



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102668052 B

(45) 授权公告日 2015. 07. 22

(21) 申请号 201080039744. 4

(22) 申请日 2010. 09. 01

(30) 优先权数据

61/239, 699 2009. 09. 03 US

12/872, 988 2010. 08. 31 US

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2012. 03. 02

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/US2010/047539 2010. 09. 01

(87) PCT国际申请的公布数据

W02011/028807 EN 2011. 03. 10

(73) 专利权人 克拉-坦科股份有限公司

地址 美国加利福尼亚州

(72) 发明人 D·坎戴尔 V·列文斯基

A·斯维泽 J·塞利格松 A·希尔

O·巴卡尔 A·马纳森 Y-H·A·庄

I·塞拉 M·马克维兹 D·纳格利

E·罗特姆

(74) 专利代理机构 上海专利商标事务所有限公

司 31100

代理人 钱孟清

(51) Int. Cl.

H01L 21/66(2006. 01)

(56) 对比文件

US 5859424 A, 1999. 01. 12,

US 2006290931 A1, 2006. 12. 28,

US 6690473 B1, 2004. 02. 10,

WO 0225708 A2, 2002. 03. 28,

US 7528941 B2, 2009. 05. 05,

US 2002018217 A1, 2002. 02. 14,

US 7095504 B1, 2006. 08. 22,

US 2008129986 A1, 2008. 06. 05,

US 6323946 B1, 2001. 11. 27,

US 2008273662 A1, 2008. 11. 06,

Steven J. Wein 等. Gaussian-apodized apertures and small-angle scatter. 《Optical Engineering》. 1989, 第28卷(第3期), 273-280.

审查员 张慧明

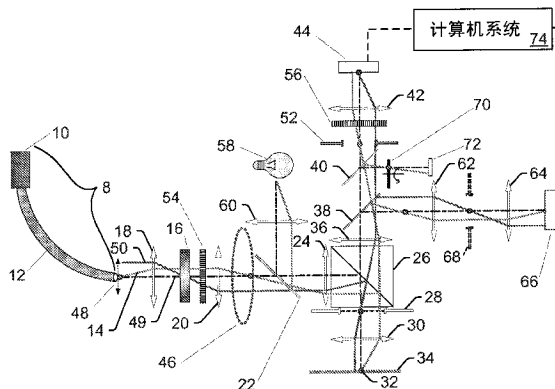
权利要求书2页 说明书11页 附图1页

(54) 发明名称

计量系统以及方法

(57) 摘要

提供了各种计量系统以及方法。



1. 一种计量系统,包括:
 - 被配置成产生衍射受限光束的光源;
 - 变迹器,所述变迹器被配置成在照射光学器件的入射光瞳中以在晶片平面中距照射斑的中心远于 1.5 微米的辐照度小于所述斑的中心的峰值辐照度的 10^{-6} 的方式使所述光束成形;
 - 光学元件,所述光学元件被配置成将所述衍射受限光束从所述变迹器定向到晶片上的光栅靶上的所述照射斑并且收集来自所述光栅靶的散射光;
 - 被配置成拒绝一部分所收集散射光的视场光阑;
 - 检测器,所述检测器被配置成检测穿过所述视场光阑的散射光并且响应于检测到的散射光生成输出以使所述光栅靶由所述计量系统使用散射计量来测量;以及
 - 被配置成使用所述输出来确定所述光栅靶的特性的计算机系统。
2. 如权利要求 1 所述的计量系统,其特征在于,所述光源包括激光和单模光纤。
3. 如权利要求 1 所述的计量系统,其特征在于,所述光栅靶上的所述照射斑的直径小于 3 微米。
4. 如权利要求 1 所述的计量系统,其特征在于,所述光栅靶的横向尺寸为“小于 10 微米”乘以“小于 10 微米”。
5. 如权利要求 1 所述的计量系统,其特征在于,所述计量系统被配置成在收集来自所述光栅靶的散射光的同时跨所述光栅靶扫描所述照射斑。
6. 如权利要求 1 所述的计量系统,其特征在于,所述散射计量包括角解析散射计量。
7. 如权利要求 1 所述的计量系统,其特征在于,所述散射计量包括使用多个离散波长来执行的角解析散射计量。
8. 如权利要求 1 所述的计量系统,其特征在于,所述散射计量包括光谱散射计量。
9. 如权利要求 1 所述的计量系统,其特征在于,所述散射计量包括使用多个离散角来执行的光谱散射计量。
10. 如权利要求 1 所述的计量系统,其特征在于,所述光学元件包括置于所述衍射受限光束的路径中的偏振器和置于所收集散射光的路径中的分析器,并且其中所述偏振器和分析器被配置成所述散射计量使用多个偏振状态来执行。
11. 如权利要求 1 所述的计量系统,其特征在于,所述光学元件包括置于所述衍射受限光束的路径中的偏振器和置于所收集散射光的路径中的分析器,并且其中所述计量系统被配置成至少使用所述光源、包括所述偏振器和所述分析器的所述光学元件、以及所述检测器来执行对所述晶片的椭圆计量测量。
12. 如权利要求 11 所述的计量系统,其特征在于,所述计算机系统还被配置成使用所述检测器在所述椭圆计量测量期间生成的输出来确定在所述晶片上形成的膜的特性。
13. 如权利要求 1 所述的计量系统,其特征在于,所述视场光阑不以所收集散射光沿其传播的光轴为中心,由此减少所收集散射光在所述检测器上的重影。
14. 如权利要求 1 所述的计量系统,其特征在于,所述光学元件还被配置成将所收集散射光的重像集中到所述光学元件的成像光瞳中的局部区域、或跨所述成像光瞳将所述重像扩散开以减小所述重像的辐照度。
15. 如权利要求 1 所述的计量系统,其特征在于,所述特性包括所述光栅靶中的经图案

化结构的临界尺寸。

16. 如权利要求 1 所述的计量系统,其特征在于,所述特性包括所述光栅靶中的经图案化结构对在晶片上形成的另一光栅靶的经图案化结构的覆盖,并且其中所述光栅靶和所述另一光栅靶在晶片的不同层上形成。

17. 如权利要求 1 所述的计量系统,其特征在于,还包括被配置成生成所述晶片的图像的附加检测器,其中所述计算机系统还被配置成使用所述图像来确定所述光栅靶的附加特性。

18. 如权利要求 17 所述的计量系统,其特征在于,所述特性包括基于散射计量的覆盖,并且其中所述附加特性包括基于成像的覆盖。

19. 如权利要求 17 所述的计量系统,其特征在于,所述光学元件包括物镜,所述物镜被配置成收集来自所述光栅靶的散射光并且被配置成收集用于生成所述图像的来自所述晶片的光。

