



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 114695037 B

(45) 授权公告日 2025. 02. 14

(21) 申请号 202111647066.6
(22) 申请日 2021.12.30
(65) 同一申请的已公布的文献号
 申请公布号 CN 114695037 A
(43) 申请公布日 2022.07.01
(30) 优先权数据
 17/139859 2020.12.31 US
(73) 专利权人 FEI 公司
 地址 美国俄勒冈州
(72) 发明人 A·亨斯特拉 P·多纳
(74) 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公
 司 72001
 专利代理师 黄涛 周学斌

(51) Int.Cl.
 H01J 37/02 (2006.01)
 H01J 37/26 (2006.01)
(56) 对比文件
 CN 110690093 A, 2020.01.14
 US 2004029046 A1, 2004.02.12
 审查员 买芳

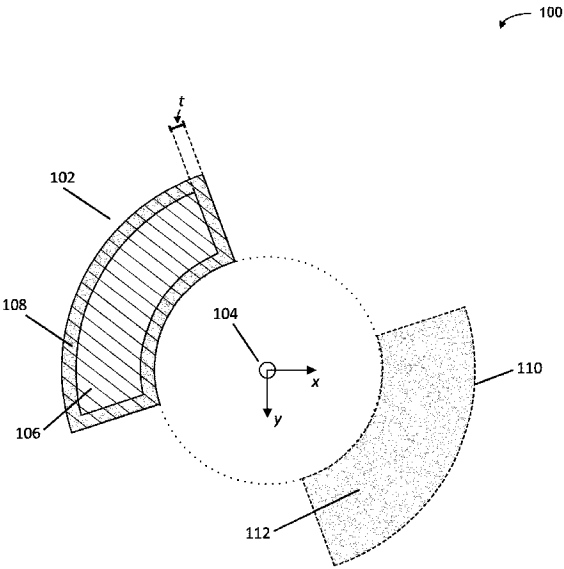
权利要求书3页 说明书8页 附图4页

(54) 发明名称

减少TEM校正器系统中的热磁场噪声

(57) 摘要

公开了用于减少显微镜系统的光学元件中的热磁场噪声的产生的系统。根据本公开的具有减少的约翰逊噪声产生的实例显微镜光学元件包括由电绝缘材料构成的内芯和由导电材料构成的外涂层。所述外涂层的厚度与电导率的乘积小于 $0.01 \Omega^{-1}$ 。所述外涂层致使由所述光学元件产生的约翰逊噪声减少多于 $2\times$ 、 $3\times$ 或一个数量级或更大。在特定实例实施例中,所述光学元件是具有减少的约翰逊噪声产生的校正器系统。这种校正器系统包括外磁多极和内静电多极。所述内部静电多极包括由电绝缘材料构成的内芯和由导电材料构成的外涂层。



1. 一种电子显微镜光学元件,所述光学元件包括:
由电绝缘材料构成的内芯;以及
由导电材料构成的外涂层,其中所述外涂层的厚度(t)与电导率(σ)的乘积小于 $0.01 \Omega^{-1}$,
其中所述电子显微镜光学元件是偏转器或静电多极。
2. 根据权利要求1所述的光学元件,其中所述电绝缘材料包括陶瓷材料。
3. 根据权利要求1所述的光学元件,其中所述外涂层完全包围所述内芯。
4. 根据权利要求1所述的光学元件,其中所述外涂层具有大于 $10k \Omega$ 的薄层电阻。
5. 根据权利要求1所述的光学元件,其中所述外涂层致使约翰逊噪声减少一个数量级。
6. 一种带电粒子显微镜系统,所述系统包括:
带电粒子源,其被配置成朝向样品发射带电粒子束;
聚焦柱,其被配置成将所述带电粒子束引导到所述样品;
样品固持器,其被配置成固持所述样品;
检测器系统,其被配置成基于与所述样品相互作用的所述带电粒子束检测发射和/或带电粒子;以及
具有减少的约翰逊噪声产生的电子显微镜光学元件,所述光学元件包括:
由电绝缘材料构成的内芯;以及
由导电材料构成的外涂层,其中所述外涂层具有大于 $10k \Omega$ 的薄层电阻,
其中所述光学元件是偏转器或静电多极。
7. 根据权利要求6所述的显微镜系统,其中所述外涂层的厚度(t)与电导率(σ)的乘积小于 $0.01 \Omega^{-1}$ 。
8. 一种校正器系统,所述校正器系统包括:
外部磁多极;和
内部静电多极,其中所述内部静电多极的组件包括:
由电绝缘材料构成的内芯;和
由导电材料构成的外涂层,其中所述外涂层具有大于 $10k \Omega$ 的薄层电阻。
9. 根据权利要求8所述的校正器系统,其中所述电绝缘材料包括半导体材料。
10. 根据权利要求8所述的校正器系统,其中所述电绝缘材料包括陶瓷材料。
11. 根据权利要求8所述的校正器系统,其中所述外涂层完全包围所述内芯。
12. 根据权利要求8所述的校正器系统,其中所述内部静电多极的组件是电极,且所述内部静电多极包括多个电极。
13. 根据权利要求12所述的校正器系统,其中所述多个电极中的每一个包括:
由电绝缘材料构成的内芯;和
由导电材料构成的外涂层。
14. 根据权利要求8所述的校正器系统,其中所述外涂层的厚度(t)与电导率(σ)的乘积小于 $0.01 \Omega^{-1}$ 。
15. 一种校正器系统,所述校正器系统包括:
外部磁多极;和
内部静电多极,其中所述内部静电多极的组件包括:

由电绝缘材料构成的内芯;和

由导电材料构成的外涂层,其中所述外涂层的厚度(t)与电导率(σ)的乘积小于 $0.01\ \Omega^{-1}$ 。

16.根据权利要求15所述的校正器系统,其中所述电绝缘材料包括半导体材料。

17.根据权利要求15所述的校正器系统,其中所述外涂层完全包围所述内芯。

18.根据权利要求15所述的校正器系统,其中所述内部静电多极的组件是电极,且所述内部静电多极包括多个电极。

19.根据权利要求18所述的校正器系统,其中所述多个电极中的每一个包括:

