



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 107250766 B

(45) 授权公告日 2020.11.06

(21) 申请号 201680009293.7

(72) 发明人 S·克里许南 G·V·庄

(22) 申请日 2016.02.10

D·Y·王 刘学峰

(65) 同一申请的已公布的文献号

(74) 专利代理机构 北京律盟知识产权代理有限公司 11287

申请公布号 CN 107250766 A

代理人 张世俊

(43) 申请公布日 2017.10.13

(51) Int.CI.

(30) 优先权数据

G01N 21/21 (2006.01)

62/119,243 2015.02.22 US

G01N 21/55 (2014.01)

14/833,370 2015.08.24 US

G01N 21/95 (2006.01)

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2017.08.08

(56) 对比文件

US 2013/0114085 A1, 2013.05.09

(86) PCT国际申请的申请数据

US 2010/0296096 A1, 2010.11.25

PCT/US2016/017399 2016.02.10

US 2009/0279090 A1, 2009.11.12

(87) PCT国际申请的公布数据

CN 1662789 A, 2005.08.31

W02016/133765 EN 2016.08.25

US 6829049 B1, 2004.12.07

(73) 专利权人 科磊股份有限公司

US 2003/0133102 A1, 2003.07.17

地址 美国加利福尼亚州

审查员 蒋超

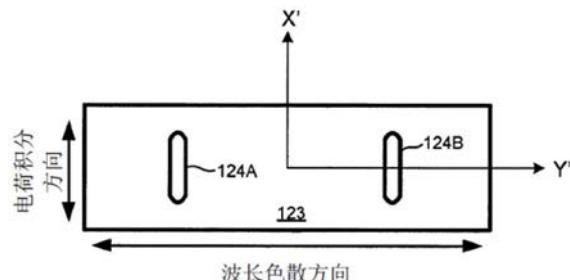
权利要求书2页 说明书11页 附图7页

(54) 发明名称

具有经减小聚焦误差灵敏度的光学度量

(57) 摘要

本文中呈现用于执行对聚焦误差具有经减小灵敏度的宽带光谱度量的方法及系统。通过将测量光点成像到检测器上以使得晶片表面上的与入射平面对准的方向定向成垂直于检测器表面上的波长色散方向来实现对聚焦位置误差的灵敏度的显著减小。聚焦误差灵敏度的此种减小在不危及测量准确度的情况下实现经减小聚焦准确度及可重复性要求、较快聚焦时间及经减小的对波长误差的灵敏度。在另一方面中，基于受测量目标的本质而调整在垂直于所述入射平面的方向上投影到晶片平面上的照射光场的尺寸以优化所得测量准确度及速度。



1. 一种度量系统,其包括:

照射源,其经配置以产生一定量的照射光;

照射光学器件子系统,其经配置以在入射平面内以一或多个入射角将所述量的照射光从所述照射源引导到受测量样品的表面上的测量光点;

检测器,其具有对入射光灵敏的平面二维表面,其中所述检测器经配置以通过在垂直于所述检测器表面上的波长色散方向的方向上跨过多个像素将电荷积分而产生指示所述样品对所述量的照射光的响应的多个输出信号;及

收集光学器件子系统,其经配置以从所述样品的所述表面上的所述测量光点收集一定量的经收集光且将所述量的经收集光引导到所述检测器的所述表面,其中所述收集光学器件子系统将所述测量光点成像到所述检测器的所述表面上,使得晶片表面上的与所述入射平面对准的方向定向成垂直于所述检测器表面上的所述波长色散方向。

2. 根据权利要求1所述的度量系统,其中所述量的照射光是包含横跨至少500纳米的波长范围的宽带照射光。

3. 根据权利要求1所述的度量系统,其中所述量的照射光的至少一部分是以法向入射角提供到所述样品。

4. 根据权利要求1所述的度量系统,其中所述量的照射光的至少一部分是以倾斜入射角提供到所述样品。

5. 根据权利要求1所述的度量系统,其中所述度量系统被配置为光谱椭偏仪及光谱反射仪中的任一者或多者。

6. 根据权利要求1所述的度量系统,其中所述照射光学器件子系统的偏光器狭缝的投影未充满所述度量系统的光谱仪狭缝。

7. 根据权利要求1所述的度量系统,其中所述照射源是激光驱动式光源。

8. 根据权利要求1所述的度量系统,其中所述照射光学器件子系统包含经配置以限制在正交于所述入射平面的方向上投影到所述样品上的照射光场的可编程照射光场光阑。

9. 根据权利要求8所述的度量系统,其进一步包括:

控制器,其经配置以:

将命令信号发射到所述可编程照射光场光阑以更改所述可编程照射光场光阑的状态,以沿着所述检测器表面上的所述波长色散方向实现所要点扩散函数。

10. 根据权利要求1所述的度量系统,其中投影到所述样品的表面上的所述量的照射光的光束大小小于在所述样品的所述表面上测量的测量目标的大小。

11. 根据权利要求1所述的度量系统,其中所述检测器是电荷耦合装置CCD检测器。

12. 一种用于光学度量的设备,其包括:

照射系统,其经配置以在入射平面内以一或多个入射角将一定量的宽带照射光从照射源引导到受测量样品的表面上的测量光点;

光谱检测器,其具有对入射光灵敏的平面二维表面,其中所述光谱检测器经配置以通过在垂直于所述检测器表面上的波长色散方向的方向上跨过多个像素将电荷积分而产生多个输出信号;及

收集光学器件子系统,其经配置以从所述样品的所述表面上的所述测量光点收集一定量的经收集光且将所述量的经收集光引导到所述光谱检测器的所述表面,其中所述收集光

学器件子系统将所述测量光点成像到所述光谱检测器的所述表面上,使得晶片表面上的与所述入射平面对准的方向定向成垂直于所述光谱检测器表面上的所述波长色散方向。

13.根据权利要求12所述的设备,其中所述照射系统包含经配置以限制在正交于所述入射平面的方向上投影到所述样品上的照射光场的可编程照射光场光阑。

14.根据权利要求13所述的设备,其进一步包括:

控制器,其经配置以:

将命令信号发射到所述可编程照射光场光阑以更改所述照射光场光阑的状态,以沿着所述检测器表面上的所述波长色散方向实现所要点扩散函数。

15.一种用于光学度量的方法,其包括:

在入射平面内以一或多个入射角将来自照射源的一定量的宽带照射光投影到受测量样品的表面上的测量光点;

将来自所述样品的所述表面上的所述测量光点的一定量的经收集光成像到二维检测器的表面,使得所述样品表面上的与所述入射平面对准的方向定向成垂直于所述检测器表面上的波长色散方向;及

产生指示所述样品对所述量的照射光的响应的多个输出信号,其中所述产生所述多个输出信号涉及在垂直于所述检测器表面上的所述波长色散方向的方向上跨过多个像素将电荷积分。

16.根据权利要求15所述的方法,其进一步包括:

至少部分地基于所述多个输出信号而确定对结构参数的估计。

17.根据权利要求15所述的方法,其中所述量的宽带照射光包含横跨至少500纳米的波长范围。

18.根据权利要求15所述的方法,其中所述一或多个入射角中的至少一者是倾斜入射角。

19.根据权利要求15所述的方法,其进一步包括:

限制在正交于所述入射平面的方向上投影到所述样品的所述表面上的照射光场的延伸范围。

20.根据权利要求19所述的方法,其中所述限制所述照射光场的所述延伸范围涉及将命令信号发射到可编程照射光场光阑以更改所述照射光场光阑的状态,以沿着所述检测器表面上的所述波长色散方向实现所要点扩散函数。

## 具有经减小聚焦误差灵敏度的光学度量

[0001] 相关申请案的交叉参考

[0002] 本专利申请案依据35U.S.C. §119主张来自2015年2月22日提出申请的标题为“高吞吐量大NA光学度量系统的设备及方法 (Apparatus and Methods of High Throughput Large NA Optical Metrology System)”的序列号为62/119,243的美国临时专利申请案的优先权，所述临时专利申请案的标的物以全文引用的方式并入本文中。

### 技术领域

[0003] 所描述实施例涉及度量系统及方法，且更特定来说，涉及用于半导体结构的经改善测量的方法及系统。

### 背景技术

[0004] 通常通过适用于样品的一系列处理步骤制作例如逻辑及存储器装置等半导体装置。通过这些处理步骤形成半导体装置的各种特征及多个结构层级。举例来说，光刻尤其是一种涉及在半导体晶片上产生图案的半导体制作工艺。半导体制作工艺的额外实例包含但不限于化学机械抛光、蚀刻、沉积及离子植入。可在单一半导体晶片上制作多个半导体装置，且接着将其分离成若干个别半导体装置。

[0005] 在半导体制造工艺期间在各个步骤处使用度量工艺来检测晶片上的缺陷以促成较高成品率。光学度量技术提供高吞吐量的可能性而不具有样本损毁的危险。若干种基于光学度量的技术(包含散射测量及反射测量实施方案)及相关联分析算法共同用于表征临界尺寸、膜厚度、组合物、重叠及纳米尺度结构的其它参数。

