



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102113083 B

(45) 授权公告日 2016. 04. 06

(21) 申请号 200980130353. 0

(51) Int. Cl.

H01J 37/317(2006. 01)

(22) 申请日 2009. 06. 04

(56) 对比文件

(30) 优先权数据

EP 0508151 A1, 1992. 10. 14,

61/058, 596 2008. 06. 04 US

WO 98/38597 A2, 1998. 03. 09,

61/179, 761 2009. 05. 20 US

US 6133986 A, 2000. 10. 17,

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

US 7276714 B2, 2007. 10. 02,

2011. 01. 31

US 2003/0108806 A1, 2003. 06. 12,

(86) PCT国际申请的申请数据

US 6768125 B2, 2004. 07. 27,

PCT/EP2009/056863 2009. 06. 04

US 2005/0269528 A1, 2005. 12. 08,

(87) PCT国际申请的公布数据

审查员 王鹏

WO2009/147202 EN 2009. 12. 10

(73) 专利权人 迈普尔平版印刷 IP 有限公司

地址 荷兰代夫特

(72) 发明人 马科 . J-J. 威兰

(74) 专利代理机构 北京市柳沈律师事务所

11105

代理人 丁艺

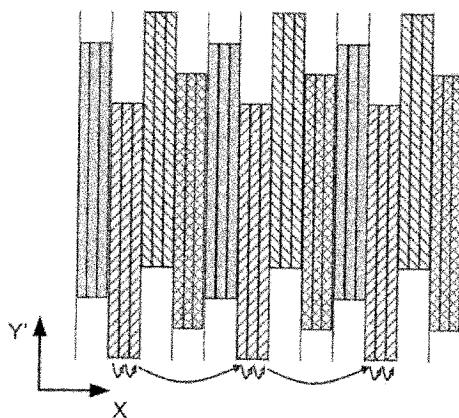
权利要求书4页 说明书22页 附图18页

(54) 发明名称

对目标进行曝光的方法和系统

(57) 摘要

本发明涉及一种通过多个子束对目标进行曝光的方法。首先，提供多个子束，这些子束被布置成阵列。此外，提供要被曝光的目标。然后，产生多个子束与目标之间在第一方向的相对移动。最后，在第二方向上移动多个子束，使得每个子束在目标上曝光多个扫描线。在第一方向上的相对移动和多个子束在第二方向上的移动使得通过多个子束曝光的相邻扫描线之间的距离小于阵列中多个子束的子束之间在第一方向上的投影节距 P_{proj} 。



1. 一种通过多个带电粒子子束对目标进行曝光的方法,该方法包括:

-提供多个子束,所述多个子束被布置成二维阵列;

-提供要被曝光的目标;

-产生所述多个子束与所述目标之间在第一方向上的相对移动;

-在所述第一方向上的相对移动的同时在第二方向上偏转所述多个子束,使得每个子束在所述目标上曝光多个平行的扫描线;

其中所述在第一方向上的相对移动和在所述多个子束在第二方向上的偏转,使得相邻平行扫描线通过不同的子束曝光,并且所述相邻平行扫描线之间的距离小于阵列中的多个子束的两个相邻的子束之间的节距 P_b ,并且小于或等于阵列中的多个子束的相邻子束之间在第一方向上的投影节距 $P_{proj,X}$ 。

2. 如权利要求1所述的方法,其中由所述多个子束曝光的相邻扫描线之间的距离等于在所述第一方向上的投影节距 $P_{proj,X}$ 除以K,其中K是大于1的正整数。

3. 如权利要求2所述的方法,其中K等于阵列中的子束数目减去1的系数。

4. 如权利要求1所述的方法,其中,在所述第一方向上的相对移动和在所述第二方向上多个子束的偏转进一步使得通过子束阵列内的相同子束曝光的连续的扫描线之间的距离小于阵列在第一方向上的投影尺寸。

5. 如权利要求4所述的方法,其中由子束阵列中的相同子束曝光的连续的扫描线之间的距离等于 $\frac{N}{F_{N-1}}P_{proj,X}$,其中 F_{N-1} 是(N-1)的系数且 F_{N-1} 不等于1,并且N是阵列中子束的数目。

6. 一种通过多个带电粒子子束对目标进行曝光的方法,该方法包括:

-提供多个子束,所述多个子束被布置成二维阵列;

-提供要被曝光的目标;

-产生所述多个子束与所述目标之间在第一方向上的相对移动;

-在所述第一方向上的相对移动的同时,以多次扫描的方式在第二方向上偏转所述多个子束,使得每个子束在所述目标上曝光多个平行的扫描线;

其中在第一方向上的相对移动和所述多个子束在第二方向上的偏转,使得通过子束阵列内的相同子束曝光的连续的扫描线之间的距离小于阵列在第一方向上的投影尺寸,使得由于第二次扫描的一个或多个子束产生的扫描线与由于第一次扫描的一个或多个子束产生的扫描线相交错。

7. 如权利要求6所述的方法,其中通过子束阵列内的相同子束曝光的连续的扫描线之间的距离等于 $\frac{N}{F_{N-1}}P_{proj,X}$,其中 $P_{proj,X}$ 是阵列的两个相邻的子束之间在第一方向上的投影节距,且 F_{N-1} 是(N-1)的系数且 F_{N-1} 不等于1,并且N是阵列中子束的数目。

8. 如权利要求1或6所述的方法,其中在第一方向上的相对移动具有恒定的速度。

9. 如权利要求1或6所述的方法,其中在第二方向上的偏转是具有恒定频率的往复偏转。

10. 如权利要求1或6所述的方法,其中该方法进一步包括在所述目标上定义虚拟网格,该网格提供通过各个子束曝光或不曝光所述目标的位置,曝光或不曝光取决于各单独子束

的消隐或不消隐。

11. 如权利要求10所述的方法,其中所述虚拟网格包括被定向成与第一移动方向一致的第一轴,以及被定向成横切于所述第一轴的第二轴。

12. 如权利要求10所述的方法,其中所述多个子束被划分成组,每组子束被布置成阵列,使得组中的子束不交迭,子束的阵列因此对应于网格中的位置的阵列。

13. 如权利要求1或6所述的方法,其中阵列的两个相邻的子束之间在第一方向上的投影节距 $P_{proj,X}$ 等于或小于投影在所述目标上的子束斑点尺寸。

14. 如权利要求1或6所述的方法,其中子束的阵列包括多个行和多个列,行和列中的至少一个被定位成相对于所述第一方向和所述第二方向成不等于90度的角。

15. 如权利要求1或6所述的方法,其中提供了多个子束阵列。

16. 如权利要求1或6所述的方法,其中所述第一方向基本上垂直于所述第二方向。

17. 如权利要求1或6所述的方法,其中子束的阵列形成单个图案化子束,该单个图案化子束是依照具有预订尺度的网格单元的光栅化的网格被图案化的。

18. 一种带电粒子多子束系统,用于使用多个子束对目标(11)进行曝光,该系统包括:

-子束图案产生器(1,4,5,6,8;1,4A,4B,5A,5B,6,8;1,4C,4D,5,6,8),用于提供由多个子束(22)形成的曝光图案,该多个子束(22)被布置成多个子束组(23)的形式;

-投影透镜系统阵列(10),用于将多个子束组(23)投影到所述目标(11)的表面上,每个投影透镜系统与一个子束组(23)相对应;

-偏转器阵列(9),用于在第二方向上偏转子束组(23),该偏转器阵列(9)包括多个偏转器,每个偏转器被布置成偏转一个相应的子束组(23);

-基板支撑件(16),用于支撑要被曝光的目标(11);

-控制单元(18),被布置成协调所述基板支撑件(16)与所述多个子束之间在第一方向上的相对移动和在所述第一方向上的相对移动的同时所述子束组(23)在第二方向上的偏转,使得相邻平行扫描线通过不同的子束曝光,并且通过多个子束曝光的相邻扫描线之间的距离小于阵列中多个子束的两个相邻的子束(22)之间的节距 P_b ,并且小于或等于阵列中的多个子束的相邻子束之间在第一方向上的投影节距 $P_{proj,X}$ 。

19. 如权利要求18所述的带电粒子多子束系统,其中通过多个子束曝光的相邻扫描线之间的距离等于在第一方向上的投影节距 $P_{proj,X}$ 除以K,其中K是大于1的正整数。

20. 如权利要求19所述的带电粒子多子束系统,其中K等于阵列中子束的数目减去1的系数。

21. 如权利要求18中所述的带电粒子多子束系统,其中通过多个子束中相同的子束曝光的连续的扫描线之间的距离小于在第一方向上阵列的投影尺寸。

22. 如权利要求21所述的带电粒子多子束系统,其中通过子束阵列中的相同子束曝光的连续的扫描线之间的距离等于 $\frac{N}{F_{N-1}}P_{proj,X}$,其中 F_{N-1} 是(N-1)的系数且 F_{N-1} 不等于1,并且N是阵列中子束的数目。

23. 一种带电粒子多子束系统,用于使用多个子束对目标(11)进行曝光,该系统包括:

-子束图案产生器(1,4,5,6,8;1,4A,4B,5A,5B,6,8;1,4C,4D,5,6,8),用于提供由多个子束(22)形成的曝光图案,所述多个子束(22)被布置成多个子束组(23)的形式;

-投影透镜系统阵列(10),用于将多个子束组(23)投影到所述目标(11)的表面上,每个投影透镜系统与一个子束组(23)相对应;

-偏转器阵列(9),用于在第二方向上偏转子束组(23),该偏转器阵列(9)包括多个偏转器,每个偏转器被布置成偏转相应的一个子束组(23);

-基板支撑件(16),用于支撑要曝光的目标(11);

-控制单元(18),被布置成协调所述基板支撑件(16)与所述多个子束之间在第一方向上的相对移动,以及在所述第一方向上的相对移动的同时子束组(23)在第二方向上的偏转,使得相邻平行扫描线通过不同的子束曝光,并且通过子束阵列内的相同子束曝光的连续的扫描线之间的距离小于在第一方向上阵列的投影尺寸。

24. 如权利要求23所述的带电粒子多波束系统,其中通过多个子束内的相同子束曝光的连续的扫描线之间的距离等于 $\frac{N}{F_{N-1}}P_{proj,X}$,其中 $P_{proj,X}$ 是阵列中多个子束的两个相邻的子束之间在第一方向上的投影节距,其中 F_{N-1} 是(N-1)的系数且 F_{N-1} 不等于1,并且N是阵列中子束的数目。

25. 如权利要求18或23所述的带电粒子多子束系统,其中所述控制单元(18)被进一步布置成控制在第一方向上的相对移动,使得该相对移动具有恒定的速度。

26. 如权利要求18或23所述的带电粒子多子束系统,其中在第二方向上的偏转为往复偏转,并且所述控制单元(18)被进一步布置成控制所述往复偏转,使得所述往复偏转具有恒定的频率。

27. 如权利要求18或23所述的带电粒子多子束系统,其中所述子束图案产生器(1,4,5,6,8;1,4A,4B,5A,5B,6,8;1,4C,4D,5,6,8)被布置成通过在所述目标上定义虚拟的网格来提供曝光图案,该网格提供通过各个子束曝光或不曝光目标的位置,曝光或不曝光取决于每个单独子束的消隐或不消隐。

28. 如权利要求27所述的带电粒子多子束系统,其中所述虚拟网格包括被定向成与第一移动方向一致的第一轴,和被定向成横切于所述第一轴的第二轴。

29. 如权利要求27所述的带电粒子多子束系统,其中每组中的子束不交迭,从而子束的阵列对应于在网格中位置的投影阵列。

30. 如权利要求18或24所述的带电粒子多子束系统,其中在所述第一方向上的投影节距 $P_{proj,X}$ 等于或小于投影在所述目标(11)上的子束斑点尺寸(30)。

31. 如权利要求18或23所述的带电粒子多子束系统,其中所述子束图案产生器包括:

-至少一个带电粒子源(1),用于生成带电粒子波束(20);

-孔径阵列(4;4A,4B;4C,4D),从所生成的波束(20)定义分离的子束(22,23)或分波束(25);

-子束操控器(5;5A,5B),用于将子束组(23)向各组(23)的公共会聚点会聚;以及

-子束消隐器(6,8),用于可控地消隐子束组(23)中的子束。

32. 如权利要求31所述的带电粒子多子束系统,其中各子束组(23)的公共会聚点是与投影透镜系统中的一个相对应的点。

33. 如权利要求18或23所述的带电粒子多子束系统,其中所述子束的阵列包括多个行和多个列,行和列的至少一个被定位成相对于所述第一方向和所述第二方向成不等于90度

的角。

34. 如权利要求18或23所述的带电粒子多子束系统,其中所述多个子束被布置成多个阵列。

35. 如权利要求18或23所述的带电粒子多子束系统,其中所述第一方向基本上垂直于所述第二方向。

36. 如权利要求18或23所述的带电粒子多子束系统,其中所述多个子束形成单个图案化子束,并且该单个图案化子束是依照具有预订尺度的网格单元(31;32)的光栅化的网格被图案化的。

对目标进行曝光的方法和系统

技术领域

[0001] 本发明涉及通过多个子束，尤其通过带电粒子多子束系统，对目标进行曝光的方法，并且涉及在通过处理器实行时用于执行该方法的计算机可读介质。

背景技术

[0002] 使用黑白写入策略，即“通”和“断”写入策略，的系统在本领域中广泛为人所知。它们可使用例如激光波束或带电粒子束，并可以以在无掩模系统中使用直接写入器件为特征。通过调整波束(或者调整多波束系统中的波束)，光栅化的虚拟网格中的各个网格单元可被曝光或不曝光，从而在目标上写入期望的图案。这样的波束的特征在于目标表面上的所谓波束效应，该波束效应经常通过点扩展函数(point spread function)来描述。该点扩展函数一般具有高斯分布(Gaussian distribution)。该波束尺寸通常被定义为50%的波束能量所在的分布范围的尺寸。

[0003] 从被转让给本发明的所有者的第6,897,458号美国专利中可得知一种基于特定类型的带电粒子波束的光刻系统(lithographic system)，该系统包括对目标进行曝光的带电粒子波束柱中生成的大量带电粒子子束。这些带电粒子子束在被调整的同时，在目标之上被扫描。此外，该目标能够相对于波束移动，例如在横切于波束的扫描方向的方向上移动。对子束的调整是在提供给光刻系统的图案数据基础上执行的。在所描述的特定系统中，通过消隐(blank)或阻挡子束执行调整，以有效地接通或切断子束。

[0004] 利用这种光刻系统(lithography system)对目标进行曝光是通过相对移动目标和通过消隐器(blanking)光学器件调整各带电粒子子束(例如定时的“接通”和“切断”或消隐)的组合来实现的。一种使用子束曝光基底的公知方法是光栅扫描法。为了用曝光图案对目标进行精确地曝光，图案数据被光栅化(rasterize)。目标被放置在电机驱动的载物台上，该载物台以持续的运动方式被移动。当载物台被移动时，以基本上垂直于载物台运动的方向扫描波束。通过将光栅化的图案数据提供给系统，被定时成使得与子束偏移和载物台的运动相同步地调整子束，图案数据表示的图案可作为曝光图案被转置到目标表面上。该光栅化图案数据与在目标表面上的虚拟光栅单元网格上的曝光图案相对应。

[0005] 现有的带电粒子波束技术适合于对图像进行相对粗糙的成形的光刻系统，例如实现90nm以及更高的临界尺度。然而，对性能的改善存在着日益增长的需求。期望实现例如22nm的相当小的临界尺度，同时保持足够的晶片生产能力，例如每小时生产10至60个晶片。

[0006] 为达到特定的生产能力(例如，在光刻系统中被定义为每小时曝光特定数量的晶片)所需的子束的总电流，取决于所需的剂量(dose)、晶片的面积和开销时间(例如，将新晶片移动到曝光位置的时间)。在这些散粒噪声(shot noise)受限系统中所需的剂量，除取决于其他因素外，还取决于所要求的特征尺寸和均匀性，以及波束能量。

[0007] 对于电子波束系统，最大单束电流由斑点尺寸决定。为获得良好的CD均匀性，所需要的斑点尺寸将把单束电流限制成比获得高生产能力需要的电流小得多。因此需要大量的子束(典型地对于每小时10晶片的生产能力需要多于10,000个子束)。由于通过一个透镜的

总电流被电子之间的库伦相互作用(Coulomb interaction)所限制,在高生产能力系统中透镜数目也需要是很大的。

[0008] 增加系统中的电流,导致目标上的总电流增加。但是同时,为了保持性能,撞击到每平方临界尺寸的目标表面上的电子的数目应该维持恒定。

[0009] 然而,将系统设计成产生具有较小斑点尺寸的子束,相当大地减少了可由每个子束施加到目标的带电粒子电流。与所使用的带电粒子源的亮度无关,在晶片生产能力相同的情况下,与临界尺寸的减小相比,前述要求使带电粒子多波束系统的子束数目增加得比线性增加时大许多。

[0010] 为了使用这样的多波束系统获得高生产能力,要求子束写入策略尽可能高效地曝光期望图案。相比于虚拟网格的期望尺寸,子束和聚焦子束的透镜的相对尺寸限制了子束可能的布置,使得子束被分开的距离充分地大于透镜直径。

[0011] 期望写入策略不需要过度复杂地移动子束和目标。出于这种考虑,对所有子束进行均匀偏转而非对各子束的偏转进行单独控制的系统是令人期望的,尤其是对于子束数目非常大的系统。结果,对作为一组的多个子束进行简单光栅扫描可能是不合要求的,因为对该组子束的每次扫描的结尾处的区域的曝光不完全。子束的数量越多,这些区域的不完全曝光对系统的有效利用的影响就越大。还期望该写入策略减小多子束系统中各子束之间的非故意变化的影响。

[0012] 因此期望使用一种方法,能通过多个子束对目标进行曝光,同时性能还能得到改善。

发明内容

[0013] 本发明的实施例涉及通过多个子束对目标进行曝光的方法。额外地,本发明的实施例还涉及用于使用多个子束对目标进行曝光的带电粒子多子束系统。

[0014] 在实施例中,本发明提供了通过多个子束对目标进行曝光的方法,该方法包括:

[0015] -提供多个子束,这些子束被布置成阵列;

[0016] -提供要被曝光的目标;

[0017] -在多个子束和目标之间产生在第一方向上的相对移动;

[0018] -在第二方向上移动多个子束,使得每个子束在目标上曝光多个平行的扫描线;

[0019] 其中在第一方向上的相对移动和多个子束在第二方向上的移动,使得被多个子束曝光的相邻平行扫描线之间的距离小于阵列中多个子束的子束之间在第一方向上的投影节距。

[0020] 在一个实施例中,本发明提供了用于使用多个子束对目标进行曝光的带电粒子多子束系统,该系统包括:

[0021] -子束图案产生器,用于提供由多个子束形成的曝光图案,该多个子束被布置成多个子束组的形式;

[0022] -投影透镜系统阵列,用于将子束组投影到目标的表面上,每个投影透镜系统与一个子束组相对应;

[0023] -偏转器阵列,用于在第二方向上偏转子束组,该偏转器阵列包括多个偏转器,每个偏转器被布置成偏转相应的一个子束组;