由电绝缘材料构成的内芯;和

由导电材料构成的外涂层。

20.根据权利要求15所述的校正器系统,其中所述外涂层具有大于 $10\text{k}\Omega$ 的薄层电阻。

21.一种校正器系统,所述校正器系统包括:

内部静电多极,由多个电极形成,其中至少一个电极包括:

由电绝缘材料构成的芯;和

由导电材料构成的涂层,所述涂层形成所述电极的至少一部分的外层,其中当所述校正器系统用于带电粒子系统中时所述涂层位于所述电极的所述芯和带电粒子束之间并且保持在非零电压;和

外部磁多极,围绕所述内部静电多极。

22.根据权利要求21所述的校正器系统,其中所述非零电压小于 10kV 。

23.根据权利要求21所述的校正器系统,其中所述涂层致使约翰逊噪声减少二分之一。

24.根据权利要求21所述的校正器系统,其中所述涂层致使约翰逊噪声减少一个数量级。

25.根据权利要求21所述的校正器系统,其中所述多个电极中的每个电极包括:由电绝缘材料构成的芯;和由导电材料构成的涂层,所述涂层形成每个电极的至少一部分的外层。

26.根据权利要求21所述的校正器系统,其中所述电绝缘材料包括半导体材料。

27.根据权利要求21所述的校正器系统,其中所述电绝缘材料包括陶瓷材料。

28.根据权利要求21所述的校正器系统,其中所述涂层的厚度(t)与电导率(σ)的乘积小于 $0.01\ \Omega^{-1}$ 。

29.一种校正器系统,所述校正器系统包括:

内部静电多极,由多个电极形成,其中所述多个电极中的第一电极包括:

芯,由电绝缘材料构成并且具有(i)能够朝向带电粒子系统的射束路径的内侧和(ii)邻近所述内侧并且当所述内侧朝向射束路径时不面向射束路径的横向侧,所述横向侧被分开所述多个电极中的第二电极之间的距离(g);和

由导电材料构成的涂层,所述涂层形成所述第一电极的至少一部分的外层,所述部分包括所述内侧和沿着邻近所述内侧的所述横向侧的长度(h),其中当所述校正器系统用于带电粒子系统中时所述内侧上的所述涂层位于所述第一电极的所述芯和沿着射束路径的带电离子束之间;以及

外部磁多极,围绕所述内部静电多极。

30.根据权利要求29所述的校正器系统,其中所述长度(h)和所述距离(g)的比率大于

5。

31. 根据权利要求29所述的校正器系统,其中所述长度(h)和所述距离(g)的比率大于

6。

32. 根据权利要求29所述的校正器系统,其中所述第二电极包括:

第二芯,由电绝缘材料构成并且具有(i)能够朝向所述射束路径的第二内侧和(ii)邻近所述第二内侧并且当所述第二内侧朝向射束路径时不面向射束路径的第二横向侧,所述第二横向侧被分开第一电极的横向侧之间的距离(g);和

由导电材料构成的第二涂层,所述第二涂层形成所述第二电极的至少第二部分的第二外层,所述第二部分包括所述第二内侧和沿着邻近所述第二内侧的所述第二横向侧的长度(1),其中当所述校正器系统用于带电粒子系统中时所述第二内侧上的所述第二涂层位于所述第二电极的所述第二芯和沿着射束路径的带电离子束之间。

33. 根据权利要求32所述的校正器系统,其中所述长度(1)和所述距离(g)的比率大于

5。

34. 根据权利要求32所述的校正器系统,其中所述长度(1)和所述距离(g)的比率大于

6。

35. 根据权利要求32所述的校正器系统,其中所述长度(h)和所述长度(1)相同。

36. 根据权利要求29所述的校正器系统,其中所述涂层致使约翰逊噪声减少二分之一。

37. 根据权利要求29所述的校正器系统,其中所述涂层致使约翰逊噪声减少一个数量级。

38. 根据权利要求29所述的校正器系统,其中所述涂层具有大于 $10\text{k}\Omega$ 的薄层电阻。

减少TEM校正器系统中的热磁场噪声

背景技术

[0001] 最近,来自靠近电子束的磁性和非磁性导电部件的热磁场噪声(约翰逊噪声)已被识别为电子显微镜系统去相干的原因。热磁场噪声源于靠近成像光束的导电磁性材料以及非磁性材料中的热驱动电流,例如轭、透镜和多极。这在色像差校正器(C_c) (被设计成校正轴向色像差系数的校正器系统)和 C_c/C_s 校正器(其校正 C_c 和球面像差系数)中尤其是一个问题,这消除了主要分辨率限制因素,从而使得热磁场噪声成为高分辨率TEM系统中的限制性像差。举例来说,在四极-八极 C_c/C_s 校正器中,对热磁场噪声的主要贡献来自两个 C_c 校正元件(即,四极维恩滤波器)。因此,虽然当前的TEM C_c/C_s 校正器能够补偿球面像差和色像差,但它们也会产生热磁场噪声,这至少部分地导致大于 $\sim 1 \text{ \AA}^{-1}$ 的空间频率的严重衰减。对于由热磁场噪声引起的模糊随着透镜间隙的平方根而增加的大间隙物镜,此问题更加严重。

[0002] 由于热磁场噪声与温度的平方根成比例,因此已经提出了冷却解决方案来补偿这种热磁场噪声。举例来说,已经设计了使用各种技术/元件(例如液氮、热管和/或冷却棒)来解决热磁场噪声冷却系统。然而, C_c/C_s 校正器的冷却既具有设计挑战性,又具有高昂的实施成本,使其在低温系统之外不是一个实用的解决方案。因此,需要更便宜且更容易实施的解决方案来校正成像系统中的热磁场噪声。