[0006] 特征大小的持续减小及半导体装置的增加的复杂性对光学度量系统强加困难要求。光学度量系统必须以高吞吐量(即，短移动、获取及测量(MAM)时间)针对越来越小的度量目标满足高精确度及准确度要求，以保持成本效益。在此上下文中，聚焦误差已作为光学度量系统的设计中的关键性能限制问题而出现。更具体来说，特别是在高吞吐量操作(即，短MAM时间)期间，以充分准确度维持聚焦已成为对聚焦误差具有高灵敏度的光学度量系统的关键问题。

[0007] 图1描绘对聚焦误差具有高灵敏度的示范性现有技术度量系统10。度量系统10包含产生入射于晶片15上的照射光束14的照射源25。照射光束14在光束从照射源25传播到晶片15时穿过照射光瞳11、照射光场光阑12及照射光学器件13。光束14照射晶片15在测量光点16上的一部分。由收集光学器件18从测量光点16收集经收集光束17。经收集光17穿过收集光场光阑19、收集光瞳20及光谱仪狭缝21。由衍射光栅22使经收集光束17衍射以根据波长使所述经收集光束在空间上色散。经波长色散的经收集光入射于二维检测器(例如，电荷耦合装置(CCD))23的表面上。CCD检测器23将经收集光转换成指示经收集光的光谱强度的电信号。如图1中所描绘，经收集光束17包含两个相异波长。衍射光栅22引起投影到检测器23的表面上的两个不同波长光之间的空间分离。以此方式，从测量光点16收集的具有特定波长的光使光点24A投影到检测器23上，且从测量光点16收集的具有另一不同波长的光使

光点24B投影到检测器23上。

[0008] 如图1中所描绘,Z轴定向成法向于晶片15的表面。X及Y轴与晶片15的表面共面,且因此垂直于Z轴。照射光束14的主光线26及经收集光束17的主光线27界定入射平面。X轴与入射平面对准且Y轴正交于入射平面。以此方式,入射平面位于XZ平面中。照射光束14以相对于Z轴的入射角 $\alpha$ 入射于晶片15的表面上且位于入射平面内。

[0009] 图2A描绘晶片15的俯视图,其包含对由图1的照射光束14照射的测量光点16的描绘。在图1中所描绘的实施例中,照射光束14的横截面是圆形形状的(例如,在照射光场光阑12处)。然而,圆形光束14到晶片15的表面上的几何投影产生具有与入射平面对准的伸长形状的测量光点16,如图2A中所描绘。对于圆形照射光束,投影于晶片15的表面上的测量光点16是椭圆形形状的。大体来说,对表面的倾斜照射产生相对于照射横截面伸长的经投影照射区,且伸长方向与入射平面对准。此外,伸长的量值随入射角增加而增加。更具体来说,光束形状与在入射平面的方向上入射角的余弦成反比。在不存在衍射及像差效应的情况下,经投影照射光在垂直于照射平面的方向(例如,Y方向)上保持不失真。

[0010] 如图1中所描绘,测量光点16以波长色散方式投影到检测器23的表面上。例如度量系统10等现有技术度量系统经配置使得测量光点16的伸长方向的投影与检测器23的表面上的波长色散方向对准。图1中所描绘的X'轴表示测量光点16的伸长方向(即,X轴)到检测器23上的投影。如图1中所描绘,X'轴与检测器23的表面上的波长色散方向对准。

[0011] 图2B描绘检测器23的表面的法向视图。如图2B中所描绘,测量光点16的伸长方向的投影与检测器23的表面上的波长色散方向对准。通过实例方式,光点24A及24B的伸长方向与波长色散方向对准。在垂直于波长色散方向的方向上将检测器23的表面上的波长相依图像(例如,光点24A及24B)积分以获得光谱,即,沿着波长色散轴的强度与波长的关系函数。对于CCD检测器,在垂直于波长色散的方向上将电荷积分以到达所述光谱处。

[0012] 当将测量光点成像到检测器上使得晶片表面上的与入射平面对准的方向与检测器表面上的波长色散方向对准时,所得点扩散函数(PSF)是强波长相依的。所得PSF是高度尖峰的,因为图像强度针对给定波长在伸长方向上极大地变化。为了恰当捕获高度尖峰的PSD,光谱仪必须以高分辨率获取光谱数据。此增加测量时间且减小吞吐量。

