

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

H01J 37/317 (2006.01)



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 03808121.0

[45] 授权公告日 2008 年 7 月 9 日

[11] 授权公告号 CN 100401449C

[22] 申请日 2003.3.21 [21] 申请号 03808121.0

[30] 优先权

[32] 2002.4.10 [33] US [31] 10/119,290

[32] 2002.9.23 [33] US [31] 10/251,780

[86] 国际申请 PCT/GB2003/001222 2003.3.21

[87] 国际公布 WO2003/088299 英 2003.10.23

[85] 进入国家阶段日期 2004.10.10

[73] 专利权人 应用材料公司

地址 美国加利福尼亚州

[72] 发明人 阿德里安·默雷尔 伯纳德·哈里森

彼得·爱德华兹 彼得·金德斯利

逆濂卓郎 马文·法利 佐藤修

杰弗里·吕丁

[56] 参考文献

US4980562A 1990.12.25

US5898179A 1999.4.27

US5886356A 1999.3.23

WO00/05744A1 2000.2.3

US6323497B1 2001.11.27

审查员 范崇飞

[74] 专利代理机构 北京东方亿思知识产权代理有
限责任公司

代理人 柳春雷

权利要求书 3 页 说明书 15 页 附图 6 页

[54] 发明名称

衬底注入方法以及实施该方法的离子注入器

[57] 摘要

注入器提供对衬底的相对于注入束的二维扫描，使得束在衬底上画出扫描线的栅格。在离开衬底的转折点对束电流进行测量，并且电流值被用来控制随后的快速扫描速度，以补偿束电流的任何变化对慢速扫描方向上的剂量均匀性的影响。该扫描可以产生不相交的、均匀间隔的平行扫描线的栅格，并且线之间的间距被选择以确保适当的剂量均匀性。

1. 一种对衬底注入的方法，包括以下步骤：

a) 产生具有预定射束通量的所希望原子核素的注入射束，

b) 沿与射束方向垂直的第一方向机械平移衬底，以产生射束在衬底上的至少一次通过，

c) 沿与射束方向和所述第一方向垂直的方向，机械往复移动衬底，以在每次所述通过期间产生射束在衬底上的多次扫描，由此，所述多次扫描在衬底上画出多条线的栅格，所述多条线的中点在所述第一方向上具有预定间隔，

以及

d) 控制所述机械平移的步长，以选择栅格线的所述中点的所述间隔，使得所述栅格在所述第一方向上提供所述原子核素的被注入剂量在衬底上的理想的均匀性。

2. 根据权利要求 1 所述的方法，其中，所述控制步骤包括至少在所述第一方向上测量离子束的横截面分布，从所述分布计算所述中点所述间隔的最大值，所述中点的所述间隔提供所述理想的均匀性，以及调节机械平移步长，以选择不超过所述最大值的所述间隔的值。

3. 根据权利要求 1 所述的方法，其中，所述控制步骤包括至少在所述第一方向上测量离子束的横截面分布，从包括所述射束通量、所述机械往复移动的速度以及要被注入的衬底每单位面积的理想剂量的数据，计算所述间隔的理想值，然后使用所述测得的离子束横截面分布来计算将在所计算的理想间隔值处获得的剂量均匀性，以及仅当所述被计算的均匀性不比所述理想的均匀性差时，选择所述理想间隔作为要被使用的间隔。

4. 根据权利要求 3 所述的方法，其中，如果被计算的均匀性比所述理想的均匀性要差，则将射束通量减少到一个水平，在所述水平，所述被计算的剂量均匀性不再比所述理想的均匀性差。

5. 根据权利要求 3 所述的方法，其中，如果被计算的均匀性比所述理

想的均匀性要差，则修正离子束，以改善所述射束分布的空间混合品质，使得被计算的均匀性得到改善。

6. 根据权利要求 1 到 5 中的任一个所述的方法，其中，在所述通过中，衬底在连续的移动中平行于所述第一方向被机械平移。

7. 根据权利要求 1 到 5 中的任一个所述的方法，其中，衬底在射束的各对相继的扫描之间以多个平移步长平行于所述第一方向被机械平移，以完成衬底穿过所述射束的所述通过，由此，所述扫描在衬底上画出不相交的均匀间隔的基本平行的线的栅格。

8. 根据权利要求 7 所述的方法，其中，所述平移步长大小均匀。

9. 根据权利要求 7 所述的方法，其中，选择平移步长的所述均匀大小，使得在所述通过中所画出的栅格线的均匀间隔提供了所述理想的剂量均匀性。

10. 根据权利要求 8 所述的方法，其中，衬底平行于所述第一方向被机械平移以完成穿过所述射束的 n 次所述通过，并且不同次所述通过的平移步长具有相同的大小，并确定空间相位，使得由多次通过所画出的合成栅格具有均匀间隔的栅格线，所述均匀间隔是所述平移步长的所述大小的 $1/m$ 倍，其中 m 是 n 的整数因子。

11. 一种离子注入器，包括

产生具有预定射束通量的所希望原子核素的注入射束的离子束发生器，

用于夹持要被注入的衬底的衬底夹具，

机械扫描装置，所述机械扫描装置可操作以沿与射束方向垂直的第一方向平移夹具上的衬底，以产生射束在衬底上的至少一次通过，所述机械扫描装置可操作以沿与射束方向和所述第一方向垂直的方向机械往复移动衬底，以在每次所述通过期间产生射束在衬底上的多次扫描，由此，所述多次扫描在衬底上画出多条线的栅格，所述多条线具有在所述第一方向上被均匀间隔的中点，和

用于所述扫描装置的控制器，所述控制器控制衬底的所述平移，以选择所述中点的所述均匀间隔，使得所述栅格在所述第一方向上提供所述原

子核素的被注入剂量在衬底上的理想的均匀性。

12. 根据权利要求 11 所述的离子注入器，其中，所述机械扫描装置可操作以在所述通过中，在连续的移动中平行于所述第一方向平移夹具上的衬底。

13. 根据权利要求 11 所述的离子注入器，其中，所述扫描装置可操作以在射束的各对相继的扫描之间以多个平移步长平行于所述第一方向平移夹具上的衬底，以完成衬底穿过所述射束的所述通过，由此，所述扫描在衬底上画出不相交的均匀间隔的基本平行的线的栅格。

14. 根据权利要求 13 所述的离子注入器，其中，所述平移步长大小均匀。

15. 根据权利要求 14 所述的离子注入器，其中，所述控制器可操作以选择平移步长的均匀大小，使得在所述通过中所画出的栅格线的均匀间隔提供了所述理想的剂量均匀性。

16. 根据权利要求 14 所述的离子注入器，其中，所述机械扫描装置可操作以平移衬底，以完成穿过所述射束的 n 次所述通过，并且所述控制器可操作以将不同次所述通过的平移步长维持为具有相同的大小，并确定空间相位，使得由多次通过所画出的合成栅格具有均匀间隔的栅格线，所述均匀间隔是所述平移步长的所述大小的 $1/m$ 倍，其中 m 是 n 的整数因子。

衬底注入方法以及实施该方法的离子注入器

技术领域

本发明涉及对衬底进行注入的方法，其中衬底与注入射束之间的相对移动被控制，以在衬底表面上将所注入的核素维持在理想的且均匀的剂量。本发明还涉及适合于实施该方法的离子注入器。

背景技术

在通常的离子注入器中，横截面较小的所希望的核素的离子束相对于对要被注入的衬底而扫描，衬底通常是半导体晶片。

射束可以相对于静止的晶片在两维中横向扫描，或晶片可以相对于静止的射束在两维中横向扫描。也存在混合扫描技术，即射束在一维中扫描，而晶片在通常正交的第二方向上机械扫描。

各种技术都有优缺点。对于半导体晶片的批量处理，一批晶片可以被安装在转轮上，轮的转轴然后可以来回扫描，以提供晶片穿过静止射束的二维机械扫描。在美国专利 No. 5,389,793 中描述了这种批量注入器的例子。