20. 如权利要求 1 所述的计量系统,其特征在于,所述光学元件还被配置成将穿过所述视场光阑的散射光只定向到所述检测器的第一部分,其中所述光学元件还被配置成将所述衍射受限光束的一部分只定向到所述检测器的第二部分而未首先将所述衍射受限光束的所述部分定向到所述晶片,并且其中所述检测器的第二部分与所述检测器的第一部分不重叠。

21. 如权利要求 1 所述的计量系统,其特征在于,所述光学元件还被配置成将穿过所述视场光阑的散射光只定向到所述检测器的第一部分,其中所述检测器的第二部分看不见光,其中只由所述检测器的第二部分生成的输出被所述计算机系统用来校准所述检测器响应于所述检测器的第一部分中的检测到的散射光而生成的输出,并且其中所述检测器的第二部分与所述检测器的第一部分不重叠。

22. 一种计量方法,包括:

在照射光学器件的入射光瞳中以及在晶片平面中距照射斑的中心远于 1.5 微米的辐照度小于所述斑中心的峰值辐照度的 10^{-6} 的方式使衍射受限光束成形;

将所述衍射受限光束定向到晶片上的光栅靶上的所述照射斑;

收集来自所述光栅靶的散射光;

用视场光阑拒绝来自所述光栅靶的一部分所收集散射光;

在所述拒绝之后检测穿过所述视场光阑的散射光;

响应于检测到的散射光生成输出以使所述光栅靶由计量系统使用散射计量来测量的;

以及

使用所述输出来确定所述光栅靶的特性。

计量系统以及方法

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本申请要求 2009 年 9 月 3 日提交的题为“多功能计量系统 (Multifunction Metrology System)”的美国专利申请 S/N. 61/239, 699, 其如在本文中完全阐述一样通过引用结合于此。

背景技术

[0003] 1. 发明领域

[0004] 本发明一般涉及计量系统以及方法。

[0005] 2. 相关技术的描述

[0006] 以下描述和示例不因其包括在该部分中而被视为现有技术。

[0007] 在半导体制造工艺中的各个点对晶片执行计量处理, 以确定晶片的各种特性, 诸如晶片上的经图案化结构的宽度、在晶片上形成的膜的厚度、以及晶片的一层上的经图案化结构对晶片的另一层上的经图案化结构的覆盖。光学临界尺寸 (CD) 计量当前使用光谱散射计量 (scatterometry) 或角解析散射计量来执行。光学覆盖计量使用成像方法或基于散射计量的方法 (光谱和角解析两者) 来执行。膜计量使用光谱椭圆计量 (ellipsometry) 来执行。光谱椭圆计量的一个示例在 Norton 等人的美国专利 No. 5, 859, 424 中示出, 其如在本文中完全阐述一样通过引用结合于此。

[0008] 然而, 以上所述的当前使用的计量方法有许多缺点。例如, 当前的光学 CD 计量方法限于较大的光栅靶大小 (例如, 50 微米乘以 50 微米)。类似地, 基于散射计量的覆盖方法将最小的光栅单元大小限于 15 微米乘以 15 微米。旧方法的另一缺点是, 基于散射计量的覆盖计量和基于成像的覆盖计量在完全分开的平台上实现。

[0009] 因此, 开发没有以上所述的一个或多个缺点的计量方法以及系统可能是有利的。

发明内容

[0010] 各个实施例的以下描述不应以任何方式被解释为限制所附权利要求的主题。

[0011] 一个实施例涉及计量系统。该计量系统包括被配置成产生衍射受限光束的光源。该计量系统还包括变迹器, 该变迹器被配置成在照射光学器件的入射光瞳中以在晶片平面中距照射斑 (spot) 的中心远于 1.5 微米的辐照度小于该斑的中心的峰值辐照度的 10^{-6} 的方式使光束成形。另外, 该计量系统包括被配置成将衍射受限光束从变迹器定向到晶片上的光栅靶上的照射斑并且收集来自光栅靶的散射光的光学元件。该计量系统还包括被配置成拒绝一部分所收集散射光的视场光阑。该计量系统还包括检测器, 该检测器被配置成检测穿过视场光阑的散射光并且响应于检测到的散射光生成输出以使光栅靶由计量系统使用散射计量来测量。另外, 该计量系统包括被配置成使用该输出来确定光栅靶的特性的计算机系统。该计量系统还可如本文中所描述地配置。

[0012] 另一实施例涉及计量方法。该计量方法包括在照射光学器件的入射光瞳中以在晶片平面中距照射斑的中心远于 1.5 微米的辐照度小于该斑中心的峰值辐照度的 10^{-6} 的方式

使衍射受限光束成形。该计量方法还包括将衍射受限光束定向到晶片上的光栅靶上的照射斑。另外,该计量方法包括收集来自光栅靶的散射光。该计量方法还包括拒绝来自光栅靶的一部分所收集散射光。该方法还包括在拒绝该部分所收集散射光之后检测散射光。另外,该方法包括响应于检测到的散射光生成输出。该方法还包括使用该输出来确定光栅靶的特性。

[0013] 以上所述方法的每一步骤可如本文中进一步描述地执行。以上所述的方法可包括本文中所描述的任何其他方法的任何其他步骤。以上所述的方法可使用本文中所描述的任何系统来执行。

附图说明

[0014] 得益于优选实施例的以下详细描述和基于参考附图,本发明的其他优点将对本领域技术人员变得显而易见:

[0015] 图 1 是示出计量系统的一个实施例的侧视图的示意图。

[0016] 尽管本发明容许各种修改和替换形式,但其具体实施例作为示例在附图中示出且将在本文中详细描述。这些附图可能未按比例绘制。然而应当理解,本发明的附图和详细描述并不旨在将本发明限于所公开的特定形式,相反,其意图是覆盖落在如所附权利要求所限定的本发明的精神和范围内的所有修改、等效方案以及替换方案。

具体实施方式

[0017] 现在转到附图,应当注意,附图未按比例绘制。具体而言,附图的某些元件的比例被显著地放大,以强调这些元件的特性。

[0018] 一个实施例涉及计量系统。该计量系统(或“计量工具”)预期在半导体器件生产和相关应用中使用。本文中进一步描述的各个计量任务可在半导体或相关器件生产的各个阶段(诸如光刻和蚀刻)中执行。在一些实施例中,本文中所描述的计量系统可被集成到半导体制造系统中,诸如光刻系统或蚀刻系统、或者以某些方式物理地、化学地、或机械地更改晶片的任何其他系统。计量系统可被集成到半导体制造系统中,从而由半导体制造系统对晶片执行的工艺中的一个步骤期间和/或在一个步骤之前、在一个步骤之前、或由半导体制造系统对晶片执行的工艺的步骤之间,计量系统可测量晶片并确定晶片的特性,而无需从半导体制造系统去除晶片(即,晶片设置在半导体制造系统内)。计量系统可如何集成到半导体制造系统中的示例在 Levy 等人共有的美国专利 No. 6,891,627 中描述并示出,其如在本文中完全阐述一样通过引用结合于此。