[0013] 在另一实例中,针对特定波长的所得PSF取决于在伸长图像及对应伸长强度分布与光谱色散方向对准时的入射角。所得PSF取决于入射角而变宽或变窄。

[0014] 在另一实例中,所得PSF对聚焦误差是高度灵敏的。随着晶片上的测量目标移动而对焦及离焦,晶片上的测量光点的所检测图像改变大小且移位位置。另外,晶片上的测量光点的位置移位。如图3中所说明,当晶片15对焦时,照射光束14在位置A处照射晶片。经收集光束17经波长色散且使光点24A及24B成像到检测器23上,如图4中所说明。当晶片15在z方向上向上移动且离焦达大于零的量 $\Delta Z$ 时,照射光束14在位置C处照射晶片。经收集光束17'经波长色散且使光点24A'及24B'成像到检测器23上。所得图像因晶片移动远离光学系统的聚焦平面而是较大的,且图像的中心位置在与波长色散方向对准的方向上移位。在波长色散方向上的此移位因波长到像素映射改变而产生光谱测量误差。当晶片15在z方向上向下移动且离焦达小于零的量 $\Delta Z$ 时,照射光束14在位置B处照射晶片。经收集光束17''经波长色散且使光点24A''及24B''成像到检测器23上。同样,所得图像因晶片移动远离光学系统的聚焦平面而是较大的,且图像的中心位置在与波长色散方向对准的方向上移位。

[0015] 归因于聚焦误差(即,  $\Delta Z \neq 0$ )的晶片15上的测量光点移动导致依据波长沿着光谱仪色散轴的图像移动。由于波长校准是在聚焦平面(即,  $Z=0$ )中执行,因此由聚焦误差诱发的在光谱仪色散方向上的任何图像移动使所测量光谱对来自波长校准的偏差极灵敏。

[0016] 在一些实例中,宽带光源的发射光谱包含一或多个特性原子线,例如,氩弧灯。原子线可用于跟踪及校正聚焦误差。在现有技术度量系统中,聚焦跟踪及校正对于实现测量准确度及工具间匹配是基本的。然而,如果宽带光源是高亮度激光驱动式光源(LDLS),那么特性原子线不再可用于跟踪及校正聚焦误差。此外,对聚焦误差的灵敏度针对大数值孔径(NA)光学度量系统恶化。

[0017] 总之,对聚焦误差及由倾斜照射诱发的误差的灵敏度对度量系统及特定来说大NA光学度量系统的性能提出限制。

## 发明内容

[0018] 本文中呈现用于执行对聚焦误差具有经减小灵敏度的宽带光谱度量的方法及系统。通过将测量光点成像到检测器上使得晶片表面上的与入射平面对准的方向定向成垂直于检测器表面上的波长色散方向来实现对聚焦位置误差的灵敏度的显著减小。聚焦误差灵敏度的此种减小在不危及测量准确度的情况下实现经减小聚焦准确度及可重复性要求、较快聚焦时间及经减小的对波长误差的灵敏度。这些益处在大数值孔径光学度量系统中特别明显。

[0019] 在一个方面中,宽带光谱度量系统经配置使得将测量光点成像到检测器上,使得晶片表面上的与入射平面对准的方向定向成垂直于检测器表面上的波长色散方向。在此布置中,所述度量系统对聚焦误差的灵敏度极大减小。在对聚焦误差具有经减小灵敏度的情况下,以较短MAM时间且因此以较高吞吐量获得精确测量。

[0020] 在另一方面中,基于受测量目标的本质而调整在垂直于所述入射平面的方向上投影到晶片平面上的照射光场的尺寸以优化所得测量准确度及速度。在一些实施例中,针对每一测量应用调整在垂直于入射平面的方向上投影于晶片平面上的照射光场光阑以使PSF成型以实现对波长较不灵敏的平顶轮廓。另外,基于所述平顶轮廓而调整光谱分辨率以实现优化测量准确度及速度。

[0021] 前述内容是发明内容且因此必须含有细节的简化、概述及省略;因此,所属领域的技术人员将了解,发明内容仅为说明性的且不以任何方式为限制性的。在本文中所陈述的非限制性实施方式中,本文中所描述的装置及/或工艺的其它方面、发明性特征及优点将变得显而易见。