发明内容

[0003] 公开了用于减少显微镜系统的光学元件中的热磁场噪声的产生的系统。根据本公开的具有减少的约翰逊噪声产生的实例显微镜光学元件包括由电绝缘材料构成的内芯和由导电材料构成的外涂层。外涂层的厚度(t)与电导率(σ)的乘积小于 $0.01 \text{ } \Omega^{-1}$ 、 $0.001 \text{ } \Omega^{-1}$ 、 $0.0001 \text{ } \Omega^{-1}$ 。根据本发明的外涂层致使由光学元件产生的约翰逊噪声减少 $2\times$ 、 $3\times$ 、一个数量级或更多。在特定实例实施例中,所述光学元件是具有减少的约翰逊噪声产生的校正器系统。这种校正器系统包括由外部磁多极和内部静电多极组成的 C_c 校正元件。内部静电多极包括由电绝缘材料构成的内芯和由导电材料构成的外涂层。

附图说明

[0004] 参考附图描述详细描述。在附图中,附图标记最左侧数字标识附图标记第一次出现在附图中的附图。不同附图中的相同附图标记指示相似或相同的项。

[0005] 图1示意性地说明根据本发明的被配置成减少显微镜成像系统中的热磁噪声的光学组件。

[0006] 图2描绘包含被配置成减少样品的处理、成像和/或评估期间的热磁噪声的一个或多个光学组件的显微镜成像系统的环境。

[0007] 图3和图4示出根据本发明配置以在带电粒子显微镜系统中使用期间产生减少的热磁噪声的示意图实例校正器系统。

[0008] 图5示出实例曲线图,其说明根据本发明的热磁噪声(约翰逊噪声)对各种系统配

置的光学传递函数的贡献。

[0009] 贯穿附图的若干视图,类似的附图标记指代对应的部分。通常,在附图中,以实线展示了可能包含在给定实例中的元件,而以虚线展示了对于给定实例而言任选的元件。然而,以实线展示的元件对于本公开的所有实例不是必需的,并且以实线示出的元件可以在不脱离本公开的范围的情况下从特定实例中省略。

具体实施方式

[0010] 公开了用于减少显微镜成像系统中的热磁噪声的方法和系统。具体地,所述方法和系统涉及光学组件,所述光学部件包括由电绝缘材料构成的内芯和由包围内芯的导电材料构成的外涂层。在本发明的一些实施例中,光学组件为包括一个或多个内部静电多极和一个或多个外部磁多极的校正器(例如, C_c/C_s 校正器)的静电多极。在一些实例实施例中,包围内部电绝缘芯的此导电材料层的存在将校正器产生的热磁场噪声减少 $2\times$ 、 $3\times$ 、一个数量级或更多。

[0011] 图1为根据本发明的被配置成减少显微镜成像系统中的热磁噪声的光学组件100的示意性说明。确切地说,图1示出接近于带电粒子束路径104的光学组件102的横截面。图1将带电粒子束路径104说明为沿 z 轴行进,且将光学组件102的横截面说明为由 xy 平面平分。光学组件102包括由电绝缘材料构成的内芯106。在各种实施例中,内芯106可由各种电阻材料构成,例如,陶瓷材料、玻璃质材料、石英、半导体材料等。所属领域的技术人员将理解,潜在电阻材料的此列表并非穷尽性的,且可根据其驻留于其中的光学元件或系统的功能而选择各种电绝缘材料(和/或其组合)。

[0012] 图1进一步将光学元件102示出为包括由完全包围内芯的导电材料构成的外涂层108。然而,在其它实施例中,外涂层可不完全包围内芯。选择导电材料使得外涂层的厚度(t)与导电材料的电导率(σ)的乘积小于 $0.01\ \Omega^{-1}$ 、 $0.001\ \Omega^{-1}$,和/或 $0.0001\ \Omega^{-1}$ 。在各种实施例中,外涂层108可以电接地和/或电压施加到外涂层108。此外,在不同实施例中,外涂层108可具有大于 $10\ k\Omega$ 和/或大于 $100\ k\Omega$ 的薄层电阻(即, $1/(\sigma \times t)$)。此外涂层108在光学元件102上的存在导致由光学元件102产生的热磁场噪声(即约翰逊噪声)的量相比于已知光学元件减少至少 $2\times$ 、 $3\times$ 或一个数量级。

[0013] 在本发明的各种实施例中,光学元件102可以对应于各种光学显微镜元件或其组成元件。举例来说,光学元件102可对应于电极、多极元件、偏转器,或校正器的组成元件,例如 C_c 和/或 C_s 校正器。

[0014] 图1还将光学组件100说明为包含任选的第二光学元件110,所述第二光学元件110包括由电绝缘材料构成的内芯106,所述电绝缘材料被由导电材料构成的外涂层112包围。具有两个这样的光学元件的实例实施例可以是光束偏转器系统。根据本发明,此光束偏转器系统将能够引起带电粒子束104的偏转,同时当带电粒子束104接近光学元件102和110传递时产生极大减少量的热磁噪声。

[0015] 图2为包含被配置成减少样品的处理、成像和/或评估期间的热磁噪声的一个或多个光学组件的显微镜成像系统的环境200的说明。确切地说,图2示出实例环境200,其包含用于研究包含偏转器系统206和校正器系统208两个的样品204的实例显微镜系统202,所述偏转器系统206和校正器系统208各自根据本发明配置成减少其产生的热磁场噪声的量。确

切地说,图2将实例显微镜系统202示出为包含 C_s/C_c 校正器系统208。

[0016] 实例显微镜系统202可为或包含一个或多个不同类型的光学和/或带电粒子显微镜,例如但不限于扫描电子显微镜(SEM)、扫描透射式电子显微镜(STEM)、透射式电子显微镜(TEM)、带电粒子显微镜(CPM)、低温兼容显微镜、聚焦离子束显微镜(FIB)、双束显微镜系统或其组合。图2将实例显微镜系统202示出为TEM显微镜系统。

[0017] 图2将实例显微镜系统202描绘为包含电子源210(例如,热电子源、肖特基发射源、场发射源等),其沿着电子发射轴214且朝向样品204发射电子束212。电子发射轴214为沿着实例显微镜系统202的长度从电子源210延伸且穿过样品204的中心轴。虽然图2将实例显微镜系统202描绘为包含电子源210,但在其它实施例中,实例显微镜系统202可包括例如离子源的带电粒子源,所述带电粒子源配置成朝向样品204发射多个带电粒子。

