



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102393398 B

(45) 授权公告日 2015. 04. 15

(21) 申请号 201110240143. 6

(51) Int. Cl.

(22) 申请日 2003. 09. 08

G01N 21/95(2006. 01)

(30) 优先权数据

60/415, 082 2002. 09. 30 US

(56) 对比文件

US 2001/0052975 A1, 2001. 12. 20,

US 2001/0030296 A1, 2001. 10. 18,

US 5633747 A, 1997. 05. 27, 全文.

US 6429931 B1, 2002. 08. 06, 全文.

US 6249381 B1, 2001. 06. 19, 全文.

US 2001/0048523 A1, 2001. 12. 06, 全文.

CN 1083932 C, 2002. 05. 01, 全文.

(62) 分案原申请数据

03823097. 6 2003. 09. 08

(73) 专利权人 应用材料以色列公司

地址 以色列里欧宝特

专利权人 应用材料公司

审查员 李帅

(72) 发明人 伦·纳弗塔立 艾麦夏·捷塔

翰·菲德门 都伦·休汉

吉尔·布莱

(74) 专利代理机构 北京律诚同业知识产权代理

有限公司 11006

代理人 徐金国

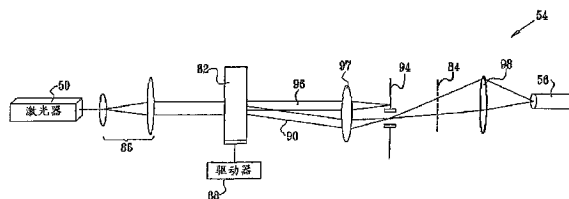
权利要求书2页 说明书16页 附图10页

(54) 发明名称

用于光学检测的照射系统

(57) 摘要

本申请公开一种样品的检测装置,包括:辐射源,用于导引光辐射到样品的表面的区域上;多个图像传感器,被配置来接收从所述区域散射到不同的各角度范围内的辐射以形成所述区域的各图像;图像处理器,用于处理各图像中的至少一个以检测所述表面上的缺陷;汇聚光学装置,包括:多个物镜,分别与一个图像传感器关联从而捕获从所述表面散射的各自角度范围内的辐射并把捕获的辐射传送到所述一个图像传感器,其中物镜具有各自的光轴,光轴以各自的倾斜角度与所述表面相交;多个倾斜校正单元,分别与物镜关联并且所述多个校正单元用于校准各倾斜角度以产生实质上无畸变的中间图像;多个聚焦光学装置,光学地连接以将中间图像聚焦在所述图像传感器上。



1. 一种用于产生光射线的装置,包括:

脉冲激光器,所述脉冲激光器配置成同时以多横向振荡模式工作来产生输入射束,所述输入射束具有射束发散率  $M^2$  以及所述输入射束以第一光斑对比为特点;以及

用于混合所述输入射束的横向振荡模式的光学装置,来产生输出射束以在样品表面上具有第二光斑对比,所述第二光斑对比小于第一光斑对比  $M^2$  倍;所述光学装置包括:

谐波分离模块,所述谐波分离模块配置为接收所述输入射束并将所述输入射束按不同波长分离成两束分离光线;

两个光斑消弱模块,每个所述光斑消弱模块配置为从所述谐波分离模块接收所述两束分离光线中的一束分离光线并且通过混合所述输入射束的横向振荡模式来从所述两束分离光线中的所述一束分离光线移除干射光斑;

光学系统,所述光学系统用于从所述光斑消弱模块接收所述输出射束并且用于扩展射束,以在所述样品表面上提供理想的照射区域,其中所述光学系统包括望远镜;以及

光学开关模块,所述光学开关模块用于接收所扩展的光束并且允许所述两束分离光线中的每条分离光线的光束路径被选择,从而使每条这样的光线能以法线入射角度或倾斜入射角度入射到所述样品表面上,所述光学开关模块为法线输出光学装置和斜角输出光学装置提供入射光束,所述斜角输出光学装置被配置成以和所述样品表面成  $5^\circ$  和  $50^\circ$  之间的角度来照射所述样品表面。

2. 根据权利要求 1 所述的用于产生光射线的装置,其中所述的光学装置包括扩射器。

3. 根据权利要求 1 所述的用于产生光射线的装置,其中所述的光学装置包括至少一个长度各不相同的多模光纤束。

4. 根据权利要求 3 所述的用于产生光射线的装置,其中所述光学装置包括:扩射器,用于将所述输入射束耦合进入第一多模光纤束;傅立叶透镜,用于把所述第一多模光纤束的输出光束耦合进入第二多模光纤束,以使所述第一多模光纤束中每根光纤的输出充分地分布在所述第二多模光纤束的所有光纤中,其中所述第一多模光纤束和第二多模光纤束中的每一个光纤束中的每根光纤具有各自不同的长度;以及输出耦合器,用于把从所述第二多模光纤束中输出的光束汇聚到所述光学系统。

5. 一种产生光射线的方法,包括:

同时以多横向振荡模式操作脉冲激光器来产生输入射束,所述输入射束具有射束发散率  $M^2$  以及所述输入射束以第一光斑对比为特点;

混合所述输入射束的横向振荡模式,来产生输出射束以在样品表面上具有第二光斑对比,所述第二光斑对比小于第一光斑对比  $M^2$  倍;所述混合包括:

在谐波分离模块中接收所述输入射束并将所述输入射束按不同波长分离成两束分离光线;

在光斑消弱模块中通过混合所述输入射束的横向振荡模式来从所述两束分离光线中的每束分离光线移除干射光斑;

用光学系统来扩展所述两束分离光线,以在所述样品表面上提供理想的照射区域,其中所述光学系统包括望远镜;以及

用光学开关模块选择性地开关所述两束分离光线的光束路径,从而使每条这样的光线能以法线入射角度或倾斜入射角度入射到所述样品表面上,所述光学开关模块为法线输出

光学装置和斜角输出光学装置提供入射光束,所述斜角输出光学装置被配置成以和所述样品表面成 $5^{\circ}$ 和 $50^{\circ}$ 之间的角度来照射所述样品表面。

6. 根据权利要求5所述产生光射线的方法,其中混合横向振荡模式包括使所述输入射束通过扩射器。

7. 根据权利要求5所述产生光射线的方法,其中混合横向振荡模式包括使至少输入射束和输出射束中的一个通过具有长度各自不同的多模光纤束。

8. 根据权利要求5所述产生光射线的方法,其中混合横向振荡模式包括:把所述输入射束耦合进第一多模光纤束、傅立叶透镜以及第二多模光纤束,以使所述第一多模光纤束中每根光纤的输出充分地分布在所述第二多模光纤束的所有光纤中,其中所述第一多模光纤束和第二多模光纤束中的每一个光纤束中的每跟光纤具有各自不同的长度;以及把从所述第二多模光纤束中输出的光束汇聚到所述光学系统。

## 用于光学检测的照射系统

[0001] 本申请是申请号为 03823097.6 的专利申请的分案申请

### 技术领域

[0002] 本发明涉及一种光学检测,特别地涉及一种用于如半导体晶圆片的固态表面检测,以及固态表面上特征和缺陷检测的方法和装置。

### 背景技术

[0003] 在半导体设备制造中,光学检测通常被用来检测晶圆片表面的缺陷,如污染颗粒,划伤以及材料层残留物。上述缺陷能导致设备失效,从而切实影响生产收益。因此,在生产过程的不同阶段中为确保清洁和质量,需要对图案化和未图案化的晶圆片进行仔细的检测。

[0004] 检测半导体晶圆片的一个通常使用的方法是用一束激光扫描晶圆片表面,测量从每一光束入射点散射回来的光。这样的一种基于暗场散射检测的方法在美国专利 6,366,690 中由 Smilansky 等人提出,其阐述在这里被引用。Smilansky 等人描述了一个基于光学检测头的晶圆片检测系统。该光学检测头包括一个激光头和许多由围绕激光头排列的光纤聚光器驱动的光传感器。此光学头被置于晶圆片上方,晶圆片被平移和旋转来使光束可以扫描到整个表面。传感器可检测同时从该表面散射到不同角方向的光,并被光纤的位置确定。这样,每次一个像素,沿螺旋路径,整个晶圆片表面被扫描。

[0005] 另一个在这里被引用的暗场晶圆片检测系统是 Marxer 等人在美国专利 6,271,916 中所描述的。在此系统中,一激光束以法线方向射向晶圆片表面并沿螺旋路径扫描表面。一个椭圆形镜子被用来汇聚从表面散射出的远法线方向的激光射线。尤佳地,在第一个角范围内的散射光线被一个检测器汇聚,而在第二个角度范围内的散射光线被另一个检测器所汇聚。不同的检测器信号被用来区分大缺陷和小缺陷。

[0006] 一更进一步的基于此方法的缺陷检测系统是 Vaez-Iravani 等人在美国专利 6,271,916 中所描述的。其中,不同的宽/窄角度汇聚通道被采用。通过比较来自窄汇聚通道和宽汇聚通道的信号来区分微划伤和颗粒。前向散射也可以被汇聚并用于此目的。散射强度也可以进一步用具有单极化和多极化发射的顺序照明来测量。

[0007] Chuang 等在 6,392,793 号美国专利中描述了一个具有高数值孔径 (NA) 的成像系统,其阐述被本发明所引用。该系统基于一个用于汇聚一定角度内的反射、衍射、散射光线的反折射平面镜和透镜组。该系统有几种应用,包括用于暗场成像。

[0008] Kinney 等在 5,909,276 号美国专利中描述了一个用于检测颗粒和缺陷的光学检测模块和方法,其阐述被本发明所引用。该模块包括一个光源,其以入射余角照射待检表面。一透镜用于收集由表面缺陷引起的散射到光路外的非预期的反射光线。一个透镜焦平面上的光电检测器阵列来接收这些散射的光线。此阵列上的每一个像素对应表面上的一个区域,而这些大量的像素就构成了一个覆盖整个表面的视场。

[0009] 由于波束幅度的强自校正,光斑 (speckle) 效应在使用相干照射 (coherent

illumination) 的成像系统中是人所共知的。在基于等波幅激光照射的典型相干照射系统中, 激光束被通过一个旋转的扩散体, 此扩散体减小了自校正, 从而减小了相应的光斑。可以选择地, 激光束可以被通过一个不等长的光纤束, 正如 Suganuma 在 6, 249, 381 号美国专利中所描述的, 其阐述被本发明所引用。可以在光路上设置两束光纤来进一步增强去光斑效果, 如 Karpol 等在美国专利申请发布 US 2002/0067478A1 中所述。Karpol 等被指定为本专利申请的受让人, 且他的阐述被本发明所引用。

## 发明内容

[0010] 本发明的实施例提供了用于照射例如一个半导体晶圆片的样品表面的改进的方法和装置, 其使这样的表面可以以高分辨率和高数据收集率被检测。在这些实施例中, 一个检测系统包括一个用来照射待检表面区域的高强度光发射源, 典型为一脉冲激光束。一个或多个检测器阵列被配置来接收表面区域的散射线并分别成像。

[0011] 在本发明的一些实施例中, 在脉冲激光束入射到表面之前要进行处理, 以削弱通常由束的相干性引起的光斑。在这些实施例中应用的光斑削弱子系统在可以短至 10ns 的激光脉冲的持续时间内, 以新颖的方法得到了非常低的光斑对比 (在样品表面照射区域内的亮度变化低至 1%)。

[0012] 在一些实施例中, 光斑对比是通过使激光束通过不同长度的光纤束而削弱的。其中的一个实施例中, 光线束中包含不同长度的多模光纤。在另一个实施例中, 可以端对端地连接两束光纤。在获得想要的光斑削弱程度的情况下, 与使用单一光纤束相比, 这样的用法充分减少了每束光纤必需包含的光纤数量。

[0013] 在另一个实施例中, 光斑削弱子系统包含一个高速扫描器, 通常以高速声光变化器为基础, 它可以以足够的速度扫描目标平面 (如样品表面) 上脉冲激光束的入射角度来获得想要的光斑削弱程度。