单晶片注入器能够使用上面概述的混合机械和静电或电磁射束的扫描。在我们共同受让的美国专利 No. 5,898,179 中描述了这样的机构。这里，离子束在垂直于离子注入器射束轴的第一方向上电磁扫描，而晶片在通常正交的第二方向上机械地移动。

在注入操作中重要的是要确保被注入到半导体晶片或其他衬底中的所希望的核素总的剂量具有在整个衬底表面上理想水平的剂量均匀性。在上述批量类型的注入器中，这可以通过高速旋转注入转轮并且来回扫描轮轴，使得被安装在轮上的晶片在注入过程中多次穿过射束。同样在上面提到的混合单晶片注入器中，与要被注入的晶片的机械移动相比，通过以较高速度进行静电或电磁射束扫描，保持了剂量均匀性。通过控制该机械运

动的速度，保证在晶片机机械运动的方向中晶片表面上的剂量均匀性，但是机械运动总是比射束扫描速度慢得多。

发明内容

本发明实施例的一个目的是提供新的扫描算法，该算法能够提供特定的优点，这将从以下说明中变得清楚。

本发明提供一种对衬底注入的方法，包括以下步骤：a) 产生具有预定射束通量的所希望原子核素的注入射束，b) 沿与射束方向垂直的第一方向机械平移衬底，以产生射束在衬底上的至少一次通过，c) 沿与射束方向和所述第一方向垂直的方向，机械往复移动衬底，以在每次所述通过期间产生射束在衬底上的多次扫描，由此，所述扫描在衬底上画出多条线的栅格，所述多条线的中点在所述第一方向上具有预定间隔，以及 d) 控制所述机械平移的步长，以选择栅格线的所述中点的所述间隔，使得所述栅格在所述第一方向上提供所述原子核素的被注入剂量在衬底上的理想的均匀性。

这种二维机械扫描过程使得能够使用相对简单的射束线对晶片单个地（即，不是在批量处理中）注入，而不用比如上面所讨论的混合扫描单晶片注入器中所用的射束扫描系统。因为晶片的往复机械扫描可能与电学射束扫描相比相对较慢，所以射束对衬底的相对少的扫描被要求将所需要的由工艺配方规定的原子核素的剂量输送到衬底。这暗含着由扫描过程所产生的单个的栅格的线可以以离子束宽度的主要部分被间隔开。同样，完整的注入可以仅需要射束在衬底上的少量次数的通过（在上述与机械往复方向，即第二方向，垂直的第一方向上）。

上面提出的本发明的方法保证了栅格线的间隔仍然在衬底上提供了理想的剂量均匀性。同样，如果扫描在衬底中画出不相交的均匀间隔的基本上平行的线的栅格，则将得到最好的结果，这种栅格线可以通过在所述第一方向上在各对相继扫描之间使用多个平移步长获得。

上述控制步骤可以包括至少在所述第一方向上测量离子束的横截面分布，从所述分布计算提供所述理想的均匀性的所述中点的所述间隔的最大

值，并调节机械平移步长，以选择不超过所述最大值的所述间隔。

用于从所述测得分布计算提供了理想的均匀性的栅格线间隔最大值的技术，将在下面本发明的例子的描述中进行更加详细的说明。

替代地或者另外地，控制步骤可以包括测量上述横截面分布，从包括所述射束通量、所述机械往复的速度以及理想的被注入的衬底每单位面积的剂量来计算所述均匀的栅格线间隔的理想值，然后使用所述被测量的离子束横截面分布来计算在所计算的理想间隔值处将获得的剂量均匀性，并且仅在所述计算的均匀性不比理想的均匀性差时，选择所述理想的间隔作为要使用的间隔。

将会理解的是，给定所希望原子核素的预定射束通量以及已知的扫描速率，能够计算例如使用衬底四次通过射束时向衬底提供注入配方剂量所需的栅格线间隔。但是，用于获得理想配方剂量的这种理想栅格线间隔，仅仅在它产生理想的剂量均匀性时才被用于注入。如果所计算的均匀性比理想的均匀性要差，则可以将射束通量以及由此的线间隔减少到一个水平，在该水平，所述计算的剂量均匀性不再比所述理想的均匀性差。替代地或者同样地，可以采取步骤来改善所测量的射束分布的空间混合品质，这在下面将更加详细地说明。

在上面的概述以及随后的详细说明中，术语“栅格”被用来指代在被注入的衬底上由离子束画出的一组扫描线。单个栅格的扫描线可以在射束单次通过晶片中被画出（在慢速扫描方向中），或者可以由两次或多次连续的通过画出。应该注意到，栅格的单个扫描线可以由射束对衬底的多次重叠的扫描画出（在快速扫描方向上）。

本发明还提供一种离子注入器，包括：产生具有预定射束通量的所希望原子核素的注入射束的离子束发生器；用于夹持要被注入的衬底的衬底夹具；机械扫描装置，所述机械扫描装置可操作以沿与射束方向垂直的第一方向平移夹具上的衬底，以产生射束在衬底上的至少一次通过，所述机械扫描装置可操作以沿与射束方向和所述第一方向垂直的方向机械往复移动衬底，以在每次所述通过期间产生射束在衬底上的多次扫描，由此，所述多次扫描在衬底上画出多条线的栅格，所述多条线具有在所述第一方向

上被均匀间隔的中点；和用于所述扫描装置的控制器，所述控制器控制衬底的所述平移，以选择所述中点的所述均匀间隔，使得所述栅格在所述第一方向上提供所述原子核素的被注入剂量在衬底上的理想的均匀性。

附图说明

现在将参考附图描述本发明的示例，其中：

图 1 是图示了本发明实施例的离子注入器的示意图；

图 2 是图示了由图 1 的注入器执行来产生理想的栅格的机械扫描图案的示意图；

图 3 图示了可以被执行的另一种扫描图案；

图 4 图示了另一种扫描图案；

图 5 是表示在一维中的随机离子束强度分布的函数的图形；

图 6 是要被注入的半导体晶片的示图，示出了衬底上的扫描栅格，并图示了随机射束形状；

图 7 是表示通过快速傅立叶变换（FFT）计算的在衬底晶片上的相对于扫描栅格线空间频率的剂量均匀性的图形；

图 8 是表示相对于空间频率的剂量均匀性的类似的图形，示出了通过使用傅立叶变换的扩展性质（scaling property）绘出的另外的点；

图 9 是另一幅更加精确计算的表示相对于栅格线空间频率的剂量均匀性的图形；

图 10 是表示具有高斯函数形式的理想的射束分布的图形；

图 11 是表示对于图 10 的高斯分布，经计算的相对于扫描栅格线空间频率的剂量均匀性的图形。

具体实施方式

参考图 1，所图示的离子注入器包括离子源 10，通过引出电极 12 从该离子源 10 引出离子束 11。离子束 11 然后通过质量分析器磁体 13，通过质量分解狭缝 14，将具有理想质量的从质量分析器磁体 13 射出的离子从射束中挑选出来，其对应于含有要被注入的原子核素的离子。

离子注入器的这些部件是标准的，并且对于离子注入领域的工作人员来说是公知的。这些部件一起构成了离子束发生器，该离子束发生器产生离子的射束，这些离子包含用于注入到半导体晶片中的所希望的原子核素。

上述来自射束发生器的经质量选择的离子束进入到具有室壁的真空处理室，该室壁的一部分示出在 15。在 16 被总地图示的晶片扫描机构被安装在处理室的壁 15 上，并且可操作以在与经质量选择的离子束 19 垂直的两个方向上扫描被夹持在晶片夹具 18 中的晶片 17。晶片夹具 18 被安装在扫描臂 21 的末端 20，扫描臂 21 从处理室内部通过真空密封 22 延伸到处理室外部。真空密封 22 形成在滑板 23 中，在旋转承板 24 上，滑板 23 被安装用于沿扫描臂 21 的纵轴横向直线运动，旋转承板 24 又被安装用于相对于处理室壁 15 在与扫描臂 21 垂直的平面上旋转运动。