[0019] 图 1 示出计量系统的一个实施例。该计量系统包括被配置成产生衍射受限光束的光源。在一个实施例中,光源包括激光和单模光纤。以此方式,照射光束可使用通过单模光纤的激光作为光源来生成。例如,如图 1 所示,光源 8 可包括激光 10、以及生成衍射受限光束 14 的单模光纤 12。这种光源实现照射斑(以及可能的衍射受限照射斑),该照射斑与本文中进一步描述的变迹器一起实现对相对较小靶的计量。光源可生成只有一个波长的光(即,单色光)、具有许多离散波长的光(即,多色光)、或具有多个波长的光(即,宽带光)。光源所生成的光可能具有任何合适的波长,诸如可见波长或约 190nm 至约 900nm 之间的任何波长。光源还包括任何其他合适的光源,诸如白光光源、紫外线(UV)激光、弧光灯、激光驱

动的光源（诸如从美国马萨诸塞州沃本市的 Energetiq 技术公司购得的 EQ-1000）、超连续激光（宽带激光）（诸如从美国新泽西州摩根维尔市 NKT 光子公司购得的 Koheras Versa）、或其某些组合。光源还可被配置成提供具有足够亮度的光，该亮度在一些情况下可以是大于约 $1\text{W}/(\text{nm cm}^2\text{Sr})$ 的亮度。该计量系统还可包括到光源的快反馈，用于稳定其功率和波长。到光源的快反馈可如本文中进一步描述地配置。

[0020] 该计量系统还包括变迹器，该变迹器被配置成在照射光学器件的入射光瞳中以在晶片平面中距照射斑的中心远于 1.5 微米的辐照度小于该斑中心的峰值辐照度的 10^{-6} 的方式使光束成形。例如，如图 1 所示，计量系统可包括置于光源所生成的衍射受限光束的路径中的变迹器 16。变迹器可置于计量系统的照射光瞳中。变迹一般可被定义为更改光学系统的入射光瞳中的光分布（例如，使用掩模来更改照射光束的幅值和 / 或相位），由此改变照射光束的强度分布曲线。在本情况下，变迹器被配置成将照射斑的“尾部”（例如，照射斑中距照射斑的中心大于 1.5 微米的部分）中的辐照度减小到小于峰值辐照度的 10^{-6} ，由此减少所谓的信号污染。将这种变迹器包括在本文中所描述的计量系统中是可对相对较小的光栅靶实现计量的特征之一。

[0021] 该计量系统还包括光学元件，这些光学元件被配置成将光束从变迹器定向到晶片上的光栅靶上的照射斑并且收集来自光栅靶的散射光。例如，在图 1 所示的实施例中，光学元件可包括折射光学元件 18 和 20、分束器 22、折射光学元件 24、分束器 26、具有其孔径光阑 28 的物镜 30、折射光学元件 36、分束器 38 和 40、以及折射光学元件 42。折射光学元件 18、20、24、36 和 42 可包括本领域已知的任何合适的折射光学元件，诸如折射透镜。另外，虽然折射光学元件 18、20、24、36 和 42 以相同的方式使用相同的常规符号在图 1 中示意性地示出，但是折射光学元件中的全部、部分、或没有一个可相同地或不同地配置。此外，折射光学元件 18、20、24、36 和 42 中的每一个可包括一个或多个折射光学元件。

[0022] 折射光学元件 18 被配置成将衍射受限光束从光源 8 定向到变迹器 16。折射光学元件 20 被配置成将光束从变迹器通过可包括二向色分束器的分束器 22 定向到折射光学元件 24。折射光学元件 24 被配置成将光束定向到可包括任何合适分束器的分束器 26。分束器 26 被配置成将光束从折射光学元件 24 反射到物镜 30，该物镜被配置成将衍射受限光束聚焦在晶片 34 上的光栅靶（未示出）上的照射斑 32。物镜 30 可包括任何合适的折射光学元件和 / 或任何合适的反射光学元件。例如，物镜可具有全反射设计或反反射设计，诸如在授予 Rodgers 的美国专利 No. 5, 309, 276 和授予 Shafer 等人的美国专利 No. 6, 801, 358 中所描述的那些设计，它们如在本文中完全阐述一样通过引用结合于此。物镜还可针对从约 150nm 到约 1000nm 的波长来设计。另外，物镜可被设计成在照射中没有中心遮挡。

[0023] 物镜（或“多个物镜”）可以是相对高值孔径 (NA) 的物镜（例如，具有约 0.9 或更大的 NA），由此实现对照射光瞳的优化选择（在本文中未示出的光瞳区域选择）。相对较高 NA 的物镜如该术语在本文中所使用地一般指物镜的入射光瞳的半径与物镜的焦距相当，或者换句话说，从物镜发射到晶片上的射线填充相对较大的锥角。例如，NA 为 0.9 的物镜具有 $0.9f$ 的入射光瞳半径，其中 f 是透镜的焦距。这等效于射线照到晶片的最大锥角是 $\arcsin 0.9 = 64$ 度的事实。因此，相对较高 NA 的物镜具有相对较大的入射光瞳。以此方式，不同的部分（例如，入射光瞳的仅一部分）可用于照射。换句话说，入射光瞳（此处用作照射光瞳）相对较大的事实实现对该光瞳的子区域的选择性照射，该子区域随后被转换

成整个物镜 NA 所提供的最大照射锥体的子锥体。

[0024] 光瞳区域选择可使用可用于将光从光源定向到照射光瞳的仅特定部分的任何合适的光学元件来执行。例如,光学元件(未示出)可用于调制光源,由此选择照射光瞳的用于计量系统所执行的测量的部分。可用于空间地调制光的合适光学元件的示例包括诸如可从美国德克萨斯州达拉斯市的 Texas 仪器得到的反射微镜阵列器件、诸如可从德国德累斯顿市 Fraunhofer 学院得到的衍射微镜阵列器件、液晶器件(LCD)、衍射光学元件、固定孔径、可执行对光的空间调制的任何其他光学元件、或其某些组合。替换地,光学元件(未示出)可用于代替选择照射光瞳的仅一个或多个部分在计量系统所执行的测量中使用。

[0025] 因此,折射光学元件 18 和 20、分束器 22、折射光学元件 24、分束器 26、以及物镜 30 构成计量系统的照射子系统(或“照射光瞳”),该照射子系统被配置成将光从光源定向到晶片(例如,用于散射计量测量)。以此方式,照射子系统可用于散射计量测量,并且如附图标记 46 圈出且指示的照射子系统衍射受限光束可以是高斯光束。例如,计量系统的光源可被配置成提供高斯光束,并且变迹器可能不更改衍射受限光束的高斯性质。