- [0024] -基板支撑件,用于支撑要被曝光的目标;
- [0025] -控制单元,其被布置成协调基板支撑件和多个子束之间在第一方向上的相对移动,以及子束组在第二方向上的移动,使得通过多个子束曝光的相邻扫描线之间的距离小于阵列中多个子束的子束之间在第一方向上的投影节距。
- [0026] 使用前述的方法或系统对目标进行曝光,使得将由多个子束曝光的区域能够被完全覆盖。额外地,经过系统的带电粒子的透射性(transmission)相对较高。
- [0027] 通过多个子束曝光的相邻扫描线之间的距离可等于投影节距除以大于1的正整数。该正整数可等于子束数目减去1的系数。在该实施例中,要被曝光的区域的完全覆盖以非常高效的方法获得。
- [0028] 在一个实施例中,本发明提供了通过多个子束对目标进行曝光的方法,该方法包括:
- [0029] -提供多个子束,这些子束被布置成阵列;
- [0030] -提供要被曝光的目标;
- [0031] -产生多个子束与目标之间在第一方向上的相对移动;
- [0032] -以多次扫描的方式在第二方向上移动多个子束,使得每个子束在目标上曝光多个平行的扫描线;
- [0033] 其中在第一方向上的相对移动和多个子束在第二方向上的移动,使得通过子束的阵列内的相同子束曝光的连续的扫描线之间的距离小于阵列在第一方向上的投影尺寸,使得由于第二次扫描的一个或多个子束产生的扫描线与由于第一次扫描的一个或多个子束产生的扫描线相交错。
- [0034] 在一个实施例中,本发明提供了用于使用多个子束对目标进行曝光的带电粒子多子束系统,该系统包括:
- [0035] -子束图案产生器,用于提供通过多个子束形成的曝光图案,该多个子束被布置成多个子束组的形式;
- [0036] -投影透镜系统阵列,用于将子束组投影到目标表面上,每个投影透镜系统与一个子束组相对应;
- [0037] -偏转器阵列,用于在第二方向上偏转子束组,该偏转器阵列包括多个偏转器,每个偏转器被布置成偏转相应的一个子束组;
- [0038] -基板支撑件,用于支撑要曝光的目标;
- [0039] -控制单元,其被布置成协调基板支撑件与多个子束之间在第一方向上的相对移动,以及子束组在第二方向上的移动,使得通过多个子束曝光的相邻扫描线之间的距离小于阵列中多个子束的子束之间在第一方向上的投影节距 $P_{proj,x}$ 。
- [0040] 通过使用前述方法或系统对在第一方向上的相对移动和在第二方向上的移动的协调,使得将被多个子束曝光的区域能够被完全覆盖。额外地,在第一方向上的步进式移动可被避免。
- [0041] 通过子束阵列内的相同子束曝光的连续扫描线之间的距离可等于 $\frac{N}{F_{N-1}} P_{proj,x}$, 其中
- [0042] $P_{proj,x}$ 是阵列的子束之间在第一方向上的投影节距,并且 F_{N-1} 是(N-1)不等于1的系

数,且N是阵列中子束的数目。获得前述的在连续扫描线之间的距离使得能够以非常有效的方法实现对区域的完全覆盖,而无需同时最小化在第一方向上的步进式移动。

[0043] 前述的在第一方向上的相对移动可具有恒定的速度。而且,在第二方向上的移动可以是往复的移动。该往复的移动可具有恒定的频率。

[0044] 在前述的依据本发明的实施例的方法中,该方法可还包括在目标上定义虚拟的网格,该网格提供通过各个子束对目标进行曝光或不曝光的位置,该曝光或不曝光取决于每个独立子束的消隐或未消隐。虚拟网格可包括,被定向成与第一移动方向一致的第一轴,和被定向成横切于第一轴的第二轴。在本发明的实施例中,多个子束被划分成组,每个子束组被布置成阵列,使得该组中的子束不交迭。结果,子束的阵列对应于网格中位置的阵列。

[0045] 在前述的方法和系统中,在第一方向上阵列的子束之间的投影节距可等于或小于投影在目标上的子束斑点尺寸。备选地,投影在目标上的子束斑点尺寸可大于通过子束阵列曝光的相邻扫描线之间的距离。相对于子束斑点尺寸在第一方向上的投影节距的小尺寸可增强对不同子束之间的差异的匀和。

[0046] 在前述的方法和系统的实施例中,子束的阵列可包括多个行和多个列,行和列中的至少一个被定位成相对于第一方向和第二方向成不等于90度的角。行数可等于列数。

[0047] 最后,在一个实施例中,本发明提供了一种计算机可读媒介,该计算机可读媒介用于在被处理器实行时执行通过带电粒子多子束系统中的多个子束对目标进行曝光的前述方法的实施例。

附图说明

- [0048] 将参考附图中所示的实施例进一步解释本发明的不同方面,其中:
- [0049] 图1是带电粒子多子束光刻系统的示例的简化示意图;
- [0050] 图2是图1的光刻系统的末端模块的侧视图的简化示意图;
- [0051] 图3A和3B是说明每投影透镜多子束的概念的图;
- [0052] 图4是包括被分组的子束的带电粒子多子束光刻系统的备选实施例的总体的简化示意图;
- [0053] 图5是包括从子波束形成的子束的带电粒子多子束光刻系统的实施例的总体的简化示意图;
- [0054] 图6是被划分成场的晶片示例的图解;
- [0055] 图7A和图7B是示出简化的子束消隐阵列的备选子束孔径布置的图解;
- [0056] 图8示意性地示出被投影到尺寸与典型宽度一致的平方光栅部分以内的目标表面上的波束斑点尺寸;
- [0057] 图9示意性地示出将一组子束投影到要被曝光的目标表面上的概念;
- [0058] 图10是示出子束扫描线的示意图;
- [0059] 图11是四种可能的写入策略的示意图;
- [0060] 图12A示意性地说明了通过多个子束对目标进行曝光的方法;
- [0061] 图12B示意性地说明了依据本发明的第一实施例通过多个子束对目标进行曝光的方法;
- [0062] 图13A至图13C示意性地说明了依据本发明的第二实施例通过多个子束对目标进

行曝光的方法；

[0063] 图14是示出以平行写入策略进行子束交错的图解；

[0064] 图15A至图15D是示出平行写入策略的各种子束交错方案的图解；

[0065] 图16是示出对于各种布置的像素尺寸和网格宽度的值的示例的表格；

[0066] 图17A至图17C示意性地说明依照本发明的第三实施例的通过多个子束对目标进行曝光的方法；

[0067] 图18示意性示出投影透镜阵列和子束阵列相对于彼此的特定定向的效应；

[0068] 图19示意性地说明使用依据本发明第四实施例利用多个子束对目标进行曝光的方法如何构造二维阵列的方案；

[0069] 图20A至图20D示意性地说明了依据本发明的第四实施例利用多个子束对目标进行曝光的方法。

具体实施方式

[0070] 以下是对本发明的各种实施例的描述，该描述是通过参考附图仅仅作为示例给出的。

[0071] 图1示出了带电粒子多子束光刻系统的实施例的简化示意图，该系统基于所有电子子束没有共同交叉点的电子波束光学系统。这样的光刻系统例如在第6,897,458号、第6,958,804号、第7,019,908号、第7,084,414号和第7,129,502号美国专利，第2007/0064213号和第2008/073588号的美国专利申请公开，以及序列号为第61/031,573号、第61/045,243号和第61/055,839号共同未决的美国专利申请中被描述，这些专利申请都属于本发明的所有者，并且它们的全文被结合在本文中作为参考。在图1示出的实施例中，光刻系统包括电子源1，用于产生均匀的(homogeneous)、扩展的电子波束20。波束能量被优选地保持在约1至10keV的相对较低的范围内。

[0072] 来自电子源1的电子波束20经过准直透镜3，以产生准直的电子波束21，电子波束21撞击到孔径阵列4，该孔径阵列4阻挡部分波束，并允许多个子束22穿过孔径阵列4。系统产生大量的子束22，例如约10,000至1,000,000个子束。

[0073] 多个电子子束22经过聚光透镜阵列5，该聚光透镜阵列5将每个电子子束22聚焦到子束消隐器阵列6的平面内。该子束消隐器阵列6包含多个消隐器，每个消隐器能够偏转电子子束21其中的一个或更多个。

[0074] 随后，电子子束22进入末端模块7。末端模块7优选地构造成包括不同组件的可插入、可替换的单元。在此实施例中，末端模块包括波束停止阵列(beam stop array)8、波束偏转器阵列9和投影透镜装置10。除了其他功能，末端模块7还将提供约25至500倍的缩小。此外，该末端模块可被布置成对子束22进行偏转。在离开末端模块7后，子束22撞击到被放置在目标平面处的目标11的表面。对于光刻应用，目标通常包括配备有带电粒子敏感层或光刻胶层(resist layer)的晶片。

[0075] 在末端模块7中，电子子束22首先经过波束停止阵列8。此波束停止阵列8很大程度上决定了子束的开度角(opening angle)。在实施例中，波束停止阵列8中的孔径为圆形，导致各子束具有大体上均匀的开度角。

[0076] 波束停止阵列8的通道可与子束消隐阵列6的元件对准。于是子束消隐阵列6和波

束停止阵列8一起工作,以通过以下方式阻挡子束22或让子束22通过。如果子束消隐阵列6偏转子束,则子束不通过波束停止阵列8中的相应孔径,而是被波束停止阵列8的基板阻挡。但是如果子束消隐阵列6不偏转子束,则子束将通过波束停止阵列8中的相应孔径,且然后被投影成目标11表面上的一个斑点。以这种方式,各个子束可以有效地接通或关断。

[0077] 接下来,子束22经过波束偏转阵列9,其为每个子束22提供在基本上垂直于未经偏转的子束22的方向上的偏转。接下来,子束22经过投影透镜装置10,被投影到位于目标平面上待曝光的目标11上,目标11通常为晶片。

[0078] 图2更详细地示出了末端模块7的实施例,示出了波束停止阵列8、偏转阵列9和投影透镜装置10,将电子子束投影到目标11上。子束22被投影到目标11上,优选地导致直径约为10纳米至30纳米的斑点几何尺寸。这种设计的投影透镜装置10可提供约100至500倍的缩小。在图2的实施例中,子束22的中心部分首先通过波束停止阵列8(假设子束没有被子束消隐阵列6偏转过)。然后,子束经过波束偏转阵列9的偏转器或者按顺序布置从而形成偏转系统的偏转器组。子束22随后通过投影透镜装置10的电光系统,最终撞击到目标平面上的目标11。

[0079] 在图2中示出的末端模块的实施例中,投影透镜装置10具有按顺序布置、用于形成静电透镜阵列的三个板12、13和14。板12、13和14优选地包括其中形成有孔径的板或基板。孔径优选地形成为穿过板的圆孔,但其他形状也可被采用。在一个实施例中,板由采用半导体芯片工业中熟知的处理步骤处理的硅或其他半导体形成。可利用本领域中已知的光刻和蚀刻技术方便地在板中形成孔径。这些孔径可使用本领域公知的光刻和蚀刻技术在板上方便地形成。

[0080] 板可被涂以导电涂层,以形成电极。例如钼(molybdenum)的具有导电自然氧化物的金属可被用于电极,采用本领域中熟知的技术将该金属沉积在板上。将电压施加到各电极,以控制在各个孔径位置处形成的静电透镜的形状。对于整个阵列,每个电极被单个控制电压控制。因而,在图2中所示的具有三个电极的实施例中,对于所有透镜仅存在三个电压。

[0081] 三个控制电压V1、V2和V3生成了聚焦且缩小大量电子子束22的均匀静电透镜阵列。静电透镜的特性由三个控制电压控制,使得所有子束的聚焦 和缩小的量可通过控制这三个电压控制。以这种方式,单个公共控制信号可用于控制用于缩小和聚焦极大量电子子束的整个静电透镜阵列。公共控制信号可以针对每个板提供或者作为两个或更多板之间的电压差提供。在不同投影透镜装置中使用的板的数目可以变化,且公共控制信号的数目也可以变化。

[0082] 电压V1、V2和V3可设置为使得第二和第三板(13和14)之间的电压差大于第一和第二板(12和13)之间的电压差。这导致在板13和14之间形成更强的透镜,使得每个投影透镜系统的有效透镜平面位于板13和14之间,如图2中在透镜开孔中板13和14之间用弯曲的虚线示出的那样。这使得有效透镜平面更靠近目标,且使得投影透镜系统具有较短的焦距。还应当注意,尽管为简单起见,图2中的子束示为从偏转器聚焦,如追踪射线所示,子束21的聚焦的更精确表达将指示透镜系统10的实际透镜平面位于板13和14之间。

[0083] 图2还示出偏转阵列9对子束21在Y方向上的偏转,该偏转在图2中被示为从左到右的偏转。在图2的实施例中,偏转阵列9中的孔径被示为用于使一个或多个子束通过,在孔径的相对两侧提供电极,电极配备电压+V和-V。在电极上提供电势差引起子束的偏转,或经过

孔径的子束的偏转。对电压(或电压正负号)的动态改变将使子束能以扫描方式摆动。类似地,还可能在垂直于子束的传播方向的不同方向上,例如在进纸或出纸的方向上执行偏转。

[0084] 在光刻系统中为达到特定的生产能力(即每小时曝光特定数量的晶片)所需的子束的总电流,取决于所需的剂量(dose)、晶片的面积和开销时间(即,将新晶片移动到曝光位置的时间)。在这些散粒噪声(shot noise)受限系统中所需的剂量,除取决于其他因素外,还取决于所要求的特征尺寸和均匀性,以及波束能量。

[0085] 为了使用电子波束光刻在光刻胶中获得某一特征尺寸,即,临界尺度(CD),需要一定的分辨率。该分辨率由三个因素决定:波束尺寸、光刻胶中电子的散射以及与酸扩散相结合的辅助电子平均自由径。这三个因素以二次方关系叠加起来,决定总的斑点尺寸,即投影到待曝光的目标上的波束尺寸。在这三个因素中,波束尺寸和散射取决于加速电压。为解决光刻胶中的特征,总斑点尺寸应该与CD具有相同的量级。不仅CD而且CD均匀性对于实际应用都很重要。

[0086] 对于电子波束系统,最大单束电流由斑点尺寸决定。为获得良好的CD均匀性,所需要的斑点尺寸将把单束电流限制成比获得高生产能力需要的电流小得多。因此需要大量的子束(典型地对于每小时10晶片的生产能力需要多于10,000个子束)。对于电子波束系统,通过一个透镜的总电流被电子之间的库伦相互作用(Coulomb interaction)所限制,使得有限数目的子束可被发送通过一个透镜和/或一个交叉点。这因此意味着在高生产能力系统中透镜数目也需要是很大的。

[0087] 因此优选地,实现了大量低能子束的极密集布置,使得多个子束可以汇聚到尺寸与典型晶片的曝光场的尺寸可比的空间范围中。

[0088] 因此,投影透镜的板12、13和14中的孔径的节距尽可能地小,以尽可能地在小的空间范围中生成更多的静电透镜。然而,对于给定的孔径钻孔尺寸,节距的减小受限于由于孔径间的小距离使板变得太脆弱而引起的制造和结构问题,还可能受限于由相邻透镜的边缘场引起的透镜中的像差。

[0089] 通过增加系统中的电流,目标上的总电流也增加以限制散粒噪声的发展。然而,同时,为了维持性能,撞击到每平方临界尺寸(每单位面积的CD平方)的目标表面上的电子的数目应该维持恒定。此时注意,实际上,斑点尺寸对应于“点扩展函数”,作为较容易理解的术语,在本文的剩余部分中使用斑点尺寸来代替“点扩展函数”。

[0090] 为了在增大的电流下维持足够的曝光宽容度,不仅需要减小斑点尺寸,还需要减小子束的点扩展函数。足够的曝光宽容度要求由子束为目标带来的峰值曝光水平与通常由相邻子束的外围高斯部分导致的曝光的基本或背景水平之间的比率较高。然而,设计系统以产生具有较小点扩展函数的子束显著减小了可由每个子束应用于目标的带电粒子电流。不管所用的带电粒子源的亮度如何,减小的斑点尺寸、增加的电流以及减小的点扩展函数的前述要求暗示着:与相同晶片生产能力的临界尺度的减小相比,系统中子束数目远非线性地增加。

[0091] 如前文提及的,在实际设计中,对于在投影光学装置(即图1中的末端透镜模块7)可以占用的相对较小空间范围中可以物理实现的透镜数目存在限制。在需要实现减小的CD时,可以使用已知技术在这些尺寸内构建的透镜的数目比实现所需晶片生产能力需要的子束的数目要小很多。

[0092] 在第61/045,243号美国专利申请中讨论了对前述问题提供解决方案以在CD减少的情况下实现合理生产能力的光刻系统。图4中示意性地示出了此申请中提到的光刻系统的实施例。前述申请中提到的光刻系统的实施例在允许系统中子束数目不成比例地增加的同时,最小化系统中的像差。在认识到以下事实之后找到在每个投影透镜使用多个子束的该原理性解决方法:利用末端模块7中的偏转器阵列9的偏转行为,会产生被偏转的子束的原点的虚拟点,使得会猜想到有一个虚拟子束。

[0093] 图3A和图3B是末端模块7中子束路径的示意图,说明每投影透镜使用多子束所隐含的前述观点。

[0094] 图3A示出每个投影透镜系统具有单个子束的系统。单个子束22穿过波束停止阵列8中的孔径,被偏转器阵列9偏转,且被投影透镜装置10聚焦。被偏转的子束可能被认为是从与实际子束22不同的原点以倾斜角到达的单独的“虚拟”子束。例如,当子束21被向左偏转时,它可以被认为是来自子束22的实际原点的右边的位置的虚拟子束22V,并且类似地当子束22被向右偏转时,它可以被认为是来自子束22的实际原点的左边的位置的虚拟子束22V。

[0095] 图3B示出每个投影透镜系统具有三个子束的系统,每个子束源于分离的点且以不同角度穿过投影透镜系统。因此,根据本发明的见解,图3A中的虚拟子束22V已经被真实子束23替代。通过单个投影透镜系统的多个真实子束的应用看上去是可能的,而无需干扰像差量,在系统的全部子束分布在多个投影透镜系统的情况中尤其是这样。

[0096] 与利用单个偏转子束的图3A相比,除经过投影透镜的电流比图3B中的系统大三倍以外,实际结果相同。偏转器阵列9上方的孔径板8可以包含多个如图所示的孔径23,即可具有图案化开孔,以适应与波束停止阵列8中的开口关联的单个透镜系统对应的多个子束22。注意,在真实设计中,波束角比图3A和图3B中示出的小得多。在图3A和图3B中示出的相对大的波束角仅仅是为了清楚地说明本发明而呈现的。

[0097] 因为被指引通过每个投影透镜系统的部分或者全部的子束在操作中可在任意点被及时消隐,符合前述原理的系统可在本说明书中被称为图案化子束系统。该图案化子束系统还可被认为是并排布置的多个微型化成像系统。

[0098] 图4说明了包括分组子束的带电粒子多子束光刻系统的实施例。该实施例能够适应系统中子束数量增长,使晶片的电流增加或使斑点尺寸减小或者使这两者均发生。

[0099] 图4所示的实施例大体上被构造成与图1所描述的系统一样,除了子束被分组排列,使得多个子束可通过单个投影透镜系统聚焦。在此实施例中,孔径阵列4A从被准直的波束21产生子束22。该子束22被聚光透镜阵列5A聚焦在第二孔径阵列4B的平面上。该第二孔径阵列4B可与子束消隐阵列6分开或相结合。