扫描臂 21 被安装来在滑板 23 上纵向移动，并且能够通过电机 25 在纵向来回被驱动。承载扫描臂 22 的滑板 23 自身能够通过驱动电机 26 垂直于扫描臂 21 被驱动。驱动电机 25 和 26 的适当操作产生了晶片夹具 18 及其上的任何半导体晶片在穿过离子束 19 的二维扫描图案中的组合扫描移动。

在一个适宜的例子中，扫描系统的旋转支撑板 24 被通过空气轴承和真空密封组合被安装在处理室壁 15 上，例如美国专利 No. 5,898,179 和 GB-A-2360332 中所公开的。类似地，再次通过上述美国专利说明书中公开的空气轴承和真空密封组合的方式将滑板 23 安装在旋转支撑板 24 上，以作直线运动。扫描臂 21 优选地被安装来由线性电机驱动，以纵向移动通过滑板 23 中的真空密封 22，并且与空气轴承真空密封机构相适应，所述空气轴承真空密封机构被公开在我们尚在审理的美国专利申请 No. 10/119290 中，这里将该申请说明书的内容全文引用。

在注入器的处理室中，法拉第器件（Faraday）位于晶片夹具 18 的下游位置，以在晶片夹具 18 被定位使得射束 19 不会撞击到夹具 18 上的晶片 17 或撞击到扫描臂 21 上的任何时候，吸收全部离子束 19。法拉第器件 30 从离子束所吸收的总电荷提供了对含有要被注入的原子核素的离子束 19

的通量测量。控制器 31 接收线路 32 上来自法拉第器件 30 的信号，并且可操作以从该信号中得到所希望的核素的总射束通量的值。控制器 31 也可操作以控制驱动电机 25 和 26 的操作，从而控制扫描臂 21 的扫描移动。

在优选的机构中，控制器 31 可操作以在图 1 的纸平面上以一系列的线性运动移动晶片夹具 18 穿过射束 19，每次线性移动通过与纸平面垂直的分步移动被分开。所得到的扫描图案如图 2 所示，其中虚线 35 是随着晶片 17 在 X 坐标方向上通过扫描臂 21 来回往复移动，并且在每次往复行程的末端平行于 Y 坐标方向向下变位时，晶片 17 的中心 36 的轨迹。

在图 2 中，离子束 19 被图示为具有基本上为圆形的横截面，其直径基本上小于晶片 17 的直径。实践中，晶片 17 的直径可以为 300 mm，而离子束的直径通常为 50 mm。如所能够看到的那样，晶片 17 的往复扫描动作确保了晶片 17 所有的部分能暴露于离子束 19。晶片 17 的移动使得射束 19 通过各个平行且等间隔的扫描对晶片 17 重复扫描，直到射束通过了整个晶片。

虽然图 2 的线 35 表示夹具 18 上的晶片 17 相对于静止的射束 19 的移动，但是线 35 也可以是对离子束通过晶片的扫描的直观表示。为此，在所图示的扫描图案中心的虚线轮廓 17a 表示晶片 17，离子束以 19a 表示。显然，离子束 19a 相对于晶片 17a 的移动是在晶片 17 相对于离子束 19 实际移动相反的方向上的。

在该例子中，控制器 31 对晶片 17 进行扫描，使得离子束 19a 在衬底上以不相交且均匀间隔开的平行线绘出栅格。每条线 37 对应于离子束在衬底上的单次扫描。如图所示，这些离子束扫描到超出了晶片 17 的边缘，到达了位置 38，在这里射束的横截面完全脱离了晶片 17a，使得晶片没有吸收到射束通量。在这些位置，射束 19a 的全部通量到达了位于晶片夹具 18 下游的法拉第器件 30，然后使得所希望核素的全部射束电流可以被控制器 31 从线路 32 上的信号确定。应该理解的是，在图 2 中射束 19a 在晶片 17a 上扫描的直观表示中，法拉第器件 30 有效地随着射束 19a 移动。当然，在实践中，射束 19 和法拉第器件 30 是固定的，而晶片 17 被移动。

假设要注入的原子核素的射束通量在时间上是恒定的，通过维持晶片 17 沿栅格线的移动速度恒定，使得被输送到晶片 17a 的所希望核素的剂量在栅格线 37 的 X 坐标方向上保持恒定。同样，通过保证各个栅格线 37 之间的间隔均匀，沿 Y 坐标方向上的剂量分布也基本保持恒定。

但是在实践中，在晶片 17 完全穿过整个离子束 19，即完成如图 2 所示的全部栅格线 37 的所用的时间期间，射束通量中可以有一些累积的变化。

为了减少射束通量在扫描栅格期间的这种变化的影响，控制器被安排以在位置 38 测量当整个射束通量都被法拉第器件 30 吸收时的射束通量，然后使用所测量的通量来调节晶片夹具 18 在下一次扫描或下一个栅格线 37 上移动的速度。如果在位置 38 的射束通量测量显示出射束通量已经变少，那么控制器保证晶片夹具以较低的速度沿着下一扫描线 37 被驱动，以维持在晶片夹具 18 沿扫描线移动的每单位距离上所希望的原子核素的注入率。以这种方式，在晶片上形成完整的扫描线栅格期间，射束电流的任何变化都不会导致被输送到衬底的剂量在扫描线间隔方向上变化。

至此在上述例子中，半导体衬底或晶片与离子束之间的相对运动是通过在与离子束垂直的两个方向上的机械扫描而提供的。这避免了使用离子束偏转系统来扫描离子束本身。但是，在不同的例子中，可以通过射束偏转器在两个横向方向中的至少一个方向上扫描射束，提供晶片和射束之间的二维相对扫描。但是，在所有情形中，扫描系统在一次或多次通过的每一次中对晶片产生了多重射束扫描，因此这些扫描在衬底上画出了具有不相交且均匀间隔的平行线的栅格。同样，在这些扫描超出晶片边缘的位置处，射束通量被测量，并且下一次扫描的速度被调整以将每单位扫描长度的剂量维持在理想的值。

在上述参考图 1 和图 2 的机械扫描系统中，晶片 17 在每次单独的扫描（即，扫描臂 21 沿其轴的往复运动的每次单独行程）之间平移均匀的距离，以产生如图 2 所示曲折图案。但是，可以控制扫描机构，使得能够沿相同的栅格线多次进行扫描。例如，每条栅格线可以表示扫描臂 21 的两次行程或往复移动，并且晶片夹具 18 然后仅在每两次行程之间平移均

匀的距离。所得到的扫描图案如图 3 所示。

同样，图 2 图示了射束平行于 Y 坐标方向在晶片上的单次通过，但是，完整的注入过程可包括多次通过。注入过程的每次这样的通过都可以被布置为绘出具有均匀间隔的线的各自独立的栅格。但是，多次通过的扫描线可以被组合起来，形成由多次通过的扫描有效地绘出的复合栅格。例如，可以在第一次通过的扫描之间的正好中间的位置绘出第二次通过的扫描，来产生具有均匀栅格线间隔的复合栅格，该间隔是每次通过的相继的扫描之间间隔的一半。

如上所述，单纯使用机械扫描系统通常将导致离子束在半导体晶片上的最大行进速度受制于晶片夹具的最大机械扫描速度。在图 1 所示类型以及上述美国专利申请 No. 10/119290 中所详细描述机械扫描系统中，扫描臂 21 沿其纵轴的最大往复速率可以是 1 Hz 的量级。对于给定的离子束电流或所希望注入的原子核素的通量，在离子注入过程期间，半导体晶片能够被暴露给离子束期间中的时间由要被注入的原子核素的配方剂量规定。假设晶片相对离子束的过扫描被限制在确保剂量在晶片上的平均分布所必需的量，即，比如图 2 所示的正方形栅格图案，可以看出，假设每次扫描都画出单独的线，被限制的总注入时间结合被限制的机械扫描速度，规定了在晶片表面上的扫描所画出的栅格线的间隔。