[0026] 物镜 30 还被配置成收集来自晶片的光。从晶片收集的光包括散射光。然而,从晶片收集的光还可包括来自晶片的其他光(例如,反射光)。物镜 30 将所收集光通过分束器 26 定向到折射光学元件 36,该折射光学元件将所收集光通过分束器 38 和 40 定向到折射光学元件 42。折射光学元件 42 被配置成将所收集散射光定向到检测器 44。检测器 44 可如本文中进一步描述地配置。以此方式,物镜 30、分束器 26、折射光学元件 36、分束器 38 和 40、折射光学元件 42、以及检测器 44 构成计量系统的检测子系统。检测子系统可用于散射计量测量,如本文中进一步描述的。

[0027] 物镜的光学象差规格可从本文中进一步描述的散射计量斑大小导出。例如,优选执行对用于角解析散射计量实现计量系统的物镜的设计和制造以在照射斑尾部处确保以上所述的显著较低辐照度。光学设计优选确保最小的重影量,该最小的重影量可由从物镜的任何光学表面反射回晶片的相对较强的晶片反射产生。该设计还优选提供过大孔径用于使从透镜边缘和至少 1mm 的空隙(air-space)的散射最小化,以减少相干效应。从照射的散射优选通过保证光学表面和涂层上的相对较低的表面粗糙度(通常为约 0.1nm 均方根(RMS))以及相对较低的表面缺陷率(划痕和挖痕,类似于 5/1X0.040 和每 ISO10110 的 L1X0.006)来进一步最小化。计量系统中所包括的孔径和光阑优选具有用于最少地散射到晶片中的仔细制造的边缘,并且物镜组件的内部机械表面优选被加工并处理成吸收任何散射光。光学元件优选在干净的环境中清洗和组装以将光学元件上的灰尘颗粒的数量保持在将导致可感测散射的水平以下。因此,本文中所描述的各个实施例可具有针对表面粗糙度、划痕和挖痕、缺陷、以及清洁度的光学制造要求的规范,从而确保相对较低的漫射光和以此方式确保相对较低的残余辐照度。类似于以上所述的对物镜的考虑优选应用于计量系统中所包括的所有光学元件。用于相对较低漫射光的这些光学制造要求可与本文中所描述的任何其他实施例组合。

[0028] 在一个实施例中,光栅靶上的照射斑的直径小于 3 微米。例如,如上所述,残余辐照度被建立为来自光栅靶的临界尺寸(CD)和覆盖计量的性能准则,残余辐照度是距晶片上的照射斑的中心 1.5 微米半径以外的辐照度,并且残余辐照度限值是照射斑的中心处的辐照度的 10^{-6} 。因此,照射斑的半径可能约为 1.5 微米,并且因此,直径约为 3 微米或更小。

[0029] 在另一实施例中,计量系统被配置成在收集来自光栅靶的散射光的同时跨光栅靶扫描照射斑。例如,如图 1 所示,计量系统可被配置成在多个方向 48 上例如通过横向地移动光源、由此移动衍射受限光束来横向地扫描衍射受限光束 14。以此方式,计量系统可跨光栅靶视场扫描照射斑。计量系统可以光栅或以其他方式跨光栅靶区域扫描该斑。计量系统可被配置成使用任何合适的器件(例如,机械平台)来跨光栅靶扫描照射斑。以此方式,不同于在该靶上提供扩大的照射斑,该斑可在光栅靶区域内扫描。(图 1 所示光束 14 的位置表示通过光学系统的视场中心的光射线,而光束 50 的位置并不表示通过光学系统的光瞳中心的光射线。沿着计量系统的光轴 49 的圆点表示光束 14 和 50 所表示的不同射线与光轴相交的点。)

[0030] 以此方式,本文中所描述的计量系统实施例实现对比当前用于散射计量测量的光栅靶小的光栅靶的测量。例如,在一些实施例中,光栅靶的横向尺寸小于 10 微米乘以小于 10 微米。横向尺寸在与晶片的上表面基本平行的平面上定义。在一个这种示例中,光栅靶的横向尺寸可以是 5 微米乘以 5 微米。例如,本文中所描述的实施例实现对来自相对较小光栅靶的 CD 的基本正确的光学测量(例如,5 微米乘以 5 微米)。另外,本文中所描述的实施例实现对与相对较小光栅单元的基本正确的光学散射计量覆盖测量(例如,5 微米乘以 5 微米)。以此方式,本文中所描述的实施例的一个优点在于,计量系统配置实现对小到 5 微米乘以 5 微米的光栅靶的光学 CD 计量、以及对单元大小小到 5 微米乘以 5 微米的光栅靶的基于散射计量的覆盖计量。光栅靶本身可包括本领域已知的任何合适的光栅靶。

[0031] 在一个实施例中,光学元件被配置成将所收集散射光的重像集中到光学元件的成像光瞳中的局部区域或跨成像光瞳将重像扩散开以减小重像的辐照度。例如,本文中所描述的实施例可使用光瞳成像系统的光学设计原理配置,该光瞳成像系统将信号相干的重像集中到光瞳图像中的特定局部区域(诸如例如 0.1NA 半径内的光瞳中心)、或将其在足够大的区域上扩散以使重影辐照度最小化到例如小于信号的 10^{-6} 。这种光瞳重像控制可与本文中所描述的任何其他实施例组合地应用。

[0032] 计量系统还包括被配置成拒绝一部分所收集散射光的视场光阑。例如,在一个实施例中,计量系统包括视场光阑 52,该视场光阑置于所收集散射光的路径中以使视场光阑可拒绝一部分所收集散射光。以此方式,在收集臂中使用收集视场光阑以供散射计量(例如,角解析散射计量)。收集视场光阑可能通过提供拒绝该靶周围的非期望信号和足够的光瞳解析率之间的优化平衡来实现相对较小的散射计量计量靶。例如,对于给定光栅靶大小,视场光阑大小可针对信号污染和光瞳成像解析率之间的折衷进行优化。

[0033] 计量系统可被配置成执行一种用于将视场光阑对准计量光栅靶的方法。将视场光阑对准计量光栅靶可使用斑照射和将各个部件对准该斑来执行。例如,可观察到照射视场光阑的平面中的照射斑,并且照射视场光阑可与该斑对准。镜式晶片(或其他合适的反射表面)可在物镜下面进行聚焦。可观察到收集视场光阑的平面中的反射照射斑,并且收集视场光阑可与该斑对准。晶片上的照射斑可通过分开的对准光学器件(例如,使用本文中进一步描述的检测器 66 以及相对应的光学元件)来观察,并且这些光学器件与该斑对准。当计量光栅靶进入视野时,检测器 66 及其相对应的光学元件可用于使该靶进入照射斑的位置,由此将视场光阑对准计量光栅靶。