## 附图说明

[0022] 图1描绘对聚焦误差具有高灵敏度的示范性现有技术度量系统10。

[0023] 图2A描绘晶片15的俯视图,其包含对由图1的照射光束14照射的测量光点16的描绘。

[0024] 图2B描绘图1中所描绘的检测器23的表面的法向视图。

[0025] 图3说明经受聚焦位置误差的晶片15。

[0026] 图4说明经波长色散且成像到检测器23的表面上的经收集光束17。

- [0027] 图5描绘对聚焦误差具有经减小灵敏度的示范性度量系统100。
- [0028] 图6描绘图5中所描绘的检测器123的表面的法向视图。
- [0029] 图7描绘投影到检测器123上的测量光点116的图像124A及124B。
- [0030] 图8描绘说明指示参考图5所描述的系统相比于参考图1所描述的系统的对聚焦误差的经减小灵敏度的模拟结果的曲线图150。
- [0031] 图9描绘由例如参考图1所描述的系统等传统宽带光谱椭偏仪系统进行的对垂直NAND (VNAND) 结构的一系列三十次重复测量的在波长范围内的光谱参数 $\beta$ 的值的曲线图160。
- [0032] 图10描绘由宽带光谱椭偏仪系统进行的对同一垂直NAND (VNAND) 结构的一系列三十次重复测量的在波长范围内的光谱参数 $\beta$ 的值的曲线图170, 所述宽带光谱椭偏仪系统将测量光点成像到检测器上, 使得晶片表面上的与入射平面对准的方向定向成垂直于检测器表面上的波长色散方向。
- [0033] 图11说明在如本文中所描述的至少一个新颖方面中执行光谱测量的方法200。
- [0034] 图12描绘对聚焦误差具有经减小灵敏度的示范性度量系统300。

### 具体实施方式

[0035] 现在将详细参考背景技术实例及本发明的一些实施例, 本发明的实例说明于所附图式中。

[0036] 本文中呈现用于执行对聚焦误差具有经减小灵敏度的宽带光谱度量的方法及系统。在一些实例中, 通过将测量光点成像到检测器上以使得与晶片表面上的入射平面对准的方向定向成垂直于检测器表面上的波长色散方向, 实现对聚焦位置的灵敏度的二十倍减小。聚焦误差灵敏度的此种减小在不危及测量准确度的情况下实现经减小聚焦准确度及可重复性要求、较快聚焦时间及经减小的对波长误差的灵敏度。这些益处在大数值孔径光学度量系统中特别明显。

[0037] 在一个方面中, 宽带光谱度量系统经配置以使得将测量光点成像到检测器上, 使得晶片表面上的与入射平面对准的方向定向成垂直于检测器表面上的波长色散方向。在此布置中, 所述度量系统对聚焦误差的灵敏度极大减小。在对聚焦误差具有经减小灵敏度的情况下, 以较短MAM时间且因此以较高吞吐量获得精确测量。

[0038] 图5描绘对聚焦误差具有经减小灵敏度的示范性度量系统100。度量系统100可配置为宽带光谱椭偏仪、反射仪或其任何组合。度量系统100包含产生入射于晶片115上的照射光束114的照射源110。照射光束114在光束从照射源110传播到晶片115时穿过照射光瞳111、照射光场光阑112及照射光学器件113。光束114照射晶片115在测量光点116上的一部分。由收集光学器件118从测量光点116收集经收集光束117。经收集光117穿过收集光场光阑119、收集光瞳120及光谱仪狭缝121。由衍射光栅122使经收集光束117衍射以根据波长使所述经收集光束在空间上色散。经波长色散的经收集光入射于二维检测器的表面上。在一个实例中, 检测器123是电荷耦合装置 (CCD)。然而, 大体来说, 可预期其它二维检测器技术 (例如, 位置灵敏检测器 (PSD)、红外检测器、光伏检测器等)。检测器123将经收集光转换成指示经收集光的光谱强度的电信号125。如图5中所描绘, 通过非限制性实例的方式, 经收集光束117包含两个相异波长。衍射光栅122导致投影到检测器123的表面上的两个不同波长

光之间的空间分离。以此方式,从测量光点116收集的具有特定波长的光使光点124A投影到检测器123上,且从测量光点116收集的具有另一不同波长的光使光点124B投影到检测器123上。

[0039] 如图5中所描绘,照射光束114以倾斜角提供到晶片115的表面。大体来说,照射光可以任一倾斜角或任一数目个倾斜角提供到晶片115的表面。在一些实施例中,除倾斜照射之外,一定量的照射光也以法向入射(即,与表面法线对准)提供到所述表面。

[0040] 在另一方面中,所述量的照射光是包含横跨至少500纳米的波长范围的宽带照射光。在一个实例中,宽带照射光包含低于250纳米的波长及高于750纳米的波长。大体来说,宽带照射光包含在150纳米与2,500纳米之间的波长。