[0018] 加速器透镜216使电子束216加速/减速、聚焦和/或导向电子聚焦柱218。电子聚光器柱218聚焦电子束212以使得其入射在样品204的至少一部分上。另外,聚光器柱218可校正和/或调整电子束212的像差(例如,几何像差、色像差)。在一些实施例中,电子聚焦柱218可包含孔口、转移透镜、扫描线圈、聚光器透镜、偏转器206、物镜等中的一个或多个,它们一起将来自电子源210的电子聚焦到样品204上的小点上(STEM模式),或在样品上提供较宽照明射束(TEM模式)。

[0019] 图2进一步描绘根据本发明的偏转器206的插入横截面图220,其被配置成提供电场以偏转波束。横截面图220将偏转器206示出为包括由电绝缘材料构成的内芯222。在各种实施例中,内芯222可由各种电阻材料构成,例如,陶瓷材料、玻璃质材料、石英、半导体材料等。所属领域的技术人员将理解,潜在电阻材料的此列表并非穷尽性的,且可根据其驻留于其中的光学元件或系统的功能而选择各种电绝缘材料(和/或其组合)。偏转器206进一步示出为包括由完全包围内芯的导电材料构成的外涂层224。选择导电材料使得外涂层的厚度(t)与导电材料的电导率(σ)的乘积小于 $0.01 \Omega^{-1}$ 、 $0.001 \Omega^{-1}$,和/或 $0.0001 \Omega^{-1}$ 。在各种实施例中,外涂层224可电接地,和/或可具有大于 $10 \text{ k}\Omega$ 和/或大于 $100 \text{ k}\Omega$ 的薄层电阻。此外涂层224在偏转器206上的存在导致由偏转器206产生的热磁噪声(即约翰逊噪声)的量相比已知光学元件减少至少 $2\times$ 、 $3\times$ 或一个数量级。

[0020] 可通过经由偏转器206和/或扫描线圈调整电子束方向来扫描样品204的不同位置。以此方式,电子束212充当跨样品的表面层(即,接近显微镜柱202和/或由电子束212辐照的层的表面)扫描的成像波束。样品204的表面层的此辐照使得电子束212的组分电子与样品的组分元素/分子/特征相互作用,使得组分元素/分子/特征使发射由样品204发出。所释放的特定发射是基于使其发射的对应元素/分子/特征,使得可分析发射以确定关于对应元素/分子的信息。

[0021] 图2进一步说明用于检测从电子束212产生的入射于样品204上的发射的检测器系统226。检测器系统226可包括定位或以其它方式配置成检测此类发射的一个或多个检测器。在各种实施例中,不同检测器和/或单一检测器的不同部分可配置成检测不同类型的发射,或配置成使得由不同检测器和/或不同部分检测的发射的参数不同。

[0022] 图2进一步包含根据本发明的校正器系统208的插入横截面图230。校正器系统208包括多个外部磁性元件232(例如,包括8或12个极点的磁多极)和多个电极234(例如,静电多极),其中与外部磁性元件232相比,电极234更接近于带电粒子束212而定位。

[0023] 横截面图230将电极234示出为包括由电绝缘材料(例如,陶瓷材料、玻璃质材料、石英、半导体材料等)构成的内芯和由完全包围内芯的导电材料构成的外涂层。选择导电材料使得外涂层的厚度(t)与导电材料的电导率(σ)的乘积小于 $0.01\ \Omega^{-1}$ 、 $0.001\ \Omega^{-1}$,和/或 $0.0001\ \Omega^{-1}$ 。在各种实施例中,外涂层可电接地,和/或可具有大于 $10\ k\Omega$ 和/或大于 $100\ k\Omega$ 的薄层电阻。此外涂层224在电极234上的存在导致由校正器系统208产生的热磁噪声(即约翰逊噪声)的量相比于已知光学元件减少至少 $2\times$ 、 $3\times$ 或一个数量级。图2进一步将校正器系统208示出为任选地包含磁性元件232与电极234之间的屏障。例如,屏障236可以部分地限定带电粒子束212行进穿过的真空区。

[0024] 图2进一步将实例显微镜系统202示出为进一步包含样品固持器228。样品固持器228配置成固持样品204,且可相对于实例显微镜系统202平移、旋转和/或倾斜样品204。

[0025] 环境200还示出为包含连接到检测器系统226的一个或多个计算装置238。检测器系统226进一步配置成产生对应于所检测的发射的数据/数据信号,且将数据/数据信号发射到一个或多个计算装置238。所属领域的技术人员将理解,图2中所描绘的计算装置238仅是说明性的,并且不旨在限制本公开的范围。计算系统和装置可以包含可以执行所指示功能的硬件或软件的任何组合,包含计算机、网络装置、互联网设备、PDA、无线电话、控制器、示波器、放大器等。计算装置238也可连接到未说明的其它装置,或者替代地可以作为独立系统操作。

[0026] 还应注意,计算装置238中的一个或多个可以是实例显微镜系统202的组件,可以是与实例显微镜系统202分离的经由网络通信接口与实例显微镜系统202通信的独立装置,或其组合。举例来说,实例显微镜系统202可包含第一计算装置238,所述第一计算装置为实例显微镜系统202的组成部分且其充当驱动实例带电粒子显微镜系统202的操作(例如,通过操作扫描线圈调整样品上的扫描位置等)的控制器。在此类实施例中,实例显微镜系统202还可包含第二计算装置238,所述第二计算装置为与实例显微镜系统202分离的台式计算机且其可执行以处理从检测器系统226接收的数据,从而产生样品204的图像和/或对检测器数据执行其它类型的分析或后处理。计算装置238可进一步配置成经由键盘、鼠标、触摸垫、触摸屏等接收用户选择。

[0027] 图3和图4为根据本发明配置以在带电粒子显微镜系统中使用期间产生减少的热磁噪声的实例校正器系统的示意性图解。举例来说,图3说明根据本发明的 C_s/C_c 校正器系统300的实例 C_c 校正元件。确切地说,图3将实例 C_s/C_c 校正器系统300示出为包括围绕由多个电极304形成的静电四极的磁多极302。