[0014] 在本发明的一些实施例中, 激光源被配置为至少发射两种不同波长的射线, 这样表面的散射特性可以同时用两种波长来评估。用一个光学开关把激光束导引至所述表面, 不同波长的射束可以同时导引或单独导引, 以同样的角度或不同的角度, 入射到所述表面的同一区域。光学开关允许射束被以法线角度和倾斜角度聚焦在所述表面上。照射子系统对法线射束和倾斜射束进行整形, 使两个射束照射在表面上的区域充分相同。

[0015] 根据本发明的一个实施例, 产生光射线的装置包括:

[0016] 一个激光器, 同时以多横向振荡模式工作来产生一个以第一个光斑对比为特点的输出射束; 以及

[0017] 用于混合输入射束的横向振荡模式的光学装置, 来产生具有远小于第一光斑对比的第二光斑对比的输出射束。

[0018] 在一个上述的实施例中, 所述的光学装置包括一个扩射器, 和包括至少一束长度各自不同的多模光纤的光学装置。通常, 其中的激光器的特点在于射束发散率为  $M^2$ , 且其中的第二光斑对比小于第一光斑对比  $M^2$  倍。用一个扩射器使激光的横向振荡模式变得不规则之后, 激光射束的光斑对比被减小了  $M^2$  倍。经过所述的光线束, 光斑对比被进一步减小了激光纵模数和光纤数中较小的一个数值的平方根倍。

[0019] 根据本发明的一个实施例, 进一步提供出激光束的光斑削弱装置, 包括:

[0020] 一个光学扫描器,用于扫描目标平面上的射束的入射角;以及

[0021] 输出光学装置,用于引导从扫描器输出的射束以使此射束照射到一个包括不同角度的范围内的单一目标平面区域,以对射线进行去相关。

[0022] 通常,激光射线包含持续时间短于  $1\ \mu\text{s}$  的脉冲,且其中的光学扫描器用足够的速度扫描射束来把所述区域上形成的光斑对比减小到小于 10%。更佳地,光学扫描器用足够的速度扫描射束来把所述区域上形成的光斑对比减小到小于 1% 左右。

[0023] 在一些实施例中,所述的光学扫描器包含一个光电扫描器,其反射一部分发生衍射的激光束并扫描不同角度范围内的此部分反射过的射束。在其中的一个实施例中,所述的光电扫描器包含一个声光变化器;以及一个驱动电路,其给变化器提供被频率啁啾的脉冲来扫描反射的射束。

[0024] 根据本发明的一个实施例,另外提供一种样品光学检测装置,包括:

[0025] 一个检测器组件,其被配置来捕获某区域的图像;

[0026] 一个激光源,用于产生分别具有第一波长和第二波长的第一射束和第二射束;以及

[0027] 一个照射模块,用来导引第一射束和第二射束照射所述样品的所述区域,照射模块包含一个光学开关,可以同时独立地控制第一射束和第二射束使每个射束以法线方向或倾斜方向照射所述区域。

[0028] 在一个实施例中,所述的光学开关被配置来导引第一射束以法向方向入射到所述表面,而导引第二射束以倾斜方向入射到所述表面。通常地,所述的照射模块包含中继光学装置,其用来导引倾斜入射到表面的射束以使第一射束和第二射束以充分相同的几何轮廓照射到所述表面的所述区域。

[0029] 另外地或可以选择地,所述的照射模块包含放大倍数可选的远心放大光学装置,用它来在不移动激光源或照射模块的其它组件的情况下改变激光源照射区域的尺寸。

[0030] 根据本发明的一个实施例,再提供一种产生光射线的方法,包含:

[0031] 控制一个多横向振荡模式同时工作的激光器,来产生一个以第一个光斑对比为特点的输出射束;以及

[0032] 混合输入射束的横向振荡模式来产生具有远小于第一光斑对比的第二光斑对比的输出射束。

[0033] 根据本发明的一个实施例,其进一步提供一个激光射束的光斑消弱方法,包括:

[0034] 光学地扫描一个充分固定的扩射器上的射束,以使射束以不同的角度通过扩射器以及

[0035] 导引从扩射器出来的不同角度范围内的射束使其照射目标表面的一个区域。

[0036] 根据本发明的一个实施例,还提供一种样品的光学检测方法,包括:

[0037] 产生分别具有不同的第一波长和第二波长的第一激光射束和第二激光射束;以及

[0038] 利用一个光学开关导引第一射束和第二射束照射所述样品的某区域,此光学开关可以同时独立地控制第一射束和第二射束使每个射束以法线方向或倾斜方向照射所述区域;以及

[0039] 捕获从所述区域散射的射线来形成该区域的一个图像。

[0040] 为了能够更清楚了解本发明的技术手段,以下以本发明的较佳实施例并配合附图

详细说明如后。

## 附图说明

- [0041] 图 1 是描述本发明的一个实施例的光学检测系统工作原理的方框图。
- [0042] 图 2 是本发明的一个实施例中的照射模块的示意图。
- [0043] 图 3A 是本发明一个实施例的激光光斑消弱模块的侧视示意图。
- [0044] 图 3B 是本发明另一个实施例的激光光斑消弱模块的侧视示意图。
- [0045] 图 4 是本发明一个实施例中用于照射模块的光学放大和开关元件的侧视示意图。
- [0046] 图 5 是本发明一个实施例中一个光学汇聚模块的侧视示意图。
- [0047] 图 6 是本发明个实施例中一个高 NA 物镜的光学示意图。
- [0048] 图 7 是本发明的另一个实施例中的光学汇聚模块的侧视示意图。
- [0049] 图 8 是本发明一个实施例中一个远焦中继镜和倾斜校正单元的光学示意图。
- [0050] 图 9 描述了本发明一个实施例中用于光学检测系统的光学汇聚通道的示意图。
- [0051] 图 10 是本发明一个实施例中一个待检半导体晶圆片的俯视图,显示了晶圆片表面上的成像区域。
- [0052] 图 11 是本发明一个实施例中应用于光学检测系统的信号处理子系统的方框图。

## 具体实施方式

[0053] 请参阅图 1 所示,是描述本发明的一个实施例的用于光学检测半导体晶圆片 22 的系统 20 的方框图。典型地,晶圆片 22 被用半导体设备制造领域内通常的方法图案化,且系统 20 应用暗场光学技术来检测晶圆片表面的缺陷。然而,可选择地是,系统 20 的原理可以被应用到未图案化的晶圆片和检测其它类型的样品和表面,如掩模和中间掩模。进一步地,尽管系统 20 用于暗场检测,但本发明的一些方面可以应用于明视场检测,以及其它的照明、检测和成像领域。

[0054] 系统 20 包含一个照射模块 24,用脉冲激光射线照射样品 22 的表面。典型地,模块 24 可以同时或分时发射两种或多种不同波长的激光射线。任何波长的激光射线可以被模块 24 引导照射到晶圆片 22,沿正常途径或者如下所述间接地到达晶圆片表面。照射模块可以发生可见光、紫外和 / 或红外光。这里所用的“照射”(illumination) 和“光射线”(optical radiation) 应该被理解为任意或全部的可见光,紫外和红外光。

[0055] 从晶圆片散射的大角度范围内的光线被光学汇聚模块 26 所收集。模块 26 包含汇聚光学装置 28,它把晶圆片 22 的表面成像在多个相机 30 上。光学装置 28 可以包含一个大数值孔径 (NA) 的物镜或者许多单独的物镜,每个照相机一个。这些可选的光学配置,如相机 30,将在后面描述。光学装置 28 和相机 30 被合适地安置,以确保所有的相机都是给晶圆片表面的同一区域成像,如被照射模块 24 照射的区域,这时每个相机捕获不同角度范围内的散射线。每一个相机 30 包含一个两维的检测元件阵列,如业内所知的 CCD 或 CMOS 阵列。阵列中的每一个检测元件对被照射模块 24 照射区域的相应的点成像。因此,基于不同相机 30 中的相应的检测元件产生的信号,在晶圆片上任意点的散射特性可以作为角度的函数被确定。

[0056] 典型的相机 30 通过一个系统控制器 32 与照射模块的激光脉冲同步,这样每一个

相机产生的图象输出帧与唯一的一个激光脉冲的散射线相对应。每一个相机的输出被接收、数字化并被图像处理器 34 分析。在后面将详细描述典型的图像处理器包含附属的硬件信号处理电路和 / 或可编程数字信号处理器 (DSPs)。诸如 X-Y-Z 三维平台 36 的机械扫描装置以光栅形式平移晶圆片 22, 以使发射模块 24 的每一束激光脉冲都照射晶圆片表面的不同区域, 并与前一束脉冲照射的区域相邻 (通常也会有一小点重叠)。可选择地或额外地, 相对于晶圆片照射和汇聚模块可以被扫描。

[0057] 图像处理器 34 处理每一帧相机 30 输出的图象以分析出可预示出晶圆片表面缺陷的图像特点。此图像特点被传输到一个主控计算机 38, 通常为—台装有相应软件的多用途计算机, 它分析此特点并产生出待检晶圆片的缺陷列表 (或缺陷地图)。

[0058] 被模块 24 照射并被相机 30 成像的区域可以使用整个晶圆片表面或表面特定区域上的平台 36 来扫描。如果模块 24 发生的脉冲足够的短, 例如充分少于  $1\ \mu\text{s}$ , 平台 36 就可以连续地移动晶圆片 22 而不会引起相机图片明显的模糊。典型的照射区域大约为  $2\times 1\text{mm}$ , 尽管此区域可以被后面描述的照射模块中的光学放大装置放大或缩小。假定每一个相机 30 包含一个  $2000\times 1000$  的检测单元阵列, 映射到晶圆片表面上每一个象素的尺寸大概是  $1\times 1\ \mu\text{m}$ 。当照射模块 24 以每秒 400 个脉冲的重复率工作时, 每一个相机 30 到图像处理器 34 的数据输出率将是 800 兆象素 / 秒 (800Mpixels/sec)。以这个速度, 一个全部 12" 的半导体晶圆片可以在不到 2 分钟内以  $1\ \mu\text{m}$  的分辨率扫描完毕。需要理解的是, 这些图像分辨率, 尺寸和速度的典型数据只是作为例子来引用, 根据不同的系统速度和分辨率要求这些数据可以增大或减小。

[0059] 控制器 32 也调整平台 36 的 Z 方向数值 (高度) 来维持相机 30 的合适的焦点在晶圆片表面上。可选或另外地, 控制器可以调整相机的光学装置来达到这个目的。进一步可选或另外地, 控制器可以命令图像处理器 34 和主控计算机 38 校正不同相机 30 捕获的图像的比例和配准偏差, 从而对高度变化进行补偿。

[0060] 为了校验和调整焦距, 控制 32 使用了一个自动聚焦照射器 40 和一个自动聚焦传感器模块 42。照射器 40 通常包含一个激光器 (未画出), 如一个 CW 二极管激光器, 它以斜角发射出一个准直射束到被模块 24 照射的晶圆片表面区域上或其附近, 在晶圆片表面上形成一个光斑。晶圆片 22Z 轴方向上相对于汇聚模块 26 的变化将会导致光斑的水平位移。通常包含一个检测阵列 (也未画出) 的传感器模块 42 捕获晶圆片表面上的光斑图像。通过提供给控制器 32 一个晶圆片表面相对汇聚模块在 Z 轴方向上的测量值, 光斑的图像被分析以检测光斑的水平位移。控制器驱动平台 36 直到光斑处于预先校正过的参考点上, 这标志着聚焦正确。

[0061] 照射器 40 发射的光束在到晶圆片表面的过程中可以通过汇聚光学装置 28, 且传感器模块 42 同样可捕获通过汇聚光学装置的表面光斑的图像。这种情况下, 照射器 40 的工作波长范围就与照射模块 24 的不同。因而, 就可以用适当的滤光器阻止自动聚焦光束进入相机 30, 同时消除模块 24 发出的脉冲光束对自动聚焦测量的干扰。

[0062] 做为选择, 可以用其它的领域内的自动聚焦方法。例如, 可以使用电容性传感器来确定和调整光学装置和晶圆片表面间的垂直距离。

[0063] 请参阅图 2 所示, 是本发明的一个实施例中的照射模块的示意图。激光头 50 包含一个脉冲激光器, 其被配置为发射单波长光或同时发射两种波长的光。例如, 激光头可