[0041] 在一些实例中,投影到晶片115的表面上的所述量的照射光114的光束大小小于在样品的表面上测量的测量目标的大小。示范性光束成型技术详细描述于王(Wang)等人的第2013/0114085号美国专利申请公开案中,所述公开案的内容以全文引用的方式并入本文中。

[0042] 如图5中所描绘,Z轴定向成法向于晶片115的表面。X及Y轴与晶片115的表面共面,且因此垂直于Z轴。照射光束114的主光线126及经收集光束117的主光线127界定入射平面。X轴与入射平面对准且Y轴正交于入射平面。以此方式,入射平面位于XZ平面中。照射光束114以相对于Z轴的入射角 $\alpha$ 入射于晶片115的表面上且位于入射平面中。

[0043] 如关于图1中所描绘的度量系统10所描述,照射光束以倾斜角到样品的表面上的几何投影导致在与入射平面对准的方向上照射光束横截面的伸长。通过非限制性实例的方式,投影于晶片表面上的圆形照射光束产生椭圆形形状的照射区。因此,大体来说,对表面的倾斜照射产生相对于照射横截面伸长的经投影照射区,且伸长方向与入射平面对准。此外,伸长的量值随入射角增加而增加。更具体来说,光束形状与在入射平面的方向上入射角的余弦成反比。在不存在衍射及像差效应的情况下,经投影照射光在垂直于照射平面的方向(例如,Y方向)上保持不失真。

[0044] 如图5中所描绘,测量光点116以波长色散方式投影到检测器123的表面上。度量系统100经配置使得测量光点116的伸长方向的投影定向成垂直于检测器123的表面上的波长色散方向。图5中所描绘的X'轴表示测量光点116的伸长方向(即,X轴)到检测器123上的投影。如图5中所描绘,X'轴定向成垂直于检测器123的表面上的波长色散方向。

[0045] 与图1中所描绘的度量系统10相比,在图5中所描绘的实施例中,度量系统100的除光谱仪狭缝之外的所有光谱仪组件相对于经收集光束旋转90度。以此方式,测量光点116的伸长方向的投影定向成垂直于波长色散方向。

[0046] 图12描绘另一实施例中的对聚焦误差具有经减小灵敏度的度量系统300。度量系统300包含与参考图5中所描绘的度量系统100所描述相同编号的元件。另外,度量系统300包含放置于收集路径中以使图像旋转90度(即,使经收集光束117沿着光束轴旋转)的光束旋转光学器件128。度量系统300与度量系统100的不同之处还在于度量系统300的除光谱仪狭缝之外的所有光谱仪组件(例如,检测器123、光栅122等)保持于与图1中所描绘的度量系统10相同的定向上。与图1中所描绘的度量系统10相比,度量系统300的光谱仪狭缝相对于经收集光束旋转90度。以此方式,测量光点116的伸长方向的投影定向成垂直于波长色散方向。

[0047] 图6描绘检测器123的表面的法向视图。如图6中所描绘，测量光点116的伸长方向的投影(即，X'轴)定向成垂直于跨越检测器123的表面的波长色散方向。通过实例方式，光点124A及124B的伸长方向定向成垂直于波长色散方向。在垂直于波长色散方向的方向上将检测器123的表面上的波长相依图像(例如，光点124A及124B)积分以获得光谱，即，沿着波长色散轴的强度与波长的关系函数。对于CCD检测器，在垂直于波长色散的方向上将电荷积分以到达所述光谱处。

[0048] 在每一波长下在垂直于光谱仪波长色散轴的方向上将投影到检测器(例如，CCD 123)的表面上的图像积分以获得经测量光谱。在每一波长下的个别光谱形状是在所述特定波长下系统的点扩散函数(PSF)。

[0049] 当将测量光点成像到检测器上使得晶片表面上的与入射平面对准的方向定向成垂直于检测器表面上的波长色散方向时，所得点扩散函数(PSF)与现有技术配置相比较不相依于波长。所得PSF是不那么尖峰的，因为图像强度针对给定波长在垂直于伸长方向的方向上(例如，跨越椭圆形的短轴)并不极大地变化。此外，虽然图像强度确实在伸长方向上(例如，跨越椭圆形的长轴)极大地变化，但因伸长方向与CCD的电荷积分方向对准，所述变化会在积分时被消除。以此方式，光谱仪不必以高分辨率获取光谱数据以准确地构造PSF。此减小测量时间且增加吞吐量。