[0100] 子束22被分组排列,并且第二聚光透镜阵列5B将每个子束组聚焦向波束停止阵列8中的相应孔径。可与第二孔径阵列4B集成或与其分开构造的子束消隐阵列6包括消隐元件的阵列,消隐元件具有在子束消隐阵列6的每个孔径位置处形成的电极。各消隐元件工作以偏转子束组中的子束22。

[0101] 尽管图4中示出每个投影透镜系统三个子束,但也可以采用每个投影透镜系统其他数目的子束的情形,且每组有高达100个或更多个子束的多组子束可以被指引通过每个投影透镜系统。在优选实施例中,7×7阵列形式的49个子束的多组子束可以被偏转通过每个投影透镜系统。

[0102] 定义波束开度角的波束停止阵列8孔径在如果仅限制单个子束的情况下较小。较大的孔径将要求较大的偏转路径,对于由仅对经消隐的子束进行部分消隐导致的“拖尾(tail)”效应更加敏感,且将进一步减小波束停止阵列8上可用于消隐子束的有限空间。

[0103] 原则上,每组子束可以在波束停止阵列8的相关孔径处或者在相关投影透镜系统的有效透镜平面处被汇聚(即,被引导到它们相交或交叉的单个点,即斑点)。实际上,汇聚将位于这两点(尽管在图中没有进一步示出)之间的某一位置,因为将子束汇聚在波束停止阵列处将产生透镜误差,而将子束集中在投影透镜的有效透镜平面处将导致剂量误差。

[0104] 在带电粒子多子束光刻系统的本实施例中,每个投影透镜系统有多个子束经过。带电粒子光学狭缝不是由子束的规则阵列组成,而是由子束组的规则阵列组成。如在第61/045,243号美国专利申请中所讨论的,在任意时刻,在任意时刻,组中的一些波束可以被引导通过波束停止阵列8的相应开孔且投射到目标上,而其他子束被偏转一个附加量。这种附加偏转导致这些子束错过波束停止阵列8中的开孔,使得它们被阻挡得不能达到目标,且由此如前所述被消隐或“关断”。因而,每组子束曝光由波束消隐阵列6决定的图案,每一组可以被认为是单个图案化的(patterned)子束。

[0105] 图5说明了包括从分波束形成的子束的带电粒子多子束光刻系统的实施例的简化示意性视图。在图4的系统保证了每个投影透镜系统多个子束的同时,其也导致需要两套聚光透镜阵列5A和5B的复杂系统。而且,制造聚光透镜阵列5A很困难,因为它包括间距相当小的相对小开口。图5的光刻系统较不复杂,并且由于组件的数量减少,具有的柱体长度比图4中说明的光刻系统减小。由于柱体长度减小,可使用较小的真空室。这样的真空室不仅不太昂贵,而且还能够在较短的时间段内被泵出,即,它的泵送时间有限。而且,子束的路径长度被减小,导致由子束偏移造成的未对准减小。

[0106] 图5的系统包括用于产生较大的分波束25的孔径阵列4C。分波束经过聚光透镜阵列5,该聚光透镜阵列5将分波束大致地聚焦在波束停止阵列8的平面上并向波束停止阵列8的相应开口聚焦。原则上每个分波束可被聚焦在波束停止阵列8的相应开口处,或相应的投影透镜系统的有效透镜平面处。实际上最好将分波束聚焦在这两个点之间的某处。这导致孔径阵列4C被成像到目标11上。应当注意,如电子光学装置领域的技术人员所知晓,聚光透镜阵列(任意一个实施例)可以包含单个聚光透镜阵列或者一套聚光透镜阵列。

[0107] 分波束25被孔径阵列4D拦截,孔径阵列4D包括在每个分波束路径上的多个孔径,从每个分波束25产生一组子束23。从分波束形成的各组子束也被大致聚焦在波束停止阵列8的平面上,并且每组子束被指引向波束停止阵列8的对应开口。

[0108] 这些子束23然后经过子束消隐阵列6。被消隐的子束被波束停止阵列8阻挡,同时每组中未被消隐的子束通过波束停止阵列8中的相应开口,并随后被投影透镜装置10投影到目标上。在图5中所示的示例中,孔径阵列4D从每个分波束25产生一组三个子束23。这组子束,如果未被波束消隐阵列6偏转,则在相应开口处到达波束停止阵列8,使得三个子束被投影透镜系统10投影到目标上。实际上,对于每个投影透镜系统10,产生的子束的数量可以大很多。在实际的实施例中,50个子束可被指引穿过单个投影透镜系统,并且子束可增加到200个或更多个。

[0109] 如图5中所示,子束消隐阵列6可将一组子束中的各个子束23偏转一定倍数,以便消隐它们。这在图5中通过左侧的分波束25说明,其中中间的子束23已经被偏转到波束停

止阵列8上靠近开口但不在开口处的位置,使得该子束被消隐。在中间的分波束25中,右侧的子束23被偏转并被消隐,而在右侧的分波束25中,没有子束被偏转并被消隐。

[0110] 如图4和图5示意性地示出,控制设备18被布置成操纵用于支撑待曝光的目标11(例如,晶片)的基板支撑件或载物台16的移动。这种移动在本说明书中分别被称作第一方向或X方向上的移动,或机械扫描方向上的移动。X方向上的移动可通过不同方式实现:通过基板支撑件的机械移动来移动目标、系统的剩余部分移动、子束被偏转,或以上技术的任意组合。

[0111] 如参考图1所提到的那样,图4和图5中所示的带电粒子多子束光刻系统中形成的图案化子束被偏转器阵列9移动。这种子束的移动,在这种情况下是静电偏转阵列9对带电粒子子束的偏转,是在第二方向上执行的,该第二方向与第一方向不同。这种第二方向在本说明书中分别被称为Y方向或偏转扫描方向。在本发明的一个实施例中,第一方向基本上垂直于第二方向。请注意,子束在第二方向上的移动一般是往复的移动,即子束从起始位置被扫描一定的距离直到末尾位置,然后被移动回到起始位置。因此,子束在第二方向上的移动可以以一定的频率来执行。

[0112] 如前所述,对于光刻应用情况,目标通常包括配备了带电粒子敏感层或光刻胶层的晶片。当前的工业标准为300mm晶片。晶片典型地被划分成最大尺度为 $26\text{mm} \times 33\text{mm}$ 的固定尺寸场。每个场可被处理成产生多个集成电路(即,多个芯片的布局可被写入单个场中),但这些集成电路不越过场边界。在最大尺寸为 $26\text{mm} \times 33\text{mm}$ 的情况下,在单个标准晶片上可以有63个场。也可能有更小的场,这将导致每个晶片的场数目更多。图6示出被划分成场27的晶片26,和写入场的方向28。写入部分(非全部)的场是可能的,例如通过将整个场写入到部分的场中并且越过晶片边缘。

[0113] 在光刻机的优选实施例中,该光刻机生成13,000个分波束,并且每个分波束被分裂成布置成 7×7 阵列的形式的49个子束,导致产生637,000个子束(即 $13,000 \times 49$ 个)。当这种布置被用于图5的机器中时,孔径阵列4C包括13,000个孔,并且孔径阵列4D和子束消隐阵列6包括637,000个孔,这些孔在 $26\text{mm} \times 26\text{mm}$ 的面积上(即被投影到晶片上的完整的子束阵列的尺寸)形成电子光学(EO)狭缝。每个包括49个子束的分波束将单个条纹(stripe)以X方向写入每个场。布置在 26mm 的距离(即EO狭缝的宽度)中的13,000个分波束产生了在Y方向上(基本垂直于机械扫描)宽度为 $2\mu\text{m}$ 的条纹,并且条纹长度与场在X方向上场长度一样长(例如,在图6的示例中为33mm)。

[0114] 优选地,光刻机在向前和向后的两个X方向上向晶片写入(曝光),例如如图6中所示。在Y方向上(通过偏转器阵列)的写入方向通常是在一个方向上。

[0115] 当场的尺寸(高度)被选择为小于电子光学(EO)狭缝的尺寸(即投影到晶片上的整个子束阵列的尺寸)时(例如小于 26mm 的最大尺寸时),那么可将更多的场放置到晶片上,但并非所有的电子子束都将被用于在该晶片上进行写入。EO狭缝将需要更频繁地越过晶片以写入所有的场,并且总的生产能力将减少。因此,EO狭缝优选地具有与场的尺寸一致的尺寸。

[0116] 当光刻机将图案写入场时,在某些时刻子束消隐阵列进入下一个场并开始将图案写入该场,因此该机器应能够同时在两个场中写入。如果场足够小,该机器将能够同时写入3个场。

[0117] 图7A和图7B中示出了子束消隐阵列35的简化版本,用于具有被布置成 4×4 阵列形式的16个分波束,并且每个分波束具有被布置成 3×3 阵列形式的9个子束的机器。对于每个分波束,存在一组孔径36,带有用于每个子束孔径的相关联的消隐电极。在图的右侧示出一组孔径37的放大视图。

[0118] 图7A中示出的消隐器孔径的装置适宜平行投影写入策略,而图7B中示出的装置适宜垂直写入策略。在图7A中用于每个分波束的子束的消隐器孔径被编组成紧靠在一起。在图7B中用于子束的消隐器孔径均匀地分布在整个条纹宽度39上,即,在基本垂直于机械扫描方向的Y方向上,每个子束被定位成与相邻子束(无论来自相同的分波束还是来自不同的分波束)相隔的距离相等。这是可能的,但对于低数量的孔径,这种布置的效率在波束与子束电流之间的比率方面将极低。效率的量度是填充系数(fill factor),填充系数是消隐器孔径的总面积与一个分波束的孔径被分组的面积之间的比值。对于评定在进电流(波束电流)和出电流(子束电流的和)方面的特定网格几何的效率,填充系数是有用的。当子束孔径组的面积较小时,填充系数将增大到更优选的值。

[0119] 适宜孔径数目较少的情况的写入策略是“平行投影”写入策略,其中(在其最简单的形式中)各子束被交错并写入整个条纹宽度。例如,在上面讨论的光刻机中,平行写入策略适宜的孔径数量约为750,000或更少。如稍后将进一步详细解释,平行写入策略指的是投影子束序列的方向平行于晶片载物台的(机械)扫描方向的写入策略。

[0120] 假设在晶片上存在理想的网格,并且电子子束可基本上定位在网格坐标上。假设当电子子束可被定位在最小特征尺寸(CD)的1/20以内时,能在目标上产生可接受的曝光图案,于是为写入边长等于CD的正方形,需要20条扫描线,并因此需要 $20 \times 20 = 400$ 个网格点。因此,如果CD等于45nm,在本实施例中,在2.25nm的范围内定位是可控制的。关于通过灰色写入(graywriting)定位特征的细节,以及关于通过定时对定位误差进行纠正的细节可在第6,897,458号美国专利中找到。

[0121] 图8示出了被投影到目标表面上的带电粒子子束的子束尺寸30,该目标表面在覆盖了典型期望临界尺度(CD)的面积的虚拟网格的一部分以内。

[0122] 为了用曝光图案对目标进行曝光,可对应于目标表面上的虚拟网格来光栅化图案数据。在典型的布置中,目标被移动,同时以基本垂直于载物台运动的方向扫描子束。光栅化图案数据被定时提供给多子束系统,使得与子束偏转和目标运动同步地调整这些子束,使得图案数据表示的图案被作为曝光图案转置到目标表面上。尽管虚拟网格典型地是笛卡尔网格(Cartesian grid),但是也可以采用其它类型的网格。

[0123] 所使用的网格的尺寸可通过考虑单个带电粒子子束的非故意调整或未对准是否会对目标上要被曝光的图案造成干扰来确定。由于期望在设计线或对象宽度方面或在确定目标上要形成的特征的定位方面具有几乎无限制的选择,所以存在选择尽可能小的网格的趋势。依据本发明的见解,后一方面意味着对于纠正写入处的近场效应(proximity effect)的附加可能性。另一方面,尤其是在具有大量子束的多波束系统中,期望具有尽可能大的网格,以便限制要被处理并被传送给系统的数据的量。

[0124] 作为上述条件之间的平衡,并且作为现代技术状况的反映,多子束系统的一个实施例区别(discriminate)所谓的临界尺度单元,典型地例如为45nm。这些单元可通过波束尺寸为例如30nm的相应数量级的带电粒子子束被曝光。单元可被划分成多个的网格单元,

例如 20×20 个网格单元,因此具有相对于波束尺寸较小的尺度,例如 2.25nm 。在这样的布置中,单个网格单元的意外消隐或未消隐将仅具有可忽略不计的影响。多个网格单元形成了虚拟 网格。在图8中虚拟网格上的投影子束尺寸30的定位对应于网格单元31。

[0125] 由于图6中子束的被投影子束尺寸30比单个网格单元32的尺寸(也称为像素尺寸),例如 2.25nm ,大得多,在形成曝光图案后,边缘形状在很大程度上是不可见的。而且,光栅化的图案中带阴影线的边缘,即参差不齐的(ragged)边缘,实际上可偏移最终特征边缘的位置,正如在公开号为2008/073588的美国专利申请中更详细地解释的那样。使用参差不齐的边缘的前述技术时放置的可能精确度取决于与波束尺寸30相比参差不齐的边缘像素长度的尺寸。最优化可导致小于像素尺寸的 $1/10$ 的精确度。

[0126] 图9示意性地示出了将子束组40A、40B、40C、40D投影到X方向或Y方向上的平面上的概念。当被投影到待曝光的目标表面上时,该子束组被布置成阵列。这种概念被用在本发明的实施例中。在图9中,子束组40A至40D由2行2列的阵列组成。子束之间的距离,也称为节距,等于 P_b 。子束可在例如机械扫描方向的X方向上,以及例如偏转扫描方向的Y方向上被移动。在本发明的实施例中可使用在这些方向上的移动的组合。

[0127] 行和列中的至少一个被定位成相对于第一方向和第二方向所成的角度不等于 90° 。在图9所示的示例中,由子束40A、40B和40C、40D形成的列被定位成相对于Y方向成 α 角。

[0128] 可以Y方向将子束40A-40D投影到平行于X方向的平面上,产生在平行于X方向的方向上排成直线的子束投影的序列41A-41D(由带阴影的圆示出)。该投影的节距(即在被投影到平行于X方向的平面上时子束之间的距离)由 $P_{proj,x}$ 表示,并且此后将其称为在X方向上的投影节距。节距 $P_{proj,x}$ 可通过等式 $P_{proj,x} = P_b \cdot \sin(\alpha)$ 来计算。还示出了子束组的网格宽度 $W_{proj,x}$ 。

[0129] 类似地,可将子束40A-40D以X方向投影到平行于Y'方向的平面上,产生在平行于Y'方向的方向上排成直线的子束投影的序列42A-42D(由带阴影的圆示出)。该投影的节距用 $P_{proj,y}$ 表示,并且此后将其称为在Y'方向上的投影节距。

[0130] 在本说明书中,将公开用多个子束对目标进行曝光的方法的若干实施例。该方法可分成两类。在第一类中,考虑了投影节距 $P_{proj,x}$,称为平行类型的写入策略。这里“平行”这种表达方式指的是投影子束序列的方向相对于X方向(例如机械扫描方向)。在第二类中,考虑了投影节距 $P_{proj,y}$,称为垂直类型的写入策略。

[0131] 如前文提及的,通过相对于目标以第一方向(例如机械扫描方向)和第二方向(例如多个子束在第二偏转扫描方向上的偏转)同时移动多个子束,来用多个子束以期望的图案曝光目标。这两个方向不相同。为了方便起见,在附图中示出的这两个方向为垂直的。然而,在优选的实施例中,这两个方向基本上(但不严格地)垂直。这在附图中通过Y'方向来表示。该Y'方向相对于Y方向稍微地倾斜,使得子束在Y'方向上的移动与子束和目标在X方向上的同步相对移动相互配合,导致子束扫描线结尾在X方向上所处的位置大致与该子束的下一个扫描线的起点的位置相同。倾斜的量取决于单个扫描线在X方向上的曝光过程中Y方向上移动的量。

[0132] 对本发明的实施例的讨论将针对每投影透镜系统(即每个分波束) 2×2 的子束阵列来说明。尽管所示出的是每投影透镜系统四个子束,但也可能使用每投影透镜系统其它数量的子束,多至100个或更多个子束的组可被引导通过每个投影透镜系统。而且,尽管所

示的阵列为行的数量与列的数量相等的阵列,但是其它阵列的配置也可在本发明的实施例中使用。因此,阵列可包括n行×k列,n和k为不相等的整数。而且,尽管所示的为正方形阵列,但是也可使用其它布置,例如三角形、六边形或其它类型的阵列。

[0133] 在优选实施例中,子束为带电粒子子束,优选地为电子子束,但是也可使用适于曝光目标的其它类型的子束。

[0134] 最后,注意附图并未精确表示X方向和Y'方向的尺度之间的比例。尤其是,Y'方向上的扫描线已经被缩短,以使特别是关于在扫描线末端发生的效应方面的说明更清楚。

[0135] 图10示出了子束扫描线的示意图。波束偏转器阵列生成用于所有平行子束的三角形偏转信号。该偏转信号包括扫描阶段(phase)(从A到B)和回扫(fly-back)阶段(从B到C),如图10中的示意图所示。在扫描阶段期间,偏转信号在Y'方向上缓慢地移动子束(当被接通时),并且子束消隐阵列将依据子束控制信号使子束接通或切断。在扫描阶段之后,回扫阶段开始。在回扫阶段期间,子束被切断,并且偏转信号将子束快速移动到下次扫描阶段将开始的位置。

[0136] 扫描线是在扫描阶段期间子束在晶片表面上的路径。正如前文提及的,在某些实施例中,没有特殊的测量,扫描线将不会严格地沿着Y方向在晶片上写入,而是会因为X方向上的持续的载物台移动,而稍微歪斜成带有很小的X方向分量。这种误差可通过向偏转场添加很小的X方向分量以匹配载物台移动来纠正。这种X方向的分量典型地很小,因为载物台的移动与Y方向偏转扫描速度相比是很慢的(典型的x:y相对速度比可为1:1000)。然而,这种X方向分量的效应在具有图案化波束(例如对于各分波束的多个子束)的系统中大大增加了。首先,偏转速度可与每图案化波束(分波束)的子束数量成比例地被减少。其次,由于子束阵列的倾斜(例如如图7A和图7B中所示),在晶片上的扫描线的歪斜将导致不同子束形成的扫描线之间的距离的改变。足够大的歪斜可导致扫描线相对于彼此的位置重叠或改变。

[0137] 扫描线(见图10右侧处)被划分成三部分:起始过扫(overscan)部分、图案部分和末尾过扫部分。将子束沿着Y'方向偏转过条纹宽度。子束被偏转的距离典型地比要被写入的实际条纹更宽。过扫为子束写入的位置的平移和调整(scaling)提供了空间。过扫是单侧的超过量。在条纹宽度为 $2\mu\text{m}$ 并且过扫为 $0.5\mu\text{m}$ (或25%)的情况下,导致扫描线长度为 $3\mu\text{m}$ 。在过扫部分过程中,子束典型地被切断。

[0138] 在图10中(左侧处),描述了对于只有一个子束正在写入条纹的状况下的扫描线。在偏转循环中,该子束的路径为A-B-C。AB为扫描阶段过程中的扫描线移动,而BC为回扫,在回扫期间子束被切断。条纹边界被标记为D和E。在图10的右侧,标识出过扫和图案部分。由子束消隐阵列接收的用于在扫描线中切换子束的子束控制信号的整组比特被称为扫描线比特帧。