以包含一个 Nd:YLF 激光器,如 Positive Light 公司 (Los Gatos, California) 制造的 Evolution 15 型激光器,它有内部频率转换器,能使激光头以基波的二次谐波 (527nm) 的频率发射激光。同时可增加外部频率转换器来提供四次谐波 (263nm) 输出。做为选择,模块 24 被配置为可同时发射 3 种或更多波长的激光,进一步做为选择或额外地,模块 24 可提供一个波长可变的输出。通常地,激光头 50 被 Q 开关来发射出短促、高强度的脉冲,如上所述的脉冲持续少于  $1\ \mu\text{s}$  (也可以少至 10ns)。更佳的是,激光腔被配置为多横轴模式,这样有助于减小下面所述的晶圆片表面的干射光斑。

[0064] 一个谐波分离模块 52 把激光头 50 发出的激光按不同波长分离成两束光线。在一个实施例中,模块 52 简单地包含一个本领域熟知的双色光束分离器。被分离的光束被下面详述的光斑消弱模块所处理,以消除干射光斑。可选的望远镜 56 被用来扩展激光束以在晶圆片 22 表面上形成理想的照射区域。如图所示,这些望远镜可以被安放在一个旋转的轮子上,以便于选择一个合适的。尽管图 2 中的实施例包含了与激光头 50 输出的不同波长光相配套的单的光斑消弱模块和望远镜,在其它的实施例中,谐波分离模块可以被放置在光路的更下游,以使两种波长的光束公用一个光斑消弱模块和 / 或一套望远镜。

[0065] 被望远镜 56 扩展过的输出光束被准直透镜 58 传送到可变光强滤光器 60。这些可方便地安在旋转滤光轮上的滤光器可以根据需要调节两束照射到晶圆片 22 上的光束的强度。偏光器 62 可以同样地被旋转来确定光束的偏振角度。选择光束分离器 64 使每束光中可知的一小部分偏向能量计 66。能量计提供每束光强度的测量值为图像处理器 34 所用来自校正每个脉冲光束的之间的能量差异,或者为激光头 50 提供反馈控制。能量计 66 也可以用来为相机 30 提供同步输入,下面有述。

[0066] 一个包含中继镜 68 的光学开关模块 70 可以控制每一个波长的光束的射束路径,使其以法线方向或斜角方向入射到晶圆片 22 上。后面会详述的开关模块 70 为法线输出光学装置 72 和斜角输出光学装置 74 提供入射光束。斜角输出光学装置 74 通常被配置成以和表面成大约  $5^\circ$  和  $50^\circ$  之间的角度来照射晶圆片表面,尽管更大和更小的角度也是可能的。光学装置 72 和 74 通常的数值孔径 (NA) 范围为大约 0.01 到 0.2。开关模块也可以被设置来阻止其中一种波长的光,使只有一种波长的光入射至晶圆片表面 (法线方向或斜角方向)。当同时使用两种波长的光时,可以在一种波长的光路中 (实施例中为斜角光束) 引入包含合适透镜的色度补偿元件 76,以使法线光束和斜角光束以充分相同的几何外形照射晶圆片表面的同一区域。

[0067] 请参阅图 3A 所示,是本发明一个实施例中光斑消弱模块 54 的侧视图。如图所示,该模块可以被应用于其中一种波长,也可以两种波长都应用,只要根据两种波长正确设计模块中的光学元件。

[0068] 如上所述,在领域内共知的相干照射系统中,基于连续波 (CW) 的激光射束通过一个旋转扩射器,就减小了自相关和相应的光斑对比。但是在系统 20 中,激光头 50 发射的激光脉冲持续的时间太短,使这个传统的办法失效了,因为如果要充分的减小光斑对比该扩射器必须以不切实际的高速度旋转。

[0069] 因此,在图 3A 所示模块 54 的实施例中,驱动一个声光变换器 82 高速地扫描目标平面 84 上激光束的入射角。这样的高速扫描使光束在激光脉冲的持续时间内以足够的角度范围入射到目标平面上 (即晶圆片上) 来充分地消弱光斑对比。从激光头 50 输入模块

54 的光束通常被一个圆柱形的光束扩射器 86 所扩散。与激光脉冲同步的驱动器 88 驱动变换器 82 使一部分激光束发生衍射。驱动器 88 产生被频率啁啾的驱动电信号, 驱动变换器 82 使在激光脉冲持续时间内发生变化的角度内的激光束的一阶光束 (first order) 90 发生衍射。一个图像透镜 97 使一阶光束 90 成像在目标平面 84 上。位于透镜 97 的傅立叶平面上的控光装置 94 阻止了光束中不发生偏离的零阶光束 (zero order)。另外, 为提高效率 (模块 54 输出的强度与输入强度对比), 可以增加第二个声光变换器来同时扫描零阶光束。

[0070] 做为驱动器 88 采用频率线性调制的结果, 发生衍射的一阶光束在目标平面 84 上的入射角在激光脉冲期间迅速地变化。对于一个给定的调制带宽  $\Delta f$  和扫描时间  $T$  (等于激光脉冲持续时间), 声光扫描的可辨点数 (NRP) 大概为  $NRP = \Delta f T$ 。换句话说, 激光束被分解为 NRP 个不相干的不同角度成分。例如, 给定一个持续时间为 100-300ns 的激光脉冲, 在 400 到 800MHz 范围内的线性调制带宽  $\Delta f$  将减小射束光斑到输入射束光斑的 6-16%。输出中会保留输入激光束的偏振。

[0071] 做为进一步的可选项, 可以用领域内共知的其它类型的高速扫描器代替变换器, 如旋镜扫描器。然而, 光斑的消弱程度依赖于扫描器的旋转速度。

[0072] 请参阅图 3B 所示, 是本发明另一个实施例中光斑消弱模块 54 的侧视图。这个实施例使用光纤束 100 和 102 来把光束从激光器头 50 传送到望远镜 56。做为选择地, 可以只使用一个光纤束, 如以后所述。通常, 光纤束 100 和 102 包含石英和其它的紫外半透明光纤。

[0073] 光纤束 100 和 102 中的每一条光纤的长度都不同, 因此就产生了  $N$  种不同的被扩射器 104 混合在一起的斑纹图样。因此, 输出到望远镜 56 的光束中的光斑对比的减弱系数为  $N^{1/2}$ 。如果在模块 54 中使用单一的本领域内共知的单模光纤束, 减小光斑对比到 1% 将需要 10,000 根不同长度的光纤。这个方法实现起来成本很高且有难度。为此, 这里使用两个端到端连接的光纤束 100 和 102, 产生  $N = n \times m$  个不同的斑纹图样, 这里  $n$  和  $m$  分别代表光纤束 100 和 102 中单根光纤的数目。因此, 如果光纤束 100 和 102 各有 100 根光纤, 就可以实现减弱输出对比到 1% 的目的。另外, 通过使用一束后面描述的多模光纤, 就能以更低的实际难度得到更好的光斑消弱效果。

[0074] 一个输入耦合器 108 把来自激光器 50 并通过扩射器 104 的光束聚焦到光纤束 100。任何合适的散射元件都可以用于此目的, 如本领域共知的显微镜阵列或搅模器。假定激光束的相干长度为 1mm, 光纤束 100 包含 100 根按 1-2mm 步长均匀分度的光纤。一个傅立叶透镜 110 把光纤束 100 的输出光束聚焦到光纤束 102, 以使 100 中每根光纤的输出充分的分布在 102 的所有光纤中。102 中的光纤也按长度均匀分度。一个输出耦合器 112 把从 102 中输出的光束汇聚到望远镜 56。尽管图中所示的耦合器 108 和 112 以及傅立叶透镜 110 是简单的透镜, 在实际中耦合器和傅立叶透镜可以包含多单元, 远心的光学装置。基于端到端光纤束的光斑消弱系统的进一步细节见上面提到的美国专利申请公报 US 2002/0067478A1

[0075] 在另外的一个实施例中, 模块 54 可包含一个图中未显示出的多模光纤束。除了傅立叶透镜 110 和光纤束 102 被移除之外, 这个实施例在结构上与图 3B 所示的相似。这在激光器 50 产生多个横向振荡模式时非常有用。光纤束 100 中的每一根多模光纤都支持多种传播波形, 并且通过光纤的光学距离不同。发明者发现使用一到两百根多模光纤 (取决于光纤的直径、数值孔径以及长度) 与多模激光同时作用, 能够产生  $N = 10,000$  个不同的斑

纹图样以减弱输出对比到 1%。然而,多模光纤的使用破坏了输入光束偏振

[0076] 发射多模激光的横向振荡模式的数量大概用  $M_x^2 M_y^2$  可以确定,这里  $M^2$  是在 X 和 Y 方向上多模激光束相对于相同射束直径的单模激光的角偏差率。例如  $M_x^2 = M_y^2 = 30$  的激光将产生大约 1000 各不同的横向振荡模式。每一个横向振荡模式是自相干的(在激光的相干长度内),但和其它的横向振荡模式在空间上却是不重叠和不相干的。利用使光束一个扩散器把这些横向振荡模式混合起来,即使在没有光纤束的情况下也可以减少光斑对比  $(M_x^2 M_y^2)^{1/2}$  倍,在此例中为 30 倍。另外,激光束可以通过扩射器被傅立叶透镜聚焦到长度不同的多模光纤束中,如前所述。在此这种情况下,光斑消弱模块 54 把激光的横向振荡模式和纵向模式结合起来,得到的光斑对比消弱率为  $(NM_x^2 M_y^2)^{1/2}$ ,这里 N 使光纤束中光纤的条数。对于  $N = 100$  且  $M_x^2 = M_y^2 = 10$ ,光斑对比就被消弱到原来的 1%。

[0077] 可选择地或附加地,光斑消弱模块 54 可以应用其它的本领域内熟知的消斑方法。模块 54 也可以用于使激光束均质化 (homogenizing),以使光束区域即晶圆片 22 表面上的照射区域内的剖面强度充分相同。

[0078] 图 4 是本发明一实施例中照射模块 24 的详细成分的侧视图。此实施例中某些方面和图 2 中的实施例不同,而图 2 中别的部分在这里被简化省略。本领域内的熟手能够明白,图 2 和图 4 中成分及特点的其它不同的组合也可以用在系统 20 中。

[0079] 在图 4 所示的实施例中,一个包含不同放大倍数望远镜 56 的望远镜组件 120 被用于激光头 50 两个不同波长的输出。另外如图 2 中所示,也可以每个波长的输出各使用一个单独的望远镜 56。通常,望远镜 56 包含远心的 Kohler 光学装置,以使物平面 124(在光斑消弱模块 54 的输出处)上的每一点能照射到望远镜后的傅立叶平面上的所有点。所有的望远镜 56 都具有相同的焦平面,以使物平面 124 和傅立叶平面 126 在组件 120 的放大倍数改变时不会移动。望远镜同时被色彩校正,以使它们在两种激光波长下具有相同的焦平面。望远镜可以安放在一个转轮 122 上,便于在控制器 32 的控制下调整放大倍数。

[0080] 一个双色光束分离器 128 在实施例中代替了图 2 中的谐波分离模块 52。光束分离器 128 把一种波长的光传送到第一个光路 130,把另一种波长的光传送到第二个光路 132。每个光路中都包括如上所述的一个滤光器 60 和一个偏光器 62。一个光学开关 134 决定哪一种波长的光被传送到法线光学装置 72,哪一种被传递到斜角光学装置 74。光学开关 134 包含一个旋转镜 136,它可以被放置在两套装置的任意一套上,标号为 136a 和 136b。当旋转镜放在 136A 时,它使光路 132 中的光偏转到斜角光学装置 74 中,同时允许光路 130 中的光通过它到法线光学装置 72 中。切换开关 134 中的旋转镜到 136b,可使光路 132 中的光通过它到法线光学装置 72 中,同时使光路 130 中的光偏转到斜角光学装置 74 中。开关 134 可以进一步设置成把光路 130 和 132 中的光一同传送到法线光学装置 72 或斜角光学装置 74 中。一个双色光合成器把一或两个光路中的光按需要导引至法线通道。开关 134 也可以包含一个光束障碍(未画出),当只需要一种波长的光照射晶圆片 22 时阻断光路 130 或 132。