[0034] 在一个实施例中,视场光阑不以所收集散射光沿其传播的光轴为中心,由此减少

所收集散射光在检测器上的重影,如本文中进一步所述。例如,视场光阑的光学实现是使视场光阑偏离光轴。视场光阑的这种定位是用于减少重影的附加策略。具体而言,偏轴视场光阑可用于减少因重影引起的信号污染,甚至使其最小化。以此方式,可执行对整个光学系统到收集视场光阑的设计和制造(包括使用变迹器来抑制收集视场光阑的边缘处的光学信号的尾部)以保证散射和重影的最小水平。

[0035] 另外,计量系统包括检测器,该检测器被配置成检测穿过视场光阑的散射光并且响应于检测到的散射光生成输出以使光栅靶由计量系统使用散射计量来测量。例如,检测器 44 可被配置成检测穿过视场光阑 52 的散射光并且响应于检测到的散射光生成输出以使光栅靶由计量系统使用散射计量来测量。检测器可包括任何合适的检测器,诸如电荷耦合器件 (CCD)。以此方式,以上所述的光源(例如,激光 10 和单模光纤 12)可被用作散射计量光源,并且检测器可被用作散射计量检测器。在一些实施例中,计量系统可被配置成通过以光阑或其他方式跨靶区域扫描直径为 0.6 微米的照射斑和串行地收集来自相继扫描点的信号来收集来自具有该斑的 5 微米乘以 5 微米的计量靶的散射计量信号。

[0036] 在一个实施例中,散射计量包括角解析散射计量。以此方式,计量系统可被配置为角解析散射计量。换句话说,计量系统可被配置成在多个离散角测量散射光的强度。这些测量可例如通过在测量之间移动一个或多个光学元件、或同时通过使用单个检测器或一个以上的检测器在收集空间内的多个离散角单独地测量散射光的强度来顺序地执行(一个离散角接一个离散角)。另外,计量系统的这一实施例可与本文中所描述的任何其他实施例的特征组合。例如,角解析散射计量实施例可与被配置为本文中所描述的视场光阑组合,与此同时将非期望光瞳重影集中到局部光瞳区域。在另一实施例中,散射计量包括使用多个离散波长来执行的角解析散射计量。计量系统可被配置成并发(并行地)或一个接一个顺序地使用若干离散波长来执行角解析散射计量。这些测量可以本领域已知的多种不同方式执行。计量系统还可被配置成并发(并行地)或一个接一个顺序地使用若干离散波长、以及使用用于稳定光源功率和波长的快反馈来执行角解析散射计量。另外,如本文中进一步描述的,光学元件可包括可用于在一个以上的偏振状态中执行测量的偏振器和分析器。例如,在一个实施例中,计量系统可被配置成通过并发(并行地)或一个接一个顺序地使用若干离散波长、结合并发(并行地)或一个接一个顺序地使用若干偏振状态来执行角解析散射计量。这些测量可以本领域已知的多种不同方式执行。另外,计量系统可被配置成通过并发(并行地)或一个接一个顺序地使用若干离散波长、结合并发(并行地)或一个接一个顺序地使用若干偏振状态、以及使用用于稳定光源功率和波长的快反馈,来执行角解析散射计量。

[0037] 在附加实施例中,散射计量包括光谱散射计量。光谱散射计量可使用计量系统以本领域已知的多种不同方式执行。在又一实施例中,散射计量包括使用多个离散角来执行的光谱散射计量。使用多个离散角的光谱散射计量可使用计量系统实施例以本领域已知的多种不同方式执行。计量系统可被配置成通过并发(并行地)或一个接一个顺序地使用若干离散角来执行光谱散射计量。另外,计量系统可被配置成通过并发(并行地)或一个接一个顺序地使用若干离散角、结合并发(并行地)或一个接一个使用若干偏振状态,来执行光谱散射计量。这些测量可以本领域已知的多种不同方式执行。此外,散射计量可以是光谱散射计量、或角解析散射计量、或光谱散射计量和角解析散射计量两者的组合。

[0038] 在一个实施例中,光学元件包括置于衍射受限光束的路径中的偏振器和置于所收集散射光的路径中的分析器。例如,如图 1 所示,光学元件可包括置于衍射受限光束的路径中的偏振器 54 和置于所收集散射光的路径中的分析器 56。在一个这种实施例中,偏振器和分析器被配置成散射计量可使用多个偏振状态来执行。例如,偏振器和分析器可被配置成如果旋转偏振器和分析器,则偏振器和分析器将不同的偏振分别赋予衍射受限光束和所收集散射光。因此,取决于用于测量的偏振状态,计量系统可旋转偏振器和 / 或分析器。偏振器和分析器可包括本领域已知的任何合适的偏振部件。

[0039] 在另一这种实施例中,计量系统被配置成至少使用光源、包括偏振器和分析器的光学元件、以及检测器来执行对晶片的椭圆计量测量。椭圆计量测量可使用计量系统实施例以本领域已知的任何方式执行。椭圆计量测量可包括单波长椭圆计量测量、光谱椭圆计量测量、可变角椭圆计量测量、可变角光谱椭圆计量测量、任何其他椭圆计量测量、或其某些组合。

[0040] 在一个实施例中,计量系统包括被配置成生成晶片图像的附加检测器。以此方式,计量系统可被配置成用于晶片的基于成像的计量测量。例如,在图 1 所示的实施例中,计量系统包括附加光源 58,该附加光源可包括任何合适的光源。光源可生成只有一个波长的光(即,单色光)、具有许多离散波长的光(即,多色光)、或具有多个波长的光(即,宽带光)。光源所生成的光可具有任何合适的波长,诸如 UV 波长。光源可如参考光源 8 所描述地进一步配置。此外,虽然计量系统在图 1 中被示为包括两个光源(一个用于散射计量或其他计量测量而另一个用于成像),但是计量系统可包括可用于本文中所描述的所有测量(包括散射计量和其他计量测量以及成像)的仅一个光源。

[0041] 计量系统还可包括被配置成将来自附加光源 58 的光定向到分束器 22 的折射光学元件 60。折射光学元件 60 可如本文中所描述地进一步配置。分束器 22 被配置成将来自折射光学元件 60 的光反射到折射光学元件 24,该折射光学元件 24 将光定向到分束器 26。来自附加光源的光被分束器 26 通过物镜 30 反射,该物镜将光聚焦在晶片上。