很清楚，为了确保在栅格线间隔的方向上被输送到晶片的剂量适当均匀，该间隔或线间距必须小于离子束在线间距方向（图 1 中的 Y 坐标方向）的横截面尺寸。在实践中，利用较小的栅格线间距，可以改善剂量均匀性。

通过进行单次通过，配方剂量能够被输送给晶片，以被射束电流、扫描机构的机械往复速率以及所需的配方剂量所规定的线间距，所述单次通过画出了扫描线的栅格。但是，优选的可以是以晶片多次通过离子束的方式，将相同的配方剂量输送给晶片，以减少由于与离子束碰撞所造成的热负载。然后，为了最大化剂量均匀性，在每次通过期间所画出的扫描线优选地被布置为与前次通过的扫描线相交错，以产生线间距较小的复合栅格。

例如，如果由上面所解释的配方剂量需求所规定的线间距为 T ，那么四次通过中的每一次都可以由间隔 $4T$ 的扫描得到。每次通过都被布置为将该次通过的扫描以量 T 在空间上相移，使得由四次通过所画出的复合栅格具有间距为 T 的线。这样，晶片的热负载得到降低，同时确保了栅格线间距被维持在理想的值 T 。图 4 图示了如上所述的四条相交错的扫描模式的一部分。

虽然机械扫描系统可使用的栅格线间距由配方剂量和射束电流规定，如上面所解释的那样，然而，重要的是确保线间隔或间距足够小，以在间隔方向上提供理想的剂量均匀性。该均匀性是射束分布形态和栅格线间距的函数。较小的间距产生晶片上更均匀的剂量分布。以下是均匀性如何作为平行线扫描图案的扫描间距的函数而变化数学描述。由于该分析涉及剂量分布的周期性模式，所以使用傅立叶变换作为工具。

在该研究中，假设射束电流和分布在注入期间不改变。不考虑时间相关性，虽然它很有可能。符号 τ 、 t 、 u 、 v 以及 T 被用作空间变量，类似地， ω 以及 $1/T$ 作为空间频率。

在平行线扫描器中，在晶片上的位置 t 的注入剂量 $h(t)$ 可以使用周期性 δ 函数写为：

$$h(t) = \int_0^1 b(\tau) \cdot \delta_T(t - \tau) d\tau, \quad (\delta_T(t - \tau) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(t - \tau - nT)) \quad 1)$$

其中 $b(\tau)$ 是在慢速扫描方向（图 2 中的 y ）上的射束分布， $\delta_T(\tau)$ 是周期 T 的周期性 δ 函数。 T 对应于复合栅格中的栅格线之间的一次平移步长或间距。图 5 图示了这些函数，图 6 图示了栅格扫描图案。晶片 17 以由恒定距离 T 间隔开的平行线，在射束 19 前被扫描。为了简单， $b(\tau)$ 被定义在范围 $[0, 1]$ 内。换句话说，步长 T 被标准化为实际射束大小。等式 1 给出了在一次完整的慢速扫描或以 $1/T$ 快速扫描的一次完整的栅格之后，在位置 t 的累积剂量。剂量 $h(t)$ 也是具有周期 T 的周期函数。

等式 1 的函数的傅立叶变换定义如下：

$$\begin{aligned} b(t) &\xrightarrow{FT} B(\omega) \\ \delta_T(t) &\xrightarrow{FT} \Delta_{\omega_0}(\omega) \\ h(t) &\xrightarrow{FT} H(\omega) \end{aligned}$$

周期性 δ 函数的傅立叶变换同样是周期性 δ 函数。

$$\Delta_{\omega_0}(\omega) = \omega_0 \cdot \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(\omega - n\omega_0), \quad \omega_0 = 2\pi/T \quad (2)$$

使用上述卷积定理和符号，等式 1 可以如下变换：

$$\begin{aligned} H(\omega) &= B(\omega) \Delta_{\omega_0}(\omega) = \omega_0 \cdot B(\omega) \cdot \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(\omega - n\omega_0) \\ &= \omega_0 \cdot \sum_{n=-\infty}^{\infty} B(n\omega_0) \delta(\omega - n\omega_0) \end{aligned} \quad (3)$$

这是一个重要的结果。等式 3 示出剂量 $h(t)$ 的傅立叶变换由一系列具有恒定间距 $\omega_0 = 2\pi/T$ 的脉冲构成，并且每个脉冲在 $\omega = n\omega_0$ 的幅度等于 $\omega_0 B(n\omega_0)$ ，即在 $\omega = n\omega_0$ 时，为射束分布的谱密度的 ω_0 倍。

注入的方差 σ^2 如下定义：

$$\sigma^2 = 1/T \cdot \int_0^T (h(t) - \overline{h(t)})^2 dt \quad (4)$$

其中， $\overline{h(t)}$ 是平均剂量。由于 $h(t)$ 是周期为 T 的周期性函数，因此在范围 $[0, T]$ 内积分。

$$\overline{h(t)} = 1/T \cdot \int_0^T h(t) dt = H(0) = \omega_0 \cdot B(0) \cdot \delta(\omega) \quad (5)$$

如果剂量偏差被写作 $f(t) = h(t) - \overline{h(t)}$ ，并且 $f(t) \xrightarrow{FT} F(\omega)$ ，那么根据等式 4，

$$\sigma^2 = 1/T \cdot \int_0^T f(t)^2 dt$$

这是 $f(t)$ 的幂的定义。使用帕萨瓦尔 (Parseval) 定理，这能够被表示为：

$$\sigma^2 = \sum_{n=-\infty}^{\infty} |F_n|^2$$

其中 $|F_n|$ 是 F 的第 n 项的幅度。

根据等式 3 和等式 5，

$$\begin{aligned} F(\omega) &= H(\omega) - H(0) = \omega_0 \cdot \sum_{n=-\infty}^{\infty} B(n\omega_0) \cdot \delta(\omega - n\omega_0) - \omega_0 \cdot B(0) \cdot \delta(\omega) \\ &= \omega_0 \cdot \sum_{n=-\infty}^{-1} B(n\omega_0) \cdot \delta(\omega - n\omega_0) + \omega_0 \cdot \sum_{n=1}^{\infty} B(n\omega_0) \cdot \delta(\omega - n\omega_0) \end{aligned}$$

由于 $b(t)$ 是实数， $|B(n\omega_0)| = |B(-n\omega_0)|$ 。

因此,

$$\sigma^2 = 2 \cdot \omega_0^2 \cdot \sum_{n=1}^{\infty} |B(n\omega_0)|^2$$

标准差 σ 是

$$\sigma = \omega_0 \cdot \sqrt{2 \cdot \sum_{n=1}^{\infty} |B(n\omega_0)|^2} \quad (6)$$

被标准化为平均剂量 $\overline{h(t)}$ (见等式 5) 的相对标准差 σ_r 是

$$\sigma_r = \sigma / \overline{h(t)} = \sqrt{2 \cdot \sum_{n=1}^{\infty} |B(n\omega_0)|^2 / B(0)} \quad (7)$$

等式 6 和等式 7 说明了剂量的非均匀性如何依赖于 ω_0 , 并且由此如何依赖于慢速扫描步长 T 。以频率 $1/T$ 注入的剂量的标准差由射束函数的谱密度中的 $B(n\omega_0)$ ($\omega_0 = 2\pi/T$, $n=1, 2, \dots$) 的幅度构成。 σ 不包含 $\omega \neq n\omega_0$ 或 $\omega=0$ 的幅度 $B(\omega)$ 。等式 6 和等式 7 只有在进行无限求和时在数学上才是准确的。但是, $B(\omega)$ 通常是 ω 的快速递减函数, 通过仅仅加总级数中的几个较低的谐波项就可以得到 σ 和 σ_r 的相当好的近似。

