



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 110036456 B

(45) 授权公告日 2022.04.05

(21) 申请号 201780074833.4

(22) 申请日 2017.12.06

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 110036456 A

(43) 申请公布日 2019.07.19

(30) 优先权数据

15/371,557 2016.12.07 US

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2019.06.03

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/US2017/064958 2017.12.06

(87) PCT国际申请的公布数据

W02018/106833 EN 2018.06.14

(73) 专利权人 科磊股份有限公司

地址 美国加利福尼亚州

(72) 发明人 姜辛容 C·西尔斯

(74) 专利代理机构 北京律盟知识产权代理有限公司 11287

代理人 刘丽楠

(51) Int.CI.

H01J 37/153 (2006.01)

H01J 37/147 (2006.01)

(56) 对比文件

US 2015034836 A1, 2015.02.05

CN 103703537 A, 2014.04.02

US 2016329189 A1, 2016.11.10

审查员 裴亚芳

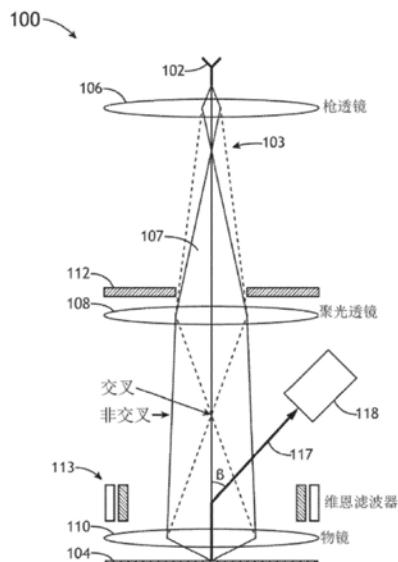
权利要求书4页 说明书9页 附图12页

(54) 发明名称

用于电子束系统中的像差校正的方法及系统

(57) 摘要

一种本发明揭示一种用于执行电子显微术的电子光学系统。所述系统包含电子束源，所述电子束源经配置以产生初级电子束。所述系统包含源透镜、聚光透镜及物镜，其沿着光轴安置。所述系统包含：第一维恩滤波器，其沿着所述光轴安置；及第二维恩滤波器，其沿着所述光轴安置。所述第一维恩滤波器及所述第二维恩滤波器安置于所述源透镜及所述物镜之间。所述第一维恩滤波器经配置以校正所述初级束中的色像差。所述系统还包含检测器组合件，所述检测器组合件经配置以检测源自样品的表面的电子。



1. 一种电子光学系统，其包括：

电子束源，其经配置以产生初级电子束；

样品台，其经配置以紧固样品；

一组电子光学元件，其经配置以将所述初级电子束的至少一部分导引到所述样品的部分上，所述组电子光学元件包括：

源透镜，其沿着光轴安置；

聚光透镜，其沿着所述光轴安置；

物镜，其沿着所述光轴安置；

第一偏转器组合件，其沿着所述光轴安置；及

第二偏转器组合件，其沿着所述光轴安置，所述第一偏转器组合件及所述第二偏转器组合件安置于所述源透镜与所述物镜之间，其中所述第一偏转器组合件经配置以校正所述初级电子束中的色像差，其中所述第一偏转器组合件或所述第二偏转器组合件中的至少一者包括维恩滤波器；及

检测器组合件，其经配置以检测源自所述样品的表面的电子，且

其中所述第一偏转器组合件具有第一色像差系数 C_{c1} ，且所述第二偏转器组合件具有第二色像差系数 C_{c2} ，其中所述第一色像差系数为 $C_{c1} = \frac{P1'}{Q} \left(\frac{1}{P1'} - \frac{1}{P} \right)$ ，所述第二色像差系数为 $C_{c2} = \frac{P2'}{Q} \left(\frac{1}{P2'} - \frac{1}{P} \right)$ ，其中P是对象距离，Q是图像距离，P1'是所述第一偏转器组合件与所述物镜之间沿着所述光轴的距离，且P2'是所述第二偏转器组合件与所述物镜之间沿着所述光轴的距离，且

其中所述第一偏转器组合件中的预散射电子束具有散射角 γ_1 ，所述第二偏转器组合件中的预散射电子束具有散射角 γ_2 ，且 $C_{c1} \gamma_1 + C_{c2} \gamma_2 = 0$ 。

2. 根据权利要求1所述的电子光学系统，其中所述第一偏转器组合件及所述第二偏转器组合件安置于所述聚光透镜与所述物镜之间。

3. 根据权利要求1所述的电子光学系统，其中所述第一偏转器组合件安置于所述源透镜与所述聚光透镜之间，且所述第二偏转器组合件安置于所述聚光透镜与所述物镜之间。

4. 根据权利要求1所述的电子光学系统，其中所述第一偏转器组合件经配置以校正由所述一组电子光学元件的一或多个部分引起的所述初级电子束中的色像差。

5. 根据权利要求1所述的电子光学系统，其中所述第二偏转器组合件经配置以将源自所述样品的电子导引到所述检测器组合件。

6. 根据权利要求5所述的电子光学系统，其中所述第二偏转器组合件经配置以将源自所述样品的次级电子导引到所述检测器组合件。

7. 根据权利要求1所述的电子光学系统，其中所述初级电子束包括：

远心电子束。

8. 根据权利要求7所述的电子光学系统，其中所述第一偏转器组合件的强度等于所述第二偏转器组合件的强度。

9. 根据权利要求8所述的电子光学系统，其中所述第一偏转器组合件的极性相对于所述第二偏转器组合件的极性而反转。

10. 根据权利要求1所述的电子光学系统,其中所述初级电子束包括:
发散电子束。
11. 根据权利要求10所述的电子光学系统,其中所述第一偏转器组合件的强度大于所述第二偏转器组合件的强度。
12. 根据权利要求11所述的电子光学系统,其中所述第一偏转器组合件的极性相对于所述第二偏转器组合件的极性而反转。
13. 根据权利要求1所述的电子光学系统,其中所述初级电子束包括:
会聚电子束。
14. 根据权利要求13所述的电子光学系统,其中所述第一偏转器组合件的强度小于所述第二偏转器组合件的强度。
15. 根据权利要求14所述的电子光学系统,其中所述第一偏转器组合件的极性相对于所述第二偏转器组合件的极性而反转。
16. 根据权利要求1所述的电子光学系统,其中所述初级电子束包括:
交叉电子束。
17. 根据权利要求16所述的电子光学系统,其中所述第一偏转器组合件的极性与所述第二偏转器组合件的极性相同。
18. 根据权利要求17所述的电子光学系统,其中所述第一偏转器组合件的强度等于所述第二偏转器组合件的强度。
19. 根据权利要求17所述的电子光学系统,其中所述第一偏转器组合件的强度大于所述第二偏转器组合件的强度。
20. 根据权利要求17所述的电子光学系统,其中所述第一偏转器组合件的强度小于所述第二偏转器组合件的强度。
21. 根据权利要求1所述的电子光学系统,其中所述电子束源包括:
一或多个电子枪。
22. 根据权利要求1所述的电子光学系统,其中所述检测器组合件包括:
一或多个次级电子检测器。
23. 一种电子光学系统,其包括:
电子束源,其经配置以产生初级电子束;
源透镜,其沿着光轴安置;
聚光透镜,其沿着所述光轴安置;
物镜,其沿着所述光轴安置;
第一维恩滤波器,其沿着所述光轴安置;
第二维恩滤波器,其沿着所述光轴安置,所述第一维恩滤波器及所述第二维恩滤波器安置于所述源透镜与所述物镜之间,其中所述第一维恩滤波器经配置以校正所述初级电子束中的色像差;及
检测器组合件,其经配置以检测源自样品的表面的电子,且
其中所述第一维恩滤波器具有第一色像差系数 C_{c1} ,且所述第二维恩滤波器具有第二色像差系数 C_{c2} ,其中所述第一色像差系数为 $C_{c1} = P1' Q (\frac{1}{P1'} - \frac{1}{P})$, 所述第二色像差系数为

$C_{c2} = \frac{P2'}{Q} \left(\frac{1}{P2'} - \frac{1}{P} \right)$, 其中P是对象距离,Q是图像距离,P1'是所述第一维恩滤波器与所述物镜之间沿着所述光轴的距离,且P2'是所述第二维恩滤波器与所述物镜之间沿着所述光轴的距离,且

其中所述第一维恩滤波器中的预散射电子束具有散射角 γ_1 ,所述第二维恩滤波器中的预散射电子束具有散射角 γ_2 ,且 $C_{c1}\gamma_1 + C_{c2}\gamma_2 = 0$ 。

24.根据权利要求23所述的电子光学系统,其中所述第一维恩滤波器及所述第二维恩滤波器安置于所述聚光透镜与所述物镜之间。

25.根据权利要求23所述的电子光学系统,其中所述第一维恩滤波器安置于所述源透镜与所述聚光透镜之间,且所述第二维恩滤波器安置于所述聚光透镜与所述物镜之间。

26.根据权利要求23所述的电子光学系统,其中所述第一维恩滤波器经配置以校正由所述电子光学系统中的电子光学元件的一或多个部分引起的所述初级电子束中的色像差,且所述电子光学元件包括所述源透镜、所述聚光透镜、所述物镜、所述第二维恩滤波器。

27.根据权利要求23所述的电子光学系统,其中所述第二维恩滤波器经配置以将源自所述样品的次级电子导引到检测器组合件。

28.根据权利要求23所述的电子光学系统,其中所述初级电子束包括:

远心电子束。

29.根据权利要求28所述的电子光学系统,其中所述第一维恩滤波器的强度等于所述第二维恩滤波器的强度。

30.根据权利要求29所述的电子光学系统,其中所述第一维恩滤波器的极性相对于所述第二维恩滤波器的极性而反转。

31.根据权利要求23所述的电子光学系统,其中所述初级电子束包括:

发散电子束。

32.根据权利要求31所述的电子光学系统,其中所述第一维恩滤波器的强度大于所述第二维恩滤波器的强度。

33.根据权利要求32所述的电子光学系统,其中所述第一维恩滤波器的极性相对于所述第二维恩滤波器的极性而反转。

34.根据权利要求23所述的电子光学系统,其中所述初级电子束包括:

会聚电子束。

35.根据权利要求34所述的电子光学系统,其中所述第一维恩滤波器的强度小于所述第二维恩滤波器的强度。

36.根据权利要求35所述的电子光学系统,其中所述第一维恩滤波器的极性相对于所述第二维恩滤波器的极性而反转。

37.根据权利要求23所述的电子光学系统,其中所述初级电子束包括:

交叉电子束。

38.根据权利要求37所述的电子光学系统,其中所述第一维恩滤波器的极性与所述第二维恩滤波器的极性相同。

39.根据权利要求38所述的电子光学系统,其中所述第一维恩滤波器的强度等于所述第二维恩滤波器的强度。

40. 根据权利要求38所述的电子光学系统,其中所述第一维恩滤波器的强度大于所述第二维恩滤波器的强度。

41. 根据权利要求38所述的电子光学系统,其中所述第一维恩滤波器的强度小于所述第二维恩滤波器的强度。

42. 根据权利要求23所述的电子光学系统,其中所述电子束源包括:

一或多个电子枪。

43. 根据权利要求23所述的电子光学系统,其中所述检测器组合件包括:

一或多个次级电子检测器。

44. 根据权利要求23所述的电子光学系统,其中所述电子光学系统是扫描电子显微术SEM系统。

用于电子束系统中的像差校正的方法及系统

技术领域

[0001] 本发明大体上涉及扫描电子显微术,且特定来说,涉及扫描电子显微术系统中的像差校正。

背景技术

[0002] 制造半导体装置(例如,逻辑及存储器装置)通常包含使用大量半导体制造工艺处理衬底(例如,半导体晶片)以形成半导体装置的各种特征及多个层级。随着半导体装置尺寸变得越来越小,开发出增强的检验及重检装置及程序变得至关重要。

[0003] 一种此检验技术包含基于电子束的检验系统(例如,扫描电子显微术(SEM))。在模式中,SEM系统可在用初级束扫描横跨样品时,通过收集及分析从样品的表面发射的次级电子而使所述样品的所述表面成像。出于将次级电子偏转到次级电子检测器的目的,典型SEM系统包含定位于SEM的电子光学柱内及定位于样品上方的维恩(Wien)滤波器。

[0004] 利用维恩滤波器以从初级束分裂次级电子可引起初级束中的色像差。因此,提供一种提供用于初级束中的色像差的校正,并解决上文识别的先前方法的缺点的系统及方法将是有利的。

发明内容

[0005] 根据本发明的一或多个实施例,揭示一种扫描电子显微术(SEM)设备。在一个实施例中,所述设备包含电子束源,所述电子束源经配置以产生初级电子束。在另一实施例中,所述设备包含样品台,所述样品台经配置以紧固样品。在另一实施例中,所述设备包含一组电子光学元件,所述组电子光学元件经配置以将所述初级电子束的至少一部分导引到所述样品的部分上。在另一实施例中,所述组电子光学元件包含:源透镜,其沿着光轴安置;聚光透镜,其沿着所述光轴安置;及物镜,其沿着所述光轴安置。在另一实施例中,所述组电子光学元件包含:第一偏转器组合件,其沿着所述光轴安置;及第二偏转器组合件,其沿着所述光轴安置,所述第一偏转器组合件及所述第二偏转器组合件安置于所述源透镜与所述物镜之间,其中所述第一偏转器组合件经配置以校正所述初级束中的色像差。在另一实施例中,所述设备包含检测器组合件,所述检测器组合件经配置以检测源自所述样品的表面的电子。

[0006] 在一个实施例中,所述第一偏转器组合件及所述第二偏转器组合件是维恩滤波器。

[0007] 在另一实施例中,所述第一偏转器组合件及所述第二偏转器组合件安置于所述聚光透镜与所述物镜之间。

[0008] 在另一实施例中,所述第一偏转器组合件安置于所述源透镜与所述聚光透镜之间,且所述第二偏转器组合件安置于所述聚光透镜与所述物镜之间。

[0009] 应理解,上文概述及下文详述两者都仅为示范性及阐释性且未必如所主张那样限制本发明。并入本说明书中且构成本说明书的部分的附图说明本发明的实施例且连同所述

概述一起用以说明本发明的原理。

附图说明

- [0010] 所属领域的技术人员可通过参考附图而更好地理解本发明的众多优点，其中：
- [0011] 图1A说明根据本发明的一或多个实施例的扫描电子显微术系统。
- [0012] 图1B到1C说明根据本发明的一或多个实施例的使用多个磁性偏转器而从电子光学系统中的初级束分离次级电子。
- [0013] 图1D说明根据本发明的一或多个实施例的在电子发射器的情况中的电子源的能量扩散。
- [0014] 图1E说明根据本发明的一或多个实施例的由电子光学柱中的维恩滤波器引起的电子能量分散。
- [0015] 图1F说明根据本发明的一或多个实施例的由维恩滤波器的能量分散引起的扫描电子显微术系统中的色像差模糊。
- [0016] 图1G及1H说明根据本发明的一或多个实施例的由维恩滤波器引起的电子束中的色像差的模拟。
- [0017] 图2A说明根据本发明的一或多个实施例的经布置以用于执行SEM成像的电子光学系统。
- [0018] 图2B说明根据本发明的一或多个实施例的在发散束轮廓的情况中的电子光学系统的操作。
- [0019] 图2C说明根据本发明的一或多个实施例的在远心束轮廓的情况中的电子光学系统的操作。
- [0020] 图2D说明根据本发明的一或多个实施例的在会聚束轮廓的情况中的电子光学系统的操作。
- [0021] 图2E说明根据本发明的一或多个实施例的在交叉束轮廓的情况中的电子光学系统的操作。
- [0022] 图2F说明根据本发明的一或多个替代实施例的经布置以用于执行SEM成像的电子光学系统。
- [0023] 图3说明根据本发明的一或多个实施例的在校正由一或多个维恩滤波器引起的色像差之后的电子分布的模拟。

具体实施方式

- [0024] 现将详细参考所揭示的标的物，所述标的物说明于附图中。大体上参考图1A到3，根据本发明描述用于执行扫描电子显微术(SEM)成像的系统及方法。
- [0025] 本发明的实施例涉及具有适合于校正电子光学系统的电子束中的色像差的双偏转器组合件的电子光学系统。就此来说，放置于电子光学系统的电子光学柱中的第一维恩滤波器及第二维恩滤波器可同时消除/校正初级电子束中的色像差(即，电子能量分散像差)并将次级电子束/云与初级电子束分离以由次级电子检测器收集。
- [0026] 图1A说明用于样品104(例如半导体晶片)的扫描电子显微术/检验/重检的电子光学系统100的简化示意图。此系统可包含电子发射源102(例如，发射尖端)及电子束光学柱。

电子发射源102的特征可为源亮度B及源能量扩散 ΔE 。从源发射的电子可通过电子束光学柱中的透镜在样品104处形成图像。完全电子束光学柱可包含至少两个透镜：枪透镜(gun lens) (GL) 106及物镜(OL) 110。系统还可包含一或多个聚光透镜(CL) 108。在孔隙112经实施以选择束电流用于各种用途的情况下，利用一或多个聚光透镜，如图1A中所示。在此情况下，孔隙112可经定位于枪透镜106与聚光透镜108之间。枪透镜强度可经变化以经由孔隙而选择各种束电流，且聚光透镜强度可经变化以选择样品104处的最优数值孔径。在利用多个孔隙以选择束电流用于各种用途的情况下，接着仅需要枪透镜106及物镜110以在样品处形成高质量图像，这是因为多个孔隙尺寸可能已经设计以选择最优NA。另外，初级电子束103可经配置使得枪透镜106与聚光透镜108之间的束轮廓107处于交叉或非交叉模式中。

[0027] 通常需要将次级电子束117从初级电子束103分裂，以形成用于SEM、重检及/或检验目的的样品104的图像。通常应用EXB维恩滤波器(WF)或磁性偏转器(MD)来这么做。

[0028] 图1A中所示的WF可靠近物镜110而部署，使得可减小总柱长度以限制电子之间的库伦(Coulomb)相互作用的效应。侧检测器118可经部署以收集次级电子117，所述次级电子117通过维恩滤波器偏转角度 β 。用于SEM、重检及/或检验的图像可经由收集的次级电子信号而形成。

[0029] 图1B及1C分别描绘使用两个及三个磁性偏转器(MD1、MD2及MD3)以从初级束103分裂次级电子117。如图1B的情况120中所示，光轴可从上游光学柱移位到下游光学柱。如图1C中的情况125所示，电子光学柱可保持笔直。已知在磁场中，劳仑兹(Lorentz)力的方向取决于电子的运动的方向，所以次级电子通过图1B到1C中的磁性偏转器中的一者而从初级电子分裂，这是因为其移动方向是相反的。应注意，角度 α_1 、 α_2 及 α_3 分别表示与磁性偏转器MD1、MD2及MD3相关联的偏转角。例如，在1999年4月15日申请的帕维尔·阿达麦茨(Pavel Adamec)的第6,452,175号美国专利案中描述使用磁性偏转器而从次级电子束分裂初级束，所述专利案的全文以引用方式并入本文中。

[0030] 应注意，用于从初级束分裂次级电子束的目的的维恩滤波器(未校正)的存在可引起SEM系统内的数目个问题。

[0031] 首先，维恩滤波器可引起电子散射。电子源102(例如，热场发射源)的特征可为亮度及能量扩散。如图1D的能量分布130中所示的源能量扩散(ΔE)是产生色像差及劣化分辨率的根本原因。色像差可分成透镜色像差、维恩滤波器色像差及偏转色像差(即，转移色像差)。透镜及维恩滤波器色像差影响轴向分辨率，而转移色像差劣化跨视场(FOV)的图像均匀度。

[0032] 电子能量分散主要归因于维恩滤波器中的电场及磁场的不同偏转而产生。维恩滤波器仅可平衡中心能量(即，束能量(BE))电子，如图1D中所示。对于具有从 $V_{BE} - \Delta E/2$ 到 $V_{BE} + \Delta E/2$ 的能量变化的电子，维恩滤波器产生能量分散角 γ ，如图1E的电子能量分散135中所示。通过以下方程式给出散射角：

$$[0033] \gamma \propto \frac{E}{V_{BE}^2} * \Delta E \quad \text{方程式 1}$$

[0034] 其中E是维恩滤波器电场强度，且通过用于具有中心束能量 V_{BE} 的电子的磁通强度B平衡。通过以下方程式给出磁通密度B：

$$[0035] B \propto E * \sqrt{\frac{m}{eV_{BE}}} \quad \text{方程式2}$$

[0036] 其中m是电子质量,且e是电子电荷。维恩滤波器能量分散角 γ 仅出现在平衡方向(即图1D中所示的电场E方向)上。在垂直方向(即磁通量B方向)上,维恩滤波器能量分散角是零。