[0139] 在整个扫描线中,子束通过光刻系统来控制。在过扫部分中,子束将被切断。在图案部分中,子束依据需要被写入晶片场的特征而被切换。在扫描线比特帧中用于过扫部分和图案部分的比特,表示要被传递到子束消隐阵列的数据。过扫部分中的比特/像素看似没用并且消耗了数据路径的带宽,然而,过扫部分中的比特/像素可为校正(例如图案平移和图案调整)提供空位(room),为缝合算法(stitching algorithm)提供空位,并在使用所有子束写入整个条纹宽度(平行投影)的写入策略时,为子束的消隐器孔的y位置上的差异提

供空位。假设用于控制子束和特定像素尺寸的子束控制信号的比特率固定，则扫描线可被映射到固定长度的比特帧，称为扫描线比特帧。

[0140] 在优选实施例中，每个分波束被分裂成49个子束，用于将一个条纹写入场。存在许多不同的用于写入条纹的写入策略。子束写入策略定义了以何种方式布置波束以用于写入条纹。该方案可能是堆叠(stack)、交错(interleave)和重叠(overlap)的组合。在图11中，示出了通过使用四个子束写入条纹的可能的交错方案的若干个示例。在附图的右侧示出一个条纹的宽度。这些示例未示出子束如何实时写入，但示出了当已经完成写入时，哪个子束已经写入了条纹的哪个部分。

[0141] 图11中的示例A示出了堆叠子束。每个子束写入其本身的分条纹(substripe)。对于这种配置，每个子束在其回扫之前仅写入很少的几个比特。偏转信号的频率很高而其幅度较低。这种写入策略适宜于组中的子束被布置成使得组宽度 GW (等于分波束组中的子束的数目N乘以投影节距 $P_{proj,x}$)等于条纹宽度(垂直投影)的情况。垂直投影是一族写入策略。对于垂直投影的基本形式，所有子束写入小的分条纹，并且分条纹的宽度是条纹宽度的一小部分。消隐器孔的网格尺寸典型地与条纹宽度相关。

[0142] 在示例B中，在整个条纹宽度上交错子束。偏转信号的频率较低而幅度较大。该适合交错扫描线的写入策略是平行投影写入策略。平行投影是一族写入策略，其中所有子束以交错的方式写入整个条纹宽度。注意消隐孔径的网格不是必须与条纹宽度相关的。

[0143] 特别是组中具有数量相对少的子束，这种策略允许组尺寸更小并且使填充比率(fill ratio)得到改善。由于子束的数量小，晶片上组的尺寸由于合理的填充系数而显著小于条纹。对于这种写入策略(平行投影)，能够计算为组中特定数量的子束和一定子束节距实现的一系列像素尺寸。像素尺寸不是任意值。扫描线比特帧中可添加额外比特，以补偿最差情况下子束消隐孔径和条纹中心之间的偏移。

[0144] 示例C是交错和堆叠的组合。对于示例D，连续的交错层像砖墙一样交迭。对比示例C，这种配置将在子束之间提供更好的均衡。在条纹边界处，存在将在边界上进行写入的子束。

[0145] 图12A和图12B示意性地说明了通过多个子束对目标进行曝光的方法，其中通过在整个要被单独的投影透镜系统覆盖的扫描宽度上偏转每个子束来获得曝光图案。例如，对于通过使用具有13,000个投影透镜系统的系统曝光的宽度为26mm的场，投影透镜系统的布置将导致整个扫描宽度为2微米。

[0146] 在本示例中，通过使用考虑了在被投影到X方向上的平面上时阵列中的子束的投影节距，即 $P_{proj,x}$ ，的写入策略来曝光目标。相邻扫描线之间的距离等于X方向上的投影节距。

[0147] 在图12A中，示出目标的被曝光区域的一部分正被四个子束沿着垂直扫描线曝光。第一子束，例如图9中的子束40A曝光的区域用带有灰色图案的扫描线来示意性表示。第二子束，例如图9中的子束40B曝光的区域用带有第一阴影线图案，即向左斜下的阴影线的扫描线示意性表示。第三子束，例如图9中的子束40C曝光的区域用带有第二阴影线图案，即向右斜下的阴影线的扫描线示意性表示。第四子束，例如图9中的子束40D曝光的区域用带有第三阴影线图案，即交叉阴影线图案的扫描线示意性表示。

[0148] 在图12A所示的示例，期望的网格单元尺寸(即期望的子束定位分辨率)小于子束

在X方向上的投影节距。很容易看出,通过相对于目标以X方向移动子束的阵列,同时在Y'方向上以直接向前的方式偏转子束对目标进行曝光,将不提供对目标的完全覆盖。因此,为了提供完全覆盖,需要不同的写入策略。

[0149] 在图12B中,通过使用另一种写入策略,采用平行类型的写入策略将该区域完全曝光。在这种方法中,X方向上的相对移动和多个子束在Y'方向上的移动,使得通过多个子束曝光的相邻扫描线之间的距离等于 $\frac{P_{proj,x}}{(F_{N-1})}$, 其中 $F_{N-1} \neq 1$ 。在该等式中, $P_{proj,x}$ 是在平行于 X 方向的方向上阵列中多个子束的子束之间的投影节距;而且 F_{N-1} 是 $(N-1)$ 的系数,其中 N 是阵列中子束的数目。

[0150] 在图12B中示意性示出的实施例中,使用了四个子束。因此,在目标和多个子束之间的相对移动被执行成使得通过多个子束曝光的相邻扫描线之间的距离等于 $P_{proj,x}$ 的 $1/3$ 。在阵列中的子束数量为100的情况下,例如在 10×10 的子束阵列中,依据这种方法,对于 F_{N-1} 为 99、33、11、9 和 3 时,通过多个子束曝光的相邻扫描线之间的距离分别等于 $P_{proj,x}$ 的 $1/99$ 、 $1/33$ 、 $1/11$ 、 $1/9$ 或 $1/3$ 。

[0151] 而且,在此实施例中,目标和子束之间的相对移动以步进式的方式执行。在机械扫描方向上的移动使得子束在到达已经被另一个子束曝光的区域之前可曝光三条扫描线。这种移动通过图12B底部的小箭头针对第二子束示意性示出。完成第三扫描线之后,子束被平移过较大的距离,使得第一子束被定位成正好在由第四子束曝光的上一个扫描线之后。这种平移通过大箭头针对第二子束示意性示出。平移之后,开始了新的三个扫描线的序列。这种写入策略的步进式移动可通过子束的恒定的偏转图案和目标在X方向上的变化的移动速度、或者子束的变化的偏转图案和目标的稳定移动,或以上两者的组合来完成。

[0152] 用于获得如图12B所示的曝光的写入策略胜过用于获得图12A所示的曝光的写入策略的优势是目标的全部区域都被覆盖了。然而,在机械扫描方向,即目标的预期机械移动的方向上的移动是不规则的,即需要系统的偏转器以幅度不规则的步长跳过已被曝光的扫描线。特别是关于越过大距离的平移,偏转器可能需要相对很大的建立时间(settling time),从而耗费了系统的开销时间。而且,这样的系统和写入方法可能易受到定位误差的影响,因此,需要考虑建立时间和/或实施定位控制以避免所谓的缝合误差。该写入策略的缺点是相邻扫描线的某一部分被相同的子束曝光(扫描)。结果,在单独的子束之间的亮度或强度的变化可导致目标上曝光图案的非期望的变化。相邻扫描线由阵列中的所有子束曝光的图8A的写入策略获得的平均效应,因此被减小。在子束尺寸远远大于被相同子束曝光的相邻扫描线的宽度处,这种缺点可被减小。

[0153] 图13A-13C示意性地说明了对目标进行曝光的方法的另一种实施例。该方法能够使目标完全曝光,而不受参考图12A所示的方法的缺点和参考图12B所示的方法的潜在缺陷的影响。在图13A-图13C中举例示出的方法是平行类型的写入策略。

[0154] 在这种方法中,在第一方向上的相对移动和多个子束在第二方向上的移动是互相配合的,使得通过在多个子束内的相同子束曝光的连续扫描线之间的距离等于 $\frac{N}{F_{N-1}} P_{proj,x}$, 其中 $F_{N-1} \neq 1$ 。

[0155] 在图13A中示意性地示出了通过子束的 2×2 阵列中的每个子束曝光的第一扫描线

的结果。在图13B中,目标的曝光向前推进,使得每个子束曝光了第二扫描线的一部分。在图13C中,曝光进一步向前推进,使得获得了目标被完全覆盖的区域。在这种方法中,代替在单个扫描线曝光期间具有在X方向上移过单个扫描线宽度的相对移动,在单个扫描线曝光期间在X方向上的相对移动等于 $\frac{N}{F_{N-1}} P_{proj,X}$, 其中 $F_{N-1} \neq 1$ 。

[0156] 在图13A-图13C中,已经用四个子束(在 2×2 阵列中)来说明这种方法。因此,通过多个子束内的相同子束曝光的连续的扫描线之间的距离等于 $\frac{4}{3} P_{proj,X}$, 如图13B和图13C中示意性示出。在阵列中的子束数量为100,例如子束的 10×10 阵列的情况下,对于 F_{N-1} 为99、33、11、9和3时,依据这种方法通过多个子束中相同子束曝光的后续扫描线之间的距离分别等于 $1\frac{1}{99}P_{proj,X}$ 、 $3\frac{1}{33}P_{proj,X}$ 、 $9\frac{1}{11}P_{proj,X}$ 、 $11\frac{1}{9}P_{proj,X}$ 或 $33\frac{1}{3}P_{proj,X}$ 。

[0157] 如图13A-图13C中使用的方法沿X方向对于等于 L_1 的宽度(即在图13C的点划线之间)提供了对要被曝光的目标的完全覆盖。在 L 以外的区域可通过例如图4或图5中示意性地示出的带电粒子多子束系统的多子束系统的一个或多个其他投影透镜系统被曝光。如图13C中可见,每个扫描线的一部分落到完全覆盖区域以外,被标为 L_2 和 L_3 ,在子束被偏转到完全覆盖区域以外的时间期间,子束典型地不被使用(即被消隐或被阻挡),导致多子束系统的应用效率较低。当完全覆盖长度 L_1 远远大于“末端区域”长度 L_2 和 L_3 时,这种效应会被减小。

[0158] 图13C的写入策略避免了前述写入策略的步进式移动。相邻扫描线通过不同的子束被曝光,提供了当子束尺寸大于扫描线宽度时对子束之间的不同进行匀和的优点。在所示的示例中,所有四个子束在四个相邻扫描线上被扫描,导致了 $4 \times$ 平均效应。

[0159] 如前面所述,典型地相对于虚拟网格来光栅化要曝光到目标上的图案的数据。为了在目标上曝光出图案,需要以使得通过多个子束曝光的扫描线序列在目标上形成期望图案的方式来接通和切断每个子束,或其他方式调整每个子束。

[0160] 关于前述的方法,要通过多波束系统的单个投影透镜系统曝光的图案在 L_1 的整个宽度上被划分成扫描线。该扫描线于是被指派给子束。因此,根据所使用的写入策略,不同扫描线可被指派给不同的子束。

[0161] 图16示出了与每图案化波束的子束数目 N 、阵列倾斜角 α 、投影节距 $P_{proj,X}$ 以及 K 系数相关的像素尺寸和网格宽度的表格。为了减少需要生成并被发送到光刻机的控制数据的量以及增加机器的生产能力,需要大的像素尺寸。然而,像素的尺寸受到期望的CD和光刻胶的性质的限制。在图16中,假定在X方向上最佳像素尺寸 L_{pixX} 为3.5nm,从左起的第四列示出了基于投影节距和最佳像素尺寸计算的 K 的值(即投影节距 $P_{proj,X}$ 除以3.5nm的像素尺寸 L_{pixX})。从左起第五列示出了在给定了每图案化波束的子束数目(如 上所解释的)的情况下可接受的 K 的最接近值。第六和第七列示出了导致每图案化波束的子束数量、阵列倾斜角、投影节距和 K 系数的各种组合的以纳米为单位的像素尺寸 L_{pixX} 和网格宽度 W_{proj} 。

[0162] 较高的 K 指示更快的子束偏转扫描速度(相对于载物台载物台的移动),并导致像素在X方向上较小。如果子束控制切换信号以恒定的数据速度被提供给子束消隐阵列,像素在Y方向上将随着子束偏转扫描速度的相对增加而变得更大,使得像素形状在X方向上将减小而在Y方向上将增大,从而从正方形近似地变成矩形。通过改变子束偏转扫描速度,像素

可在Y方向上呈任意尺寸,但由于如上讨论的子束交错,在X方向上只能呈特定尺寸。

[0163] 在光刻机的优选实施例中,通过省略用于调整单个子束的设备而简化了光刻机。施加到晶片的带电粒子剂量可通过增加子束偏转扫描速度来降低。即使子束电流没有改变,这样做也降低了剂量。结果,像素将在Y方向上变长。类似地,可通过减少子束偏转扫描速度来增加剂量。

[0164] 图17A-图17C还示意性地示出了用多个子束对目标进行曝光的方法的另一个实施例。该方法为垂直类型的写入策略。在该方法中,目标由阵列形式的子束组曝光,通过在X方向上的相对移动,同时在Y'方向上偏转子束组,使得每个子束沿Y'方向上的偏转扫描长度 $\delta_{Y\text{-scan}}$ 曝光目标。子束之间在Y'方向上的投影节距 $P_{\text{proj}, Y}$ 等于或小于该子束组中的每个子束的偏转扫描长度 $\delta_{Y\text{-scan}}$ 。

[0165] 在图17A中示意性地示出了具有偏转扫描长度 $\delta_{Y\text{-scan}}$ 的第一扫描线。在图17B中,目标的曝光已经向前推进,使得每个子束已经曝光了六条扫描线。在图17C中,曝光已经进一步推进,使得获得了从位置 X_1 开始的对具有长度 I_{stripe} 的区域的完全覆盖。很容易能看到,所有子束都将被充分利用,以在长度 I_{stripe} 以内曝光目标。为了在Y'方向上曝光一定的长度,例如图13C中的 L_1 和图17C中的 I_{stripe} ,每个子束的偏转长度对于图17C中的方法比对于图12A、图12B或图13A-图13C中的方法更短。而且,子束偏转长度 $\delta_{Y\text{-scan}}$ 优选地被控制,以避免缝合误差和类似误差。

[0166] 图17C中的写入策略避免了图13C中示出的局部覆盖 L_2 和 L_3 的“末端区域”,并且因此增大了多子束系统的效率。然而,图17C中的写入策略未达到相同的子束平均效应。

[0167] 如前所述,一般地相对于虚拟网格光栅化图案数据。为了在目标上曝光期望的图案,需要以使得通过多个子束曝光的扫描线序列在目标上形成期望图案的方式来接通和切断每个子束或以其他方式调整每个子束。

[0168] 关于参考图17A-图17C描述的方法,要通过多波束系统,例如在图4和5中示意性地描述的带电粒子多波束系统的单个投影透镜系统曝光的图案被划分成长度为 $\delta_{Y\text{-scan}}$ 的块。在每个块以内,数据可被划分成扫描线。每个块然后被分配给子束。

[0169] 图18是说明投影透镜阵列和子束阵列相对于彼此的具体定向,即多个子束组的定向、以及每个单个子束组内子束的定向的效应的示意性表示。所示的配置,实际上代表依据本发明的配备了四个孔径组的系统的孔径阵列元件的一部分,通过单个透镜系统实现相应数目的投影。在所表示的设置中,每个孔径组包括四个子束,并且各组之间,即各组的孔径之间,的最小距离大于一组内的孔径的节距。在这种设置中,已经使用了 4×4 组孔径,每组孔径被用于使子束通过 4×4 投影透镜。

[0170] 子束和投影透镜的定向使得,在投影透镜阵列和多个子束在机械扫描方向上相对于目标的相对移动过程中,目标的整个表面区域可通过子束在偏转扫描方向上的偏转被曝光,该偏转扫描方向通常基本垂直于机械扫描方向。

[0171] 在图18中,投影透镜阵列相对于移动的机械方向的定向与子束阵列的定向不同。在此描述的X方向表示目标载体的移动的方向,同时与其垂直的Y方向表示由偏转器9的偏转而引起的子束在目标上扫描的有效方向。

[0172] 图19示意性地说明了确定在图13中的对目标进行曝光的方法中使用的二维阵列中的子束位置的图解。在这种方法中,斜纹概念被用于利用曝光图案曝光目标表面区域。就

这种概念,在第一方向(例如机械移动的方向)上的相对移动和在第二方向(例如偏转扫描方向)上多个子束的移动使得阵列中的子束扫描斜纹图案中的相邻扫描线。理论上,子束组可被布置成形成斜纹线的阵列形式,以执行这种写入策略。实际上,投影透镜系统的尺寸可远远大于相邻扫描线之间的期望距离(例如网格单元尺寸),使得沿着斜纹线的子束的布置是不可能的。

[0173] 在图19中,示意性地示出了这样的写入策略将不只对斜纹线起作用,而且还可在使用适宜的子束二维阵列时被应用。从4个子束的斜纹线(图19中的左图)开始,沿机械扫描方向对子束的重新布置(图19中的中图示出)导致适宜的 2×2 子束阵列(图19中的右图)。

[0174] 斜纹线被排列成使得子束在Y'方向上的投影节距 $P_{proj,X}$ 处,而在X方向上被分隔开一个扫描线间隔(一个扫描线间隔是在目标上曝光的相邻扫描线之间的距离)。于是通过重新布置子束构造了 2×2 子束阵列。阵列中的每个子束在Y'方向上被定位在与子束在斜纹线中相同的投影节距 $P_{proj,Y}$ 处。然而,在平行于X方向的方向上,每个子束从斜纹线移开整数个子束间隔(一个子束间隔是被相同子束曝光的连续扫描线之间的距离)。阵列中的子束在X方向上的布置被选择成使得在结果阵列中,每个子束与至少两个其它子束相隔的距离大致相等。结果子束阵列优选的尽量接近正方形、六边形或三角形阵列。

[0175] 图20A-图20D示意性地说明了通过使用图19中所示的二维 2×2 阵列通过多个子束对目标进行曝光的方法。在图20A中示意性地示出了通过子束的 2×2 阵列中的每个子束曝光的第一扫描线的一部分的曝光结果。在图20B中,目标的曝光已经向前推进,使得每个子束已经曝光了第二扫描线的一部分,而在图20C中九条扫描线已经通过各子束被曝光。在图20D中,曝光已经进一步推进,使得获得了目标的完全覆盖的区域,在附图中的右手侧示出。从图20A-图20D可以看出,斜纹线写入策略是可接受的。如在图20D中能够看出的,在完全覆盖区域中,阵列中的子束扫描斜纹图案中的相邻扫描线。

[0176] 此外,关于这种写入策略可注意以下内容。可以看出扫描线中的至少一些扫描线是通过阵列中的多于一个的子束扫描的,使得在所示出的示例中,扫描线中的一些扫描线在扫描线距离的第一部分上是通过阵列的第一子束扫描的,在扫描线距离的第二部分上是通过阵列的第二子束扫描的。