[0028] 图3描绘电极304的横截面图,其说明电极304由电绝缘材料(例如,陶瓷材料、玻璃质材料、石英、半导体材料等)构成的内芯306和由完全包围内芯的导电材料构成的外涂层308个别地形成。选择导电材料使得外涂层的厚度(t)与导电材料的电导率(σ)的乘积小于 $0.01\ \Omega^{-1}$ 、 $0.001\ \Omega^{-1}$,和/或 $0.0001\ \Omega^{-1}$ 。在各种实施例中,外涂层308可电接地,和/或可具有大于 $10\ k\Omega$ 和/或大于 $100\ k\Omega$ 的薄层电阻。当带电粒子束310接近于电极302行进时,此外涂层308在电极302上的存在使得由实例 C_s/C_c 校正器系统300产生的热磁噪声(即,约翰逊噪声)的量相比于已知光学元件减少至少 $2\times$ 、 $3\times$ 或一个数量级。图3还将实例 C_s/C_c 校正器系统300说明为包含部分地限定真空区的任选屏障312,在实例 C_s/C_c 校正器系统300的操作期间带电粒子束310行进穿过所述真空区。然而,在其它实施例中,此任选屏障312可

定位成使得磁多极包围在真空区内。

[0029] 图4说明根据本发明的 C_s/C_c 校正器系统400的实例 C_c 校正元件。确切地说,图4将实例 C_s/C_c 校正器系统400示出为包括围绕由多个电极404形成的静电四极的磁多极402。图4描绘电极404的横截面图,其说明电极404由电绝缘材料(例如,陶瓷材料、玻璃质材料、石英、半导体材料等)构成的内芯406和由完全包围内芯的导电材料构成的外涂层408个别地形成。图4描绘外芯408并不完全包围内芯406的实施例。举例来说,在特定实施例中, $h:g$ 的比率可大于5或6。选择导电材料使得外涂层的厚度(t)与导电材料的电导率(σ)的乘积小于 $0.01 \Omega^{-1}$ 、 $0.001 \Omega^{-1}$,和/或 $0.0001 \Omega^{-1}$ 。在各种实施例中,外涂层408可电接地,和/或可具有大于 $10 \text{ k}\Omega$ 和/或大于 $100 \text{ k}\Omega$ 的薄层电阻。当带电粒子束410接近于电极402行进时,此外涂层408在电极402上的存在使得由实例 C_s/C_c 校正器系统400产生的热磁噪声(即,约翰逊噪声)的量相比于已知光学元件减少至少 $2\times$ 、 $3\times$ 或一个数量级。

[0030] 图5说明针对使用当前技术的现有系统和结合来自本公开的技术的系统两个的热磁场噪声(约翰逊噪声)对TEM对比度传递函数(CTF)的贡献的图形关系。确切地说,图5示出针对实例 C_c/C_s 校正器系统说明约翰逊噪声对CTF的贡献的曲线图,所述实例 C_c/C_s 校正器系统包括两个四极维恩滤波器作为 C_c 校正元件。这两个元件运用物镜的主要贡献校正所有其它透镜的轴向色像差 C_c 。曲线502对应于针对根据现有技术构造的此实例 C_c/C_s 校正器系统的第一版本的约翰逊噪声对CTF的贡献。曲线504对应于针对被构造成结合来自本公开的技术的实例 C_c/C_s 校正器系统的第二版本的约翰逊噪声对CTF的贡献。

[0031] 当针对这两个实例 C_c/C_s 校正器系统评估热磁场噪声对TEM CTF的贡献时,我们考虑其中在这些四极维恩滤波器的中心中存在相等长度的两个彼此垂直的线焦点的常见且理想的情况。我们进一步考虑在样本平面中具有半打开角 α_x 的轴向电子(即,其路径在样本平面中的光轴上开始的电子),其在一个四极维恩滤波器的中心处具有横向位置 x (且因此,在另一者中 $x=0$)。可接着将有效焦距 f_{eff} 定义为 $f_{\text{eff}} = x/\alpha_x$ 。由两个四极维恩滤波器产生的约翰逊噪声导致高斯图像在样本平面中扩散,其中rms值 σ 由以下给出:

$$[0032] \quad \sigma^2 = \frac{C_J C_{\text{metal}} L f_{\text{eff}}^2}{U_r R^2} \quad (1),$$

[0033] 其中 $U_r =$ 相对论电子电压 $= U + eU^2/(2mc^2)$,且 L 和 $R =$ 四极维恩滤波器的长度和内半径。此外,常数 C_J 定义为:

$$[0034] \quad C_J = \frac{3}{4} \pi \eta^2 \mu_0 k_B T, \quad (2),$$

[0035] 当系统处于室温时,其等于 1.05×10^{-15} (以SI单位计); k_B 是玻尔兹曼常数。此外,对于非磁性金属,无量纲常数 $C_{\text{metal}} \approx 0.085 \equiv C_{\text{non-magn}}$,且对于软磁铁,其大约等于 $0.17 \equiv C_{\text{magn}}$ 。

[0036] 图5中的曲线502描述来自具有两个 C_c 校正元件的 C_c/C_s 校正器系统的热磁场噪声

的贡献,所述校正元件为在其轭上具有在 V_q 与 $-V_q$ 之间的四极电压的磁多极。这允许方程 (2) 被评估为:

$$[0037] \quad \sigma^2 = 2C_J C_{\text{magn}} C_c \gamma V_q^{-1} \quad (3),$$

[0038] 其中 $\gamma = 1 + eU/(mc^2)$, 其根据四极维恩滤波器的参数表示由热磁场噪声引起的图像扩散。对于所属领域的技术人员来说可能显而易见, 此元件的几何参数 L 和 R 并不出现在方程 3 中 (因为这些尺寸影响约翰逊噪声贡献)。然而, 应注意, 其不存在, 因为 L 和 R 参数对校正器系统与物镜之间的放大率的影响 (即, 其影响色像差校正所需的 f_{eff}) 致使这些参数从方程 3 中退出。在根据本发明的四极维恩滤波器中, 磁多极可具有更大的半径 R , 从而导致更少的约翰逊噪声。就此磁多极的参数来说, 约翰逊噪声 rms 值 σ 通过以下给出:

$$[0039] \quad \sigma^2 = \frac{2 C_J C_{\text{magn}} C_c \gamma^2}{\eta U_r^{1/2} R B_{\text{yoke}}} \quad (4),$$