[0037] 其次,维恩滤波器可引起电子光学系统的初级束中的色像差。维恩滤波器处的能量分散角 γ 可等效于样品处的色像差模糊(d_{WC}),如图1F中所描绘。如图1F中所示,假定物镜110成像关系是由对象距离P及图像距离Q给出。维恩滤波器可经放置为远离物镜110达距离P'。由于距离P'不同于距离P,因此能量分散电子通过物镜散焦。因此,散焦模糊(图1F中的 d_{WC})是由维恩滤波器能量分散诱发的色模糊。

[0038] 维恩滤波器诱发的色像差模糊可经表示为:

$$[0039] d_{WC} \propto \sqrt{\frac{V_{BE}}{V_{LE}}} * C_c \gamma \quad \text{方程式3}$$

[0040] 其中 V_{LE} 是样品处的电子着陆能量电压,且 C_c 是色像差系数,由以下方程式给出:

$$[0041] C_c = P'Q \left(\frac{1}{P'} - \frac{1}{P} \right) \quad \text{方程式4}$$

[0042] 应注意,根据方程式4,当 $P \rightarrow P'$ 时, $C_c \rightarrow 0$ 或当 $P \rightarrow \infty$ 时, $C_c \rightarrow Q$ 。初级电子束是通过维恩滤波器平衡,而次级电子束朝向侧检测器118偏转角度 β 。因此,适当地设置维恩滤波器强度(EXB)。样品处的维恩滤波器色模糊可经替代性地表示为:

$$[0043] d_{WC} \propto \frac{\Delta E}{E_{eff}} * C_c \beta \quad \text{方程式5}$$

[0044] 其中 E_{eff} 是由以下方程式给出的有效束能量:

$$[0045] E_{eff} = \sqrt{V_{BE} V_{LE}} \left(\frac{V_{BE}}{V_{BE} - V_{LE}} + \sqrt{\frac{V_{BE}}{V_{BE} - V_{LE}}} \right) \quad \text{方程式6}$$

[0046] 方程式5及6展示维恩滤波器诱发的色像差是依据源能量扩散(ΔE)、维恩滤波器位置(P')、束能量(V_{BE})、着陆能量(V_{LE})及检测器位置角度(β)。

[0047] 图1G及1H说明根据本发明的一或多个实施例的模拟,其展现由维恩滤波器引起的电子束中的色像差。应注意,图1G及1H中所示的模拟包括例如图1A中所示的电子光学系统中的维恩滤波器诱发的色像差的蒙特卡罗(Monte Carlo)模拟。图1G描绘当图1A中的维恩滤波器(WF)关闭时,样品104处的沿着X及Y方向的初级电子束103的形成图像的电子分布。图1H描绘当维恩滤波器以具有足以使次级电子束117以角度 β 偏转到检测器118的能量来开启时在样品104处沿着X及Y方向的电子分布。在图1H的模拟中,假定X方向上的维恩滤波器平衡。如来自模拟的结果所示,在X方向上观察到严重的电子分散。在未经历来自维恩滤波器113的场的Y方向上,电子保持未散射。

[0048] 进一步注意,使用多个磁性偏转器可引起初级电子束中的过大偏转。从图1B及1C

中的磁性偏转器的偏转角可经表示为：

$$[0049] \quad \alpha \propto \frac{B}{V_{BE}^{1/2}} \quad \text{方程式7}$$

[0050] 其中B是磁性偏转器的磁通密度,且 V_{BE} 是束能量电压。磁性偏转器的能量分散角是相应地由以下方程式给出：

$$[0051] \quad \Delta\alpha = -\frac{\Delta E}{2V_{BE}} * \alpha \quad \text{方程式8}$$

[0052] 为使图1B及1C中的多个磁性偏转器系统的总能量分散角($\Delta\alpha_{tot}$)加总为零,磁性偏转器的总净偏转应为零,其经表示为:

$$[0053] \quad \Delta\alpha_{tot} = \sum_{i=1}^n \Delta\alpha_i = -\frac{\Delta E}{2V_{BE}} \sum_{i=1}^n \alpha_i = 0 \quad \text{if only if } \sum_{i=1}^n \alpha_i = 0 \quad \text{方程式9}$$

[0054] 其中n是图1B及1C的系统中的磁性偏转器的数目(例如,图1B中,n=2及图1C中,n=3)。

[0055] 使用磁性偏转器遭受若干缺点。例如,使用磁性偏转器可需要电子光学系统的初级电子束的过度偏转。例如,受限于实际设计的数目,侧检测器118可经部署,使得次级电子117必须偏转达大角度 β ,这意味着初级电子束需偏转过大角度 α (例如,图1B中的 α_2 或图1C中的 α_3)。如果偏转角 α_n (例如,最终偏转角)需为大,那么其余偏转角 α_i ($i=1, 2, \dots, n-1$)也必须为大。过大偏转角引起大的离轴像差(例如,彗形像差(coma)、像散、场曲率)及失真,从而需要针对这些离轴效应的额外校正。

[0056] 使用磁性偏转器可需要高强度磁性偏转器。在维恩滤波器系统中,图1A中的次级电子偏转角 β 是静电偏转及磁性偏转的加总。因而,两个偏转器强度相较于图1B到1C中的仅磁性偏转强度可能低得多。磁性偏转器中的大强度可引起严重的热及不稳定问题。

[0057] 进一步注意,在存在从上游光学柱到下游光学柱(例如,图1B)的物理移位的情况下,不仅需要次级电子束117的过大偏转,而且光学对准问题是不可避免的。

[0058] 图2A说明根据本发明的一或多个实施例的经布置用于执行SEM成像、重检及/或检验的系统200。在2016年5月6日申请的第2016/0329189号美国专利公开案中描述一种电子光学系统,所述公开案的全文以引用方式并入本文中。

[0059] 在一个实施例中,系统200包含用于产生一或多个电子束203的电子束源202。电子束源202可包含所属领域中已知的任何电子源。例如,电子束源202可包含(但不限于)一或多个电子枪(例如,发射器/发射尖端)。例如,电子束源202可包含用于产生单个电子束203的单个电子枪。在另一例子中,电子束源202可包含用于产生多个电子束203的多个电子枪。在另一例子中,电子束源202可包含单个电子枪及孔隙板,所述孔隙板包含用于将单个电子束分裂成多个电子束203的多个孔隙。在2016年9月16日申请的第15/267,223号美国专利申请案中描述一种多束电子光学系统,所述申请案的全文以引用方式并入本文中。

[0060] 在另一实施例中,系统200包含样品台216。样品台216紧固样品214。样品214可包含适合于使用电子束显微术进行检验/重检的任何样品(例如(但不限于)衬底)。衬底可包含(但不限于)硅晶片。在另一实施例中,样品台216是可致动台。例如,样品台216可包含(但

不限于)适合于沿着一或多个线性方向(例如,x方向、y方向及/或z方向)而选择性地平移样品214的一或多个平移台。通过另一实例的方式,样品台216可包含(但不限于)适合于选择性地使样品214沿着旋转方向而旋转的一或多个旋转台。通过另一实例的方式,样品台216可包含(但不限于)适合于选择性地使样品214沿着线性方向平移样品及/或沿着旋转方向旋转的旋转台及平移台。本文中应注意,系统200可以所属领域中已知的任何扫描模式操作。例如,当用初级电子束203扫描横跨样品214的表面时,系统200可以扫描带(swathing)模式操作。就此来说,系统200可在样品移动时用初级电子束203扫描横跨样品214,其中扫描的方向标称地垂直于样品运动的方向。通过另一实例的方式,系统200可在用初级电子束203扫描横跨样品214的表面时以步进扫描(step-and-scan)模式操作。就此来说,系统200可用初级电子束203扫描横跨样品214,在用束203扫描时,样品214是标称地静止的。

[0061] 在另一实施例中,系统200包含检测器组合件218。例如,检测器组合件218可为次级电子检测器。应注意,检测器组合件218可包含所属领域中已知的任何类型的电子检测器。在一个实施例中,检测器组合件218可包含用于从样品214收集次级电子的基于闪烁器的检测器(例如(但不限于)埃弗哈特-索恩利(Everhart-Thornley)检测器)。在另一实施例中,检测器组合件218可包含用于从样品214收集次级电子的微通道板(MCP)。在另一实施例中,检测器组合件218可包含用于从样品214收集次级电子的PIN或p-n结检测器(例如二极管或二极管阵列)。在另一实施例中,检测器组合件218可包含用于从样品214收集次级电子的一或多个雪崩光二极管(APD)。

[0062] 在另一实施例中,系统200包含一组电子光学元件205。所述组电子光学元件205可形成由光轴207(例如,z轴)界定的电子光学柱,如图2A中所示。为简单起见,图2A中描绘单个电子光学柱。本文中应注意,此配置不应被解释为本发明的范围的限制。例如,系统200可包含多个电子光学柱。

[0063] 所述组电子光学元件205可将初级电子束203的至少一部分导引到样品214的选定部分上。所述组电子光学元件可包含适合于将初级电子束203聚焦及/或导引到样品214的选定部分上的所属领域中已知的任何电子光学元件。

[0064] 所述组电子光学元件205可包含一或多个电子光学透镜。在一个实施例中,所述组电子光学元件205包含沿着光轴207安置的源透镜206、或枪透镜(GL)。在另一实施例中,所述组电子光学元件205包含沿着光轴207而安置的聚光透镜(CL)208。在另一实施例中,所述组电子光学元件205包含沿着光轴207安置的物镜(OL)210。

[0065] 在另一实施例中,系统200包含孔隙212。孔隙可用于针对各种用途来选择系统200的束电流。在此实施例中,孔隙212可经定位于枪透镜206与聚光透镜208之间。枪透镜206的强度可经变化以经由孔隙212而选择各种束电流,且聚光透镜208的强度可经变化以选择样品处的最优数值孔径(NA),以便形成具有足够质量及分辨率的图像。在多个孔隙用于选择系统200的束电流的情况下,因为多个孔隙尺寸可已经设计以选择最优NA,所以仅需要枪透镜206及物镜210以形成样品214处的图像。

[0066] 系统200可包含第一偏转器组合件213及第二偏转器组合件215。例如,第一偏转器组合件213及第二偏转器组合件215可各自为维恩滤波器。出于本发明的目的,第一偏转器组合件213将被称为第一维恩滤波器213(WF1),且第二偏转器组合件215将被称为第二维恩滤波器215(WF2)。

[0067] 在一个实施例中,第一维恩滤波器213经配置以校正初级束203中的色像差。例如,第一维恩滤波器213可校正由第一维恩滤波器213及/或第二维恩滤波器215引起的初级束203中的色像差。在下文进一步详细论述用于此校正的条件。