[0050] 在另一实例中，当伸长方向定向成垂直于光谱色散方向时，针对特定波长的所得PSF独立于入射角。垂直于伸长方向(即，跨越椭圆形的短轴)的图像及对应强度分布对入射角在很大程度上是不变的。因此，在光谱色散方向上投影的图像及对应强度分布对入射角在很大程度上是不变的。因此，经计算PSF展示极小对入射角的相依性。

[0051] 在另一实例中，与现有技术配置相比，所得PSF对聚焦误差是显著较不灵敏的。当晶片上的测量目标移动而对焦及离焦时，晶片上的测量光点的所检测图像移位位置。类似于对度量系统10及图3的说明，当晶片115对焦时，照射光束114在位置A处照射晶片。经收集光束117经波长色散且使光点124A及124B成像到检测器123上，如图6中所说明。当晶片115在z方向上向上移动且离焦达大于零的量 $\Delta Z$ 时，照射光束114在位置C处照射晶片。经收集光束117'经波长色散且使光点124A'及124B'成像到检测器123上。垂直于波长色散方向的图像位置的此移位因波长到像素映射保持不变而使由聚焦误差诱发的光谱测量误差最小化。当晶片115在z方向上向下移动且离焦达小于零的量 $\Delta Z$ 时，照射光束114在位置B处照射晶片。经收集光束117"经波长色散且使光点124A"及124B"成像到检测器123上。同样，垂直于波长色散方向的图像位置的此移位使由聚焦误差诱发的光谱测量误差最小化。

[0052] 在此配置中，聚焦误差使检测器上的图像在垂直于波长色散轴的方向上移位。由于经计算光谱是通过将垂直于光谱仪色散轴的图像积分而获得，因此聚焦误差诱发的图像移位在积分时被消除且不诱发实质光谱测量误差。对聚焦误差的此经减小灵敏度消除对基于原子线发射跟踪及校正聚焦误差的需要。以此方式，可采用例如高亮度激光驱动式光源(LDLS)等宽带光源作为具有放松聚焦定位要求的例如系统100等光谱度量系统中的光源。

[0053] 如前文中所描述，由光谱仪投影的PSF在很大程度上由垂直于入射平面(即，XZ平面)的光的分布确定。出于此原因，PSF独立于倾斜入射角。因此，PSF对波长的相依性基本上小于例如参考图1所描述的配置等传统配置。

[0054] 当在AOI方向上的图像垂直于检测器上的波长色散方向(如图5到6中所描绘)时，

检测器上的PSF受垂直于入射平面的方向上的几何光点大小限制。

[0055] 在另一方面中,基于受测量目标的本质而调整在垂直于入射平面的方向上投影于晶片平面上的照射光场光阑的尺寸以优化所得测量准确度及速度。

[0056] 针对每一测量应用调整在垂直于入射平面的方向上投影于晶片平面上的照射光场光阑以使PSF成型以实现对波长较不灵敏的平顶轮廓。另外,基于所述平顶轮廓而调整光谱分辨率以实现优化测量准确度及速度。

[0057] 在一些实例中,例如,如果样本是极厚膜或光栅结构,那么调整在垂直于入射平面的方向上投影于晶片平面上的照射光场光阑以减小光场大小以便实现增加光谱分辨率。在一些实例中,例如,如果样本是薄膜,那么调整在垂直于入射平面的方向上投影于晶片平面上的照射光场光阑以增加光场大小以便在不损失光谱分辨率的情况下实现缩短测量时间。

[0058] 图7描绘投影到检测器123上的光点124A及124B。在此实例中,图5中所描绘的照射光场光阑112经调整以减小在垂直于入射平面的方向(即,Y方向)上投影于晶片平面上的光场大小。此继而产生在与波长色散方向对准的方向上利用经减小光场大小投影到检测器123上的光点124A及124B。

[0059] 在图5中所描绘的实施例中,计算系统130经配置以接收指示由CCD 123检测的光谱响应的信号125。计算系统130进一步经配置以确定传递到可编程照射光场光阑112的控制信号126。可编程照射光场光阑112接收控制信号126且调整照射孔径的大小以实现所要照射光场大小。

[0060] 在一些实例中,调整照射光场光阑以优化测量准确度及速度,如前文中所描述。在另一实例中,调整照射光场光阑以防止由光谱仪狭缝进行的图像裁剪及测量结果的对应降级。以此方式,调整照射光场大小使得测量目标的图像未充满光谱仪狭缝。在一个实例中,调整照射光场光阑使得照射光学器件的偏光器狭缝的投影未充满度量系统的光谱仪狭缝。