[0040] 其中 $\eta = \sqrt{e/(2m)}$, 且 B_{yoke} 是磁多极的内半径 R 处的最大磁场。方程 4 用于计算曲线 504。通过以下给出约翰逊噪声对 TEM 对比度转移函数 (CTF) 的贡献:

$$[0041] \quad \text{CTF(约翰逊)} = e^{[-2(\pi\sigma k)^2]} \quad (5),$$

[0042] 其中 k 是空间频率。

[0043] 根据本公开, 在图 5 中, 曲线 504 针对包括磁四极和静电四极的 C_c/C_s 校正器系统示出约翰逊噪声对 CTF 的贡献。方程 4 和 5 用于计算曲线 504, 其中参数 $C_c = 1.6 \text{ mm}$, $U = 300 \text{ kV}$, $R = 6 \text{ mm}$, 且 $B_{\text{yoke}} = 0.04$ 特斯拉。假设由内部电极产生的约翰逊噪声为可忽略的。

[0044] 曲线 502 示出第一情况的关系, 其中 C_c 校正元件的电极并不个别地包括由电绝缘材料构成的内芯和由导电材料构成的外涂层。出于实际原因, 四极电压 V_q 通常选择小于 10 kV。使用方程 3 和 5, 针对 $C_c = 1.6 \text{ mm}$ 且 $V_q = 6 \text{ kV}$ 计算曲线 502。

[0045] 在以下列举的段落中描述了根据本公开的本发明主题的实例。

[0046] A1. 一种具有减少的约翰逊噪声产生的校正器系统, 所述校正器系统包括: 外部磁多极; 内部静电多极, 其中内部静电多极的组件包括: 由电绝缘材料构成的内芯; 以及由导电材料构成的外涂层。

[0047] A1.1. 根据段落 A1 所述的校正器系统, 其中所述电绝缘材料包括半导体材料。

[0048] A1.2. 根据段落 A1 所述的校正器系统, 其中所述电绝缘材料包括陶瓷材料。

[0049] A2. 根据段落 A1 所述的校正器系统, 其中所述外涂层完全包围所述内芯。

[0050] A3. 根据段落 A1 到 A2.1 中任一个所述的校正器系统, 其中所述组件是电极。

[0051] A4. 根据段落 A1 到 A3 中任一个所述的校正器系统, 其中所述内部静电多极包括多

个电极。

[0052] A4.1. 根据段落A4所述的校正器系统,其中所述多个电极中的每一个包括:由电绝缘材料构成的内芯;以及由导电材料构成的外涂层。

[0053] A5. 根据段落A1到A4.1中任一个所述的校正器系统,其中所述校正器是 C_c 校正器。

[0054] A6. 根据段落A1到A4.1中任一个所述的校正器系统,其中所述校正器是 C_c/C_s 校正器。

[0055] A6.1. 根据段落A1到A4.1中任一个所述的校正器系统,其中所述校正器是 C_s 校正器。

[0056] A7. 根据段落A1到A6中任一个所述的校正器系统,其中所述外涂层具有大于 $10\text{ k}\Omega$ 的薄层电阻。

[0057] A7.1. 根据段落A7所述的校正器系统,其中所述外涂层具有大于 $100\text{ k}\Omega$ 的薄层电阻。

[0058] A8. 根据段落A1到A7.1中任一个所述的校正器系统,其中所述外涂层的厚度(t)与电导率(σ)的乘积小于 $0.01\text{ }\Omega^{-1}$ 。

[0059] A8.1. 根据段落A8所述的校正器系统,其中所述外涂层的厚度(t)与电导率(σ)的乘积小于 $0.001\text{ }\Omega^{-1}$ 。

[0060] A8.2. 根据段落A8所述的校正器系统,其中所述外涂层的厚度(t)与电导率(σ)的乘积小于 $0.0001\text{ }\Omega^{-1}$ 。

[0061] A9. 根据段落A1到A7.1中任一个所述的校正器系统,其中所述外涂层致使约翰逊噪声减少 $2\times$ 、 $3\times$ 或一个数量级。