[0068] 在另一实施例中,第二维恩滤波器215经配置以将由样品214(响应于初级束203)发射的次级电子(SE)导引到检测器组合件218。就此来说,系统200可校正初级电子束203中的色像差,而同时从初级电子束203分裂次级电子217以通过检测器组合件218收集。

[0069] 应注意,第一维恩滤波器213及第二维恩滤波器215可经放置于沿着光轴207的任何位置,并实现系统200的维恩滤波器色像差的总消除。例如,第一维恩滤波器213及第二维恩滤波器215两者可安置于枪透镜206与物镜210之间。

[0070] 如图2A中所描绘,在一个实施例中,第一维恩滤波器213及第二维恩滤波器215两者安置于聚光透镜208与物镜210之间。在此实施例中,第二维恩滤波器215可经放置为紧邻物镜210,以便将次级电子217朝向检测器组合件218偏转以供收集。第一维恩滤波器213可经放置于聚光透镜208的下方,且用于校正由第一维恩滤波器213及第二维恩滤波器215引起的初级束203中的总色像差。

[0071] 如图2A中所示,初级束203可呈现交叉束轮廓(虚线)或非交叉束轮廓(实线)。就此来说,初级束203可为远心的或非远心的(例如,发散或会聚)。

[0072] 图2B到2E说明根据本发明的一或多个实施例的在各种束配置中的系统200的操作。

[0073] 应注意,假定第二维恩滤波器215以角度 β 将次级电子217偏转到检测器组合件218(但是在图2B到2E中未展示)。第一维恩滤波器213用于校正样品214处来自第一维恩滤波器213及/或第二维恩滤波器215的总维恩滤波器诱发的色像差。用于消除色像差的条件由以下方程式给出:

[0074] $C_{c1}\gamma_1 + C_{c2}\gamma_2 = 0$ 方程式10a

[0075] 或

[0076] $\gamma_1 = -\frac{C_{c2}}{C_{c1}}\gamma_2$ 方程式10b

[0077] 其中

[0078] $C_{c1} = P_1'Q\left(\frac{1}{P_1'} - \frac{1}{P}\right)$ 方程式11

[0079] $C_{c2} = P_2'Q\left(\frac{1}{P_2'} - \frac{1}{P}\right)$ 方程式12

[0080] 在图2B到2E中说明方程式10a及10b中的色像差的消除条件,其中第一维恩滤波器213中具有散射角 γ_1 的预散射电子束203经移动以补偿第二维恩滤波器215中的散射角 γ_2 ,使得所述电子束等效于将从物镜210的对象发射的电子束。

[0081] 应注意,第一维恩滤波器213的强度(E1/B1)及第二维恩滤波器215的强度(E2/B2)可由具有散射角 γ_1 及 γ_2 的方程式1及方程式2(本文中先前描述)提供。可首先通过满足次级电子偏转角 β 来提供E2/B2,且接着可定义第二散射角(γ_2)及第一散射角(γ_1)。

[0082] 应注意,方程式10a及方程式10b所述的消除程序是通用的,且可扩展到具有介于聚光透镜208与物镜210之间的i)交叉分布;或ii)非交叉分布的电子束(例如发散、远心或会聚束),如图2A中所示。

[0083] 图2B说明根据本发明的一或多个实施例的发散束轮廓的情况中的系统200的操作。在此实施例中,发散束203照明物镜210。此处,在方程式10a、10b、11及12中,如果 $P > P'_1 > P'_2$,那么 $C_{c2} > C_{c1} > 0$ 。在此情况下,第一维恩滤波器213的强度应大于第二维恩滤波器215的强度,且第一维恩滤波器213的极性应相对于第二维恩滤波器215的极性而反转,以完全校正由第一维恩滤波器213及/或第二维恩滤波器215产生的色模糊。

[0084] 图2C说明根据本发明的一或多个实施例的在远心束轮廓的情况中的系统200的操作。在此实施例中,远心束203照明物镜210。此处,在方程式10a、10b、11及12中,如果 $P \rightarrow \infty$,那么 $C_{c2} = C_{c1} = Q > 0$ 。在此情况下,第一维恩滤波器213的强度可等于第二维恩滤波器215的强度,其中第一维恩滤波器213的极性相对于第二维恩滤波器215的极性而反转,以完全校正由第一维恩滤波器213及/或第二维恩滤波器215产生的色模糊。

[0085] 图2D说明根据本发明的一或多个实施例的在会聚束轮廓的情况中的系统200的操作。在此实施例中,会聚束203照明物镜210。此处,在方程式10a、10b、11及12中,如果 $P'_1 > P'_2$ 且 $P < 0$,那么 $C_{c1} > C_{c2} > 0$ 。在此情况下,第一维恩滤波器213的强度应小于第二维恩滤波器215的强度,且第一维恩滤波器213的极性应相对于第二维恩滤波器215的极性而反转,以完全校正由第一维恩滤波器213及/或第二维恩滤波器215产生的色模糊。

[0086] 图2E说明根据本发明的一或多个实施例的在交叉束轮廓的情况中的系统200的操作。在此实施例中,交叉束203照明物镜210。此处,在方程式10a、10b、11及12中,如果 $P'_1 > P > P'_2$,那么 $C_{c1} < 0$ 且 $C_{c2} > 0$ 。在此情况下,第一维恩滤波器213的强度可大于或小于第二维恩滤波器215的强度(基于束203相对于维恩滤波器213、215的位置的交叉位置),以完全校正由第一维恩滤波器213及/或第二维恩滤波器215产生的色模糊。在一个实施例中,可设置第一维恩滤波器213的极性,使得其与根据方程式10b的第二维恩滤波器215的极性相同(事实上 $C_{c1} < 0$ 且 $C_{c2} > 0$)。

[0087] 应注意,尽管本发明的大部分已聚焦于系统200的实施,其中第一维恩滤波器213及第二维恩滤波器215两者经定位于聚光透镜208与物镜210之间,但此配置并非对本发明的范围的限制。而是,本文中应注意,第一维恩滤波器213可大体上放置于沿着光轴207的任何位置处,前提是根据电子光学系统200中的图像形成配置而应用适当系数 C_{c1} (来自上文方程式)。图2F说明根据本发明的一或多个替代实施例的经布置以用于执行SEM成像的系统200。在此实施例中,第一维恩滤波器213经放置于枪透镜206与聚光透镜208之间。

[0088] 图3说明根据本发明的一或多个实施例的在校正由一或多个维恩滤波器引发的色像差之后的电子分布的模拟的图表300。应注意,图表300的电子分布是基于与图2B中描绘的电子光学配置一致的电子光学配置进行模拟。此外,建立方程式10a及10b的电子光学消除条件。如图表300中所示,消除条件的建立导致维恩滤波器色像差的完全校正。此通过比较图3的图表300与图1G及1H的图表140及145而突显,图表140及145以与图表300相同的标度绘制。应注意,由色校正之后的电子分布产生的点尺寸(在图3的图表300中展示)类似于图1G的图表140中的点尺寸,所述图表140对应于在无由维恩滤波器引起的色像差的情况下

的电子分布。在此意义上,通过经由第一维恩滤波器213的消除条件的实施而在图3中完全移除沿着x轴(维恩滤波器平衡方向)的电子散射(其出现于图1H的图表145中)。

[0089] 本文中所描述的全部方法可包含将方法实施例的一或多个步骤的结果存储于存储媒体中。所述结果可包含本文中所描述的结果中的任一者且可以所属领域中已知的任何方式存储。所述存储媒体可包含本文中所描述的任何存储媒体或技术中已知的任何其它合适存储媒体。在已存储结果之后,结果可在存储媒体中存取且由本文描述的任何方法或系统实施例使用,经格式化以向用户显示,由另一软件模块、方法或系统使用等等。此外,可“永久地”、“半永久地”、暂时或在段时间内存储结果。例如,所述存储媒体可为随机存取存储器(RAM),且所述结果可能未必无限期地保存于所述存储媒体中。

[0090] 所属领域的技术人员将认识,最新技术已发展到系统的方案的硬件实施方案与软件实施方案之间存在较小区别的地步;硬件或软件的使用一般为(但不一定,由于在某些情境中,硬件与软件之间的选择可变得有意义)表示成本与效率权衡的设计选择。所属领域的技术人员将了解,存在可通过其而实现本文中所述的过程及/或系统及/或其它技术的各种工具(例如,硬件、软件及/或固件),且优选的工具将随着部署过程及/或系统及/或其它技术的情境而变化。例如,如果实施者确定速度及精确度是非常重要的,那么所述实施者可选择主要硬件及/或固件工具;替代地,如果灵活性是非常重要的,那么所述实施者可选择主要软件实施方案;或再次替代地,所述实施者可选择硬件、软件及/或固件的某个组合。因此,存在可通过其实现本文中所述的过程及/或装置及/或其它技术的若干可能工具,工具非固有地优于其它工具,因为待利用的任意工具是取决于将部署所述工具的情境及所述实施者的特定关注点(例如,速度、灵活性或可预测性)的选择,情境及关注点中的任一者可能变化。所属领域的技术人员将认识,实施方案的光学方案通常将采用光学定向硬件、软件及/或固件。

[0091] 所属领域的技术人员将认识,以本文所阐释的方式描述装置及/或过程,及随后使用工程实践来将此类所描述的装置及/或程序集成到数据处理系统中在所属领域中是常见的。即,本文中所述的装置及/或过程的至少一部分可经由合理量的实验而集成到数据处理系统中。所属领域的技术人员将认识,典型数据处理系统大体上包含以下中的一或多者:系统单元外壳、视频显示设备、存储器(例如易失性及非易失性存储器)、处理器(例如微处理器及数字信号处理器)、运算实体(例如操作系统、驱动程序、图形用户接口、及应用程序)、一或多个交互装置(例如触摸垫或屏幕)、及/或包含反馈回路及控制电动机(例如用于感测位置及/或速度的反馈;用于移动及/或调整组件及/或数量的控制电动机)的控制系统。可利用任何合适商业上可购得的组件(例如通常在数据运算/通信及/或网络运算/通信系统中发现的那些)来实施典型数据处理系统。

[0092] 据信,将通过前文描述来理解本发明及许多其伴随优点,且将明白,可在不脱离所揭示目标或不牺牲全部其重大优点的情况下在组件的形式、构造及布置上作出各种改变。所描述的形式仅是解释性的,且所附权利要求书的意图是涵盖及包含此类改变。