[0042] 晶片所反射的光被物镜 30 收集,该物镜将所收集反射光通过分束器 26 定向到折射光学元件 36。折射光学元件 36 将所收集反射光定向到分束器 38,该分束器将所收集反射光反射到折射光学元件 62。折射光学元件 62 将所收集反射光定向到折射光学元件 64,该折射光学元件 64 将所收集反射光聚焦到附加检测器 66。折射光学元件 62 和 64 可如本文中所描述地配置。附加检测器被配置成使用所收集反射光来生成晶片图像。附加检测器可包括任何合适的检测器,诸如 CCD。成像检测器可用于基于成像的计量,如本文中进一步描述的。另外,计量系统可被进一步配置用于双光束成像。例如,计量系统可被配置成如 Kandel 等人共有的美国专利 No. 7, 528, 941 中所描述地执行双光束成像,其如在本文中完全阐述一样通过引用结合于此。在这些实施例中,物镜的光学象差规格可结合双光束成像工具引起的偏移(TIS)误差预算如以上所述地导出(例如,用于散射计量斑大小要求)。此外,成像检测器可用于晶片相对于光学元件的导航(例如,从而可通过使用附加检测器所生成的晶片的图像来将晶片上的光栅靶移动到光学元件的视野内)。以此方式,本文中所描述的计量系统实施例可包括同一平台上的散射计量和成像子系统的组合,其中散射计量可以是光谱散射计量、或角解析散射计量、或两者的组合。

[0043] 可用于生成晶片图像的光学元件可由其他光学元件以光学系统的出射光瞳的图

像变成可访问的方式使用或补充。以此方式,诸如孔径 68 之类的一个或多个光学元件可置于光瞳图像的平面中。由此,提供用于访问光瞳图像的选项。

[0044] 计量系统可包括其他光学元件。例如,如图 1 所示,分束器 40 可被配置成允许一部分所收集散射光穿过该分束器,并且可反射另一部分所收集散射光。所收集散射光的反射部分可用于确定计量系统的焦点。例如,所收集散射光的反射部分可被定向到焦点检测斩波器 70,该焦点检测斩波器可包括任何合适的斩波器。穿过焦点检测斩波器 70 的光可由检测器 72 检测。检测器 72 可被配置成响应于检测器检测到的光生成输出。检测器 72 可包括任何合适的检测器,诸如 CCD。诸如本文中进一步描述的计算机系统可被配置成使用检测器 72 所生成的输出以任何合适的方式确定测量的晶片上的光栅靶或膜是否正在焦点上。计量系统可包括一个或多个器件(未示出),诸如被配置成如果光栅靶或膜被确定为离焦则移动晶片或者计量系统的一个或多个光学元件的平台。

[0045] 如上所述,图 1 所示的计量系统包括多个检测器,这些检测器被配置成检测来自晶片的光并响应于检测到的光生成输出,以使光栅靶可由计量系统使用多种不同的技术来测量。图 1 所示的计量系统还可包括附加检测器。例如,计量系统可包括被配置成检测来自晶片的光并响应于检测到的光生成输出的光谱仪(未示出)。光谱仪可包括任何合适的光谱仪。从晶片散射的光可被置于所收集散射光的路径中的分束器(未示出)定向到光谱仪。分束器还可如本文中进一步描述地配置。任何其他合适的光学元件还可置于光谱仪检测到的光的路径中。光谱仪可被配置成测量作为波长函数的散射光强度。以此方式,计量系统可被配置成使用光谱散射计量来执行对晶片的测量。因此,图 1 所示的计量系统可包括同一平台上的散射计量和成像系统的组合,其中散射计量可以是光谱散射计量、或角解析散射计量、或两者的组合。此外,图 1 所示的检测器中的一个可被配置为光谱仪,或者用光谱仪代替。例如,分束器 38 可将一部分所收集散射光反射到图 1 所示的检测器 66,并且检测器 66 可被配置为如上所述地配置的光谱仪,或用光谱仪代替。

[0046] 计量系统还包括被配置成使用输出来确定光栅靶的特性的计算机系统。例如,如图 1 所示,计量系统包括被配置成使用检测器 44 所生成的输出来确定光栅靶的特性的计算机系统 74。以此方式,计算机系统可被配置成响应于散射光使用来自检测器的输出来确定光栅靶的特性。另外,计算机系统可被配置成使用来自检测器 66 的输出来确定光栅靶的特性。以此方式,计算机系统可被配置成响应于反射光或晶片图像使用来自检测器的输出来确定光栅靶的特性。计算机系统可使用本领域已知的任何合适的方法、算法、模型、技术等来确定光栅靶的特性。

[0047] 计算机系统 74 耦合到检测器 44 和 66(例如,通过图 1 中的虚线所示的一个或多个传输介质,这些传输介质可包括本领域已知的任何合适的传输介质)以使计算机系统可接收检测器所生成的输出。计算机系统可以任何合适的方式耦合到检测器中的每一个。另外,计算机系统可以类似的方式耦合到计量系统中所包括的任何其他检测器。计算机系统 74 可采用各种形式,包括个人计算机系统、大型计算机系统、工作站、系统计算机、图像计算机、可编程图像计算机、并行处理器、或本领域已知的任何其他设备。一般而言,术语“计算机系统”可被宽泛地定义为涵盖具有一个或多个处理器的任何设备,该设备执行来自存储介质的指令。

[0048] 在一个实施例中,该特性包括光栅靶中的经图案化结构的 CD。计算机系统可使用

如 Fabrikant 等人共有的美国专利 No. 7, 511, 830 中所描述的散射计量测量、或以任何其他合适的方式来确定经图案化结构的 CD (以及经图案化结构的其他特性), 其如在本文中完全阐述一样通过引用结合于此。以此方式, 本文中所描述的实施例可组合变迹器、视场光阑和相对较小的光栅靶用于光学 CD 计量。在另一实施例中, 该特性包括光栅靶中的经图案化结构对在晶片上形成的另一光栅靶的经图案化结构覆盖。该光栅靶和另一光栅靶在晶片的不同层上形成。计算机系统可被配置成使用响应于所收集散射光的输出来确定覆盖, 如 Kandel 等共有的美国专利 No. 7, 616, 313 和 Mieher 等共有的美国专利 No. 7, 663, 753 中所述, 它们如在本文中完全阐述一样通过引用结合于此。以此方式, 本文中所描述的实施例可组合变迹器、视场光阑和一组相对较小的光栅靶用于散射计量覆盖计量。另外, 本文中所描述的实施例可组合变迹器、视场光阑、相对较小的光栅靶和光瞳成像用于 CD 和覆盖计量。此外, 本文中所描述的实施例可组合变迹器、视场光阑、相对较小的光栅靶、光瞳成像、以及在可见和近 UV 或者深 UV 中的离散照射谱线用于 CD 和覆盖计量。另外, 如上所述, 散射计量可包括光谱散射计量。光栅靶的 CD 和覆盖可使用对光栅靶的光谱散射计量测量来确定。