[0081] 法线和斜角光学装置 72 和 74 包含中继镜 140,用来把激光束传递到晶圆片 22 上需要的区域。另外,斜角光学装置 74 包含一个旋转镜 142,它以合适的斜角把激光束导引至表面。通常,72 和 74 是非成像光学装置,调整它们使法线光束和斜角光束照射在晶圆片表面上的区域充分相同。(例如,可以调整斜角光学装置 74 来使激光束离轴通过,以补偿入射斜角)。由相机 30 成像的晶圆片上的区域可发生变化且在一些情况下可以是矩形而不是正

方形,如后面有述。因此,中继镜 140 可以包含如一个或多个柱面透镜的变形元件,以使激光束照射的区域与相机 30 成像的区域相匹配。

[0082] 请参阅图 5 所示,是本发明一实施例中的汇聚模块 26 的侧视图。在这个实施例和图 1 所示实施例中,模块 26 都包含 5 个相机 30。可选择地,模块 26 可以包含更多或更少的相机,通常为 10 个。上面提到,所有的相机对来自晶圆片 22 表面上公共区域 148 的散射线成像,但是每个相机被配置为汇聚光轴角度不同的射线(如不同的仰角和 / 或方位角)。尽管系统 20 主要用于暗场检测,但有法线入射或斜角入射光束的配合,一个或者多个相机 30 也可以用于明视场检测。

[0083] 一个物镜 150 汇聚并校准从区域 148 散射的光线。为了汇聚低仰角的散射线,物镜 150 最好具有较高的 NA,高至 0.95 尤佳。下面的图 6 中描述了一个使用了多个折射元件的物镜 150 的设计实例。另外,物镜 150 可以包含反射元件或反折射元件,这在上面提到的 6,392,793 号美国专利中有述。如图 5 所示,每一个相机 30 被定位,以接收物镜 150 汇聚的特定角度部分的光。

[0084] 每一个相机 30 用一个带通滤光器 152 (bandpass filter) 选择要接收的波长范围。也可以使用双色光束分离器做为滤光器 152,使一个相机 30 接收沿给定角度的一种波长的散射光线,而另一个相机接收沿相同角度的另一种波长的散射光线。进一步可选择地,可以选择滤光器 152 使另一个波长范围内的射线通过,如晶圆片发荧光的波段。例如,当有机材料如感光树脂被 266nm 的光照射时,它们会在 400nm 的范围内发荧光。因此,设置滤光器 152 允许 400nm 波段内的光通过,就可用相机 30 来检测有机材料上的缺陷或残余物。

[0085] 通过阻止某些范围内校准过的散射光,一个空间滤光器 154 可以被用来限制每个相机 30 的汇聚角度。空间滤光器在消除图案化晶圆片上重复特征的背景衍射方面尤其有用。为本领域所熟知的,为增强系统 20 对于实际缺陷的灵敏度,空间滤光器可以根据晶圆片表面特征衍射图来进行选择。用于此目的的空间滤光器已经在 2002 年 1 月 15 日提交的美国专利申请 10/050,890 中被描述。该申请与本专利申请的受让人相同,它的阐述被本申请所引用。对应于不同类型晶圆片图案的衍射纹,该专利申请描述了一个制造合适的空间滤光器的方法。此方法可以应用在模块 26 的滤光器 154 中。另外为领域内所熟知的,空间滤光器 154 可以包含固定图形。

[0086] 一个旋转偏振器 156 被应用在光路中来选择将被相机 30 接收的散射光线的偏振方向。偏振器很有用,例如它通过消除粗糙和 / 或高反射的晶圆片表面结构引起的背景散射可以提高检测灵敏度。可选择地,偏振器 156 被实现为一光束偏振分离器,它使两个相机 30 接收沿给定角度的正交偏振的散射光线。

[0087] 进一步可选择地(图中未显示),光路中可以包含一个光束分离器,它把沿一定汇聚角度的散射光分给两个或多个不同的相机 30。光束分离器可以用来实现前面所述的波长分离,或按预先设定的比例把同波长的光分给两个或更多的相机。在到不同相机的光路中,可以在光束分离器后面应用不同的空间滤光器 154,来滤除对应于不同类型晶圆片图案的衍射纹。进一步可选择地,光束分离器可以按不同比例把一定角度的光分给两个或多个相机,如按 100 : 1 的比例。这样就有效的增加了系统 20 的动态范围,因为在散射光线很强的区域,接收较大部分散射光线的相机已经饱和,但接收较小部分散射光线的相机还可以产生有意义的图像数据。这样的安排在 2002 年 1 月 5 日提交的美国专利申请 10/050,889

中有描述该申请与本专利申请的受让人相同,它的阐述被本申请所引用。

[0088] 聚焦透镜 158 把经过汇聚和滤波的光聚焦到相机 30 上。透镜 158 可以手动或由传动系统调节。可变的放大镜 160 用来调节相机接收的图像的尺寸。另外,每个相机前的透镜 158 和放大镜 160 的功能可以用一个光学单元实现。放大镜决定了相机 30 捕获图像的分辨率,即与相机输出图像的每一个像素相对应的晶圆片表面区域的尺寸。放大镜 160 通常与照射模块 24 中的望远镜 56 协同工作,因此照射区域的大小与被相机成像的区域的大小基本相同。

[0089] 每一个相机 30 包含一个图像增强器 162,它的光电阴极在聚焦透镜和放大镜的像平面上。任意合适类型的图像增强管都可以用于此目的,包括第一代和第二代,如 Hamamatsu Photonics K.K. (Shizuoka-ken, Japan) 生产的 C6654 图像增强器。在激光头 50 通常的每秒 1000 次脉冲的重复频率下,为了在系统 20 要求的环境中提供最佳的成像,图像增强器 162 最好具有高带宽和高分辨率,门控操作,大电流和低荧光存储器。图像增强器的可用直径至少为 18mm,直径为 25-40mm 效果更好。

[0090] 图像增强器 162 的输出被中继光学装置 164 聚焦在一个图像传感器 166 上。中继光学装置可以包含直接连接到图像传感器芯片的中继透镜或光纤显象管。图像传感器 166 包含一个检测单元的二维矩阵,如 CCD 或 CMOS 阵列。例如,图像传感器可以包含一个 CMOS 数字图像传感器,如 Micron Technology Inc. (Boise, IDAHO) 公司生产的 MI-MV13。这个传感器具有  $1280 \times 1025$  个像素,  $12 \mu\text{m}$  的水平和垂直间距,以及每秒 500 全帧的帧频。

[0091] 与只使用图像传感器 166 而不用图像增强器的相机相比,在相机 30 中使用图像增强器 162 充分增强了相机的灵敏度。增强器可门控,并与来自照射模块 24 的光脉冲同步,以增强相机的灵敏度和进一步降低噪声电平。通常,增强器 162 要根据照射模块发出的波长选择高量子效率的光电阴极,而增强器的荧光体要发射图像传感器 166 敏感度高的不同波长范围的光。因此,图像增强器除了放大入射光以外,还有助于把散射自晶圆片 22 的紫外线和蓝色光转化为硅图像传感器更敏感的绿光或红光。另外,增强器 162 有低通空间滤光器的作用,有利于平滑散射光线中的可引起传感器 166 输出图像失真的高频成分。

[0092] 受传感器 166 分辨率的影响,增强器 162 最好具有高分辨率。例如,要充分利用上面提到的 MV13 传感器的分辨率,增强器 162 应该提供 1640 个沿对角线的清晰像素。这个分辨率标准也可以用调制传递函数也表现,一个 33 线对 / 毫米的测试图像的 MTF 为 30%。一般地,由于在图像增强管内的反射,相机捕获图像中的亮点能导致亮环 (bright halo) 的形成,这会影响到图像的分辨率。增强器 162 最好能抑制这种反射,使在任何情况下亮环直径不超过 0.2mm。进一步地,为更充分利用传感器 166 的分辨率,增强器 162 应该具备高最大输出亮度 (MOB) 的线性品质,通常到  $600 \mu\text{w}/\text{cm}^2$  的水平。

[0093] 图 6 是本发明一个实施例中的物镜 150 的详细光学示意图。在此实施例中,物镜 150 包含十个元件,全部由熔融石英制成 (折射率 1.499679),参数见下面列表。每个元件的第一表面是指更接近物平面 (在图的右边) 的表面,且曲率中心位于右侧的表面的曲率半径为正。

[0094] 透镜 170

[0095] 第一表面曲率 : -554.32

[0096] 距物平面距离 : 0.10

- [0097] 厚度 :28.92
- [0098] 第二表面曲率 :38.23
- [0099] 透镜 172
- [0100] 第一表面曲率 :22.17
- [0101] 距透镜 172 第二表面距离 :14.35
- [0102] 厚度 :42.86
- [0103] 第二表面曲率 :59.97
- [0104] 透镜 174
- [0105] 第一表面曲率 :116.11
- [0106] 距透镜 172 第二表面距离 :0.10
- [0107] 厚度 :28.99
- [0108] 第二表面曲率 :90.24
- [0109] 透镜 176
- [0110] 第一表面曲率 :233.96
- [0111] 距透镜 174 第二表面距离 :0.105
- [0112] 厚度 :10.00
- [0113] 第二表面曲率 :578.50
- [0114] 透镜 178
- [0115] 第一表面曲率 :260.16
- [0116] 距透镜 176 第二表面距离 :15.94
- [0117] 厚度 :53.07
- [0118] 第二表面曲率 :136.10
- [0119] 透镜 180
- [0120] 第一表面曲率 :446.16
- [0121] 距透镜 178 第二表面距离 :0.10
- [0122] 厚度 :10.00
- [0123] 第二表面曲率 : -2850.63
- [0124] 透镜 182
- [0125] 第一表面曲率 :437.81
- [0126] 距透镜 180 第二表面距离 :34.11
- [0127] 厚度 :28.54
- [0128] 第二表面曲率 :294.90
- [0129] 透镜 184
- [0130] 第一表面曲率 :701.43
- [0131] 距透镜 182 第二表面距离 :0.10
- [0132] 厚度 :10.00
- [0133] 第二表面曲率 : -4117.15
- [0134] 透镜 186
- [0135] 第一表面曲率 :1275.43

[0136] 距透镜 184 第二表面距离 :21.78

[0137] 厚度 :48.42

[0138] 第二表面曲率 :395.84

[0139] 透镜 188

[0140] 第一表面曲率 : -11047.73

[0141] 距透镜 186 第二表面距离 :0.10

[0142] 厚度 :132.30

[0143] 第二表面曲率 :313.99

[0144] 图 6 所示的物镜 150 的数据孔径  $NA = 0.95$ 。

[0145] 图 7 是本发明的另一个实施例中的光学汇聚模块 26 的侧视示意图。在这里,模块 26 包含多个单独的成像通道,每一个成像通道都有各自的汇聚光学装置,而不是图 5 和图 6 中共用一个物镜。通道 190 用来汇聚以各自不同角度从晶圆片 22 散射的光线。每个通道包含一个远焦中继镜 192 和一个倾斜校正单元 (TCU) 194 作为物镜,它们形成了晶圆片表面的中间图像。一个倍数可调的放大模块 (MGM) 198 把中间图像聚焦在相机 30 的入射面上如上面所述,系统 20 中相机的入射面通常为相机中的图像增强器的光电阴极平面。

[0146] 远焦中继镜 192 和倾斜校正单元 (TCU) 194 用来解决倾斜表面成像的两个问题:

[0147] 1. 从表面上的点到物镜入射光瞳的物距在物镜视场内会变化。

[0148] 2. 由于表面相对于物镜光轴是倾斜的,物镜的形成的中间图像也是倾斜和弯曲的。远焦中继镜和倾斜校正单元 (TCU) 解决了这些问题,使得尽管通道 190 捕获图像的角度不同,但所有通道 190 的中间图像 196 都是晶圆片表面同一区域 148 的平的,无畸变的图像,这一点会在后面详述。同样的光学设计可以用在所有不同视角的远焦中继镜 192 和所有放大模块 198 中。根据物平面相对于光轴的倾斜仰角的不同,以各通道 190 视角的仰角为函数的 TCU194 的设计也不同。