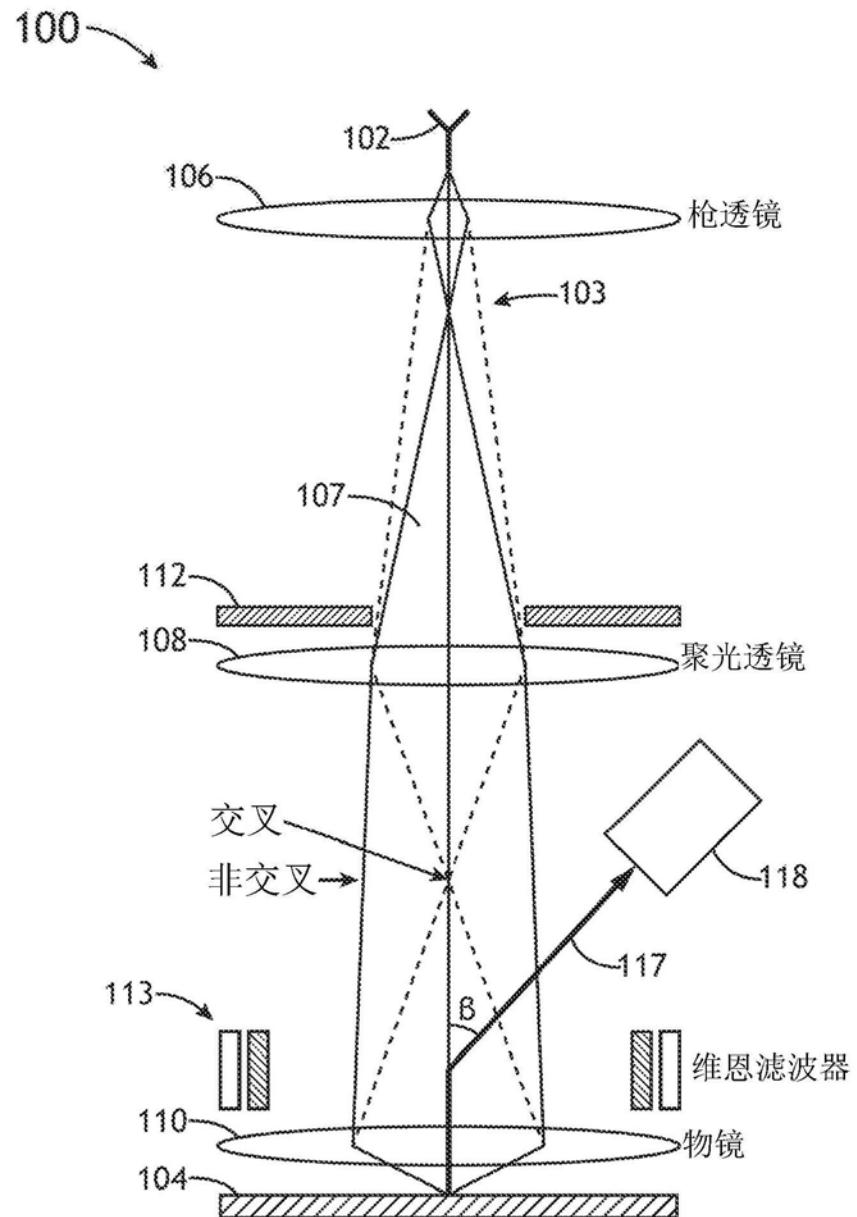


图1A

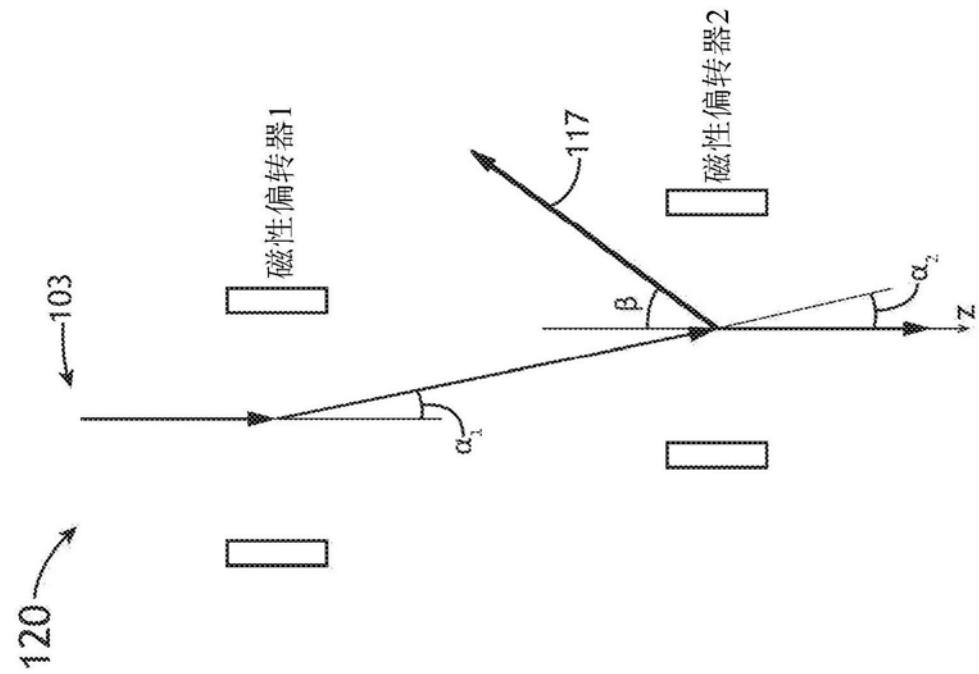


图1B

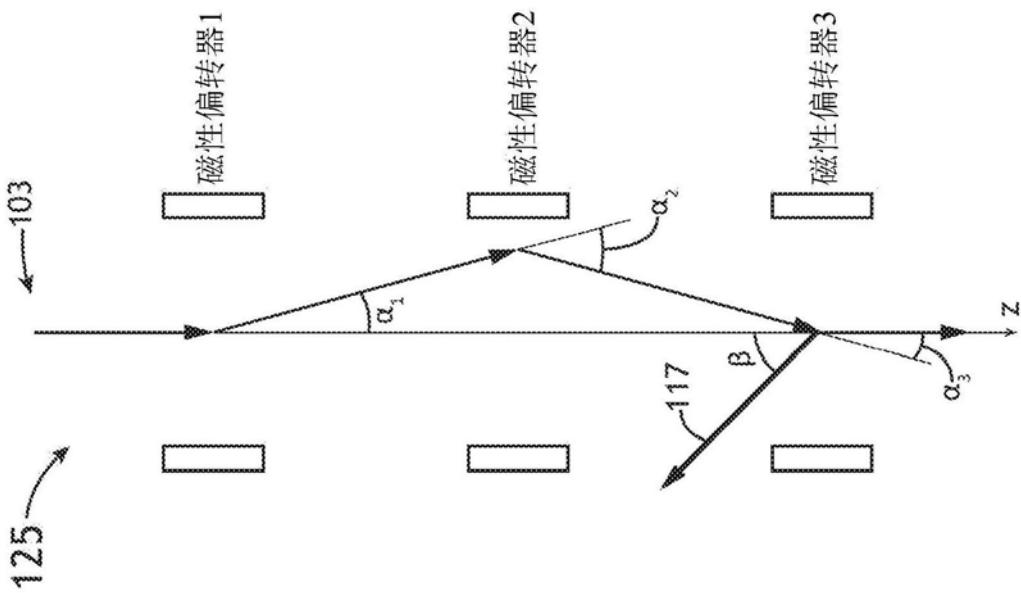


图1C

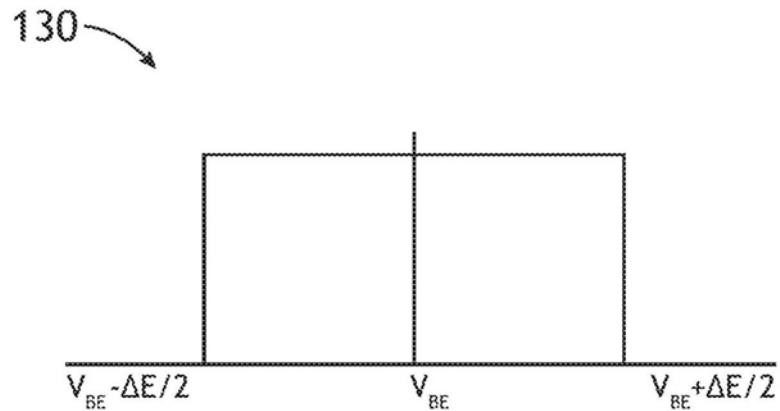