在连续的频域中计算 $B(\omega)$ 是费时的。代替地, 人们可以使用快速傅立叶变换 (FFT) 导出对离散频率的 $B(\omega_n)$ 值, $\omega_n = 2n\pi$ ($n=0, 1, 2, \dots$)。对包含有 2^I 个数据点的射束分布进行 FFT, 仅仅产生直到 $\omega_{I-1} = 2\pi \cdot 2^{I-1}$ 的 $B(\omega)$ 。例如, 如果对射束分布函数进行测量, 并得知其每个元素与 $b(\Delta\tau \cdot m)$ ($m=1, 2, \dots, 2^7$) 相对应的矢量, 则人们能够获得直到频率为 $2^{7-1} = 64$ Hz 的 $B(\omega)$ 。然后, 等式 6 和等式 7 分别提供频率直到 $2^{7-2} = 32$ Hz 的相当精确的 σ 和 σ_r 值。通过使用傅立叶变换的扩展性质, 能够在非整数频率得到 $B(\omega)$ 。使用 $\alpha > 1$ 作为扩展因子, 函数 $b(\alpha t)$ 的傅立叶变换产生对于一系列频率 $\omega_n = 2n\pi/\alpha$ ($n=0, 1, 2, \dots$) 的 $B(\omega)/\alpha$ 。

图 7 示出了对于图 5 所示的随机射束分布函数, 作为频率 ($1/T$) 的函数所计算的 σ_r 值。对于 $b(\Delta\tau \cdot m)$ 进行 FFT, 直到长度为 2^7 。对于 σ_r 一个通常的要求是, 在注入后要小于 0.5%。

从图形中, 人们可以选择 $1/T > 8$ 作为注入扫描空间频率。于是慢速扫描步长或标准化的扫描栅格线间隔 T 应该比间隔方向 (Y) 的射束尺度的 $1/8$ 小, 以满足剂量均匀性 $\sigma_r < 0.5\%$ 的要求。

在图 8 中, 示出了在使用两个不同的 α 值对 $B(\omega)$ 应用扩展性质之后

的 σ_r 的点。

在图 9 中, FFT 的结果与通过等式 4 被准确计算的结果进行比较。尽管射束分布 $b(t)$ 仅仅是在 $2^7=128$ 个点上取样, 但是 FFT 很好地符合准确的曲线。应该注意, 除了随频率增加的快速递减趋势之外, σ_r 具有周期性的模式。

如果射束分布函数是高斯函数, 如图 10 所示, 则随着扫描间距减少, σ_r 迅速递减。这是因为高斯函数的傅立叶变换也是高斯函数, 如下所示:

$$b(t) = \exp(-\alpha^2 t^2) \xrightarrow{FT} B(\omega) = 1/(\sqrt{2} \cdot \alpha) \cdot \exp(-\omega^2 / 4\alpha^2) \quad 8)$$

能够看出, 由于 $|B(n\omega_0)|^2 = 1/(2 \cdot \alpha^2) \cdot \exp(-n\omega_0^2 / 2\alpha^2)$ 项, σ 快速地逼近 0。等式 8 中较小的值给出了较宽的分布和更快的 σ 递减。

图 11 中所示出的图形图示了 $\alpha=5.7$ 的情形。在 $1/T=4.3$ Hz 时, σ_r 降低到 0.5% 以下。这几乎是图 5 的随机射束分布频率的一半。

综上所述, 对于间隔方向上的特定的射束分布函数, 可以使用快速傅立叶变换方法来计算在具有栅格线间距的栅格线间隔方向上, 晶片上的剂量均匀性的变化。在操作中, 上述计算可以通过计算机快速进行, 比如用于其他注入器控制功能的计算机。对此, 可以使用公知的 FFT 处理器或软件应用程序。除 FFT 技术外, 也可以用其他方法计算均匀性, 比如通过计算机模拟。

当使用上述扫描过程进行注入时, 选择扫描的栅格线间隔的值, 该值相对于间隔方向中的射束尺寸足够小, 以确保在该方向上的剂量均匀性满足要求标准, 在上述例子中该标准是小于 0.5%。

可以使用许多不同的过程来确定离子束在栅格线间隔方向上的分布函数, 来在上述剂量均匀性计算中使用。例如, 可以使用在上述美国专利申请 No. 10/119290 中公开的机构。在该机构中, 具有通常为 1 cm^2 开口的小法拉第器件被安装在扫描臂 21 上, 使得它能够通过用于在其两个组成方向上驱动扫描臂 21 的电机 25 和 26 的适当操作, 被扫描通过离子束。那么在 X 和 Y 方向上由射束的横截面分布可以构成完整的二维图谱, 并且能够计算 Y 方向上的有效分布函数。

使用在 Y 方向上的测得的分布函数，能够计算作为上述能够提供理想的剂量均匀性的栅格线间隔或间距的被概括的上限的最大值。当进行注入时，扫描机构然后被控制，以确保所使用的栅格线间隔不会超过所计算的最大值。

在实践中，经常希望使用这样的用于扫描的栅格线间隔，其根据可得到的射束电流、依照注入配方的晶片每单位面积所要注入的离子剂量以及扫描机构能够完成穿过射束的理想的多次通过的速度（其又依赖于 X 方向上的最大扫描速度）被计算得到。因此，在进行注入前，已经测量射束横截面分布以及可得到的射束电流后，计算理想的栅格线间隔值。然后，将理想的线间隔与对不同线间隔所获得的经计算得到的剂量均匀性的变化进行比较，以确保计算出的理想间隔值将给出所要求的剂量均匀性。只有在计算的间隔值提供了满意的均匀性时才进行注入。

如果使用理想的间隔值计算的均匀性比理想的均匀性要差，那么可以降低射束通量。降低射束通量导致所计算的线间隔也减小。射束通量被减少到这样的水平，即在该水平，所计算的剂量均匀性满足所要求的标准。可以通过调节离子源的一个或多个工作参数降低射束通量，这些参数包括气体被送入源的电弧室的速率、电弧电源功率、阴极功率、引出电压以及引出电极距离离子源的间距。技术人员将知道适当的调整。或者，可以通过改变沿射束路径在选定位置的射束缝隙，来调节射束通量，从而减少通过该缝隙的射束电流。

替代地或者同样地，可以通过修正射束分布来改善所计算的均匀性。如上所证明的那样，如果射束分布较接近高斯形态，那么射束的混合属性可以相当大地被改善，使得以较大的栅格线间隔获得良好的剂量均匀性。以本领域工作人员所熟知的方式重调射束，能够改善射束分布。重调能够在射束从离子源到达处理室时，最小化射束的削波（clipping），并由此从射束分布中去掉不理想的不对称或峰。例如可以通过调节离子源引出电极相对于该源的电弧室的横向位置来重调射束，以确保沿着注入器射束线的最佳飞行路径居中地引导所引出的射束。也可以通过在射束线中引入单个磁四极来修正射束分布，以产生 Y 方向上理想的射束散布。

在这一过程中，射束分布被重新测量，并且从满足所要求的均匀性规定的角度，使用理想的线间隔重新计算得到的均匀性。

在本发明上述的例子中，控制扫描机构来提供在相继的快速扫描之间具有均匀步长运动的步进的慢速扫描，以在晶片上产生平行的扫描线。在本发明的其他实施例中，可以连同同时的快速扫描进行连续的慢速扫描动作，以在晶片上产生折线形的扫描图案，如图 12 所示。在慢速扫描方向 40 上容许的剂量均匀性仍然能够获得，例如，如果相继的扫描的中点 41、42 在慢速扫描方向上被均匀地间隔。但是，可以看出，在中心线 44 的两侧，相继的线对之间的间隔逐渐变得不同的地方，朝向晶片 43 的边缘，剂量均匀性逐渐被损害。但是，如果（线中点之间的）间距与慢速扫描方向上的射束大小相比足够小，则在整个晶片上能够获得适当的均匀性。还很重要，控制相对于快速扫描往复速率的慢速扫描，来获得足够小的线中点间隔，从而提供理想的均匀性。慢速扫描方向上的剂量均匀性可以在接近晶片边缘的位置被计算，在这里由折线形扫描图案对均匀性所造成的损害将最大。可以使用与上面针对平行线扫描所讨论的类似的傅立叶变换技术来进行这些计算。或者，可以使用计算机模拟技术。