[0149] 图 8 是本发明一实施例中一个远焦中继镜和倾斜校正单元的详细光学示意图;尽管存在物平面的倾斜,但由于远焦中继镜属于等大远心设计,所以不产生梯形失真且对区域 148 图像的放大相同。远焦中继镜光学对称于它的光瞳 214,且包含下面列出参数(以 mm 为单位)的元件(图中从左到右)。每个元件的第一表面是指更接近物平面(图中左侧)的表面,且曲率中心位于右侧的表面的曲率半径为正。

[0150] 透镜 200

[0151] 第一表面曲率 : -29.53 ;

[0152] 距物面距离 :60.48 ;

[0153] 厚度 :9.99 ;

[0154] 第二表面曲率 : -36.37。

[0155] 透镜 202

[0156] 第一表面曲率 :469.41 ;

[0157] 距透镜 200 第二表面面距离 :32.98 ;

[0158] 厚度 :14.85 ;

[0159] 第二表面曲率 : -100.00

[0160] 透镜 204

- [0161] 第一表面曲率 : -69.56 ;
- [0162] 距透镜 202 第二表面面距离 : 36.50 ;
- [0163] 厚度 : 4.41 ;
- [0164] 第二表面曲率 : -76.35
- [0165] 透镜 206
- [0166] 第一表面曲率 : 61.15 ;
- [0167] 距透镜 204 第二表面面距离 : 10.20 ;
- [0168] 厚度 : 11.78 ;
- [0169] 第二表面曲率 : -345.29
- [0170] 透镜 208
- [0171] 第一表面曲率 : -89.45 ;
- [0172] 距透镜 206 第二表面面距离 : 4.72 ;
- [0173] 厚度 : 5.50 ;
- [0174] 第二表面曲率 : 54.75
- [0175] 透镜 210
- [0176] 第一表面曲率 : 255.13 ;
- [0177] 距透镜 208 第二表面面距离 : 38.23 ;
- [0178] 厚度 : 18.21 ;
- [0179] 第二表面曲率 : -63.34
- [0180] 透镜 212
- [0181] 第一表面曲率 : -60.74 ;
- [0182] 距透镜 210 第二表面面距离 : 41.26 ;
- [0183] 厚度 : 19.39 ;
- [0184] 第二表面曲率 : -165.26
- [0185] 透镜 212 的第二表面与光瞳 214 之间的距离是 20.00mm。光瞳右侧的元件与上面描述的元件相同,只是方向相反。
- [0186] 图 8 所示的远焦中继镜 192 的 NA 取决于波长在 0.25 与 0.3 之间。空间滤光器 154 和偏光器 156 (最好还有一个波长过滤器) 可以插在位于光瞳 214 处的中继镜 192 的傅立叶平面上, 如图所示。
- [0187] TCU194 包含一个棱镜 216, 其入射面 218 大体上平行于远焦中继镜 192 的像平面。(上面提到的, 此像平面相对于中继镜光轴的角度等于如晶圆片 22 表面的物平面相对于光轴的角度。在此例中, 物平面和像平面相对光轴的倾斜角度为  $60^\circ$ )。中继镜 192 输出的光线的折射产生了中间图像 196 做为假象图像, 它可以大体平行于棱镜 216 的出射面 220。在本实施例中, 中继镜 192 的光轴和晶圆片的法线成  $60^\circ$  角, 棱镜 216 的面 218 和面 220 的顶角为  $46.56^\circ$ 。可以看出, 作为中继镜 192 相对于晶圆片表面的倾斜角的函数, 棱镜角和方位将会发生变化。
- [0188] 为了补偿棱镜 216 引入的伪彗差, TCU194 包含一对参数熔融石英柱面透镜 222 和 224, 参数如下 (单位 : mm) :
- [0189] 透镜 222 (平凹的)



- [0190] 第一表面曲率:平的
- [0191] 距透镜 200(中继镜 192 的最后一个透镜)第二表面距离:18.51
- [0192] 厚度:13.78
- [0193] 第二表面曲率:92.90
- [0194] 离心距:5.65
- [0195] 倾斜角度: $-4.93^{\circ}$ (相对于中继镜 192 光轴)
- [0196] 透镜 224(平凸的)
- [0197] 第一表面曲率:平的
- [0198] 距透镜 200 第二表面距离:39.27
- [0199] 厚度:11.38
- [0200] 第二表面曲率: $-103.17$
- [0201] 离心距: $-15.39$
- [0202] 倾斜角度: $-16.77^{\circ}$
- [0203] 在此配置中,棱镜 216 的面 218 距透镜 200 的第二表面 71.27mm,离心距  $-3.84$ mm,倾斜角度: $-69.69^{\circ}$
- [0204] 图 9 是本发明实施例中一个成像通道 190 的侧视图,显示了光学装置和相机 30 的机械设计。在此实施例中,为了机械上方便,远焦中继镜包括一个旋转镜(未画出),它把中继镜的光轴弯曲成图中所示。然而在机能上,中继镜 192 以上面所述的方式工作。中继镜 192 的中心根据需要装有容纳偏光器 156 的滤光单元 230,波长滤光器 152(未画出)以及空间滤光器 154。
- [0205] 与图 5 相比,在此实施例中聚焦透镜 158 和放大模块 198 的位置被颠倒了,但是它们的功能实质上是一样的。模块 198 包含多个放大倍数不同的透镜,它们可以通过旋转图 4 中的望远镜组件来选择。假定增强器 162 的分辨率为  $15\mu\text{m}$ ,而相机 30 要以  $0.5\mu\text{m}$ - $4\mu\text{m}$  之间的分辨率(从物平面处测量)对晶圆片表面成像模块 198 应该提供的放大倍数大概在 4X 到 32X 之间。放大模块 198 应该可以在常用物镜和备用物镜之间进行选择,以满足防大倍数的需要,如本例。
- [0206] 图 10 是本发明一实施例中一个晶圆片的顶视图,显示了被系统 20 扫描过的图像 236 的图案。晶圆片 22 被分成领域内所知的芯片 232。平台 36(图 1)按图 10 中箭头 234 的方向以光栅图扫描晶圆片 22。可选择地,连续扫描线可以在相反的方向上来回移动。在这个例子中,相机 30 首先在光栅的一条扫描线上捕获芯片  $A' B' C', \dots$ , 的图像 236,然后在后面的一条扫描线上捕获  $A, B, C, \dots$ , 的图像。在每条扫描线中,四个贴有标签  $a, b, c$  和  $d$  的邻近连续的图像 236,在宽度上覆盖了每个芯片。通常,选择光栅图使连续的扫描线可以充分覆盖晶圆片 22 的整个表面。但是为了描述清晰,图 10 仅仅显示了两条扫描线。
- [0207] 照射模块 21 和相机 30(图 1)与平台 36 同步以使图像 236 与晶圆片 24 上的芯片 232 排列一致。换句话说,如图 10 所示,通过使每个图像  $a, b, c$  和  $d$  覆盖芯片一个预定的区域,实现了图像 236 与芯片 232 排列一致。每个图像的区域与被前一扫描线同一图像覆盖的区域一致。因此,任意相机 30 捕获的芯片 B 的图像与统一相机捕获的芯片 A 的图像在同一位置应该具有实质上相同的特点。这种对应利于后面的芯片间比较。上面提到的,所有的相机 30 同时对晶圆片 22 的同一区域成像。这样图 10 中的图案特点就是任意或全部

相机捕获的图像的特点,尽管由于不同的视角使相机之间可能会有些差异。这种差异通常仅在芯片比较后进行校正,后面有述。

[0208] 把图像 236 与芯片 232 的边界排列整齐是通过调节相机的光学装置和 / 或调节传感器 166 (图 5) 的图像捕获区域来实现的。这是 CMOS 图像传感器的一个优势,如上面提到过的 MV-13,允许在不必要减少输出像素的情况下调节图像中的行的数目。换句话说,实际上行的数目可以被增加或减少来提供需要的图像高度,因此每个芯片 232 被分成固定整数个图像 236。为补偿图像高度上的变化,传感器的帧率也因此被增大或减小,以维持需要的像素输出率 (以及系统 20 的处理能力)。

[0209] 图 11 是从原理上描述了在本发明一个实施例中图像处理器 34 和主计算机 38 的信号处理过程。图像处理器 34 包含多个处理通道 240,通常一个通道对应一个相机 30。相机 30 捕获的每帧图像通常以连续的数字像素值的形式传送到相应的通道 240。典型地,相机 30 输出 8 位的数字量。传感器 166,如上面提到的 CMOS MV-13 传感器,通常包含板上模拟 / 数字转换器,可输出高精度的亮度值,如 10 位。在这里,每个相机 30 都可包含一个 10 位 / 8 位转换器 (未画出),它把传感器的输出数值精度调整为 8 位。此缩放比例可以是线性的,也可以选择为侧重低亮度部分。例如对于后者,此 10 位 / 8 位转换器可以包含一个以平方根或对数比例进行缩放的 10 位输入 8 位输出的查找表 (LUT)。

[0210] 在每个通道 240 中,一个像素值校正的标准化模块 242 用来补偿能量传感器 66 (图 2) 提供的激光的脉冲间能量差异。接下来是一个像素值校正的图像补偿模块 246 来处理基准输入提供的特定相机的一致性偏差。基准输入通常是预先校准的,能反应出激光束在相机的成像区域 148 上的强度分布差异,像素到像素的灵敏度差异以及相机产生的固定模式噪声。模块 246 的作用是保证所有相机产生的所有图像的所有像素的灵敏度充分一致。

[0211] 在一定平台 36 (图 1) 坐标下,给定相机产生的每个图像帧中每个像素的像素值和晶圆片 22 上特定芯片上特定区域的一定角度的散射光线的强度有关。一个芯片到芯片 (die-to-die) 的比较模块 250 把当前图像帧中每个像素的像素值和同一相机接收的前一扫描过的芯片中相同位置的像素值相比较。因此,关于图 10,芯片 B 的图像中的每个像素和芯片 A 的图像中相应的像素进行比较,等等。由于这个目的,扫描前一芯片所记录的像素值被存在一个延时线缓冲器 252 中。模块 250 利用相互的坐标差异数据 254 来正确的登记当前芯片和前一芯片。例如,由于平台 36 的定位错误 (这对于不同视角的所有的相机 30 都是一样的) 或晶圆片表面相对于光学焦点的高度变化 (各相机之间不同的倾斜汇聚角度会引起坐标差异) 等都会产生坐标差异。

[0212] 只要给定的芯片没有缺陷,当前帧内每个像素的像素值应该和从缓冲器 252 中读出帧中相应像素的像素值在预定的公差范围内是一样的。令一方面,如果有像素的像素值与被缓存帧中相应像素的像素值的差异超过了一定的门限,这种差异可能就是该像素区域存在缺陷的表现。图像处理通道 240 把每一个在芯片对芯片 (die to die) 比较中发现差异的像素报告给主计算机 38,然后由它来比较不同通道报告的偏差像素值,如下所述。

[0213] 然而,在通道 240 把偏差像素值报告给主计算机以前,利用失真校正器 255 对像素值进行调节,来校正在不同的相机和处理器通道间的图像失真和重合失调。这种失真通常是由于不同相机的角度和光路不同造成的。这种失真的校正是计算密集型的任务。因此,

校正器 255 可只对那些可疑缺陷区域内的像素进行失真校正,这些像素的像素值被某通道 240 比较模块 250 发现与前一芯片相应像素的差异超过了预先设定的门限。对于在任何通道比较模块 250 都没有发现偏差的像素(应占晶圆片上像素的绝大多数)就不进一步的计算了。门限和/或其它像素挑选标准应被设定为使不超过一定比例如 1%的像素需要进行失真校正。

[0214] 一个主计算机中的多角度决策模块 256(通常为软件过程)把从所有通道 240 读入的失真校正过的偏差像素收集起来。基于从不同通道获取的对于特定偏差像素的数据,模块 256 能够构建晶圆片 22 上相应位置散射光线的角度剖面。此散射剖面使模块 256 能够根据预编程的决策规则和门限确定发生在晶圆片该位置的缺陷并进行分类。例如,这些规则能确定从一给定位置的散射线测量值是否是颗粒或划伤(何颗粒或划伤的尺寸)。当晶圆片 22 扫描结束时,主计算机发布一个缺陷列表报告 258,指出发现的所有缺陷的位置何类型。