[0049] 在以上进一步描述的一个实施例中, 计量系统包括被配置成生成晶片图像的附加检测器。在一个这种实施例中, 计算机系统被配置成使用图像来确定光栅靶的附加特性。计算机系统可被配置成使用图像以及任何合适的方法、算法、技术、模型等来确定光栅靶的附加特性。在一些这种实施例中, 该特性包括基于散射计量的覆盖, 而附加特性包括基于成像的覆盖。计算机系统可以任何合适的方式配置成确定基于成像的覆盖。例如, 计量系统可被配置成使用成像来确定覆盖, 如授予 Ghinovker 的共有美国专利 No. 7, 541, 201 中所述, 其如在本文中完全阐述一样通过引用结合于此。由此, 本文中所描述的实施例在单个平台上实现基于散射计量和基于成像的覆盖计量两者。

[0050] 在附加的这些实施例中, 光学元件包括物镜, 该物镜被配置成收集来自光栅靶的散射光并且被配置成收集来自晶片的光以生成图像。例如, 如图 1 所示, 光学元件可包括物镜 30, 该物镜被配置成收集来自光栅靶的散射光并且被配置成收集用来生成图像的来自晶片的光。以此方式, 角解析散射计量物镜和成像覆盖物镜可以是相同的光学元件。然而, 另一选择是实现两个单独的物镜 (未示出), 一个用于角解析散射计量, 而另一个用于成像覆盖。如果计量系统包括两个这种单独的物镜, 则计量系统可被配置成取决于要执行的测量 (散射计量或成像) 来移动光学器件。在这些实例中, 计量系统可被配置成在不同类型的测量之间切换物镜, 与此同时在其余光学元件中被动地或主动地选择两个单独的子组件。替换地, 如果计量系统包括两个这种单独的物镜, 则计量系统可被配置成物镜 (以及相对应的光学元件) 是静止的。在这些实例中, 计量系统可包括两个固定且静止的光柱 (每一物镜及其相对应的光学元件对应一个柱), 并且计量系统可被配置成取决于对晶片执行的测量来移动晶片以使计量靶从一个光柱的视野移动到另一光柱的视野。

[0051] 计算机系统可被配置成通过计算出视场光阑对该输出的影响来确定光栅靶的特性。例如, 计算机系统可被配置成使用算法来计算出相对较小的收集视场光阑对从晶片散射的信号的改变。另外, 本文中所描述的实施例可组合变迹器、收集视场光阑和算法来计算出散射强度因用于 CD 和覆盖计量的收集视场光阑而引起的改变。

[0052] 如上所述, 计量系统可被配置成执行对晶片的椭圆计量测量。在一个这种实施例中, 计算机系统被配置成使用检测器在椭圆计量测量期间生成的输出来确定在晶片上形成

的膜的特性。膜的特性可包括例如膜厚度、折射率、以及可使用椭圆计量测量确定的任何其他薄膜特性。计算机系统可配置成以任何合适的方式确定该膜的特性。例如,计量系统可被配置成使用椭圆计量测量来确定膜以及其他特性,如授予 Bareket 等人的共有美国专利 No. 7, 515, 253 中所述,其如在本文中完全阐述一样通过引用结合于此。另外,计算机系统可被配置成使用对该膜的光谱散射计量测量来确定该膜的特性。这种实施例可与本文中所描述的任何其他实施例组合。例如,计量系统的一个实施例可包括同一平台上光学 CD 计量系统、散射计量和成像覆盖计量系统、以及膜计量系统的组合。另外,如上所述,计量系统可被集成到半导体制造系统中。以此方式,计量系统可被用作光刻系统的单个可集成传感器,该传感器可用于测量散射计量覆盖、CD、膜厚、以及 UV 双光束成像覆盖。这种计量系统可能满足 16nm 技术节点要求。

[0053] 本文中所描述的实施例的一个优点在于,计量系统可被配置为并被用作多功能计量系统。例如,计量系统被配置成在单个平台上提供不同应用的组合。以此方式,计量系统可被配置成使用本文中所描述的一种或多种技术来确定晶片上的光栅靶或其他结构(特征)的一个以上的特性。换句话说,多个计量任务可通过合适的选择或不同计量方法(诸如散射计量和成像方法)的组合来执行。在一个这种示例中,计算机系统可使用散射计量测量(使用计量系统来执行)来确定如上所述的光栅靶中的经图案化结构的 CD,并且使用散射计量测量来确定经图案化结构对其他经图案化结构的覆盖,其中其他散射计量测量使用计量系统来执行、或者成像使用计量系统来执行。在另一个示例中,计算机系统可使用散射计量测量来确定 CD,使用散射计量测量或成像结果来确定覆盖,并且使用椭圆计量测量来确定薄膜特性。以此方式,本文中所描述的实施例可在一个计量工具中组合以下计量任务:光学 CD 计量、光学覆盖计量、以及膜计量。另外,计算机系统可使用本文中所描述的技术的任何组合来确定本文中所描述的特性的其他组合。

[0054] 在一些实施例中,光学元件被配置成将穿过视场光阑的散射光只定向到检测器的第一部分。在一个这种实施例中,光学元件被配置成将衍射受限光束的一部分只定向到检测器的第二部分而未首先将衍射受限光束的该部分定向到晶片,并且检测器的第二部分与检测器的第一部分不重叠。例如,计量系统可执行一种用于测量并任选地校准、抑制和消除空间相关噪声的方法,其中来自光源的光的基准部分被定向到计量检测器(例如,CCD 或相机)的一部分,而无需与计量信号重叠。光源的基准部分优选使用与实际信号路径的最大可能公共路径,而无需从晶片反射。该校准的有利特征在于,它可与信号收集同时进行,并且它可用于校准在与校准信号相同的时间间隔中所收集的信号。以此方式,计量系统可被配置成执行到光源的快反馈以稳定其功率和波长。

[0055] 在另一实施例中,光学元件被配置成将穿过视场光阑的散射光只定向到检测器的第一部分,而检测器的第二部分看不见光。与检测器的第一部分不重叠的检测器的仅第二部分所生成的输出由计算机系统用于校准检测器响应于在检测器的第一部分中检测到的散射光而生成的输出。以此方式,检测器的一部分可用于校准。例如,计量系统可被配置成执行一种用于使用计量检测器(例如,CCD 或相机)未暴露给该系统中的任何光(例如,未暴露给信号本身)的一部分、照射光束的上述基准部分、或任何其他光来测量并任选地校准、抑制和消除暗噪声的空间相关部分。该校准的有利特征在于,它可与信号收集同时进行,并且它用于校准在与校准信号相同的时间间隔中所收集的信号。