[0177] 在所示的示例中,子束被布置成两行两列的阵列的形式,并且在X方向上的相对移动和子束在Y'方向上的移动使得阵列中的每个子束每隔一个扫描线进行扫描。而且,扫描线的一部分由两个子束扫描,正如在图13D的右手侧能够看出的,其中所有四个子束已经对目标进行曝光,从而提供目标的完全覆盖。如果子束的阵列包括R行和C列子束,则在X方向和Y'方向上的移动之间的关系于是使得阵列中的每个子束曝光每个第R个扫描线,并且使得扫描线的一部分(即实现目标的完全覆盖的区域中)被C个子束扫描。而且,如果阵列的所有子束在M个相邻扫描线上被扫描,阵列的每个子束在每个第M个扫描线上被扫描。这在图20D中的示例中能够看出,在图20D 中所有四个子束在实现了目标的完全覆盖的区域中在两个相邻扫描线上被扫描,并且阵列的每个子束每隔一个扫描线被扫描。

[0178] 图20D的写入策略具有若干优点。当与图13C的写入策略比较时,部分覆盖的“末端区域”被减少。这些末端区域的长度等于在Y'方向上两个子束之间的投影节距 $P_{proj,Y}$,而不是图13C中的整个子束阵列的投影节距。此外,图20D的写入策略获得了子束的平均。在图20D中所示的示例中,完全覆盖的区域中具有 $2 \times$ 平均(即两个子束被用于交替地曝光相邻

的扫描线)。相同的写入策略可被不同尺寸的子束阵列所使用,以获得 $3\times$ 平均、 $4\times$ 平均或更多。

[0179] 在前述方法的实施例中,即参考图12B和图13A-图13C描述的方法, $P_{proj,x}$ 可等于或小于被投影到目标上的子束的斑点尺寸。备选地,被投影到目标上的子束斑点尺寸可以大于通过多个子束曝光的相邻扫描线之间的距离。形成多个子束的阵列可包括多个行和多个列,行和列中的至少一个被定为成相对于机械扫描方向和偏转扫描方向成不等于90度的角。备选地,或额外地,形成多个子束的阵列可被定为成相对于第一方向成一定角度,使得在与第一方向平行的方向上阵列中每对子束之间的投影节距相等。

[0180] 在本发明的实施例中,子束为带电粒子子束,优选地为电子子束。

[0181] 控制单元,例如控制设备18,可被布置成协调目标与多个子束之间的相对移动,以使前述方法的实施例能够实行。

[0182] 应该理解的是,控制单元,例如控制单元18,可以包括处理器和被连结到该处理器的存储器的计算机组件的形式来实现。存储器可包括存储器元件,例如硬盘、随机存取存储器(RAM)、只读存储器(ROM)、电气可擦写可编程只读存储器(EEPROM)等。处理器可连接到被布置成从计算机可读介质中读取数据的读取单元。该计算机可读介质可被布置成,当被处理器实行时,执行通过带电粒子多子束系统中的多个子束对目标进行曝光的前述方法的实施例。

[0183] 本发明的额外的方面涉及垂直类型的写入策略。在实施例中,通过多个的子束对目标进行曝光的方法包括:提供多个子束,这些子束被布置成阵列;将子束组向每组的公共会聚点会聚,提供要被曝光的目标;产生多个子束与目标之间在第一方向上的相对移动;在基本垂直于第一方向的第二方向上偏转每个子束组,使得子束组内的每个子束在第二方向上沿偏转扫描长度曝光目标;其中阵列中的子束组内的子束之间在第二方向上的投影节距 $P_{proj,y}$ 等于或小于子束组内每个子束的偏转扫描长度。

[0184] 本方法可包括以下进一步特征中的一个或多个特征。投影节距 $P_{proj,y}$ 可等于或小于被投影在目标上的子束斑点尺寸。子束的阵列可包括多个行和多个列,行和列中的至少一个被定为成相对于第一方向和第二方向成不等于90度的角。可提供多个子束阵列。

[0185] 第一方向可基本上垂直于第二方向。子束阵列形成单个图案化子束,单个图案化子束依照具有预定尺度的网格单元的被光栅化的网格被图案化。

[0186] 在进一步的方面,本发明可包括计算机可读介质,该计算机可读介质用于在被处理器实行时通过如上所述的垂直类型的带电粒子多子束系统中的多个子束对目标进行曝光的方法的实施例。

[0187] 本发明还包括用于使用多个子束使目标图案化的带电粒子多子束系统,该系统包括:用于提供由多个子束形成的辐射图案的子束图案产生器,多个子束被布置成子束组;用于将子束组投影到目标的表面上的投影透镜系统阵列,每个投影透镜系统与一个子束组对应;偏转器阵列,用于在基本上垂直于第一方向的第二方向上偏转子束组,使得子束组内的每个子束在第二方向上沿调整扫描宽度曝光目标,该偏转器阵列包括多个偏转器,每个偏转器被布置成偏转相应的子束组;以及用于支撑要被曝光的目标的基板支撑件;其中阵列中的子束组内的子束之间在第二方向上的投影节距 $P_{proj,y}$ 等于或小于该子束组中每个子束的偏转扫描宽度。

[0188] 带电粒子多子束系统可包括以下进一步特征中的一个或多个特征。投影节距 $P_{proj,y}$ 可等于或小于被投影到目标上的子束斑点尺寸。子束图案生成器可包括：至少一个用于生成带电粒子波束的带电粒子源；从所生成的波束定义分隔开的子束或分波束的孔径阵列；用于将多组子束向各组的公共会聚点会聚的子束操控器；以及用于可控地消隐多组子束中的子束的子束消隐器。对于各子束组的公共会聚点可为对应于投影透镜系统中的一个的点。子束的阵列可包括多个行和多个列，行或列中的至少一个被定为成相对于第一方向和第二方向成不等于90度的角。多个子束可被布置成多个阵列。第一方向可基本上垂直于第二方向。多个子束可形成单个图案化子束，图案依照具有预订尺度的网格单元的光栅化的网格来图案化单个图案化子束。

[0189] 本发明的额外的方面涉及斜纹线类型的写入策略。在实施例中，通过多个子束对目标进行曝光的方法包括：提供多个子束，这些子束被布置成N个子束的阵列；提供要被曝光的目标；产生多个子束和目标之间在第一方向上的相对移动；在第二方向上移动多个子束，使得子束在目标上曝光多个扫描线；其中在第一方向上的相对移动和多个子束在第二方向上的移动使得阵列中的子束曝光斜纹图案中的相邻扫描线。

[0190] 该方法可包括以下进一步特征中的一个或多个特征。每个扫描线可在第二方向上被扫描过扫描线距离，并且扫描线中的至少一些可通过阵列的多于一个的子束被扫描。扫描线中的至少一些可被阵列的第一子束扫描过扫描线距离的第一部分，并被阵列的第二子束扫描过扫描线距离的第二部分。阵列的所有N个子束可在M个相邻扫描线上被扫描，阵列的每个子束在每个第M扫描线上被扫描。

[0191] 在斜纹线类型的写入策略的另一个实施例中，通过多个子束对目标进行曝光的方法包括：提供多个子束，这些子束被布置成R行和C列子束的阵列；提供要被曝光的目标；产生多个子束和目标之间在第一方向上的相对移动；在第二方向上移动多个子束使得子束在目标上曝光多个扫描线；其中在第一方向上的相对移动和多个子束在第二方向上的移动使得阵列中的每个子束扫描每个第R扫描线，并且扫描线的一部分通过C个子束被扫描。

[0192] 该方法可包括以下进一步特征中的一个或多个特征。可将多个子束在第二方向上移动过至少为阵列中子束之间在第二方向上的投影节距 $P_{proj,y}$ 的大致R倍的距离。每个扫描线可在第二方向上被扫描过扫描线距离，并且阵列中的每个子束扫描扫描线的大致等于扫描线距离的1/C的部分。每个扫描线可通过子束阵列的C个子束被扫描。

[0193] 在斜纹线类型的写入策略的再另一个实施例中，通过多个子束对目标进行曝光的方法包括：提供多个子束，这些子束被布置成阵列；提供要被曝光的目标，在多个子束和目标之间造成在第一方向上的相对移动，并在第二方向上移动多个子束，使得子束在目标上曝光多个扫描线，相邻的扫描线被以扫描线的间隔分隔开，并且由相同子束曝光的连续的扫描线被分隔开扫描线间隔；其中阵列中的每个子束被定为成在平行于第一方向的方向上与斜纹线相距等于整数个子束间隔的距离、并且在第二方向上位于投影节距 $P_{proj,y}$ 处，使得每个子束与至少两个其它子束相距大致等的距离，对角线与在第一方向上被以一个扫描线间隔分隔开并在第二方向上被以投影节距 $P_{proj,y}$ 分隔开的点对准。

[0194] 如上所述的斜纹线类型的写入策略的实施例包括以下特征中的一个或多个。阵列的子束之间在第一方向上的投影节距 $P_{proj,x}$ 可等于或小于被投影到目标上的子束斑点尺寸。子束的阵列可包括多个行和多个列，行和列中的至少一个被定为成相对于第一方向和

第二方向成不等于90度的角。可提供多个子束阵列。第一方向可基本上垂直于第二方向。子束的阵列可形成单个图案化子束，单个图案化子束是依照具有预订尺度的网格单元的光栅化的网格被图案化的。

[0195] 在进一步的方面，本发明可包括计算机可读介质，该计算机可读介质用于在被处理器实行时，执行通过如上所述的斜纹线类型的带电粒子多子束系统中的多个子束对目标进行曝光的方法的实施例。

[0196] 本发明还包括用于使用多个子束使目标图案化的带电粒子多子束系统。该带电粒子多子束系统包括：用于提供由多个子束形成的辐射图案的子束图案生成器，该多个子束被布置成N个子束的阵列；用于将多个子束投影到目标的表面上的投影透镜系统阵列，每个投影透镜系统与一组子束相对应；偏转器阵列，用于在基本垂直于第一方向的第二方向上偏转子束组，使得子束组内的每个子束在第二方向上沿调整扫描宽度曝光目标，该偏转器阵列包括多个偏转器，每个偏转器被布置成偏转相应的子束组；用于支撑要曝光的目标的基板支撑件；以及控制单元，被布置成协调在第一方向上基板支撑件和多个子束之间的相对移动和子束组在第二方向上的移动，使得阵列中的子束扫描斜纹线图案中的相邻扫描线。

[0197] 带电粒子多子束系统可包括以下进一步特征中的一个或多个。控制单元可进一步被配置成控制在第二方向上扫描过扫描线距离的扫描，并且控制扫描线中的至少一些通过阵列的多于一个的子束被扫描。控制单元可进一步被布置成控制，扫描线的至少一些通过阵列的第一子束被扫描过扫描线距离的第一部分，并通过阵列的第二子束被扫描过扫描线距离的第二部分。阵列的所有N个子束可在M个相邻扫描线上被扫描，阵列的每个子束在每个第M扫描线上被扫描。

[0198] 在另一个实施例中，用于使用多个子束来图案化目标的带电粒子多子束系统包括：用于提供通过多个子束形成的辐射图案的子束图案产生器，多个的子束被布置成多组子束，一组子束被布置成R行和C列的子束阵列；用于将多组子束投影到目标表面上的投影透镜系统阵列，每个投影透镜系统与子束组相对应；偏转器阵列，用于在基本垂直于第一方向的第二方向上偏转一组子束，使得一组子束内的每个子束在第二方向上沿调整扫描宽度曝光目标，偏转器阵列包括多个偏转器，每个偏转器被布置成偏转相应的子束组；用于支撑要被曝光的目标的基板支撑件；以及控制单元，该控制单元被布置成协调在第一方向上基板支撑件和多个子束之间的相关移动，和子束组在第二方向上的移动，使得阵列中的每个子束扫描每个第R扫描线，并且扫描线的一部分通过C个子束被扫描。

[0199] 带电粒子多子束系统可包括以下进一步特征中的一个或多个。控制单元可被进一步布置成将多个子束在第二方向上移动过至少为阵列的子束之间在第二方向上的投影节距 $P_{proj,Y}$ 的大致R倍的距离。该控制设备可进一步被布置成协调在第一方向上基板支撑件和多个子束之间的相对移动，和在第二方向上子束组的移动，使得每个扫描线被在第二方向上扫描过扫描线距离，并且阵列中的每个子束扫描了扫描线的大致等于扫描线距离的 $1/C$ 的部分。每个扫描线可通过子束阵列的C个子束被扫描。

[0200] 在又一个实施例中，用于使用多个子束来图案化目标的带电粒子多子束系统包括：用于生成带电粒子波束的带电粒子源；用于从所生成的波束定义多个子束组的子束孔径阵列；用于在第二方向上使子束组偏转的偏转器阵列，该偏转器阵列包括多个偏转器，每

个偏转器被布置成偏转相应的子束组；用于将子束组投影到目标表面上的透镜系统的阵列，每个投影透镜系统与子束组相对应；用于支撑要曝光的目标的基板支撑件；以及控制单元，被布置成调节在第一方向上基板支撑件和多个子束之间的相对移动和子束组在第二方向上的移动，使得子束在目标上曝光多个扫描线，相邻扫描线被以扫描线间隔分隔开，并且被相同子束曝光的连续的扫描线被以子束间隔分隔开；其中被投影到目标上的每个子束组被布置成阵列，阵列中的每个子束被定为成，在平行于第一方向的方向上与斜纹线相距整数个子束间隔的距离、并在第二方向上定位在投影节距 $P_{proj,Y}$ 处，使得每个子束与至少两个其它子束大致等距，斜纹线与在第一方向上以一个扫描线间隔分隔开并且在第二方向上以投影节距 $P_{proj,Y}$ 分隔开的点对准。

[0201] 如上所述的带电粒子多子束系统的实施例可包括以下特征的一个或多个。投影节距 $P_{proj,X}$ 可等于或小于被投影在目标上的子束斑点尺寸。子束图案产生器可包括：用于生成带电粒子波束的至少一个带电粒子源；从所生成的波束定义分隔开的子束或分波束的孔径阵列；用于使各组子束向每组的公共会聚点会聚的子束操控器；以及用于可控地消隐子束组中的子束的子束消隐器。该对于各子束组的公共会聚点可以是对应于投影透镜系统中的一个的点。子束阵列可包括多个行和多个列，行和列的至少一个被定为成相对于第一方向和第二方向成不等于90度角。多个子束被布置成多个阵列。第一方向可基本垂直于第二方向。多个子束可形成单个图案化子束，单个图案化子束是依照具有预订尺度的网格单元的光栅化的网格被图案化的。

[0202] 本发明已经参考以上讨论的特定实施例被描述。应该认识到，这些实施例易于衍生出对于本领域技术人员公知的各种变化以及其它形式而不背离本发明的精神和范围。因此，尽管已经描述了具体实施例，但是这些只是示例而不限制本发明的范围，本发明的范围在随附的权利要求书中被限定。