[0215] 另外,在进行芯片对芯片比较或其它的缺陷处理之前,通道 240 可以被配置来校正所有图像像素的坐标失真。这样,不需要上面实施例中的把图像 236 和芯片 232 对齐。在多散射角(如多个相机 30 捕获的射线)的情况下,接下来可以进行每个像素的芯片对芯片比较。美国专利申请 10/097,442 与本专利申请的受让人相同,它的阐述被本申请所引用。该申请描述的多检测器缺陷检测方法做必要的修正后可以在本例中应用。可选择地或附加地,通道 240 可以配置为模块 250 把当前芯片与另一晶圆片上已记录像素值的芯片进行比较(晶圆片对晶圆片比较)。

[0216] 如上所述,尽管这里描述的实施例专门涉及到了系统 20 中晶圆片 22 的暗场检测,本发明的原理也可以应用与其它的光学检测领域,以及其它类型的照射和成像系统。上述实施例可以作为示例被引用,且本发明不局限于上文所着重描述的范围。更佳的,本发明的范围包括上述的不同的特点及其结合,以及本领域内的熟手通过阅读前述的描述和现有技术中未阐述的技术后进行的变更和修改。

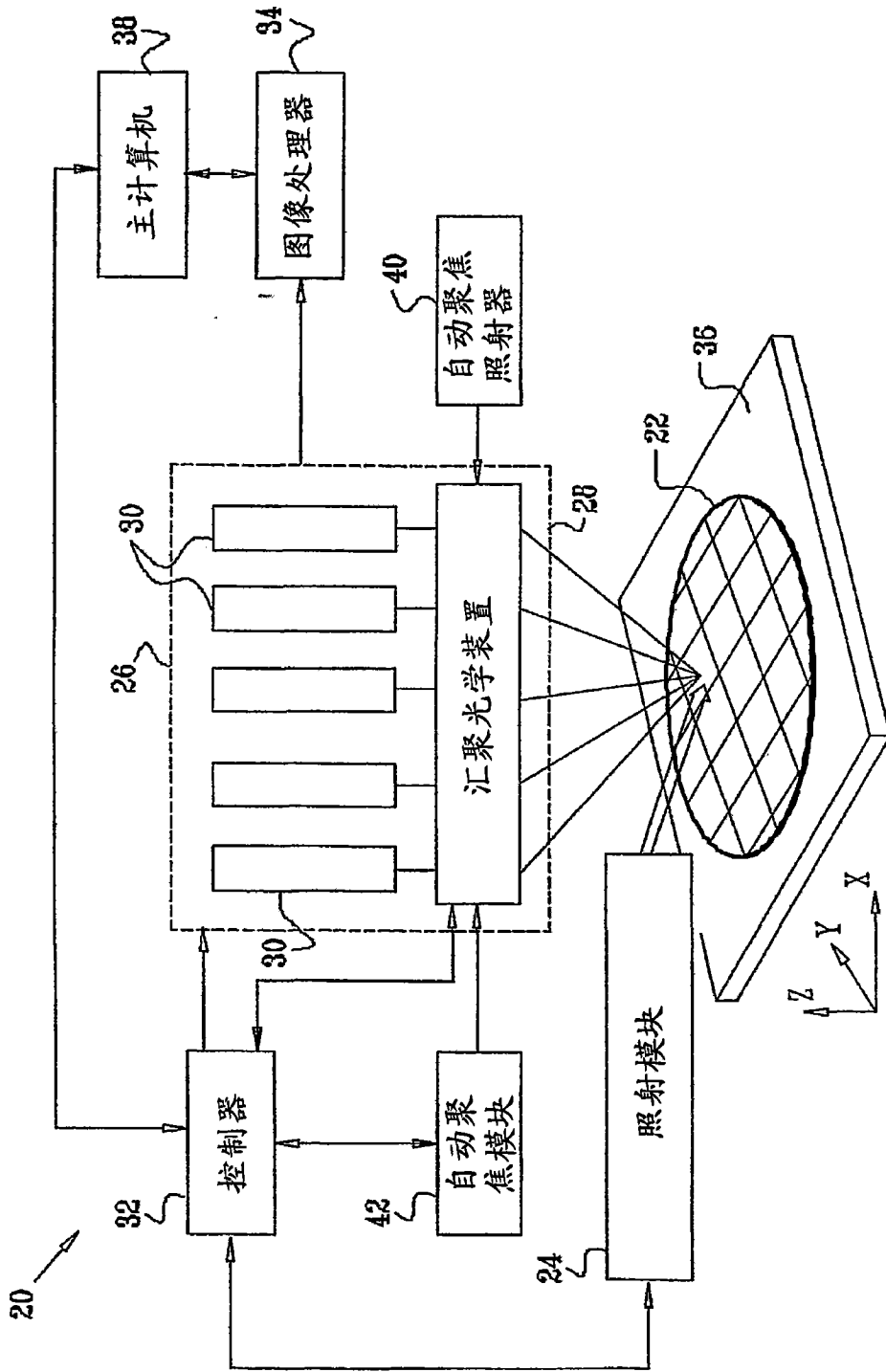


图 1

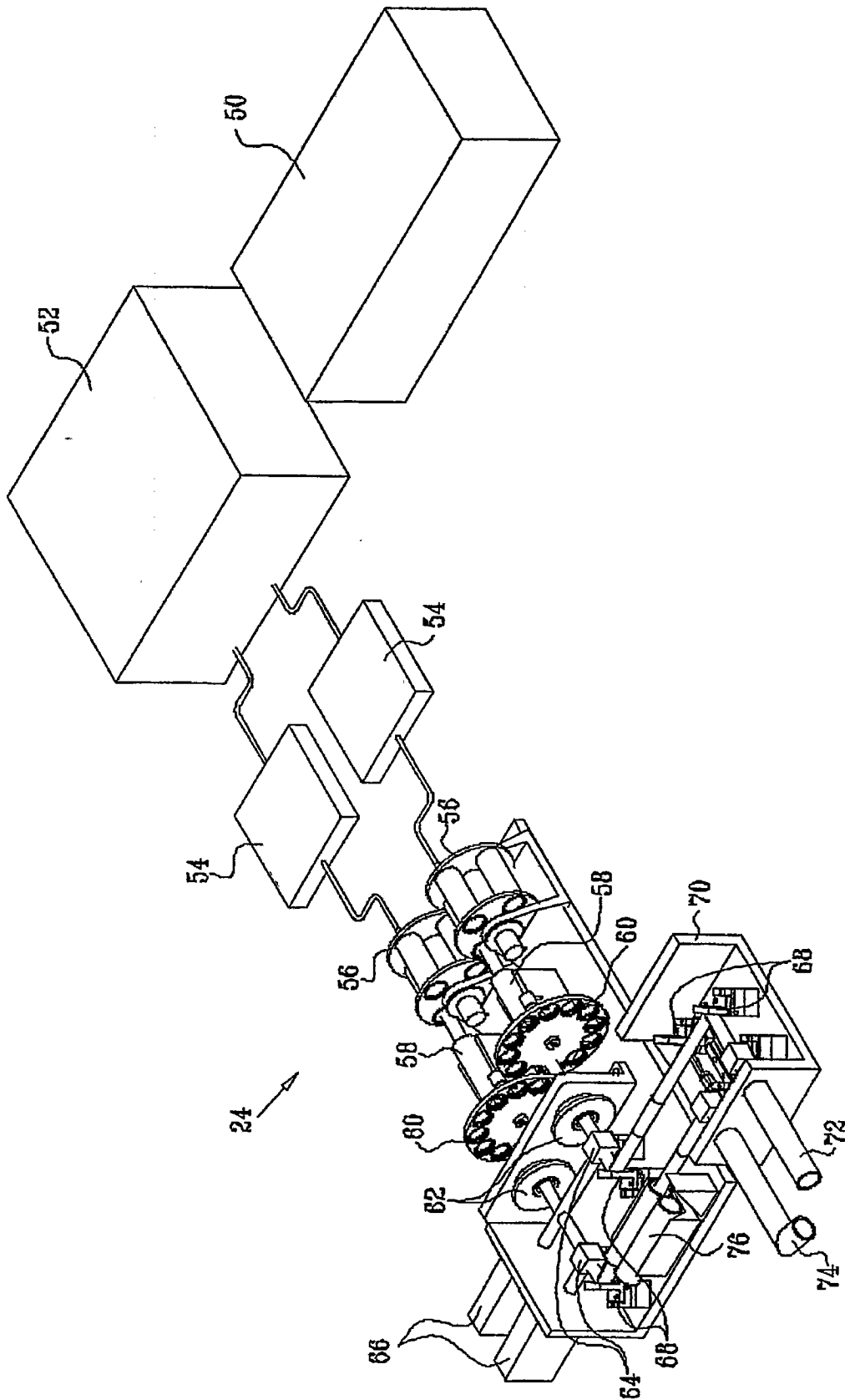


图 2

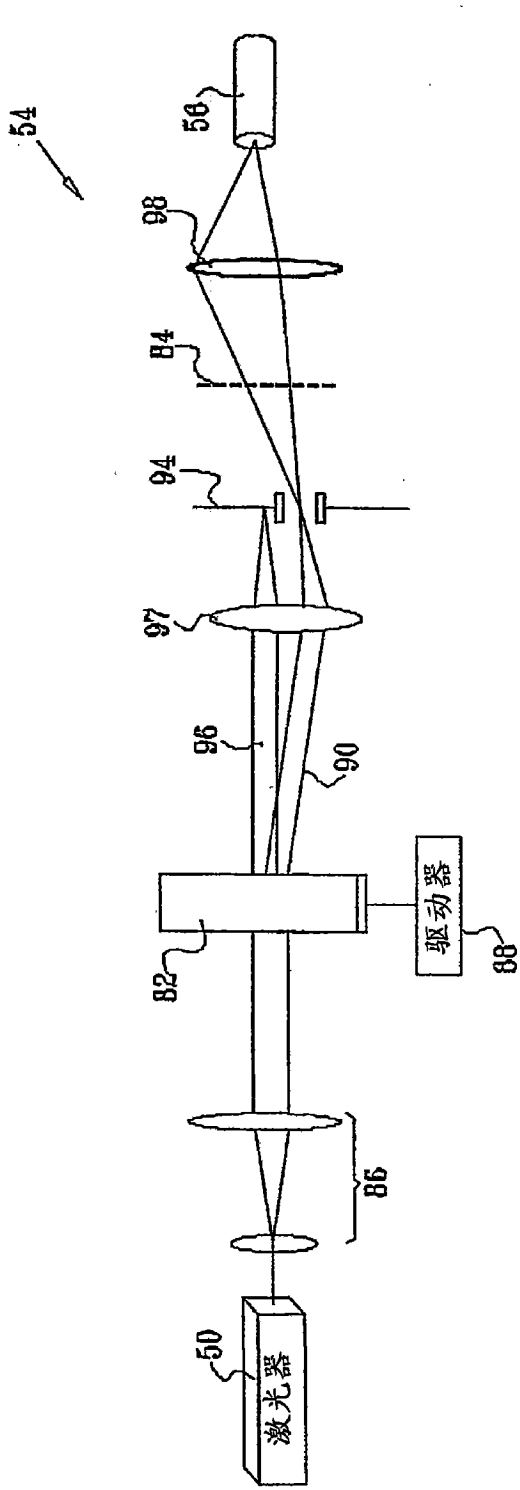


图 3A

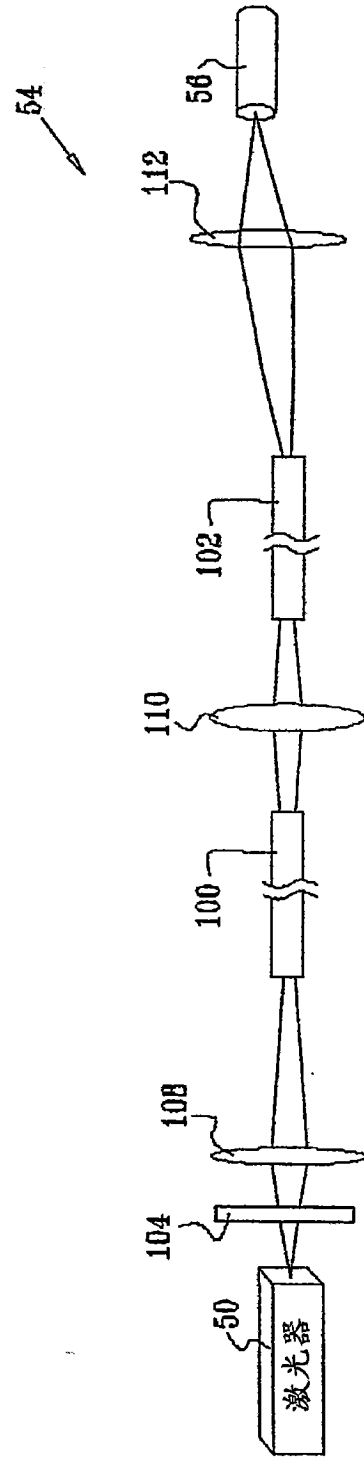


图 3B

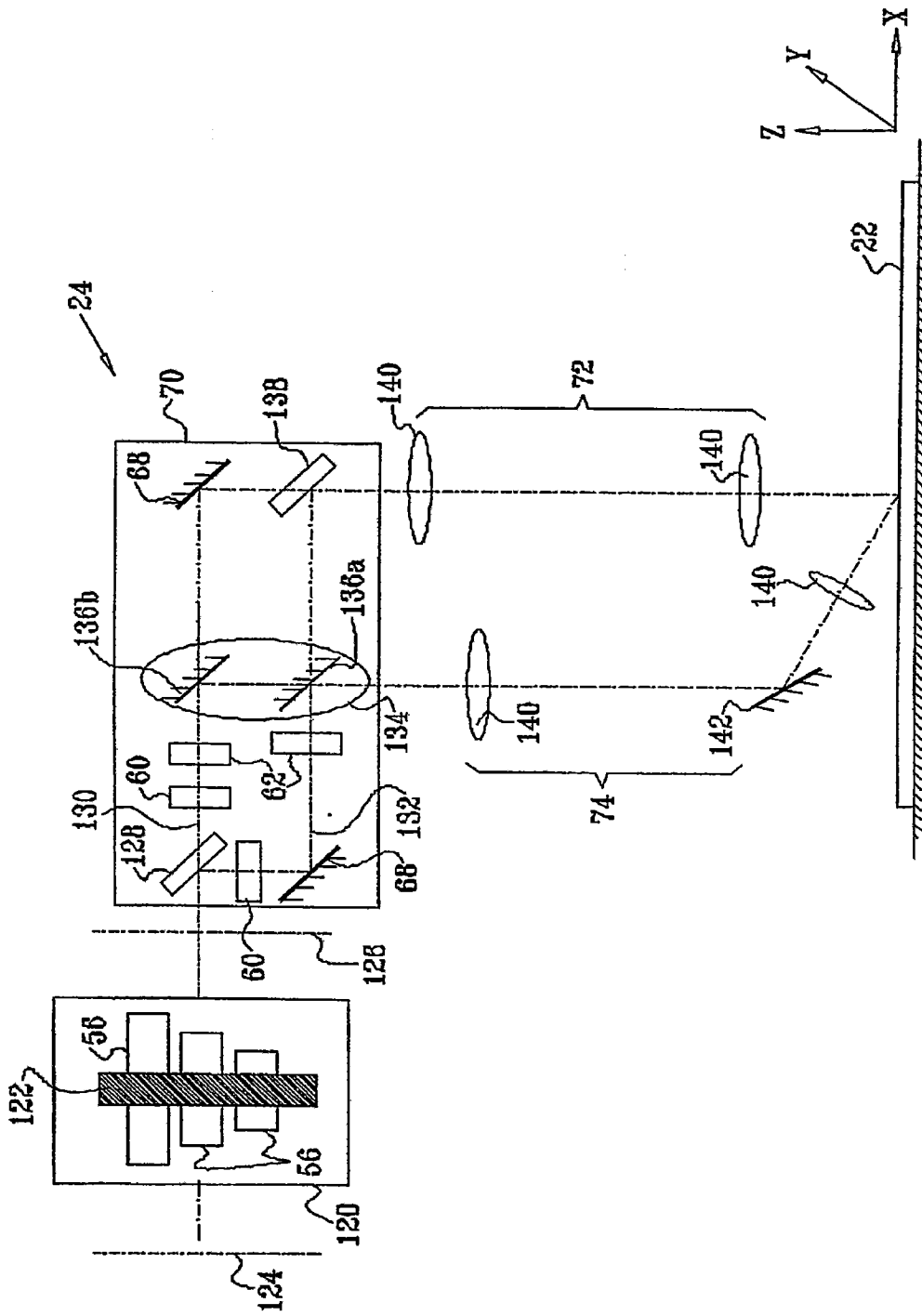