[0056] 本文中所描述的实施例还提供可扩展计量系统平台来适应本文中所描述的应用的未来要求。例如,如上所述,计量系统可包括可见光源。以此方式,计量测量(例如,角解析散射计量)可在可见光谱区域中执行。然而,角解析散射计量的操作可延伸到近UV或深UV的光谱区域中。在这种光谱区域中的操作将附加要求赋予所有光学部件,但尤其赋予物镜。例如,计量系统是可配置的(例如,可集成的、可与诸如从美国加利福尼亚州米尔皮塔斯市的KLA-Tencor购得的Archer300系列工具之类的其他购得计量系统组合的、可被配置成只用于成像、可被配置成只用于散射计量等)。此外,由于计量系统可被配置成在光栅靶上扫描照射斑,因此本文中所描述的计量系统与运行中(on-the-fly)概念兼容(在该实例中,在其移动的同时测量靶)。

[0057] 另一实施例涉及一种计量方法。计量方法包括在照射光学器件的入射光瞳中以在晶片平面中距照射斑的中心远于1.5微米的辐照度小于该斑中心的峰值辐照度的 10^{-6} 的方式使衍射受限光束成形。以此方式使衍射受限光束成形可如本文中进一步描述地执行(例如,使用如本文中进一步描述的变迹器)。计量方法还包括将衍射受限光束定向到晶片上的光栅靶上的照射斑。将光束定向到照射斑可如本文中进一步描述地执行(例如,使用本文中进一步描述的光学元件)。另外,计量方法包括收集来自光栅靶的散射光。收集来自光栅靶的散射光可如本文中进一步描述地执行(例如,使用本文中进一步描述的光学元件)。计量方法还包括拒绝来自光栅靶的一部分所收集散射光。拒绝该部分所收集散射光可如本文中进一步描述地执行(例如,使用如本文中进一步描述地配置的视场光阑)。计量方法还包括在拒绝该部分所收集散射光之后检测散射光。另外,计量方法包括响应于所检测的散射光生成输出。检测散射光和生成输出可如本文中进一步描述地执行(例如,使用如本文中进一步描述地配置的检测器)。计量方法还包括使用该输出来确定光栅靶的特性。确定该特性可如本文中进一步描述地执行(例如,使用如本文中进一步描述地配置的计算机系统)。

[0058] 该方法还可包括将该方法的任何步骤的结果存储在存储介质中。这些结果还包括本文中所描述的任何结果(例如,光栅靶的特性),并且可以本领域已知的任何方式存储。存储介质可包括本领域已知的任何合适的存储介质。在已存储了这些结果之后,这些结果可在存储介质中访问,并且可如本文中所描述地使用,其中被格式化以显示给用户、由另一软件模块、方法、或系统使用等。此外,这些结果可被“永久地”、“半永久地”、临时地存储、或者被存储一段时间。例如,存储介质可以是随机存取存储器(RAM),并且这些结果可能在存储介质中不必无限地持续。

[0059] 以上所述的方法可包括本文中所描述的任何方法的其他步骤。另外,以上所述的方法可由本文中所描述的任何计量系统实施例执行。

[0060] 根据该描述,本发明的各个方面的其他修改和替换实施例对本领域技术人员将变得显而易见。例如,提供了计量系统以及方法。因此,该描述应当被解释为只是说明性的,并且出于教导本领域的技术人员实现本发明的一般方式的目的。应该理解,本文中示出且描述的本发明的形式应当被视为当前优选的实施例。元件和材料可替代本文中示出且描述的元件和材料,部分和过程可颠倒,并且本发明的某些特征可独立地使用,所有这些对受益于本发明的该描述之后的本领域的技术人员将是显而易见的。可在不背离以下权利要求书中所描述的本发明的精神和范围的情况下对本文所描述的元件作出改变。

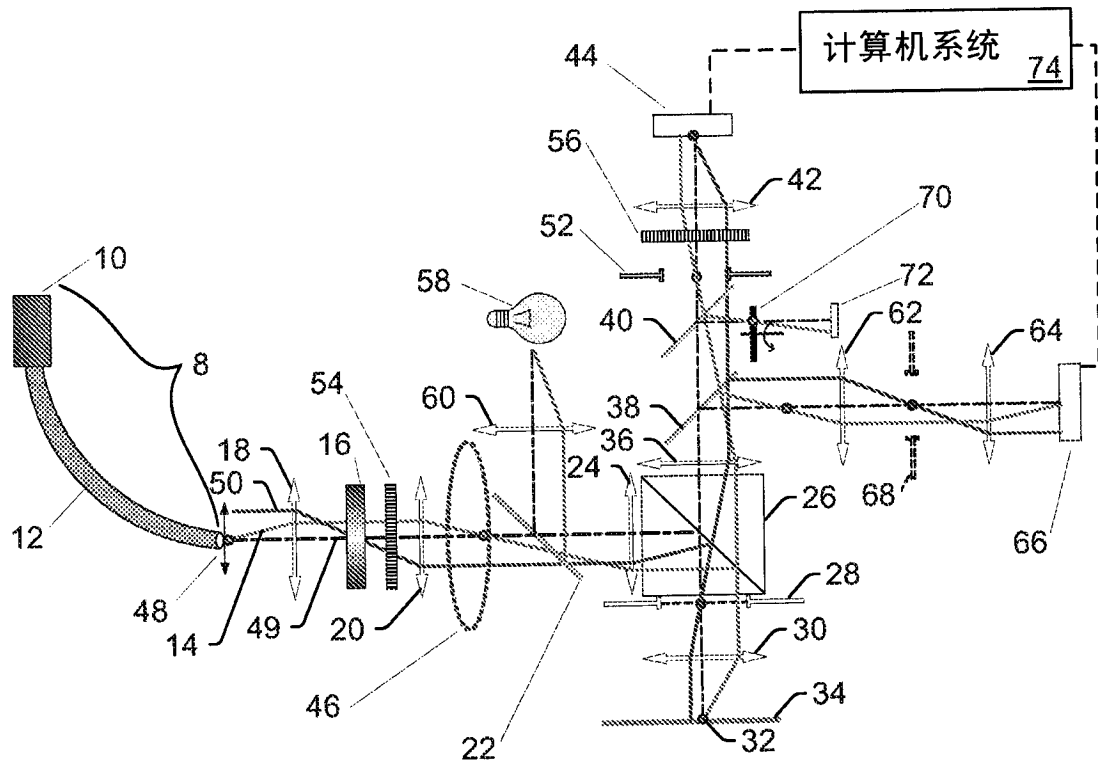


图 1