[0062] A9.1. 根据段落A9所述的校正器系统,其中所述外涂层致使约翰逊噪声减少多于 $2\times$ 、 $3\times$ 或一个数量级。

[0063] A10. 根据段落A1到A9.1中任一个所述的校正器系统,其中所述外涂层电接地。

[0064] B1. 一种具有减少的约翰逊噪声产生的电子显微镜光学元件,所述光学元件包括:由电绝缘材料构成的内芯;由导电材料构成的外涂层。

[0065] B1.1. 根据段落B1所述的光学元件,其中所述电绝缘材料包括半导体材料。

[0066] B1.2. 根据段落B1所述的光学元件,其中所述电绝缘材料包括陶瓷材料。

[0067] B2. 根据段落B1所述的光学元件,其中所述外涂层完全包围所述内芯。

[0068] B3. 根据段落B1到B2.1中任一个所述的光学元件,其中所述光学元件是电极。

[0069] B5. 根据段落B1到B4.1中任一个所述的光学元件,其中所述光学元件是校正器。

[0070] B5.1. 根据段落B5所述的光学元件,其中所述光学元件是 C_c 校正器。

[0071] B5.2. 根据段落B5到B5.1中任一个所述的光学元件,其中所述光学元件是 C_c/C_s 校正器。

[0072] B5.3. 根据段落B5到B5.2中任一个所述的光学元件,其中所述光学元件进一步包括至少一个外部磁多极。

[0073] A5.4. 根据段落B1到B5中任一个所述的校正器系统,其中所述校正器是 C_s 校正器。

[0074] B7. 根据段落B1到B5.4中任一个所述的光学元件,其中所述外涂层具有大于 10 k

Ω 的薄层电阻。

[0075] B7.1. 根据段落B7所述的光学元件,其中所述外涂层具有大于100 k Ω 的薄层电阻。

[0076] B8. 根据段落B1到B7.1中任一个所述的光学元件,其中所述外涂层的厚度(t)与电导率(σ)的乘积小于0.01 Ω^{-1} 。

[0077] B8.1. 根据段落B8所述的光学元件,其中所述外涂层的厚度(t)与电导率(σ)的乘积小于0.001 Ω^{-1} 。

[0078] B8.2. 根据段落B8所述的光学元件,其中所述外涂层的厚度(t)与电导率(σ)的乘积小于0.0001 Ω^{-1} 。

[0079] B9. 根据段落B1到B7.1中任一个所述的光学元件,其中所述外涂层致使约翰逊噪声减少2 $\times$ 、3 $\times$ 或一个数量级。

[0080] B10. 根据段落B1到B9中任一个所述的光学元件,其中所述外涂层电接地。

[0081] C1. 一种根据段落A1到A10中任一个所述的校正器系统的用途。

[0082] D1. 一种根据段落B1到B10中任一个所述的光学元件的用途。

[0083] E1. 一种带电粒子显微镜系统,被配置成具有减少的热磁噪声,所述系统包括:带电粒子源,其被配置成朝向样品发射带电粒子束;聚焦柱,其被配置成将所述带电粒子束引导到所述样品;样品固持器,其被配置成固持所述样品;检测器系统,其被配置成基于与所述样品相互作用的所述带电粒子束检测发射和/或带电粒子;以及根据段落A1到A10中任一个所述的校正器系统和/或根据段落B1到B10中任一个所述的光学元件中的至少一个。

[0084] F1. 一种根据段落E1所述的带电粒子显微镜系统的用途。

[0085] 本文所描述的系统、设备和方法不应以任何方式被解释为限制性的。实际上,本公开针对各种所公开实施例的所有新颖和非显而易见的特征和方面,无论是单独地还是以彼此形成的各种组合和子组合。所公开的系统、方法和设备不限于任何具体方面或特征或其组合,所公开的系统、方法和设备也不要求存在任何一个或多个具体优点或解决任何一个或多个具体问题。任何操作理论均是为了便于阐释,但所公开的系统、方法和设备不限于此类操作理论。

[0086] 尽管为了便于呈现而以特定的顺序次序来描述所公开的方法中的一些的操作,但应理解,除非下文所陈述的具体语言要求特定排序,否则此描述方式涵盖重新布置。例如,在一些情况下,可以重新布置或同时执行按顺序描述的操作。此外,为了简单起见,附图可能没有显示所公开的系统、方法和设备可与其它系统、方法和设备结合使用的各种方式。另外,描述内容有时使用比如“确定”、“识别”、“产生”和“提供”等术语来描述所公开的方法。这些术语是所执行的实际操作的高级抽象化。对应于这些术语的实际操作将取决于特定实施方案而变化,并且容易由所属领域的技术人员辨别。