图 4

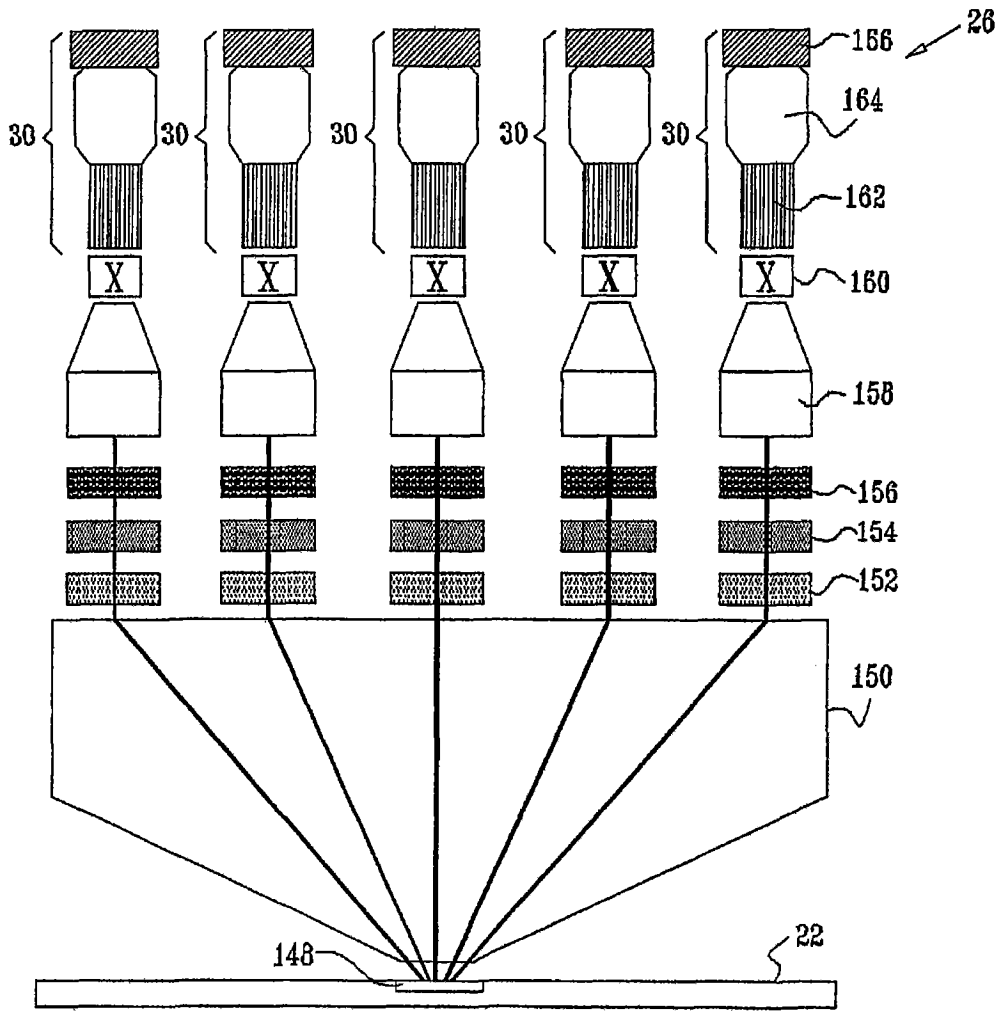


图 5



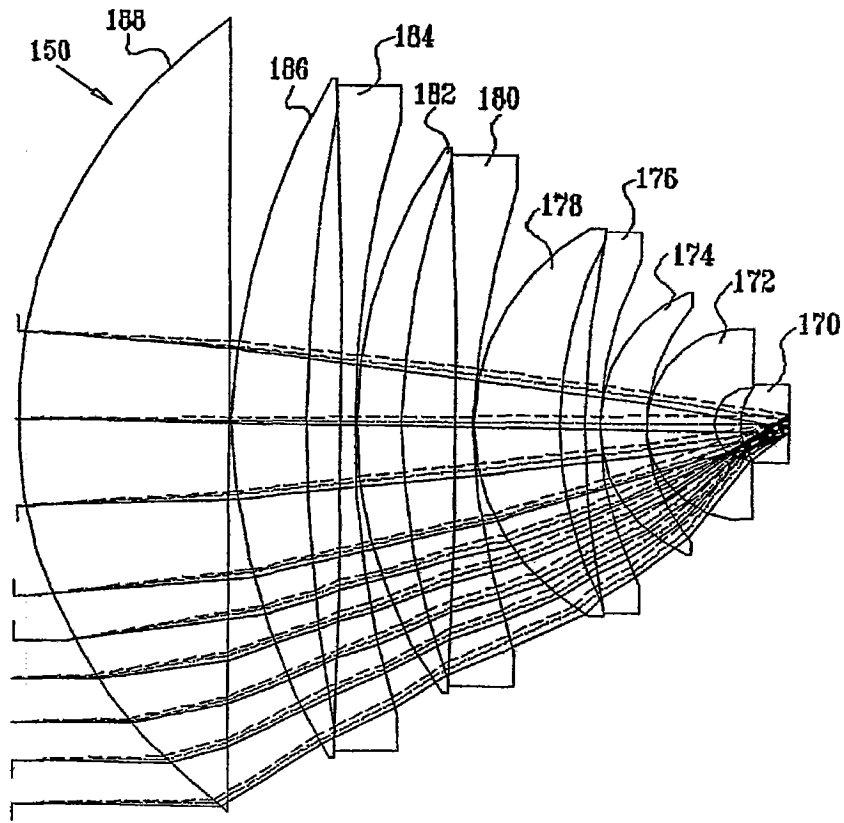


图 6

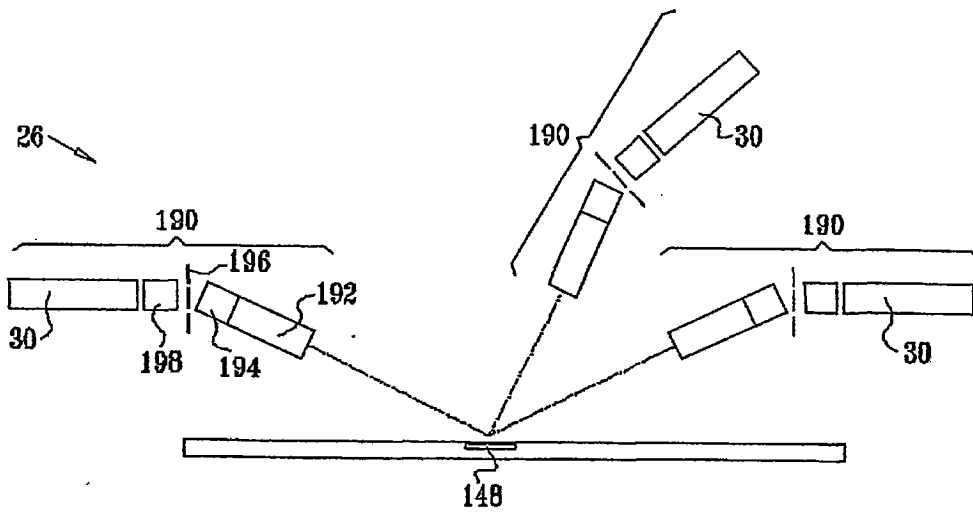


图 7

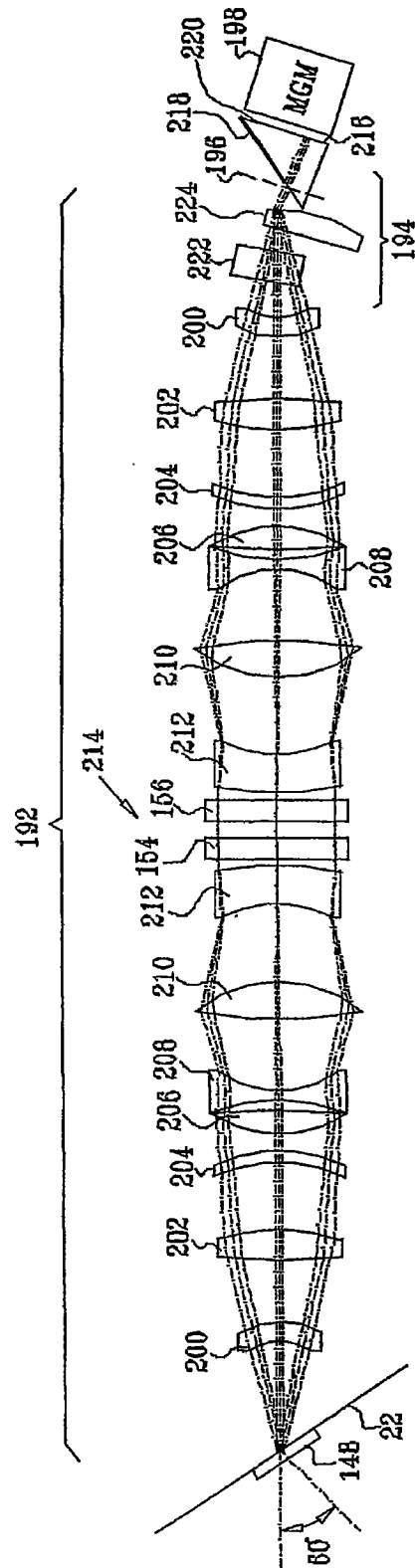


图 8

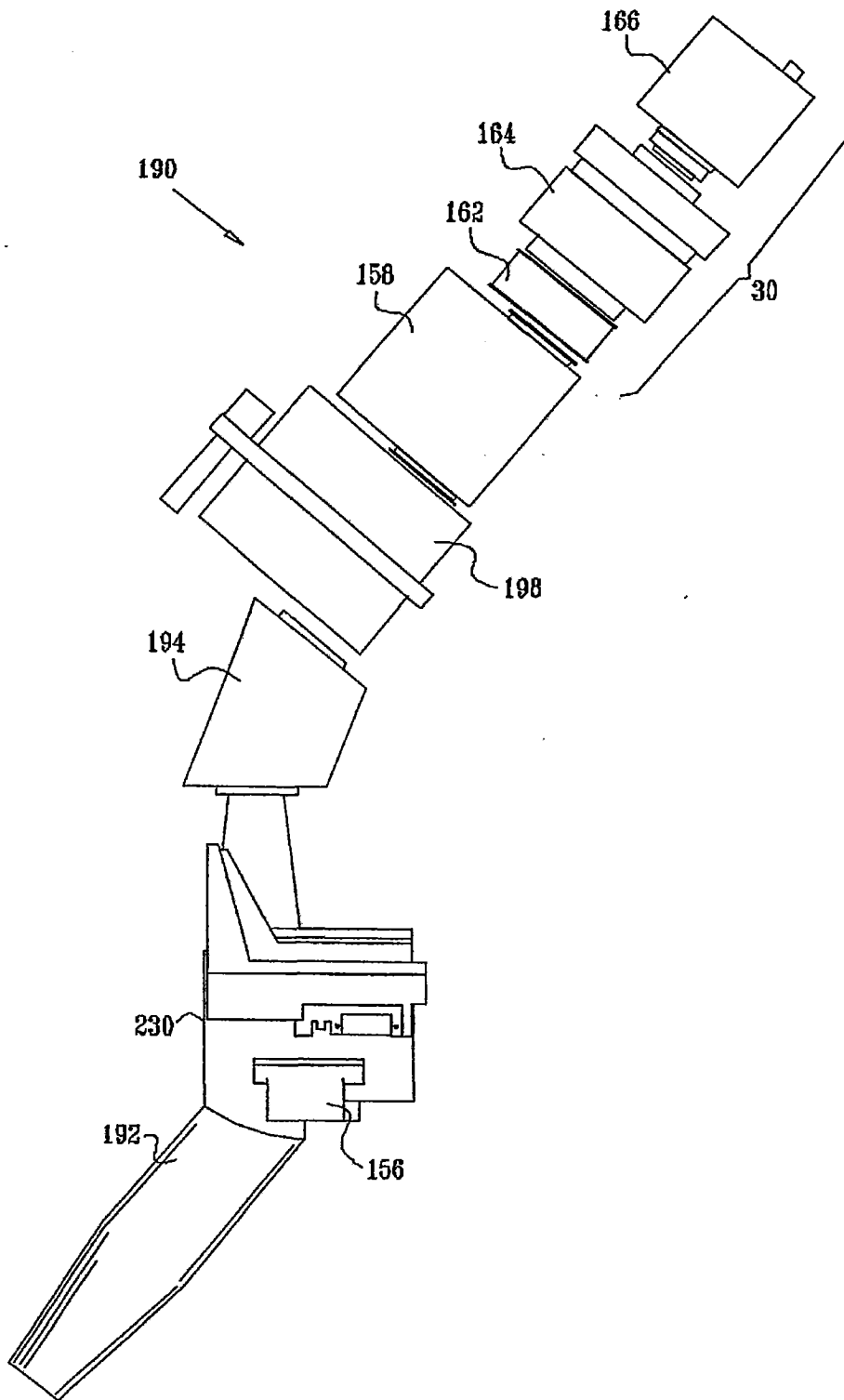


图 9

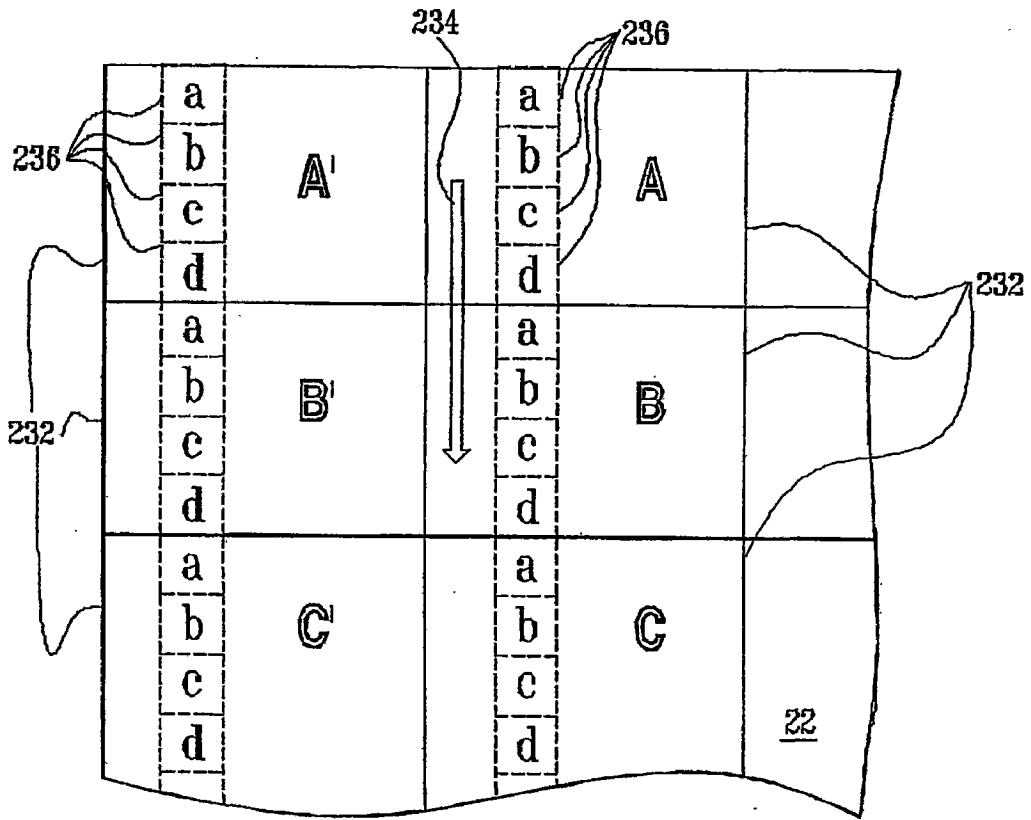


图 10

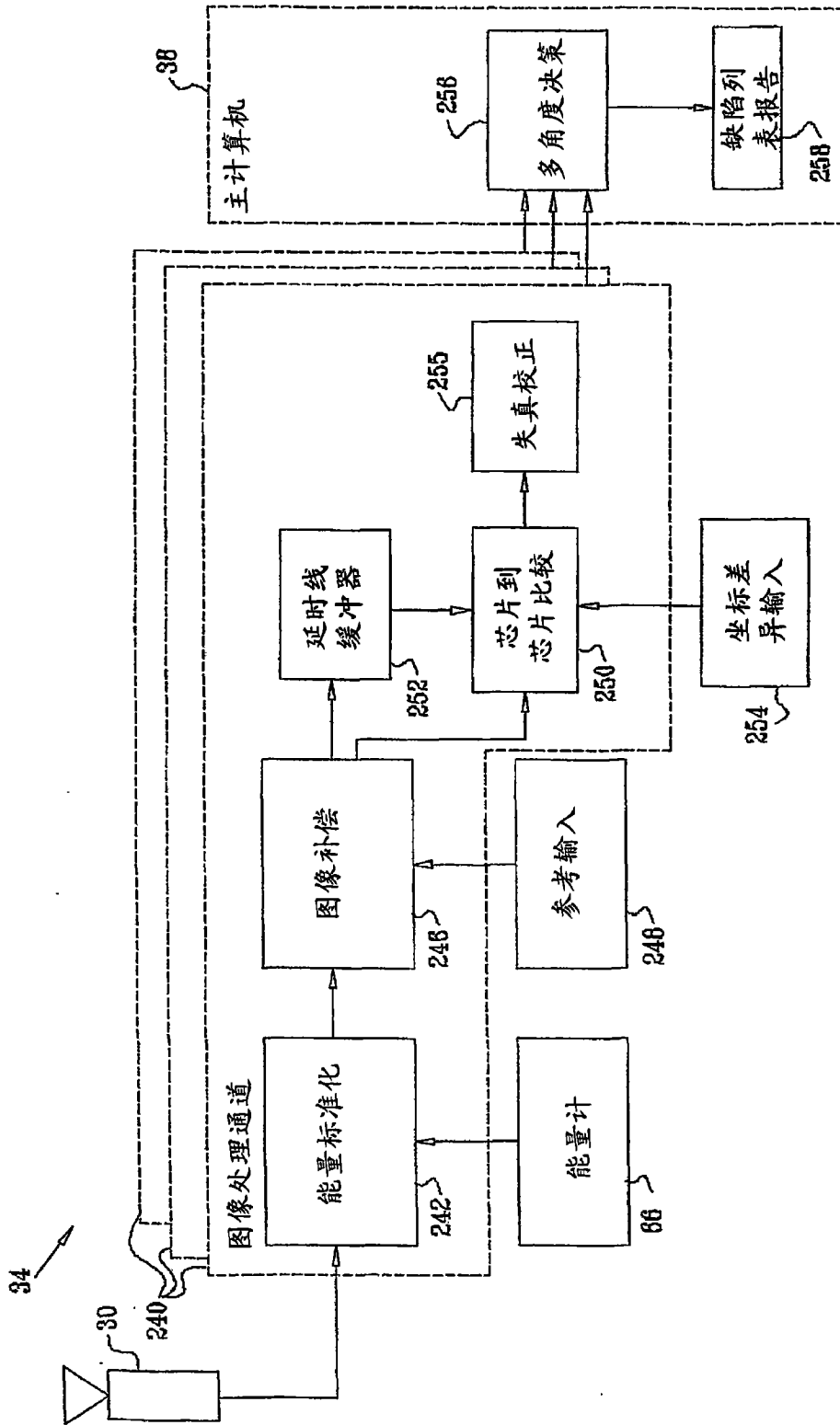


图 11