图1D

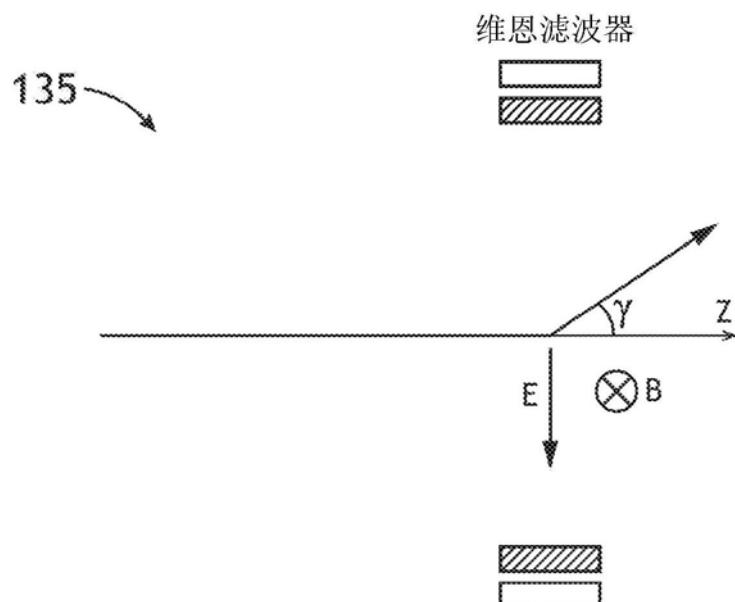


图1E

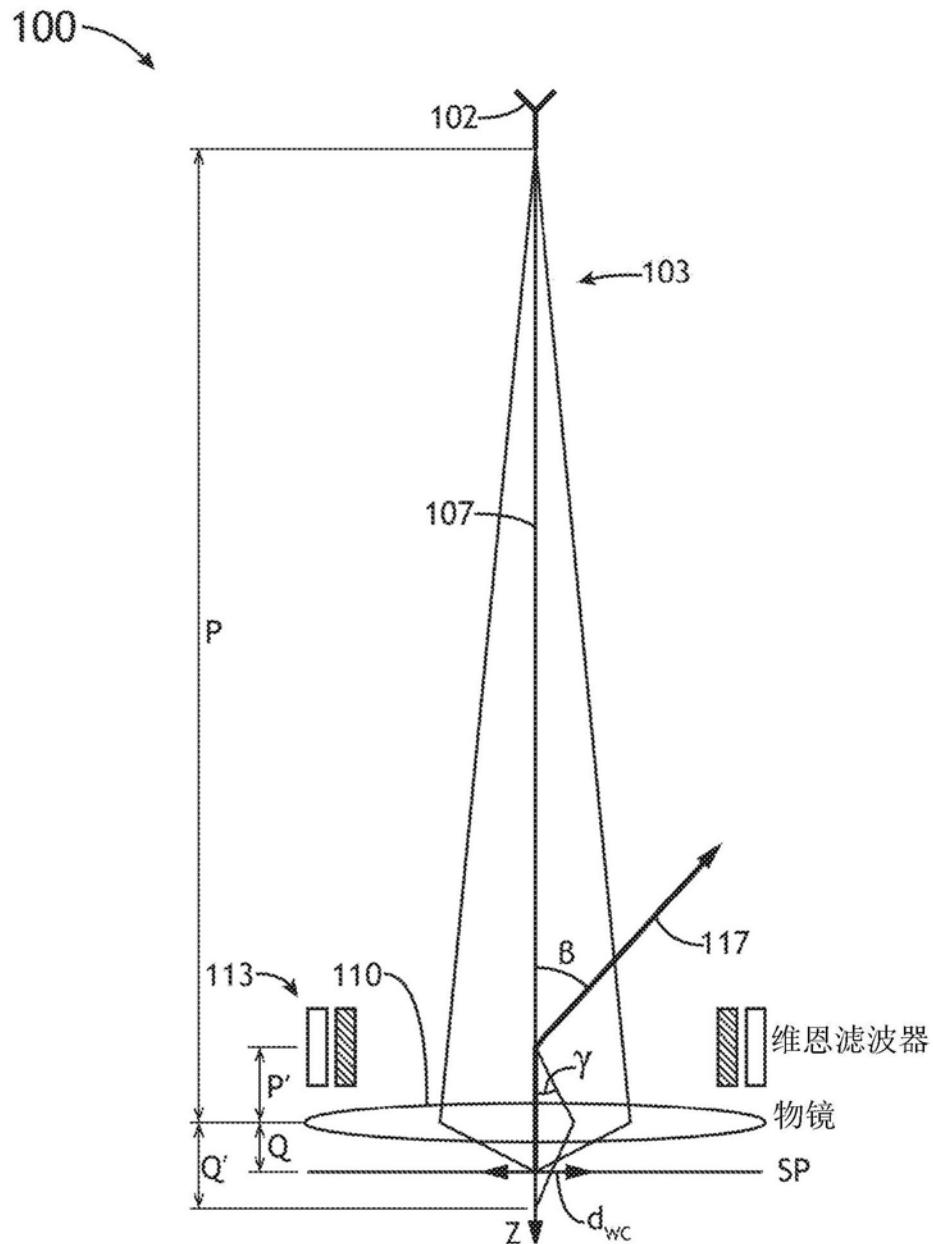


图1F

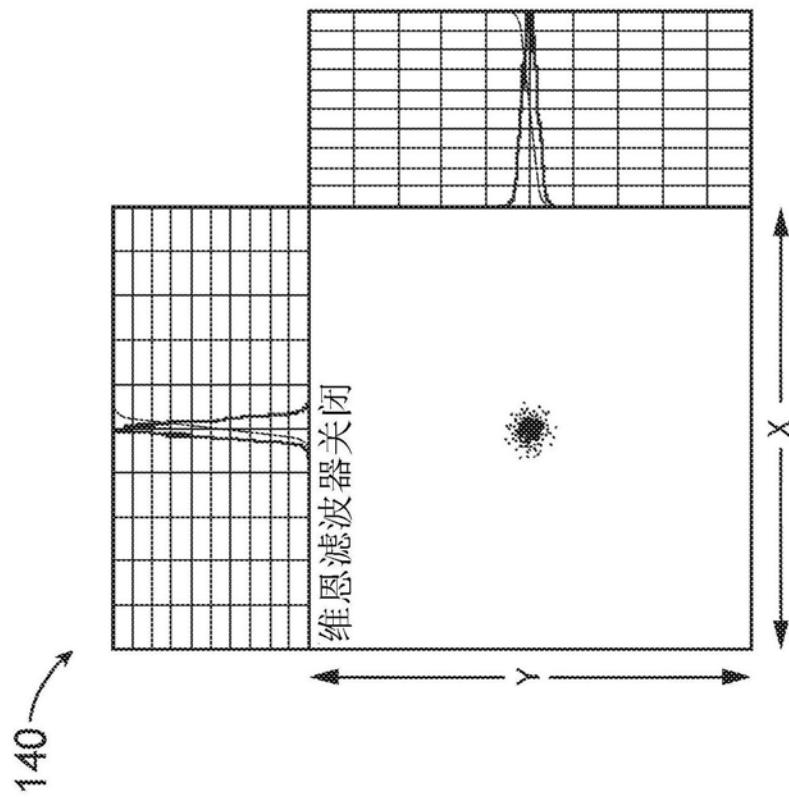


图1G

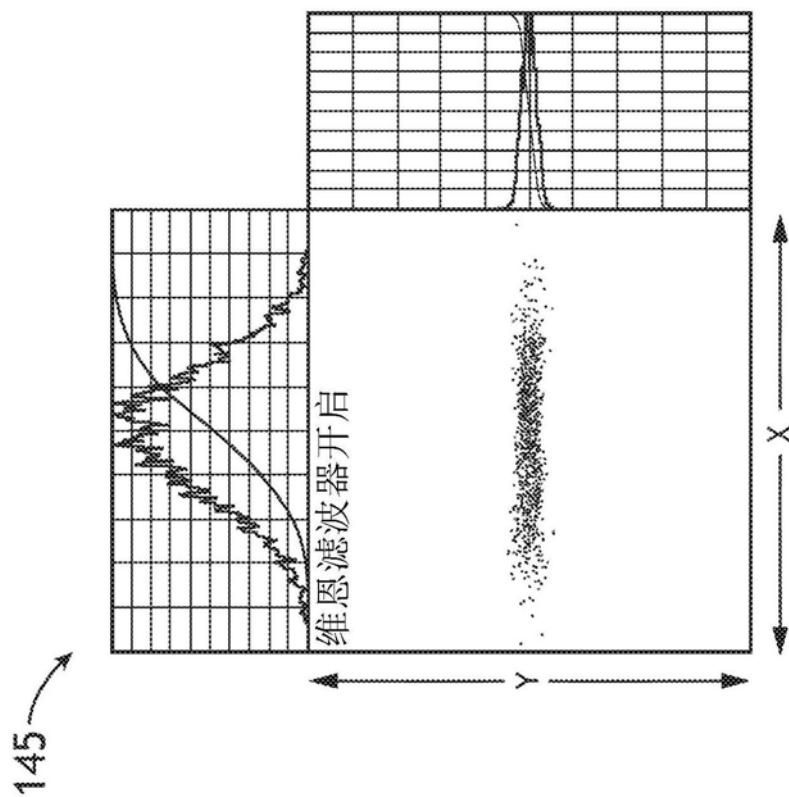


