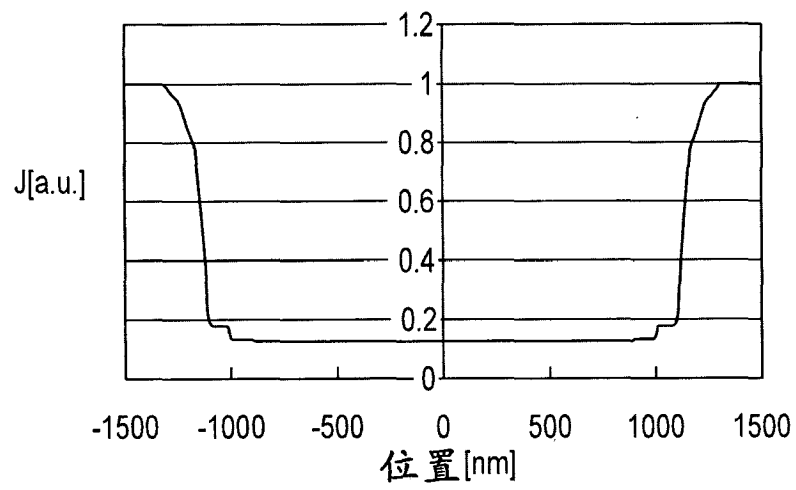


图 17B

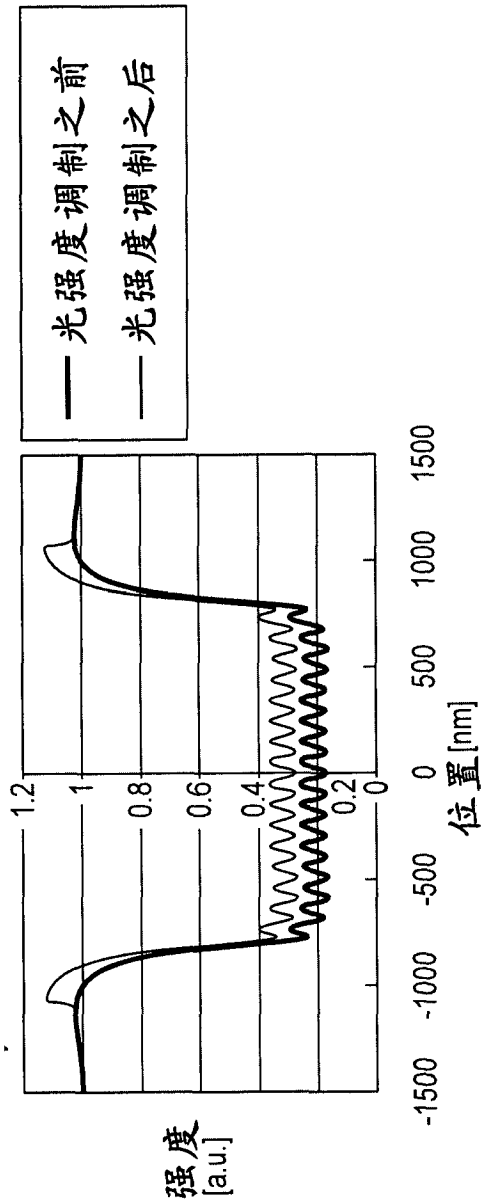


图 17C

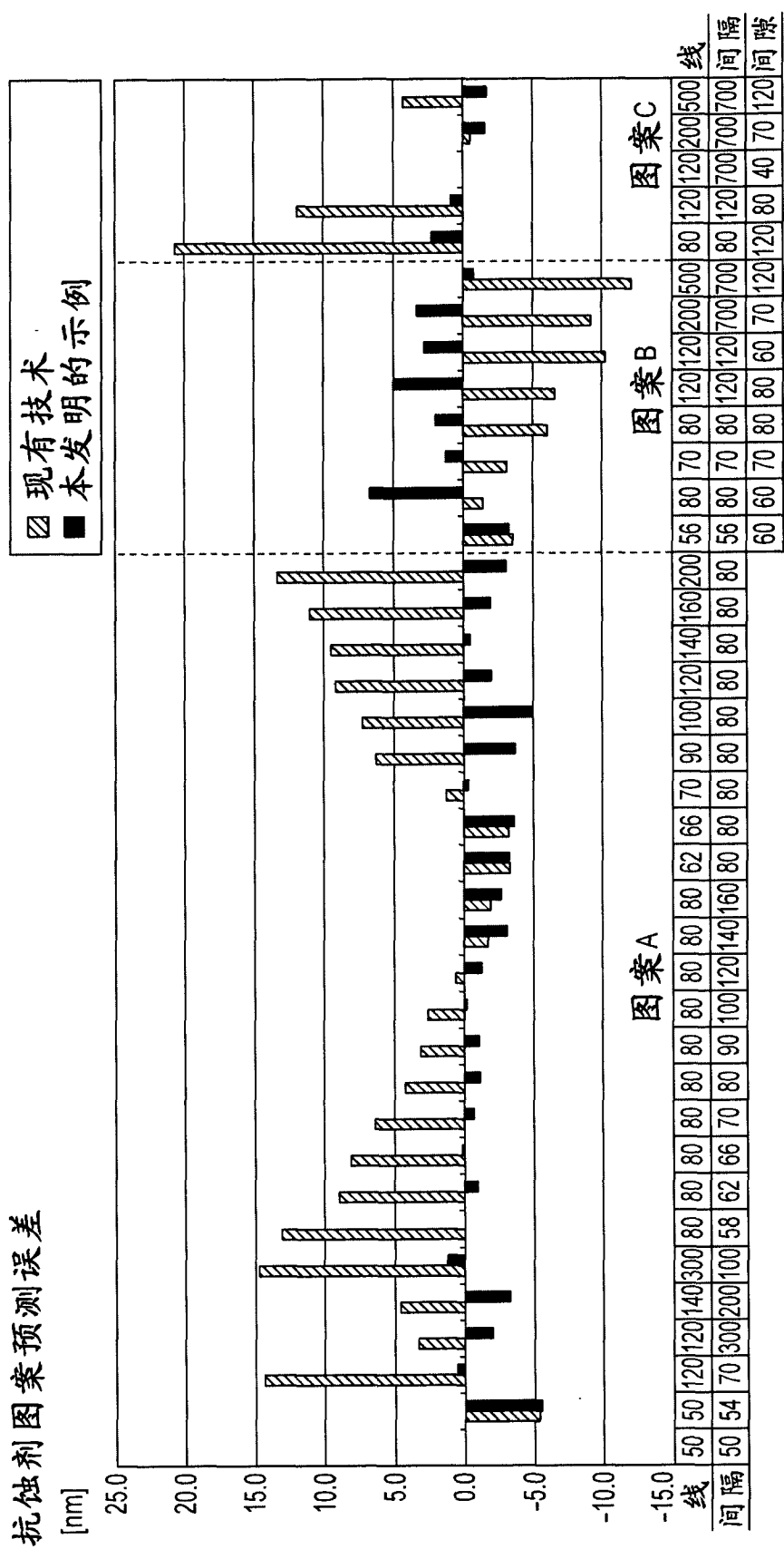


图 18