为了确保在慢速扫描方向上良好的整体均匀性，通过对射束分布形态的了解进行计算来确定（线中点之间的）最小间距大小。随后对晶片的扫描必须保持间距大小不大于这一计算出的最小值。

由于使用平行线扫描，所以可能需要减小射束电流或改善射束分布，以在不超过在晶片上所要求的配方剂量的条件下获得所要求的最小间距大小。

为了补偿在通过期间射束电流的任何变化，在相继的快速扫描之间的转折点测量射束电流，并相应地控制随后的快速扫描的速度。快速扫描的往复速率优选地被保持恒定，使得快速扫描速度的变化不会影响扫描线中点之间的间距。例如，这可能需要每次快速扫描转折时可得到的一些停滞时间，以适应由于快速扫描速度减少所导致的快速扫描时间的增加。

在上述例子中，所公开的机械系统是基于上面所引用的美国专利申请 No. 10/119290 中所描述的结构。任何其他形式的机械扫描机构也可以被用

来提供理想的间隔相等且平行的栅格线。例如，可以使用在 2002 年 6 月 21 日提交的英国申请 No. 0214384.0 中公开的铰接臂扫描机构。

同样，形成平行栅格线的衬底夹具的扫描并不需要是精确的直线，而是例如可以被形成为同心圆的弧。

可以使用许多其他的安排来提供如所附权利要求中所规定的本发明的实质性特征。

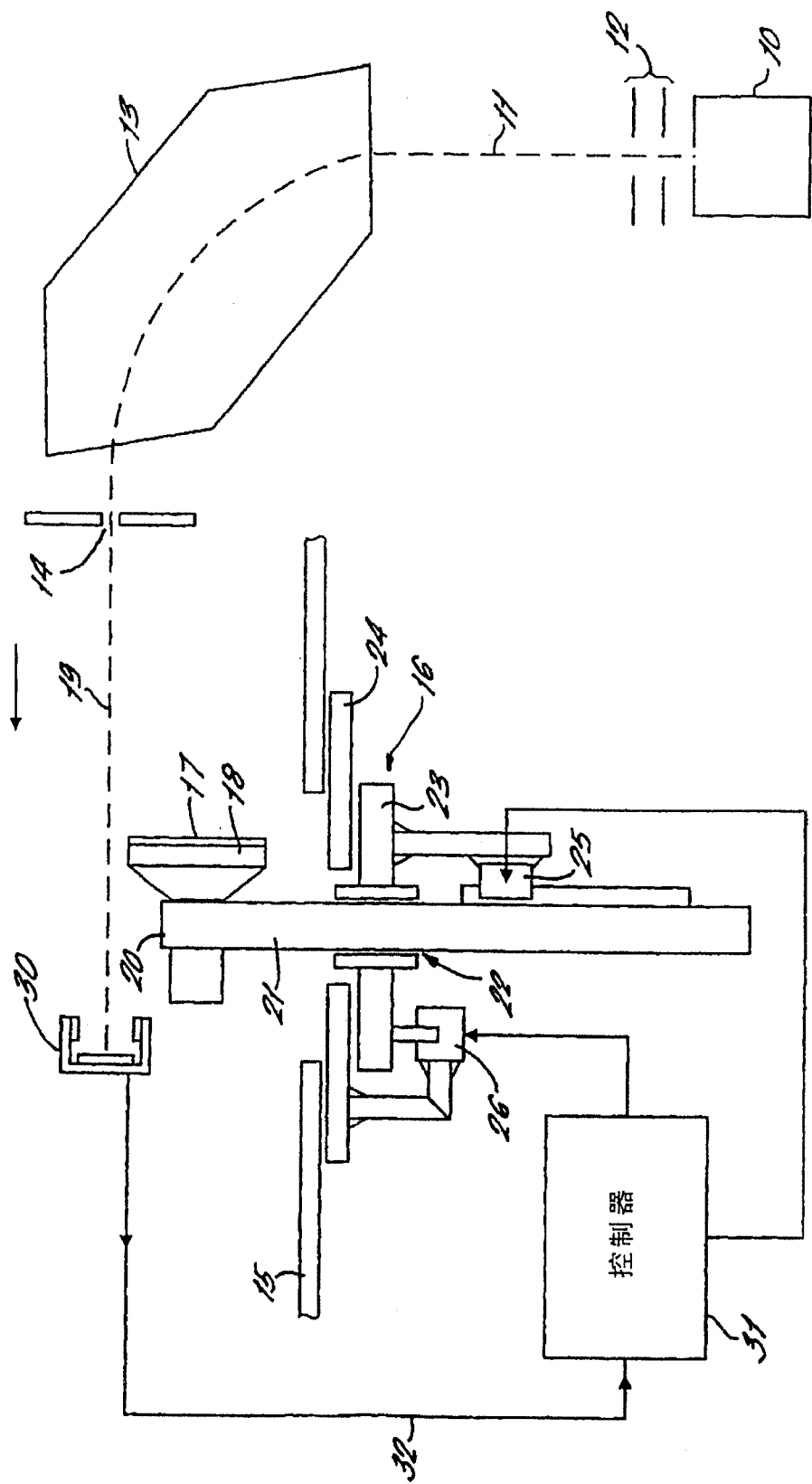


图1

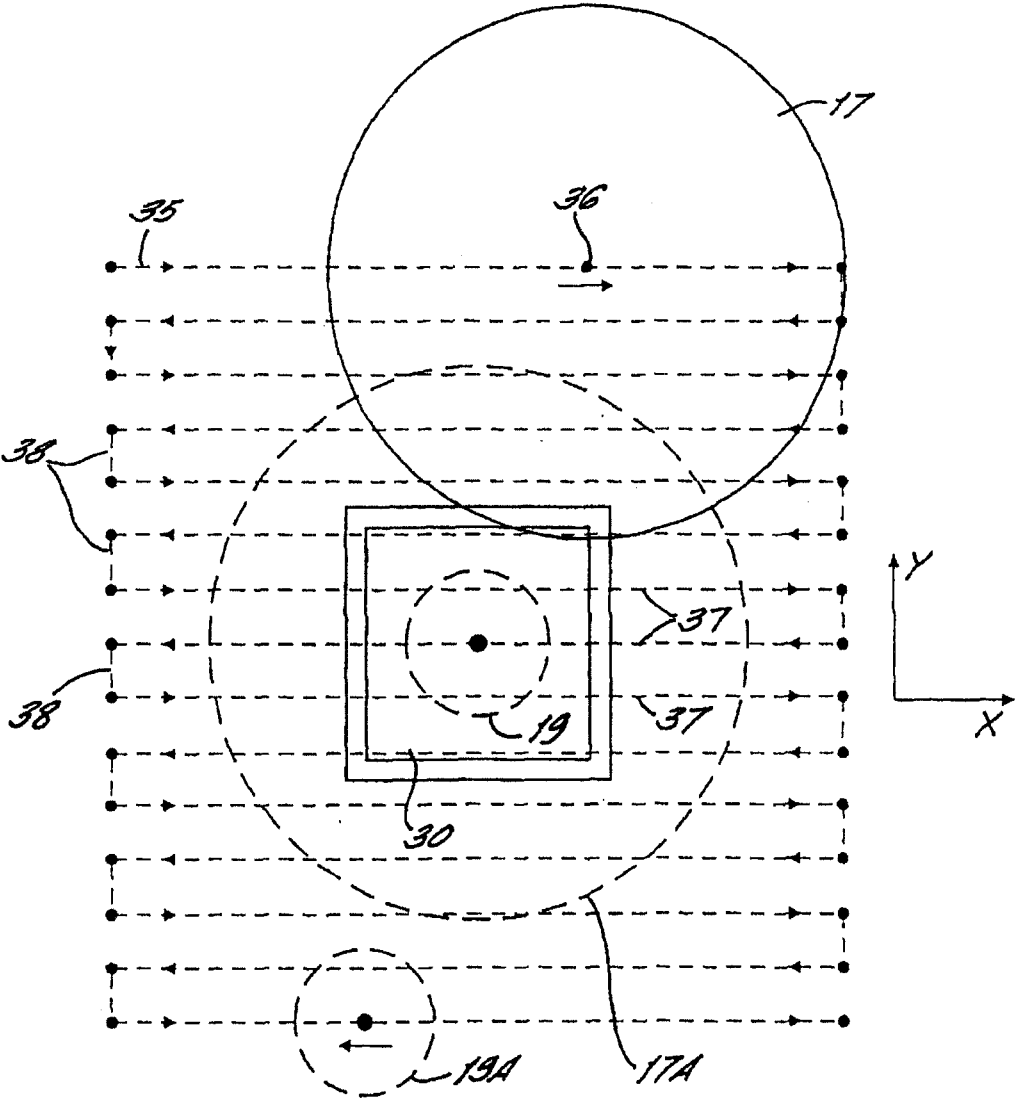


图2

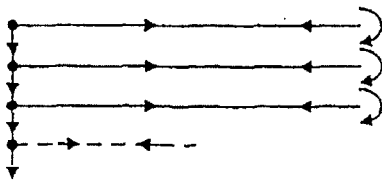