图1H

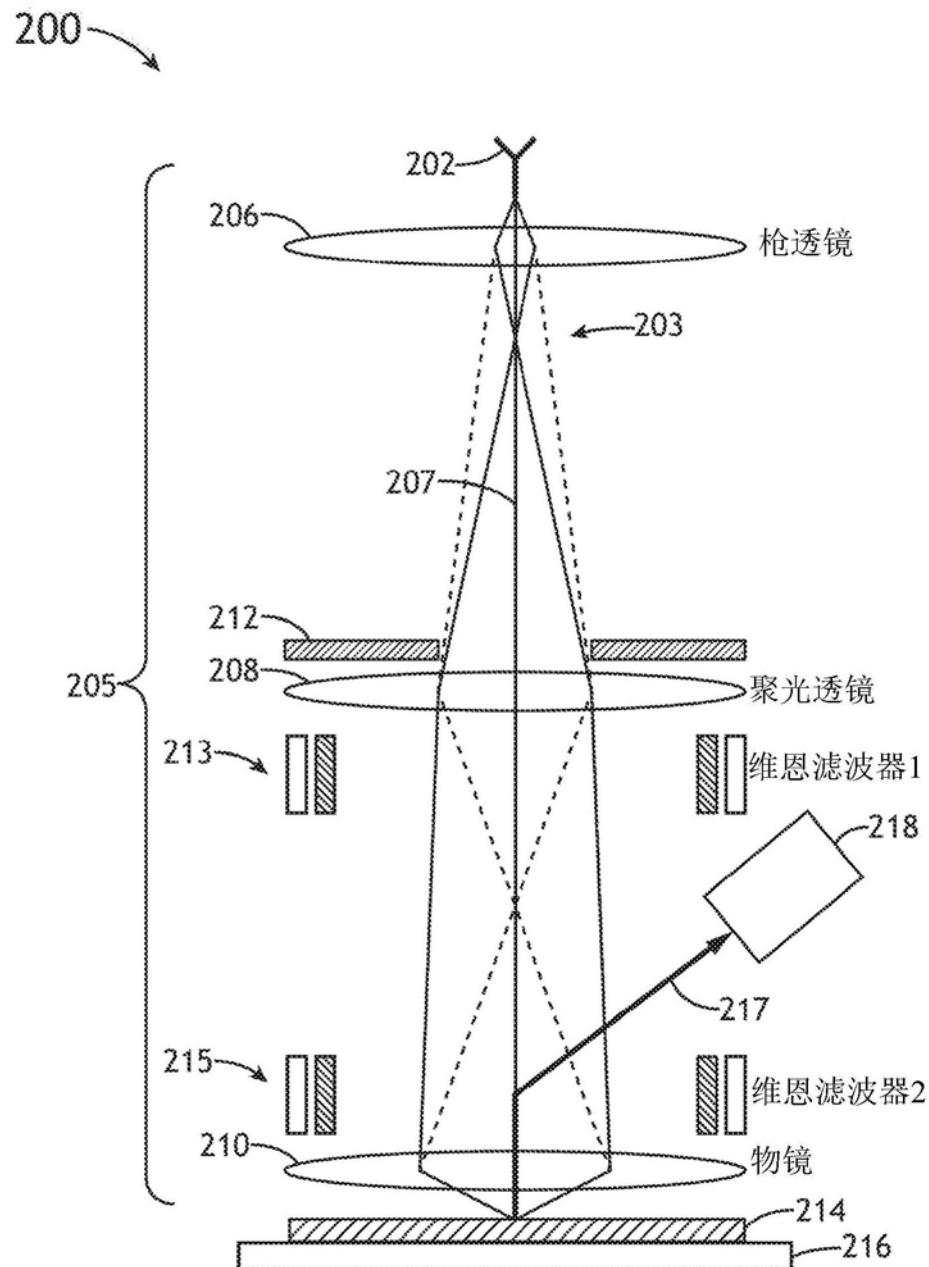


图2A

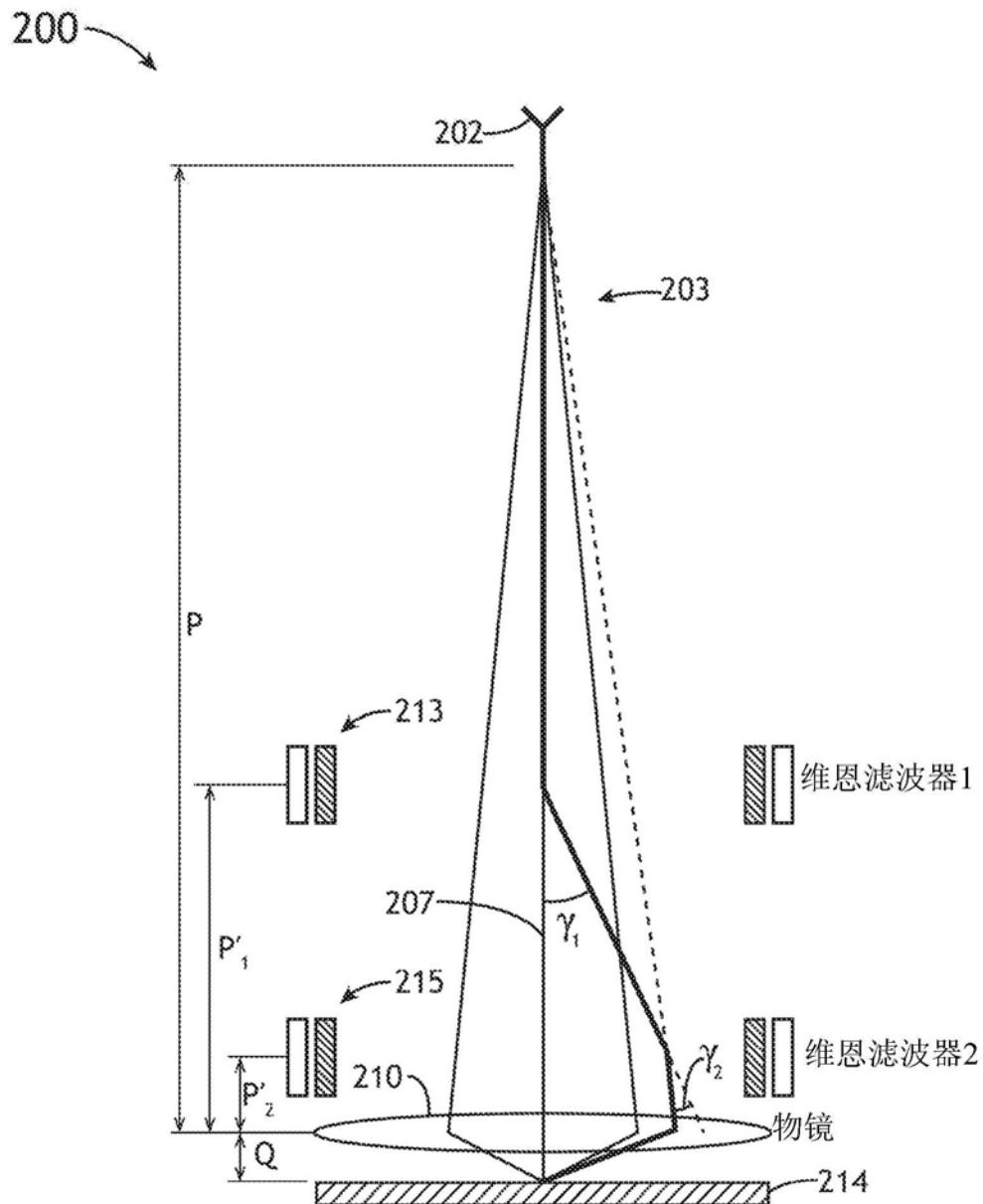


图2B

200

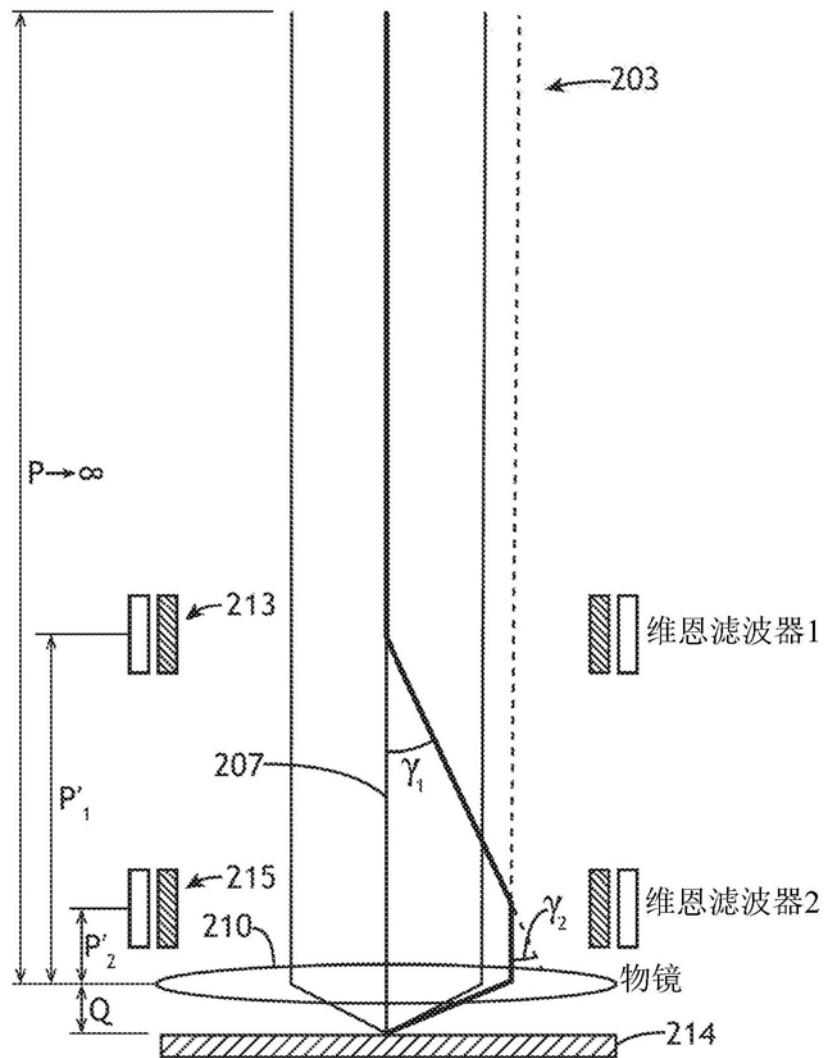


图2C