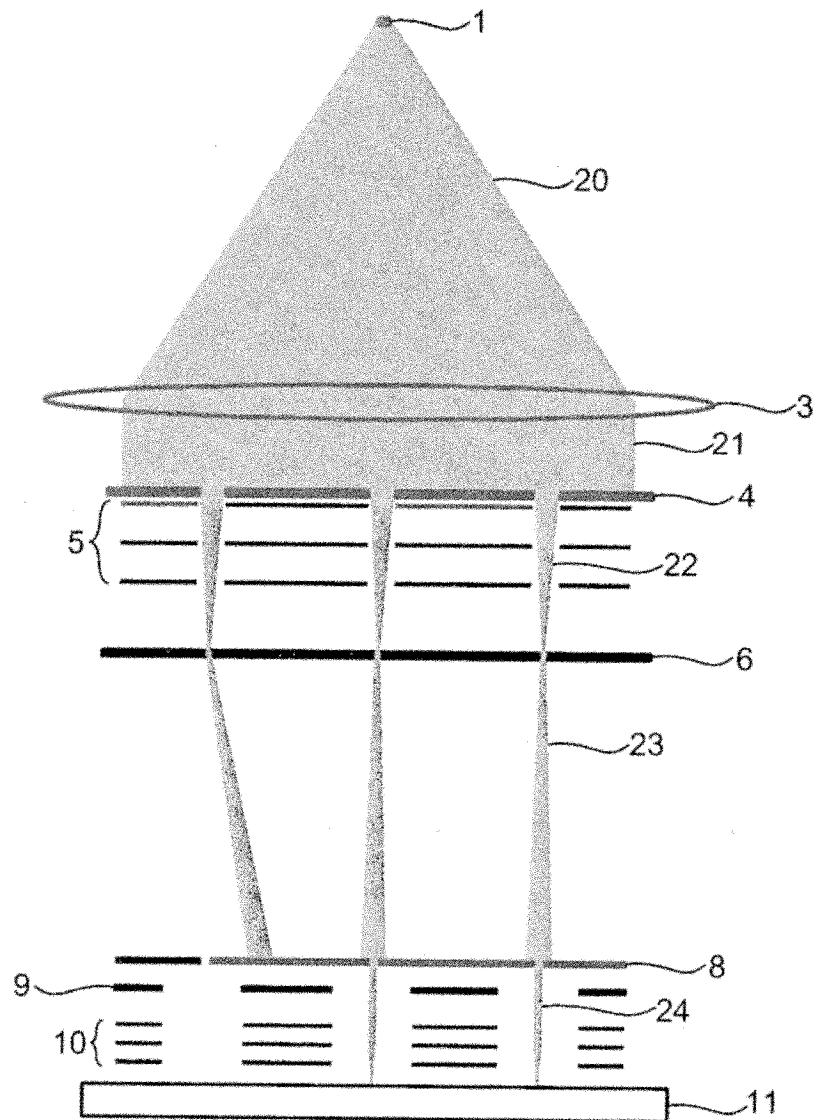


图1

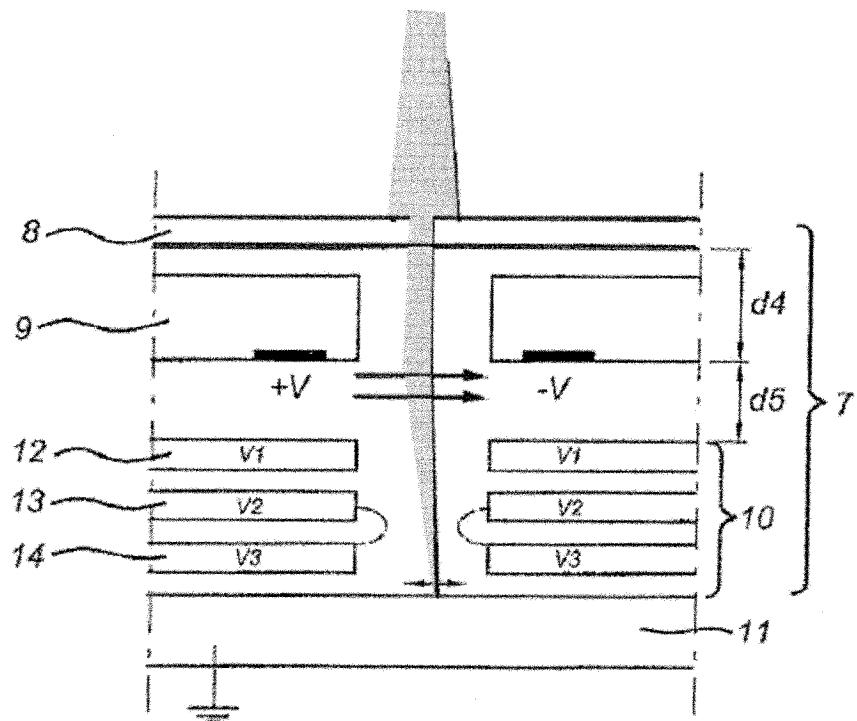


图2

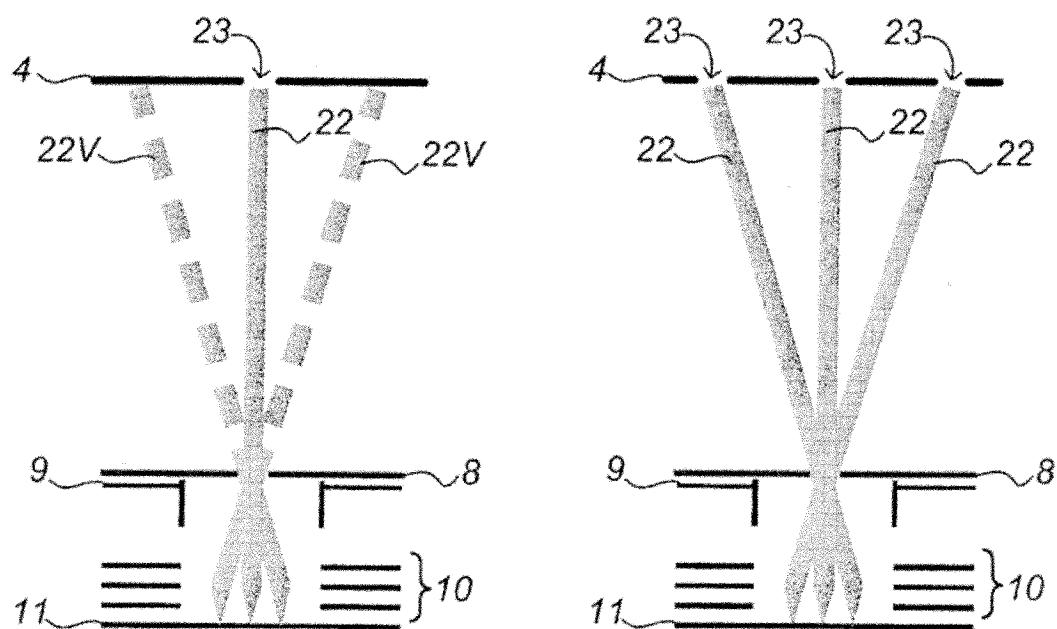


图3A

图3B

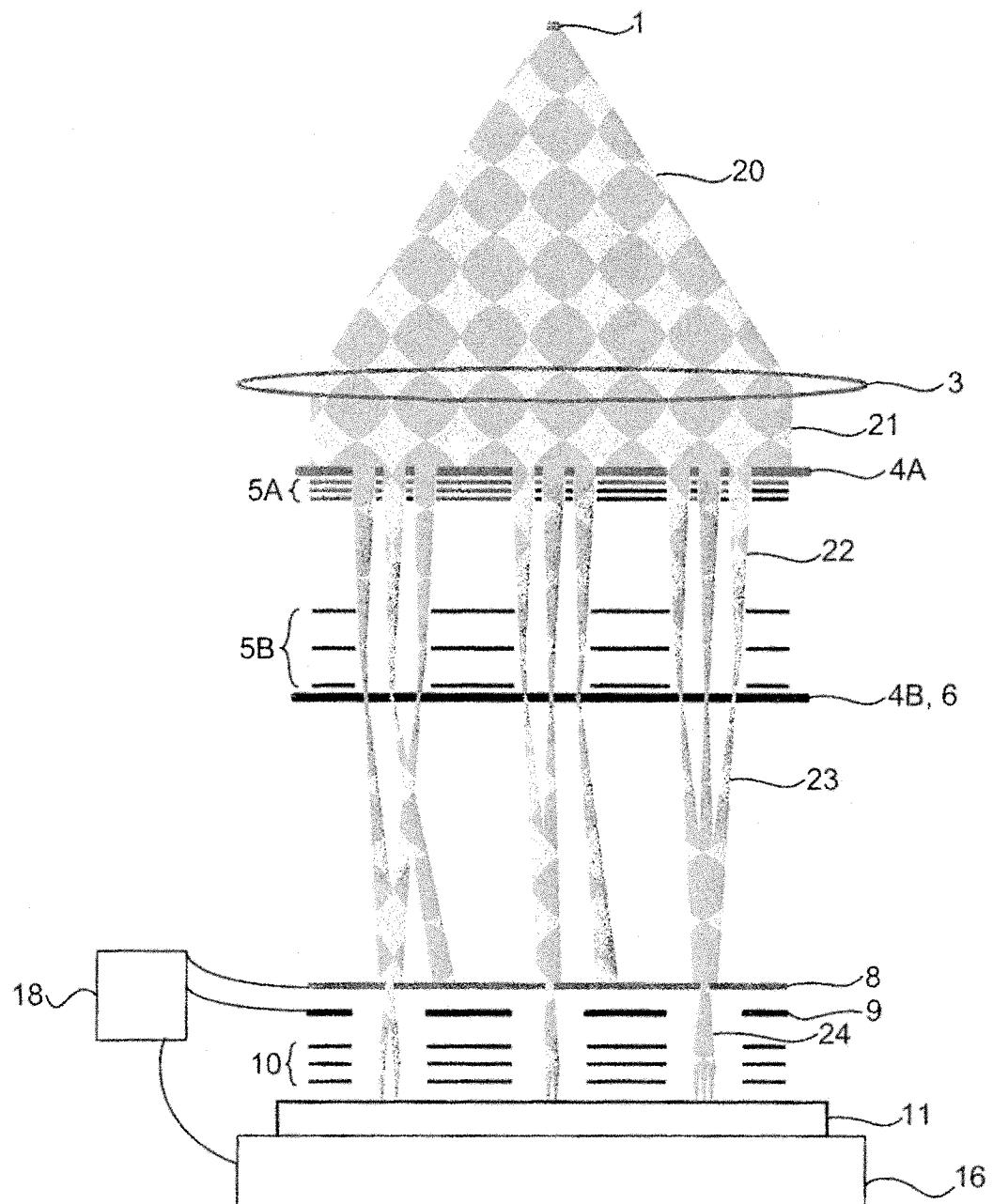


图4

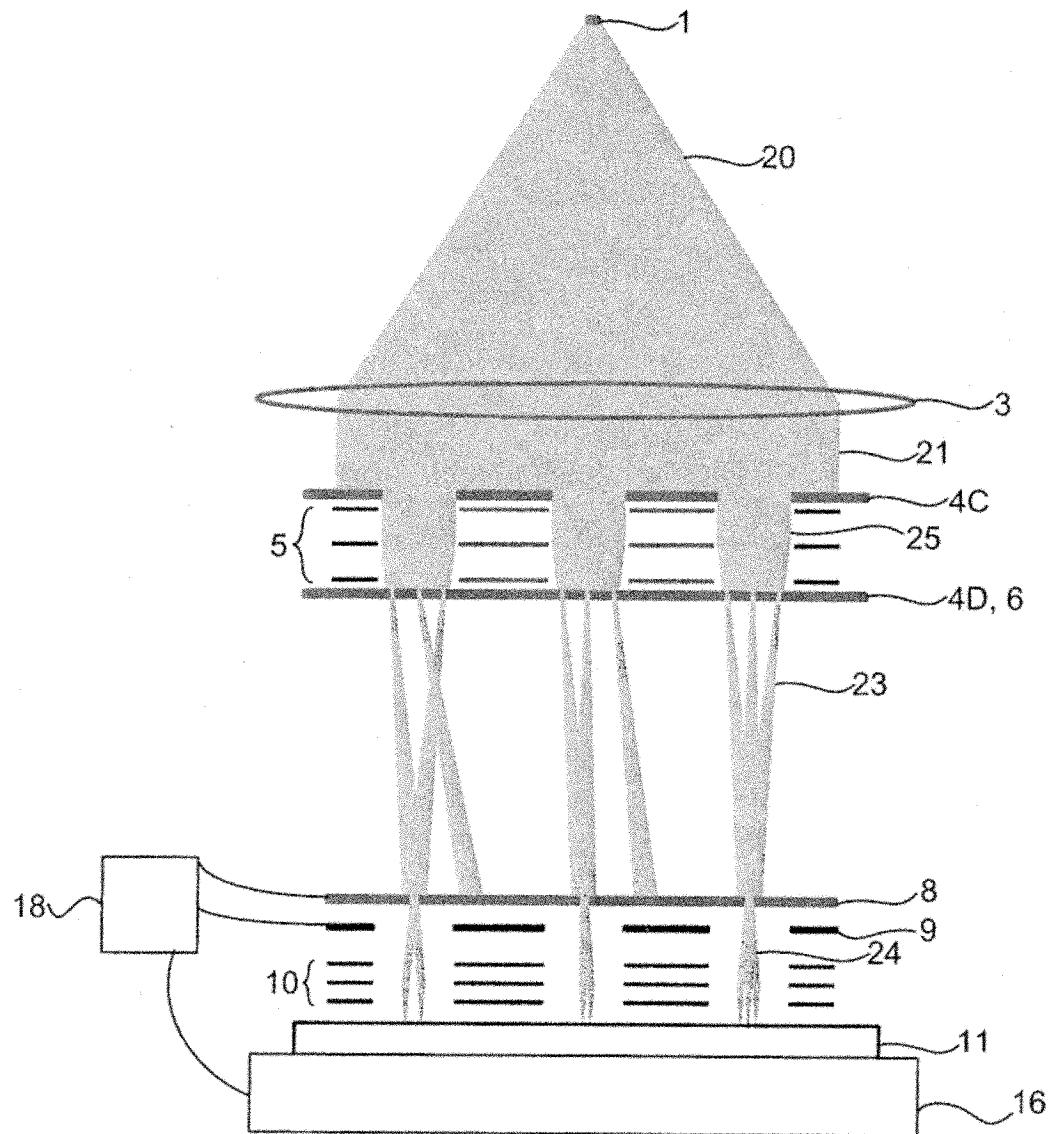


图5

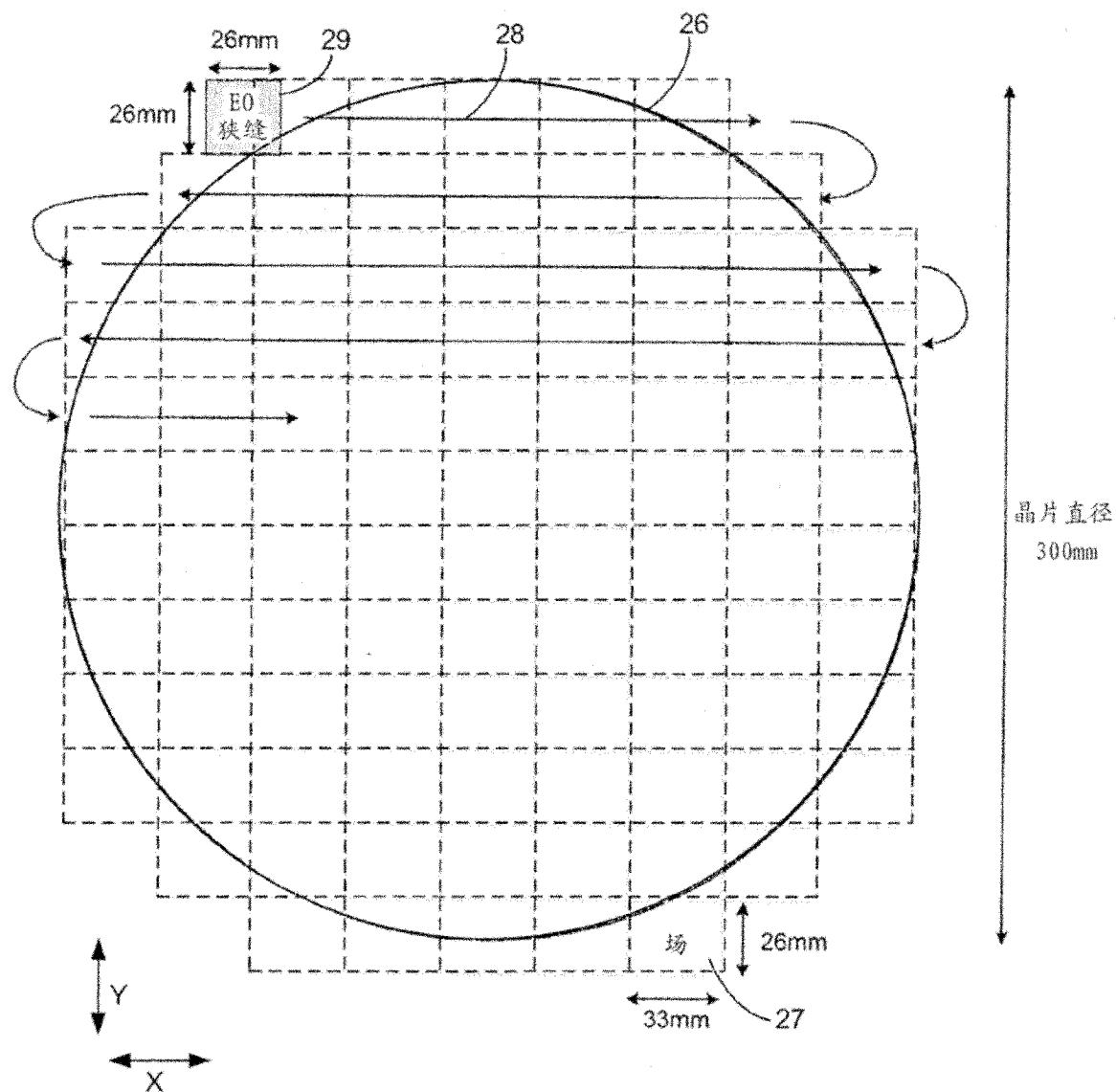


图6

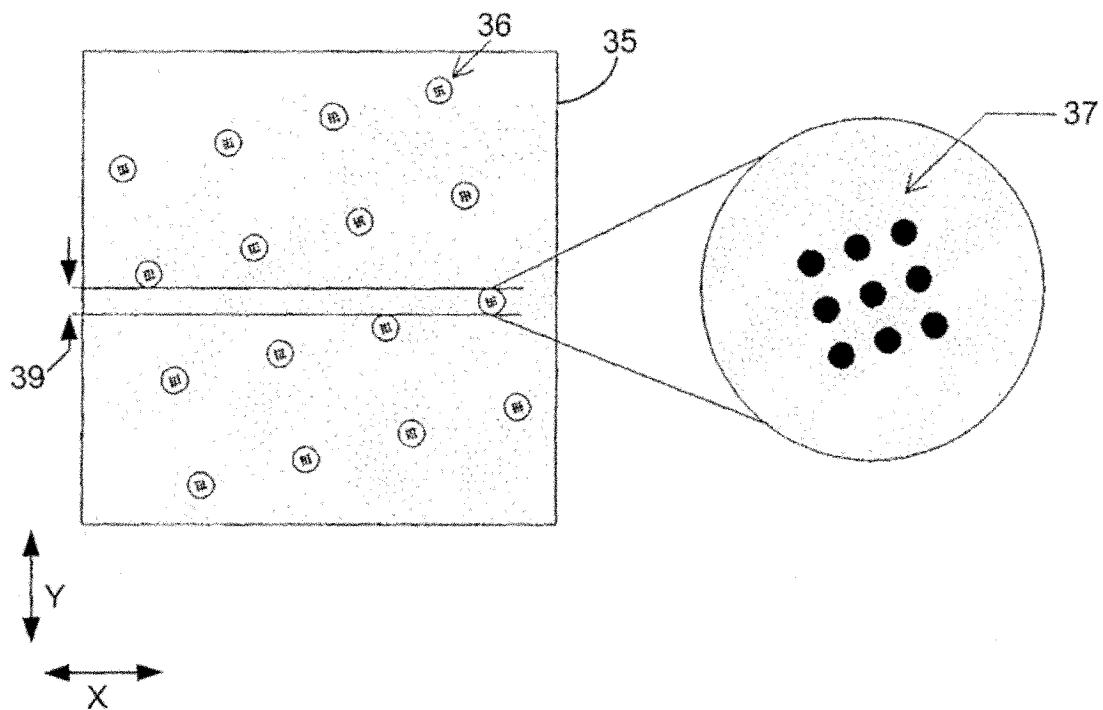


图7A

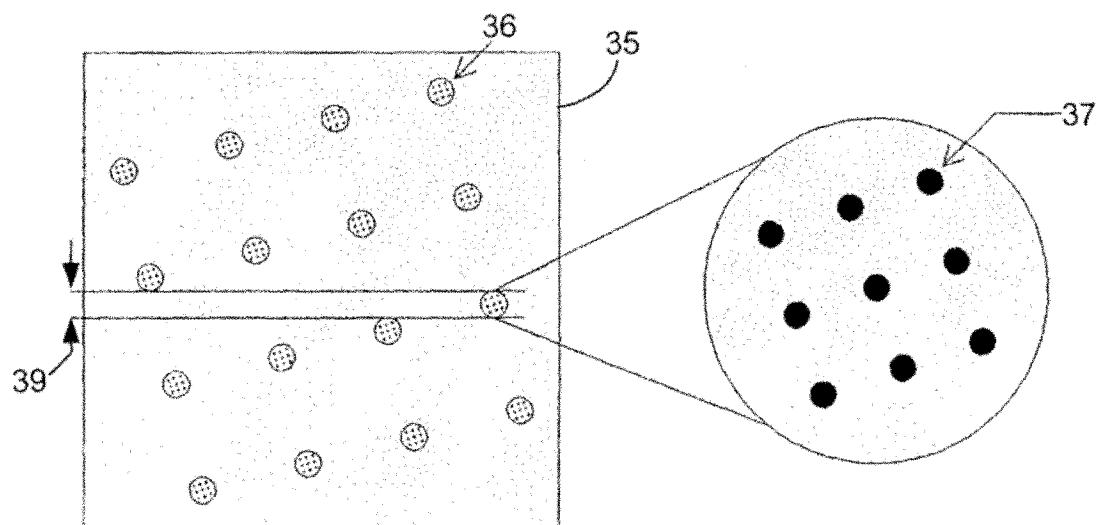


图7B

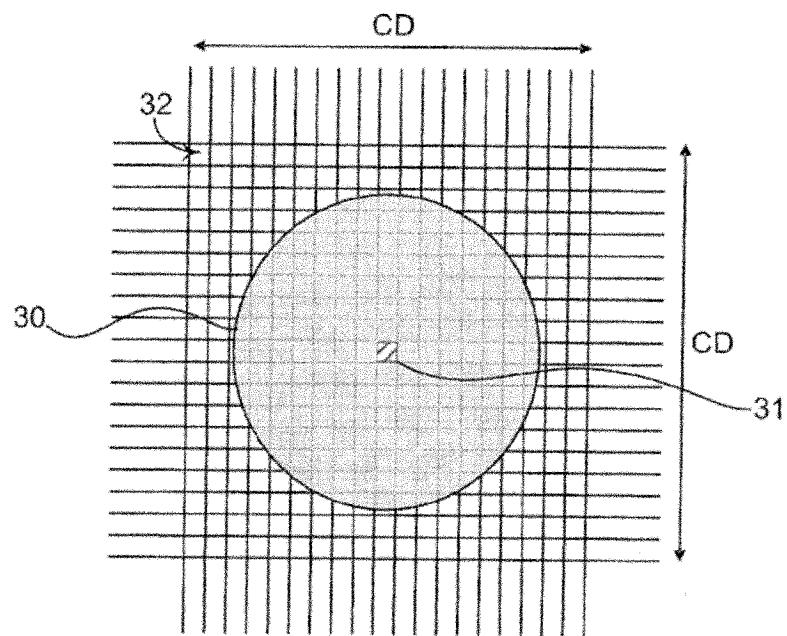