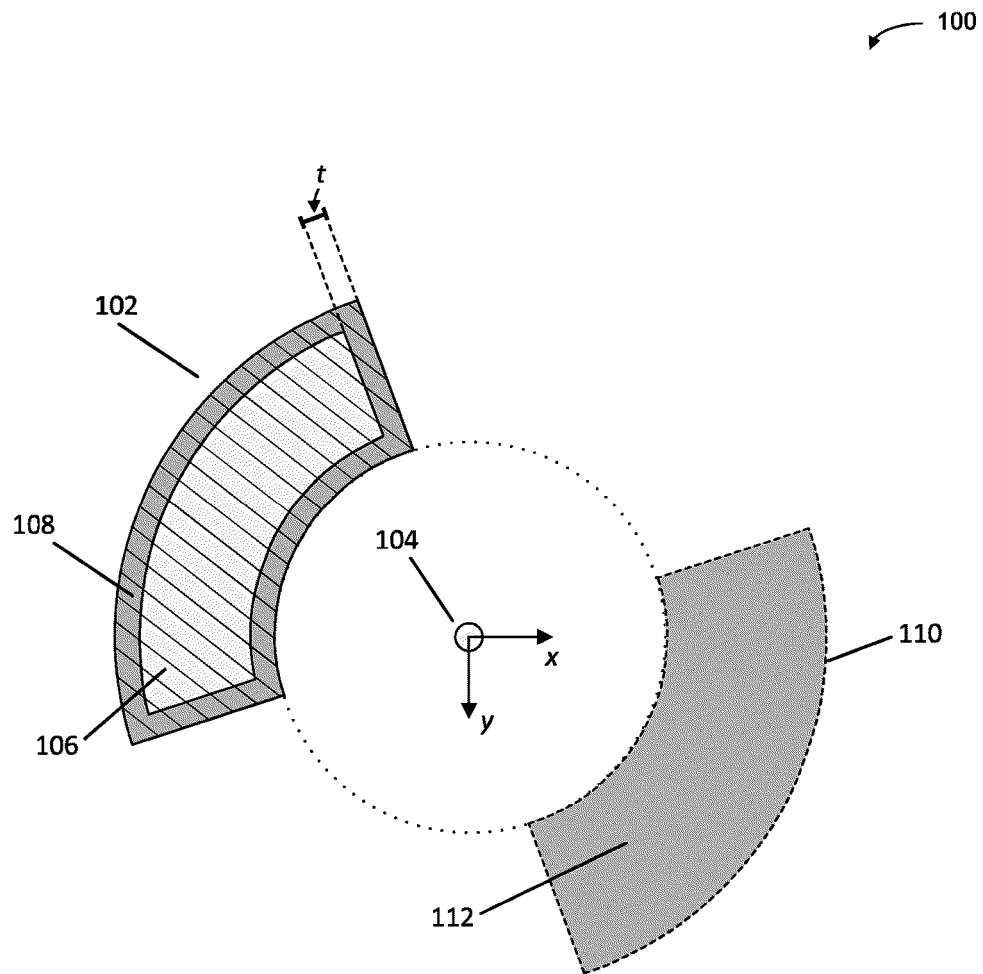


图 1

300 ↗

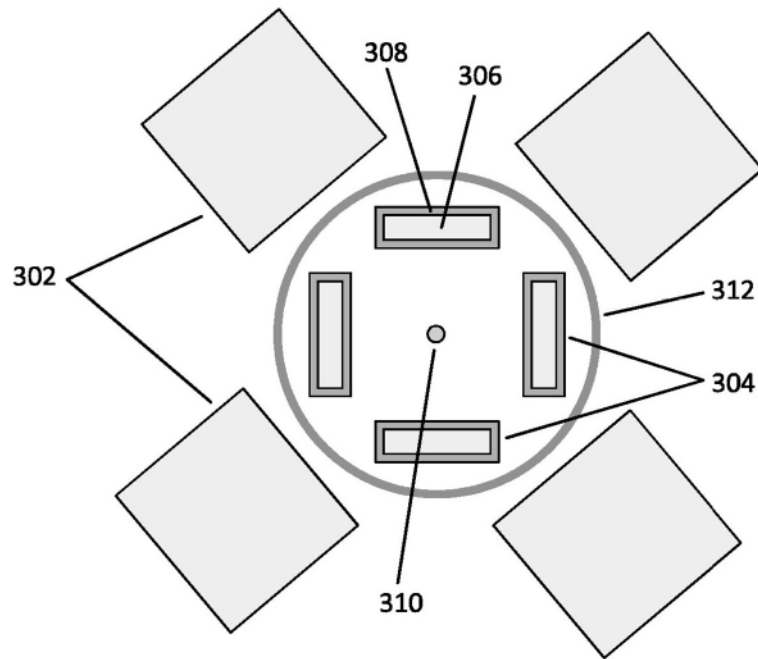


图 3

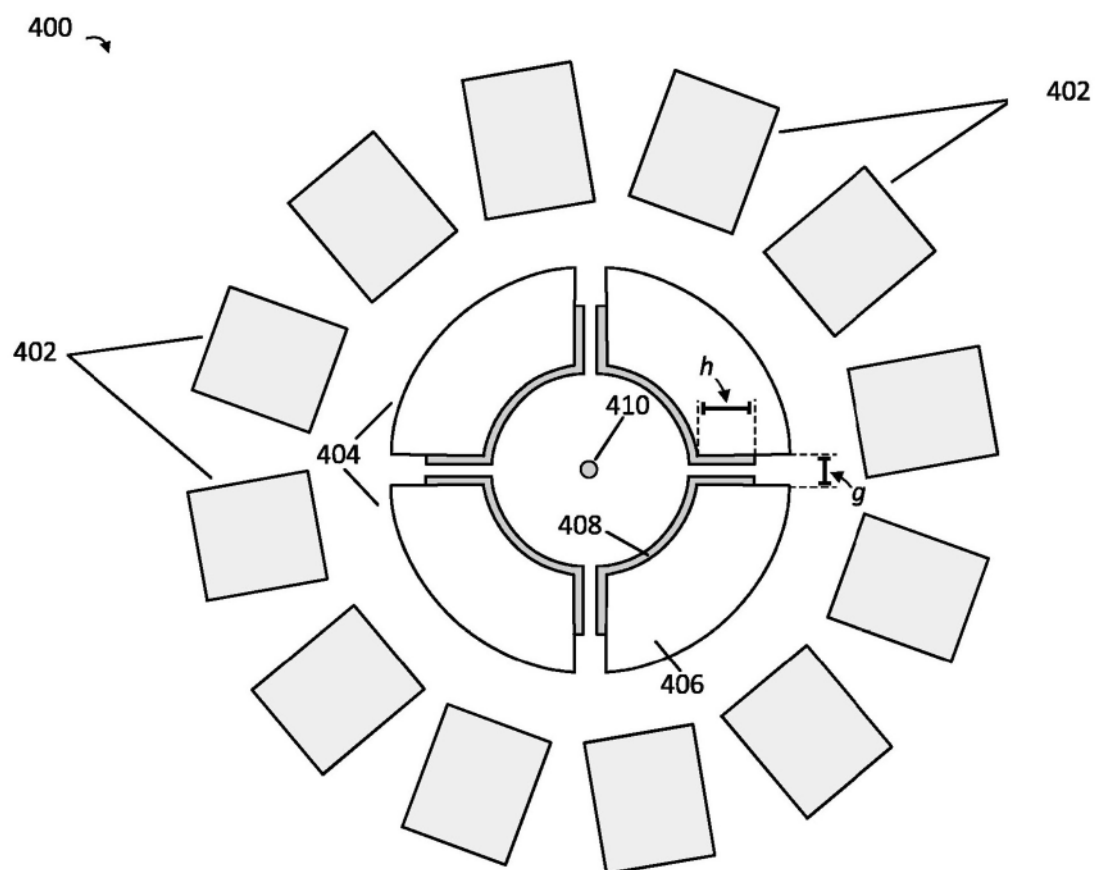


图 4

500

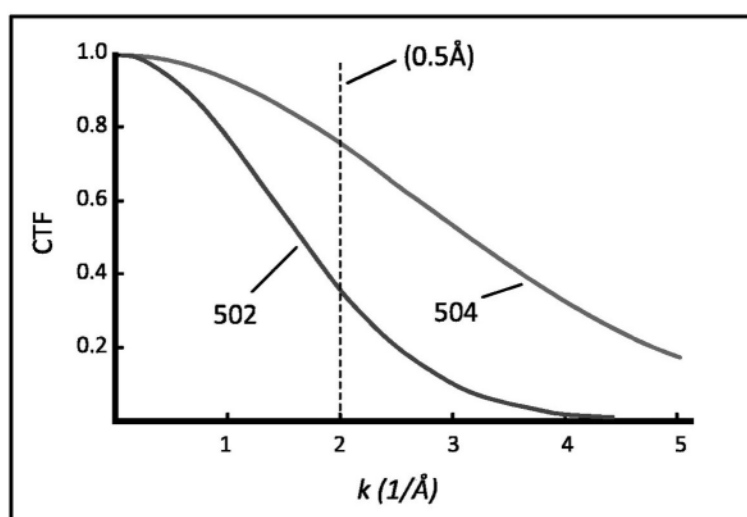


图 5