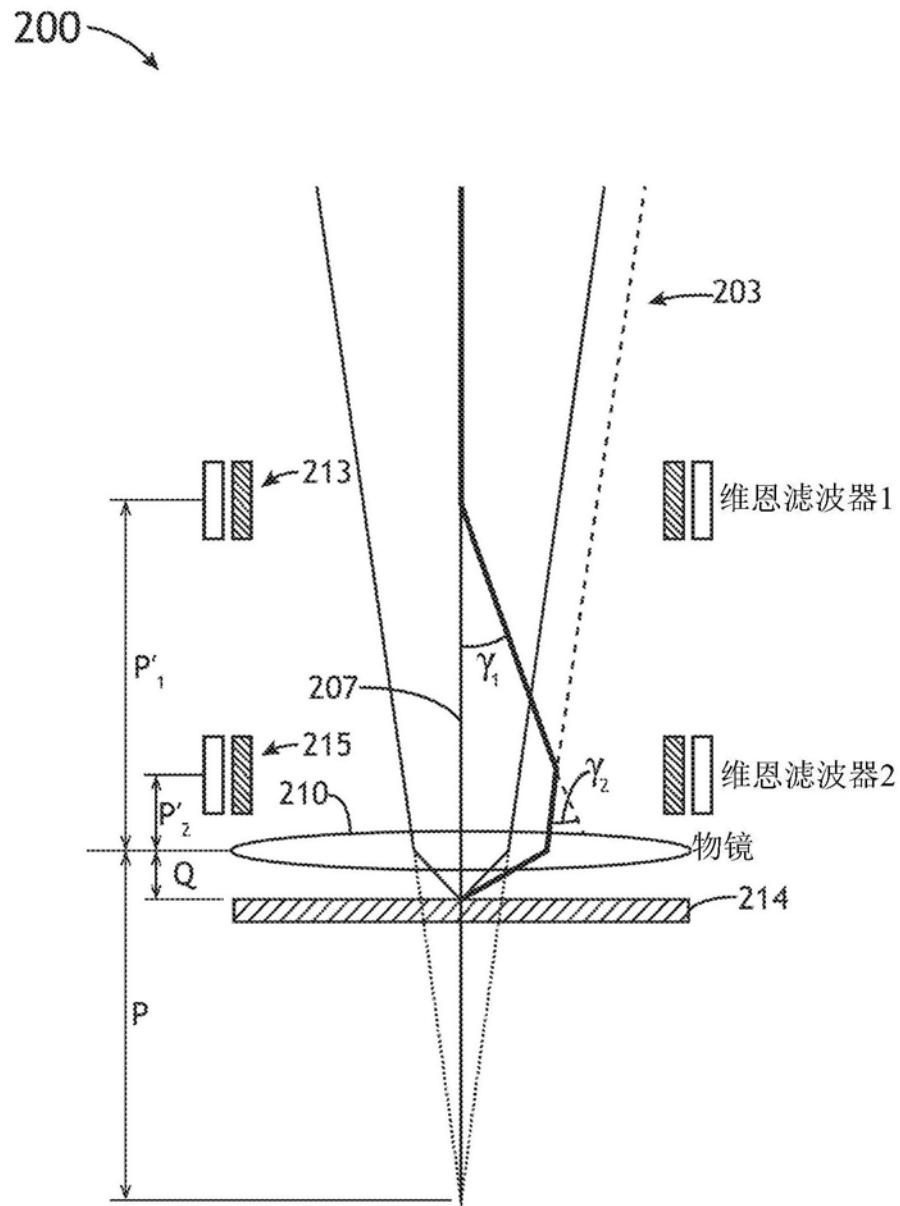


图2D

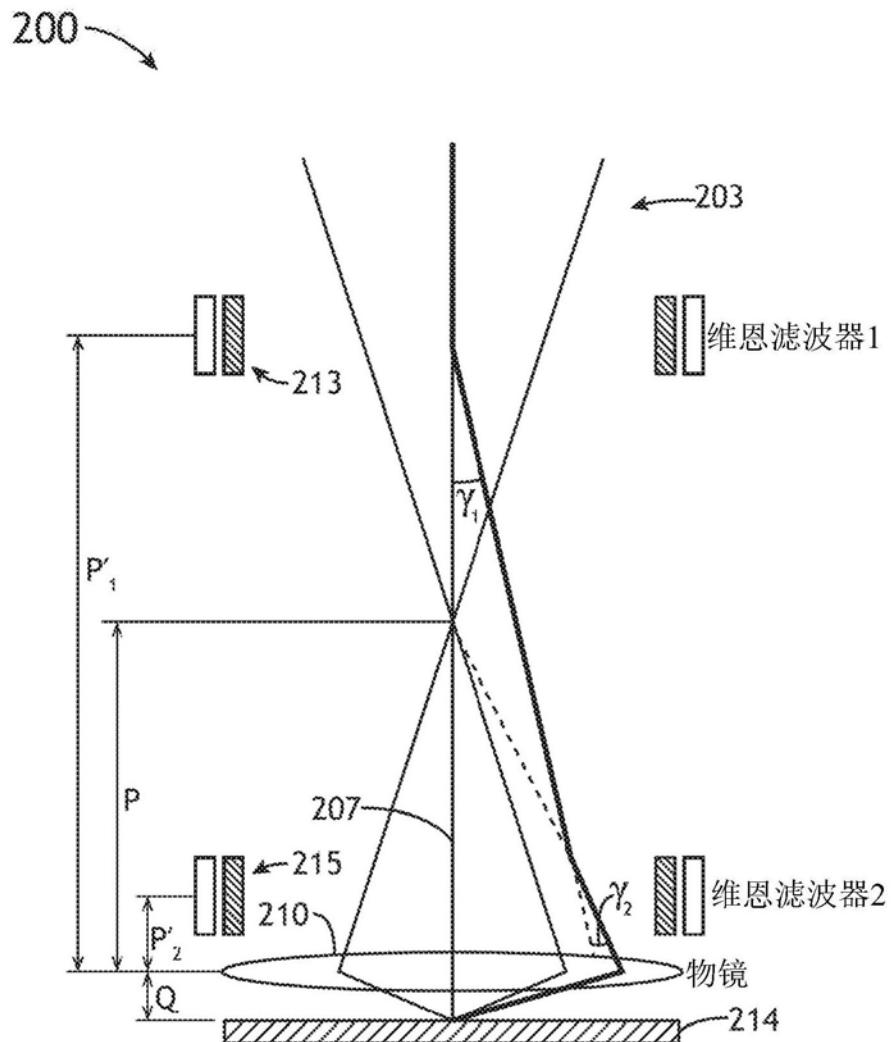


图2E

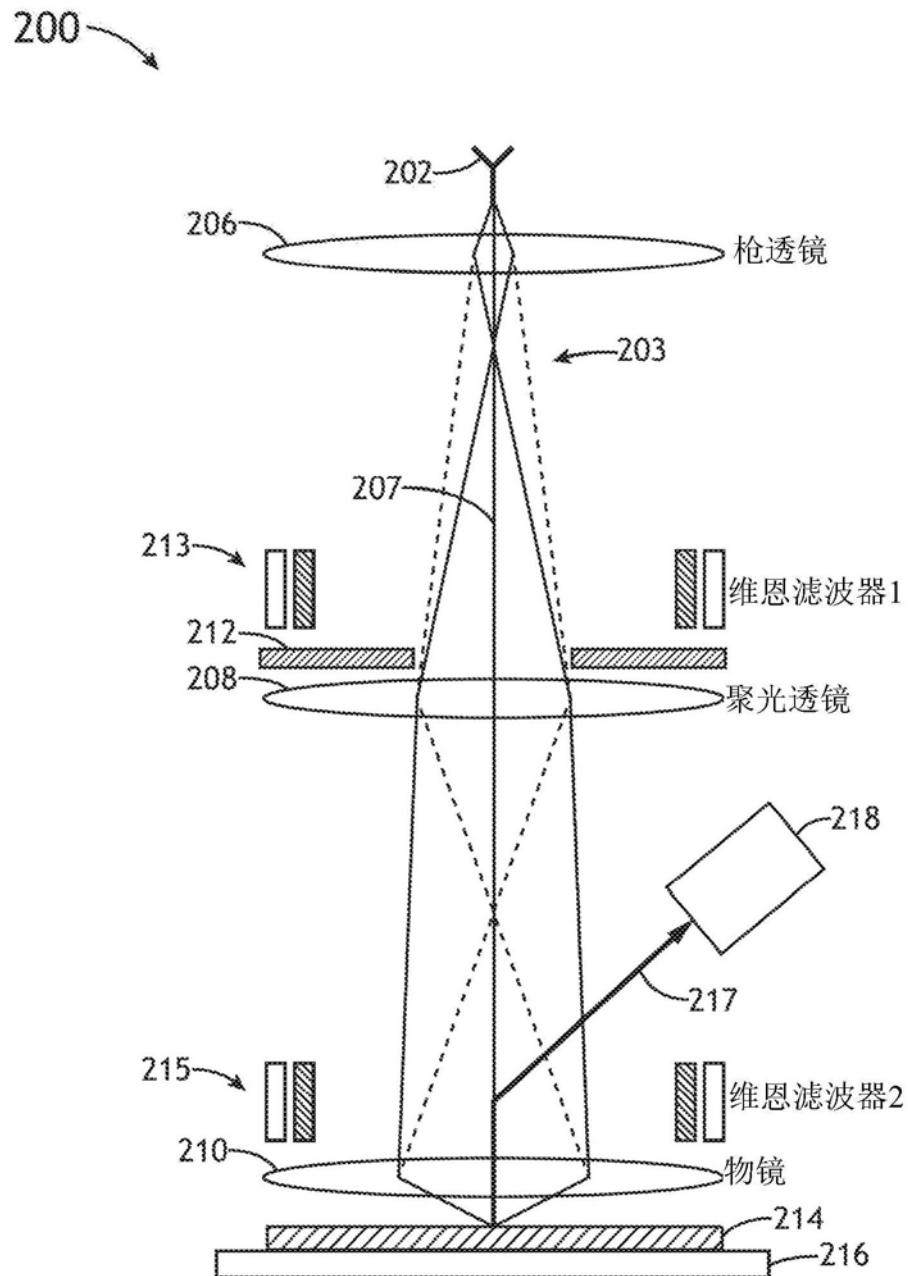


图2F

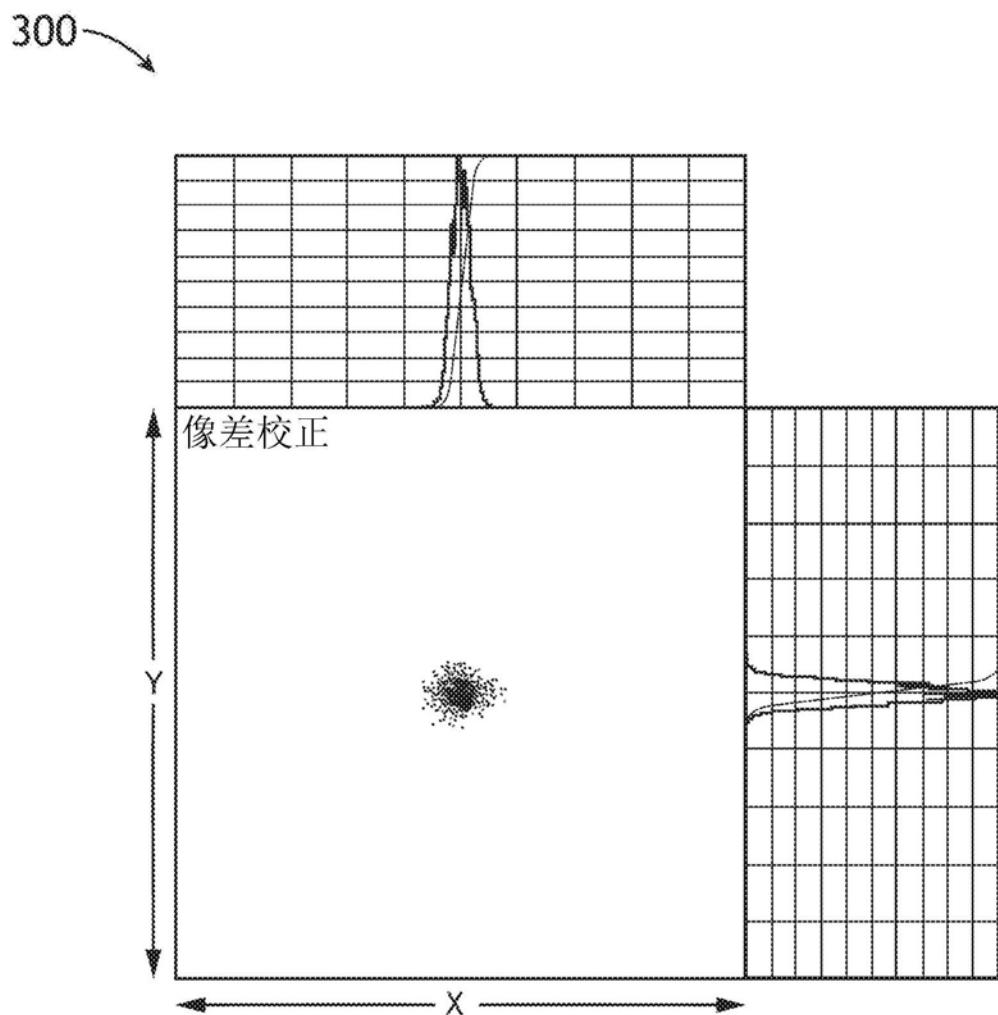


图3