图8

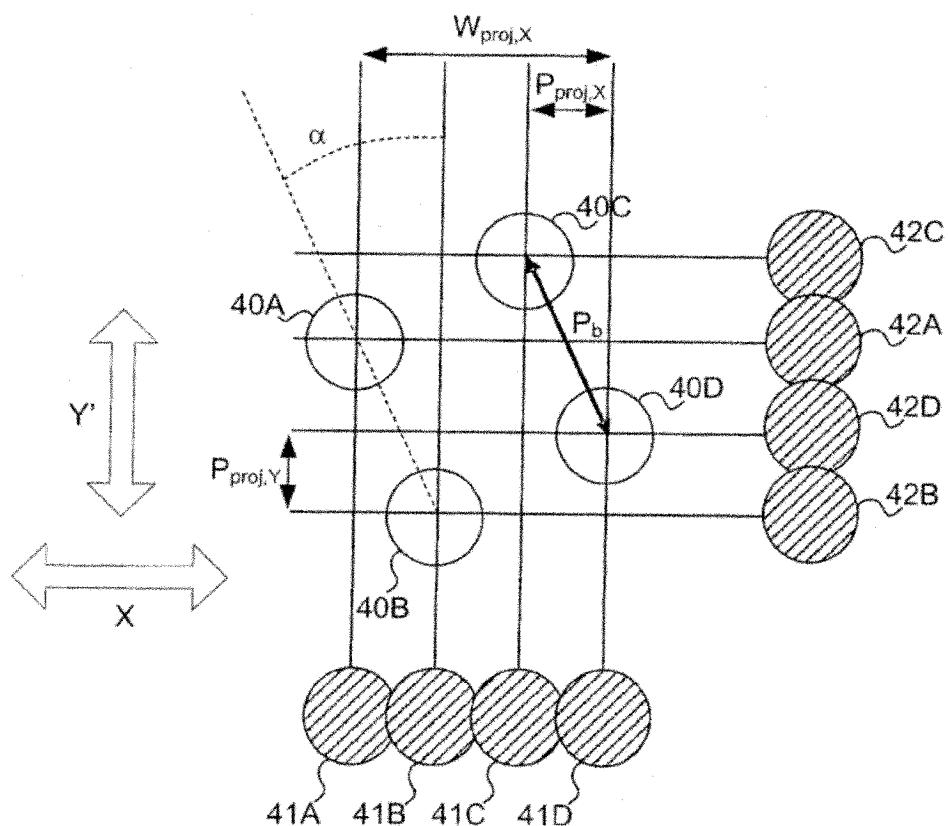


图9

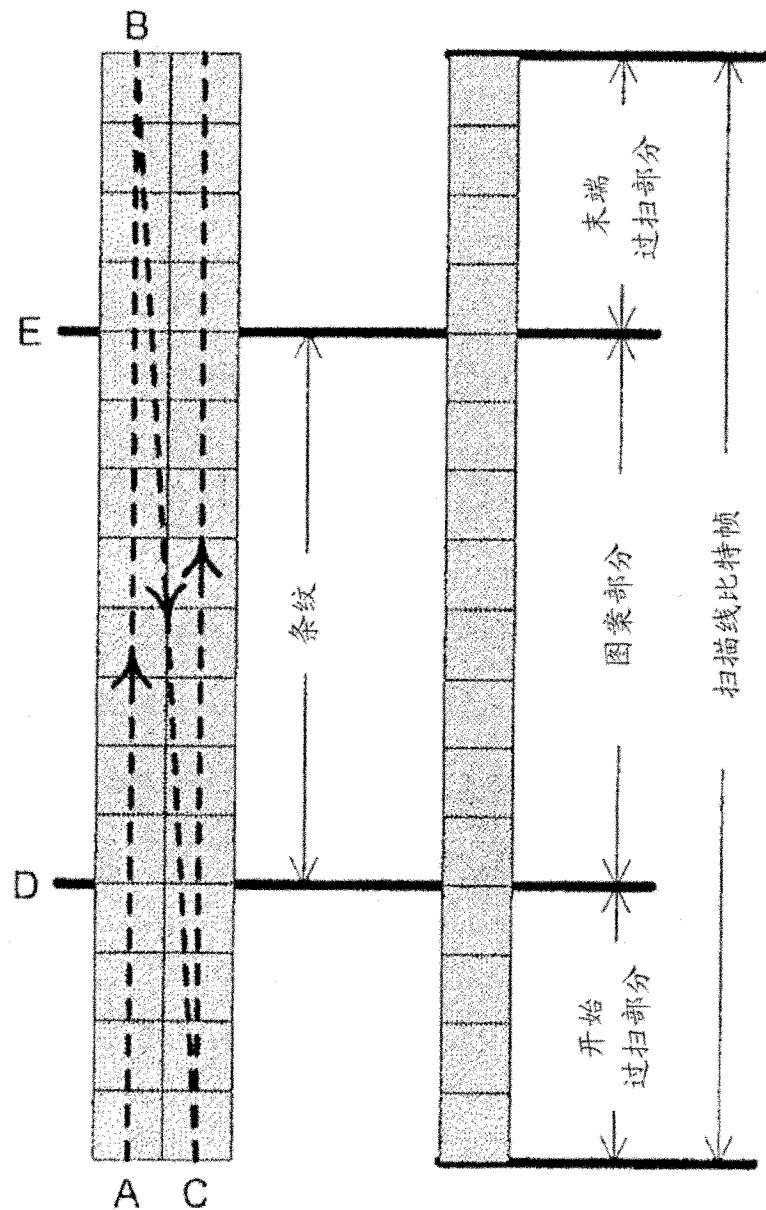


图10

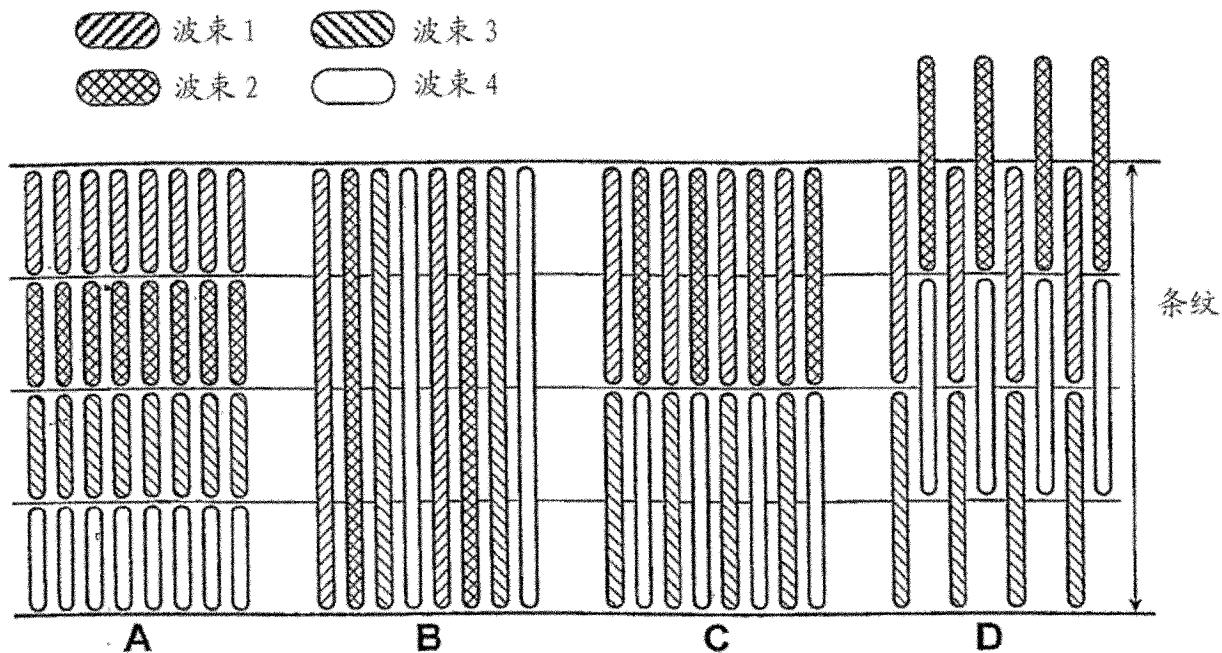


图11

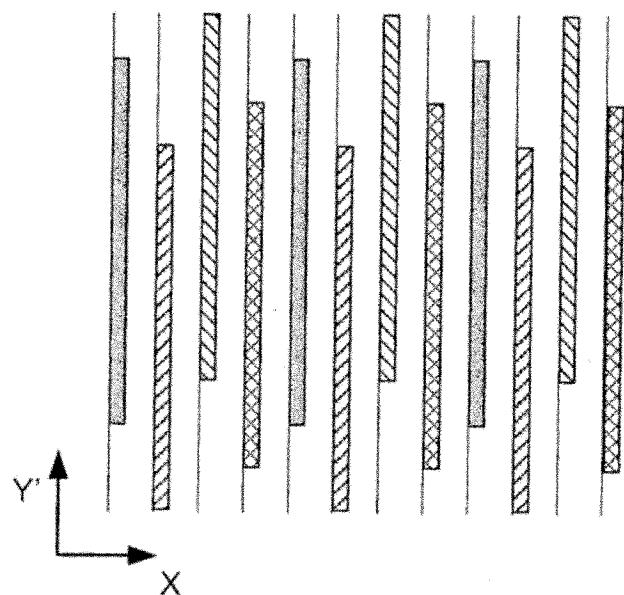


图12A

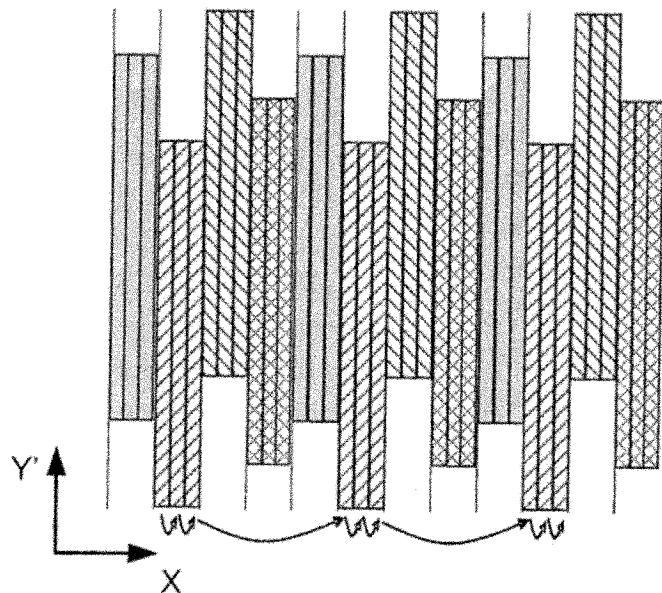


图12B

图 13A

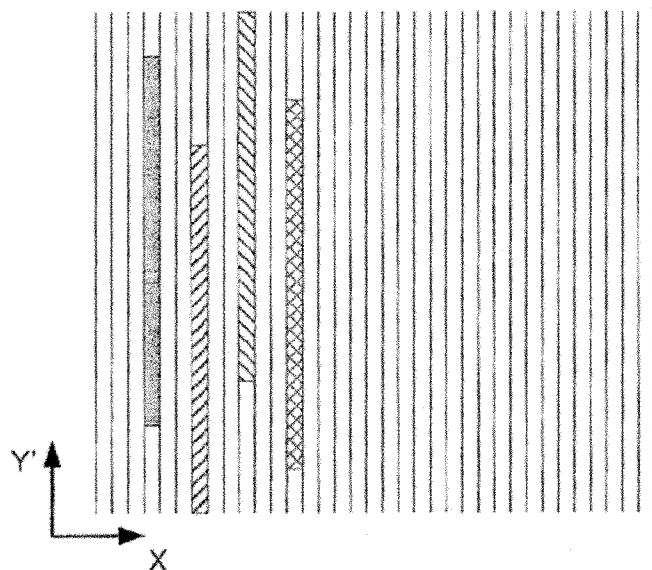


图 13B

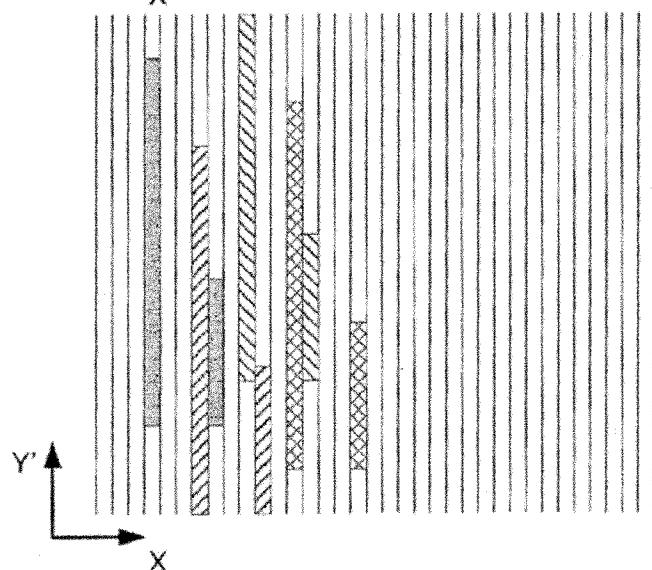
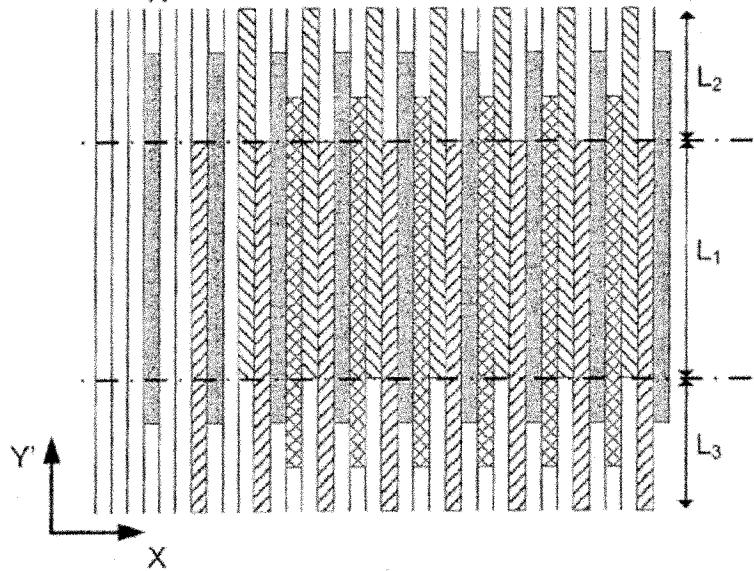