图3

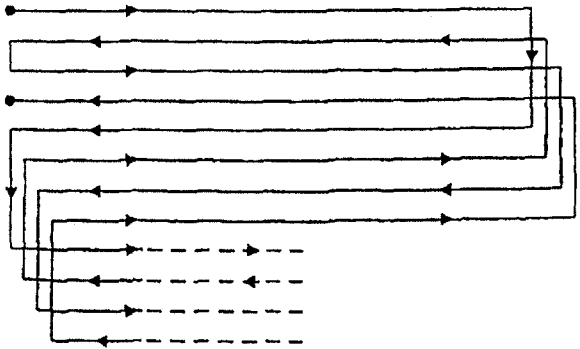


图4

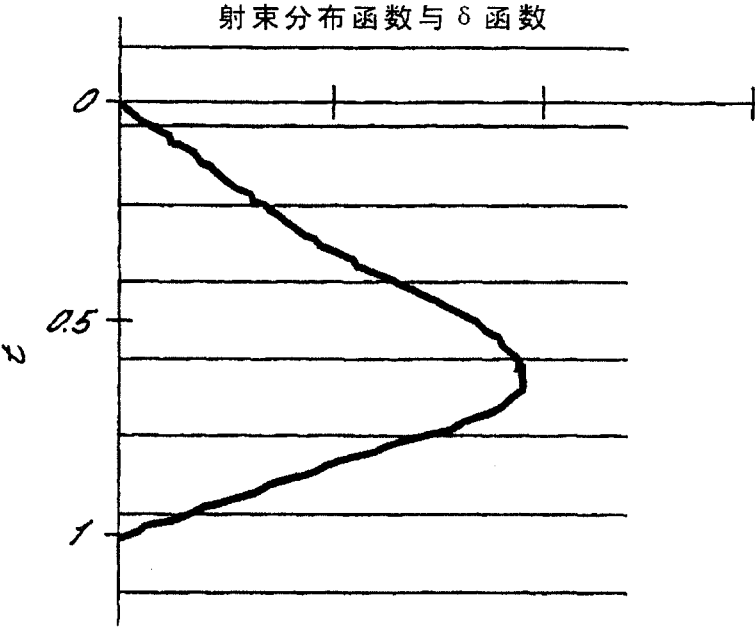


图5

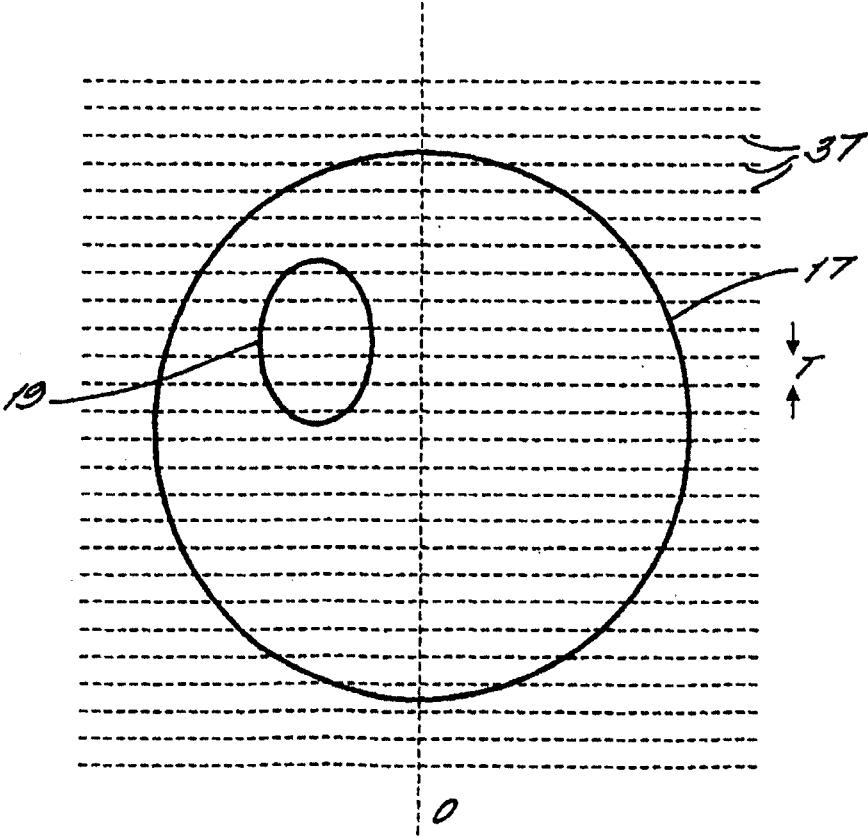


图6

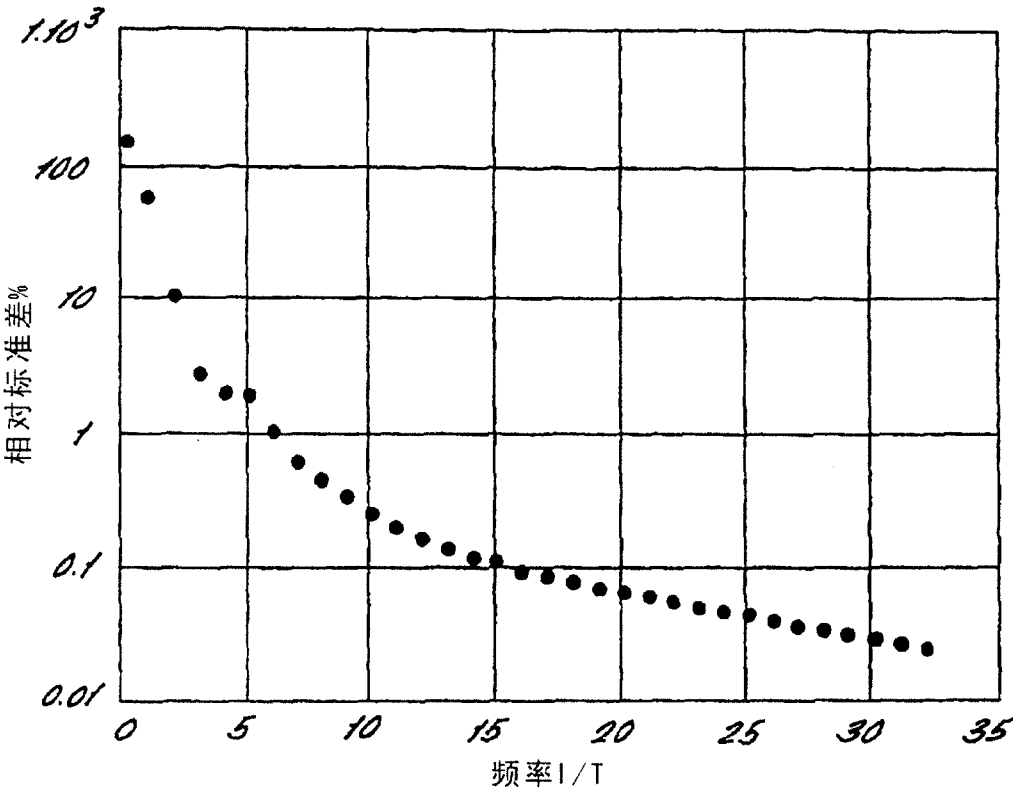


图7

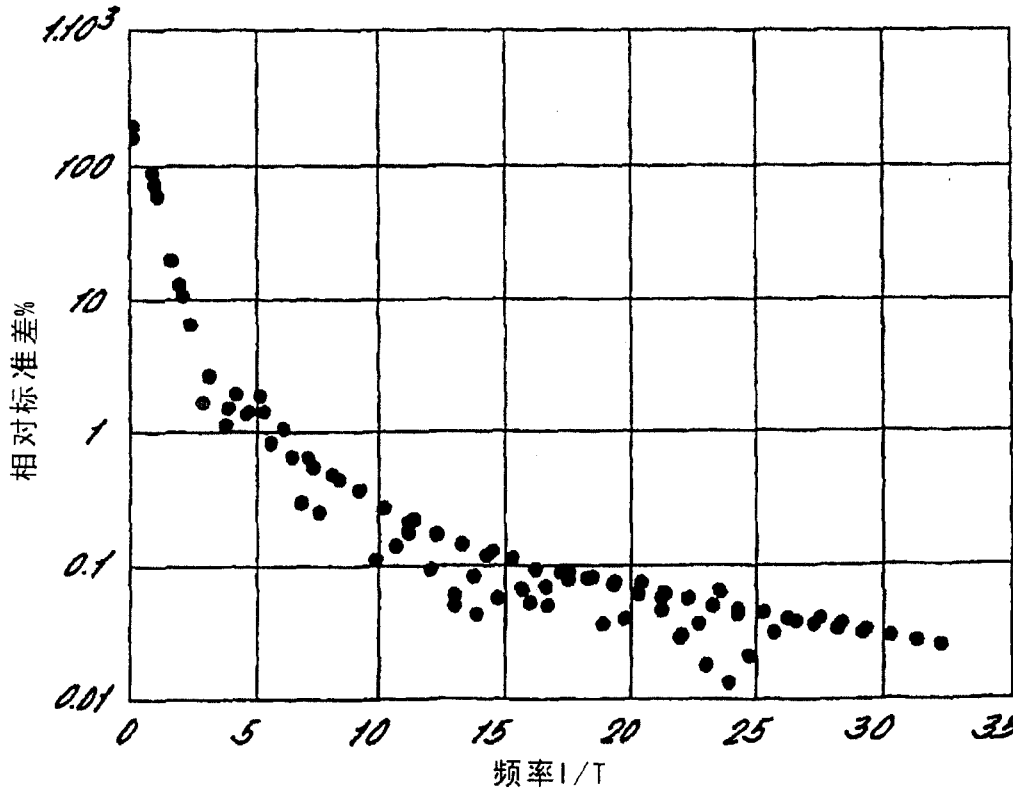


图8

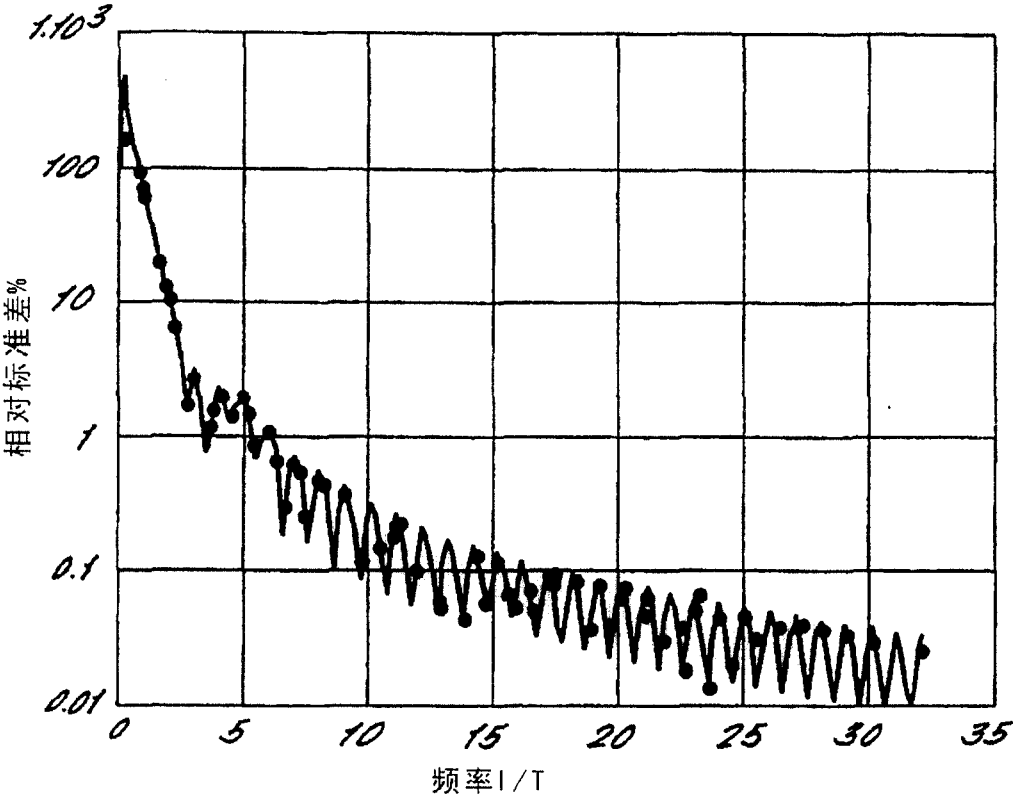


图9

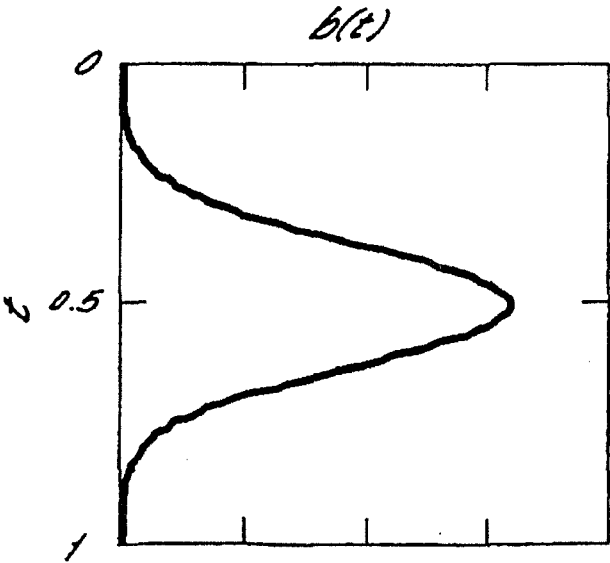


图10