图 13C



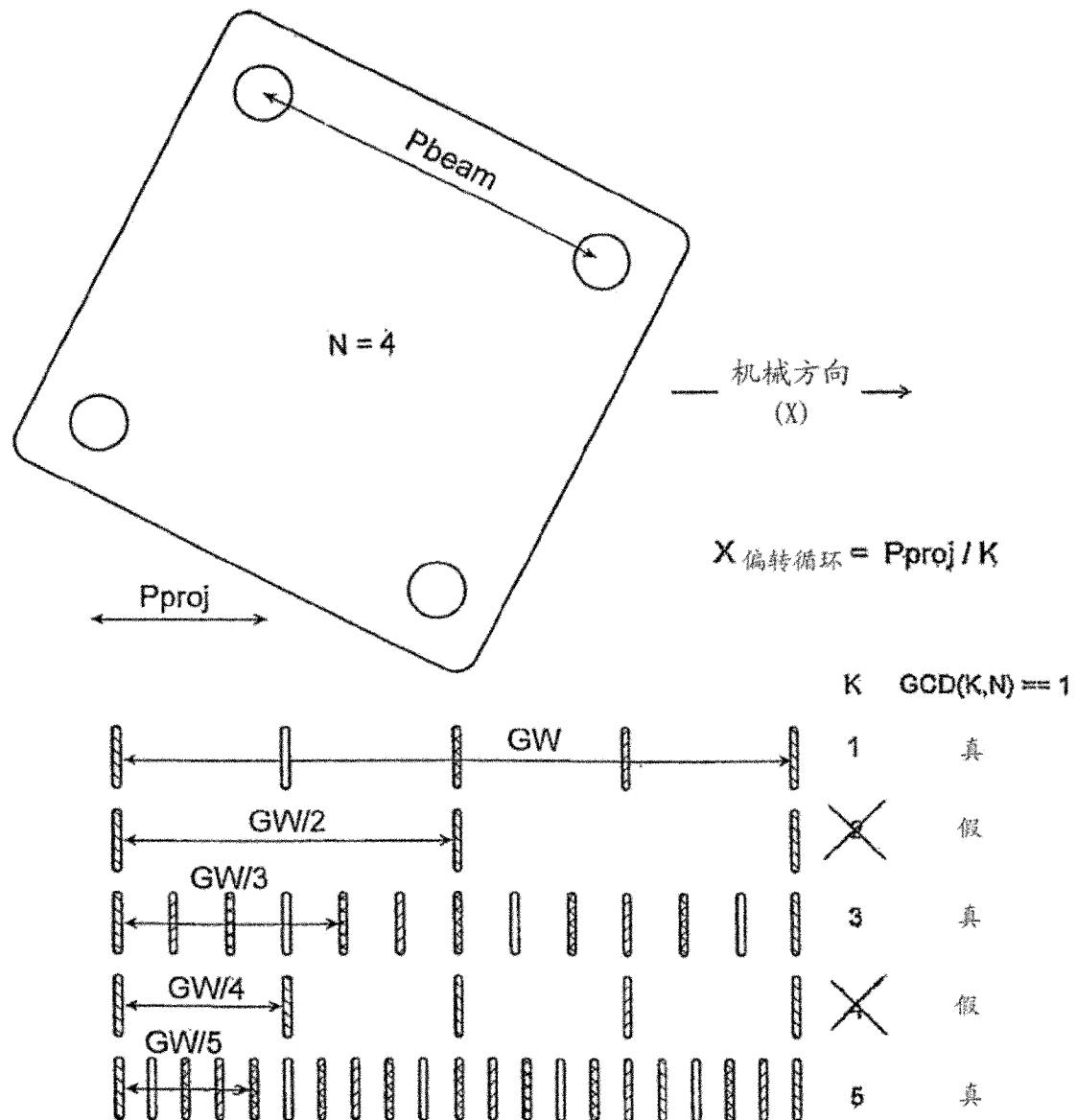


图14

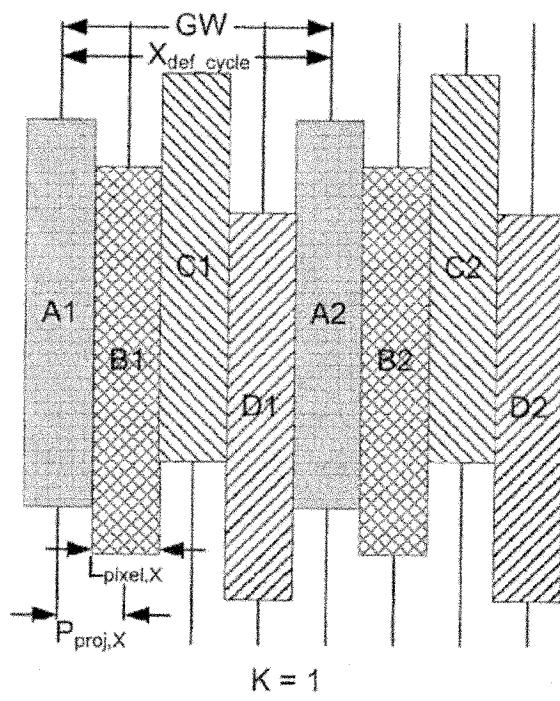


图15A

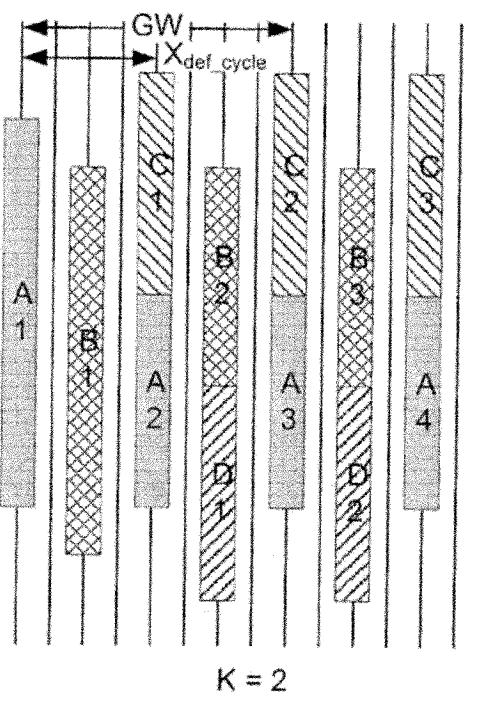


图15B

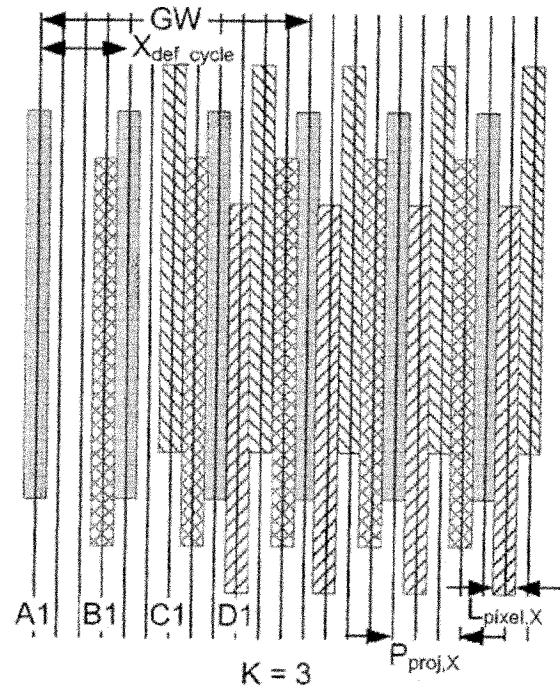


图15C

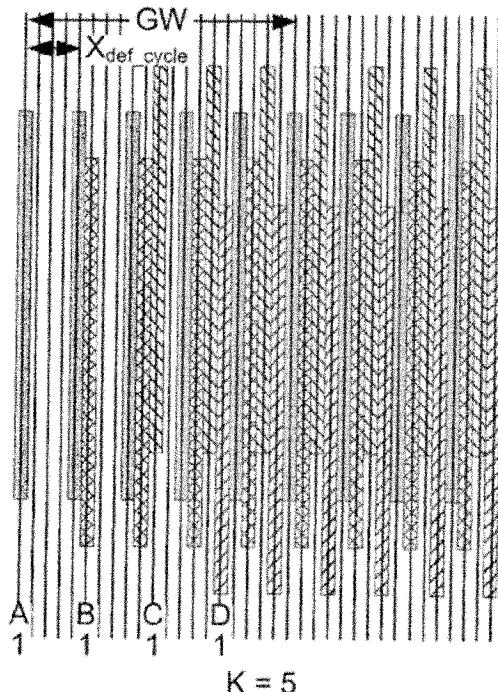


图15D

| N | α | P_{proj} | P_{proj}/L_{pixX} | K | L_{pix_X} (nm) | W_{proj} (nm) |
|-----|----------|------------|---------------------|---|----------------------|--------------------|
| 4 | 0.464 | 26.9 | 8 | 9 | 2.99 | 82 |
| 9 | 0.322 | 19.0 | 6 | 7 | 2.71 | 154 |
| 16 | 0.245 | 14.6 | 5 | 5 | 2.92 | 222 |
| 25 | 0.197 | 11.8 | 4 | 4 | 2.95 | 287 |
| 36 | 0.165 | 9.89 | 3 | 5 | 1.98 | 350 |
| 49 | 0.142 | 8.51 | 3 | 3 | 2.84 | 413 |
| 64 | 0.124 | 7.46 | 3 | 3 | 2.49 | 476 |
| 81 | 0.111 | 6.64 | 2 | 2 | 3.32 | 538 |
| 100 | 0.100 | 5.99 | 2 | 3 | 2.00 | 600 |

图16

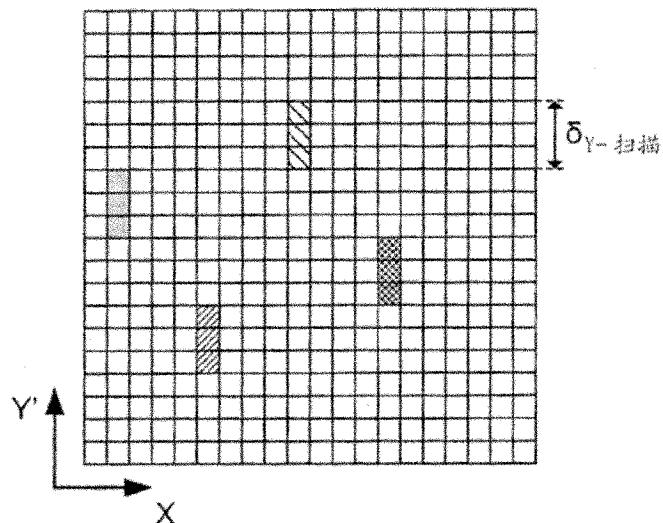


图17A

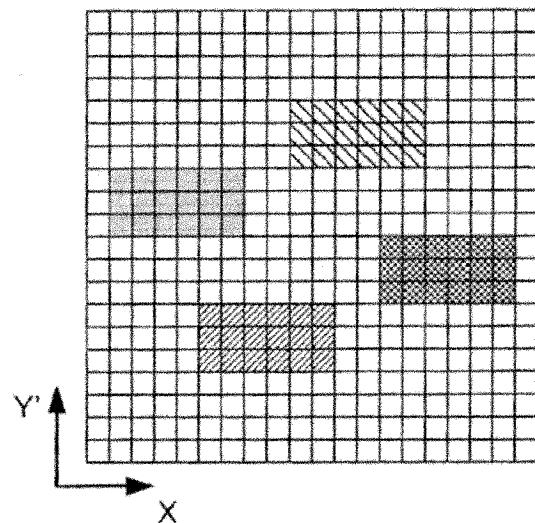


图17B

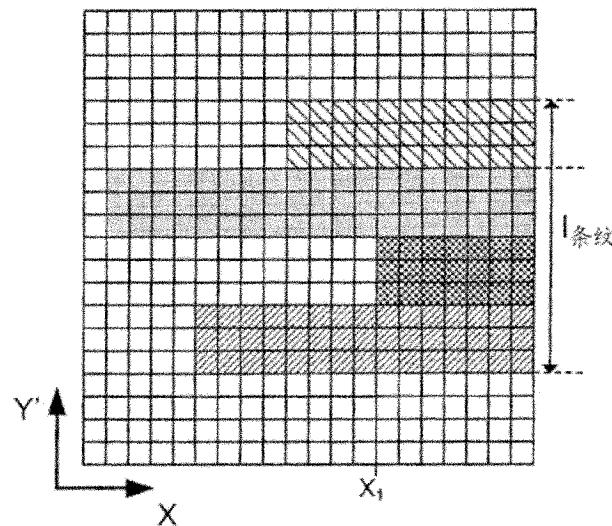


图17C

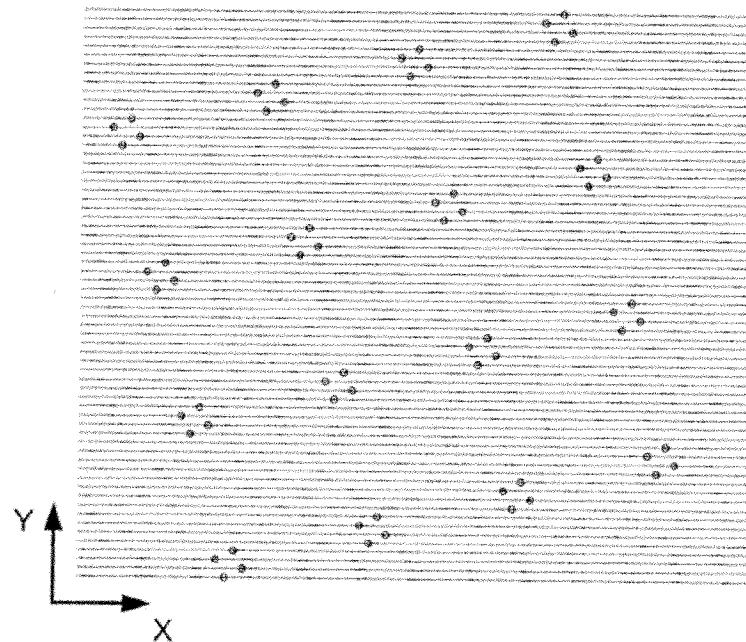


图18

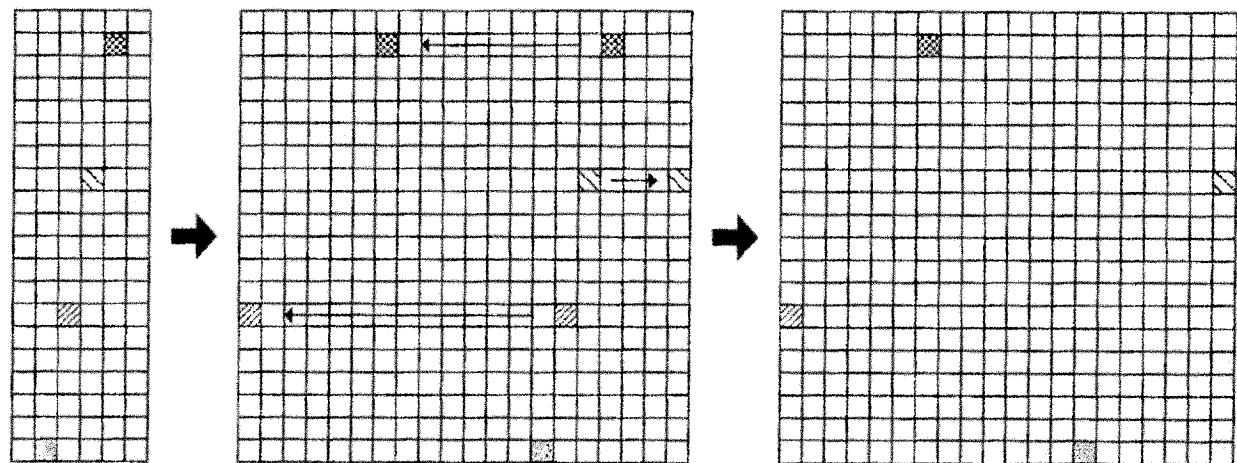


图19

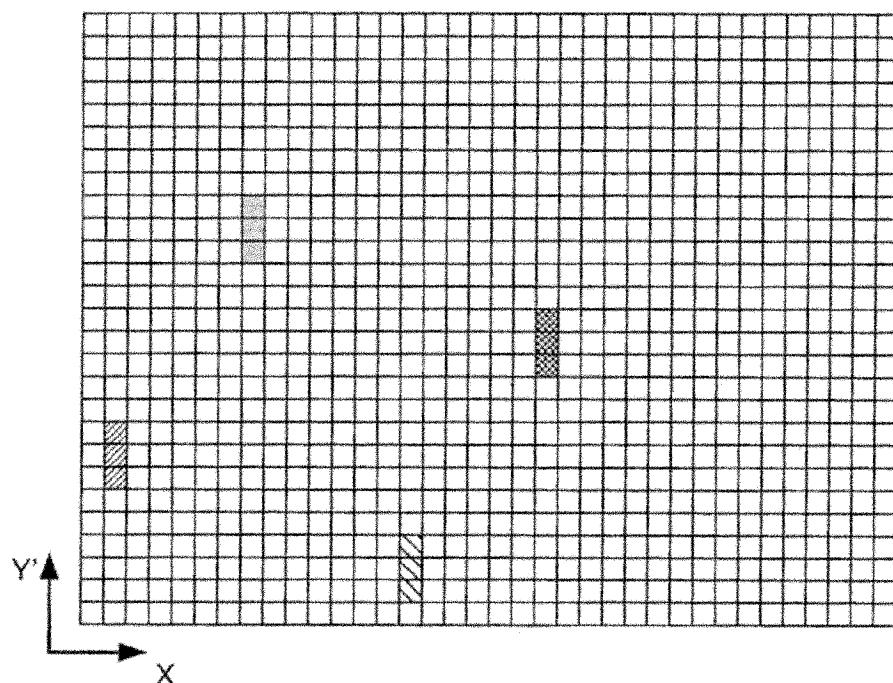


图20A

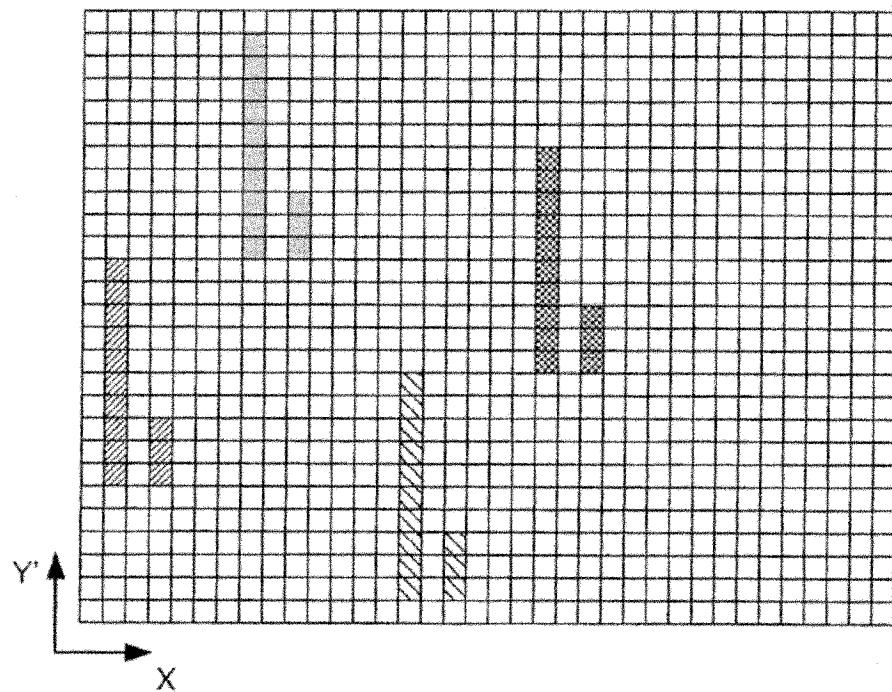


图20B

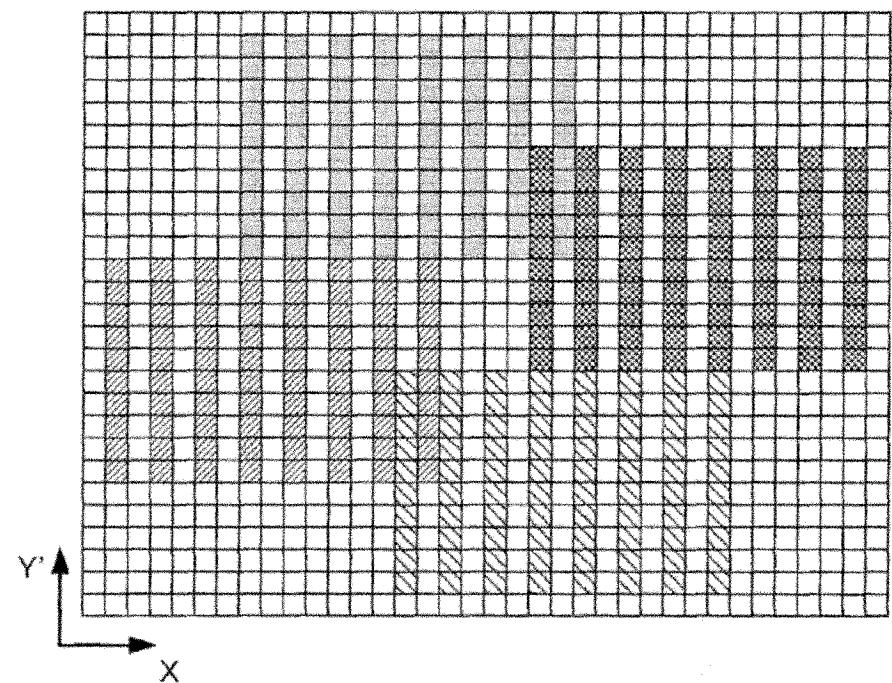


图20C

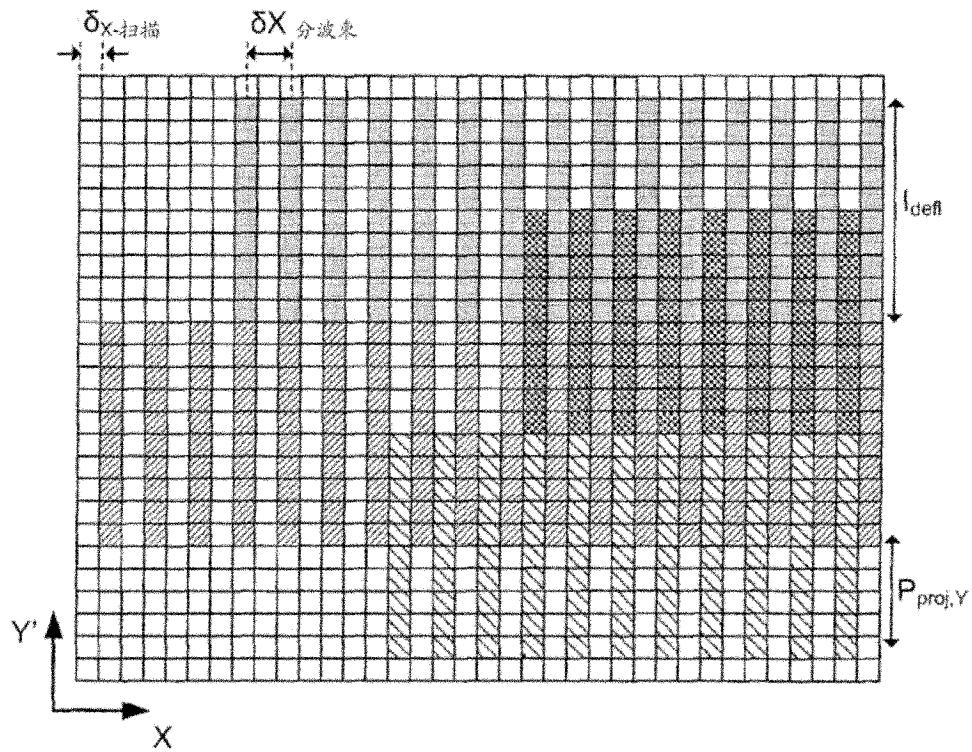


图20D