[0061] 当将测量光点成像到检测器上使得晶片表面上的与入射平面对准的方向定向成垂直于检测器表面上的波长色散方向时,测量结果对聚焦误差更不灵敏。图8描绘说明指示参考图5所描述的系统相比于参考图1所描述的系统的对聚焦误差的经减小灵敏度的模拟结果的曲线图150。曲线图150描绘针对若干个不同情境由聚焦误差诱发的光谱仪信号 $\beta$ 的改变。光谱仪信号的改变 $\delta\beta$ 是在目标位置离焦时测量的光谱仪信号与在目标位于标称焦点处时测量的光谱仪信号之间的差异。曲线151及152分别指示常规度量系统(例如参考图1所描述的系统)的在具有+1微米聚焦误差及-1微米聚焦误差的情况下横跨超过500纳米的波长范围的 $\delta\beta$ 值。曲线153及154分别指示新颖度量系统(例如参考图5所描述的系统)的在具有+1微米聚焦误差及-1微米聚焦误差的情况下在波长范围内的 $\delta\beta$ 值。如图8中所说明,当将测量光点成像到检测器上使得晶片表面上的与入射平面对准的方向定向成垂直于检测器表面上的波长色散方向时,测量结果对聚焦误差更不灵敏。

[0062] 图9描绘垂直NAND (VNAND) 结构的一系列三十次重复测量的在横跨超过500纳米的波长范围内的光谱参数 $\beta$ 的值的曲线图160。图9中所描绘的数据是由例如参考图1所描述的系统等传统宽带光谱椭偏仪系统产生。

[0063] 图10描绘针对同一垂直NAND (VNAND) 结构的一系列三十次重复测量的在横跨超过500纳米的波长范围内的光谱参数 $\beta$ 的值的曲线图170。图10中所描绘的数据由宽带光谱椭偏仪系统产生,所述宽带光谱椭偏仪系统将测量光点成像到检测器上,使得晶片表面上的

与入射平面对准的方向定向成垂直于检测器表面上的波长色散方向。参考图5描述此系统。通过将图9与10的结果进行比较,很显然,将测量光点成像到检测器上以使得晶片表面上的与入射平面对准的方向定向成垂直于检测器表面上的波长色散方向会产生系统可重复性的显著改善,这主要归因于对聚焦误差的经减小灵敏度。

[0064] 图11说明在至少一个新颖方面中的执行光谱测量的方法200。方法200适于由例如本发明的图5中所说明的度量系统100等度量系统实施。在一个方面中,认识到,方法200的数据处理框可经由预编程算法执行,所述预编程算法由计算系统130的一或多个处理器或任何其它通用计算系统执行。本文中认识到,度量系统100的特定结构方面不表示限制,且仅应解释为说明性的。

[0065] 在框201中,在入射平面内以一或多个入射角将来自照射源的一定量的宽带照射光投影到受测量样品的表面上的测量光点上。

[0066] 在框202中,将来自样品的表面上的测量光点的一定量的经收集光成像到二维检测器的表面,使得样品表面上的与入射平面对准的方向定向成垂直于检测器表面上的波长色散方向。

[0067] 在框203中,产生指示样品对所述量的照射光的响应的多个输出信号。所述输出信号至少部分地通过在垂直于检测器表面上的波长色散方向的方向上跨过多个像素将电荷积分而产生。

[0068] 在另一方面中,至少部分地基于所述多个输出信号而确定对样品的结构参数的估计。

[0069] 如本文中所描述,任何法向入射或倾斜入射宽带光学度量系统可经配置使得测量光点成像到检测器的表面上,使得晶片表面上的与入射平面对准的方向定向成垂直于检测器表面上的波长色散方向。在一些实施例中,光谱仪色散轴定向成正交于晶片聚焦轴(例如,图5中的z轴),以减小朝向聚焦误差的系统灵敏度。

[0070] 可如本文中所描述配置的示范性测量技术包含但不限于光谱椭偏测量术(SE)(包含穆勒(Mueller)矩阵椭偏测量术、旋转偏光器SE、旋转偏光器、旋转补偿器SE、旋转补偿器、SE)、光谱反射测量术(SR)(包含偏光SR、未偏光SR)、光谱散射测量术、散射测量术重叠、光束轮廓反射测量术(角分辨及偏光分辨两者)、光束轮廓椭偏测量术、单个或多个离散波长椭偏测量术、x射线反射率(XRR)、x射线荧光(XRF)、掠入射x射线荧光(GIXRF)、x射线椭偏测量术等。大体来说,个别地或以任何组合形式可预期包含具有多个波长的照射的任何度量技术。举例来说,个别地或以任何组合形式可预期适用于半导体结构的特性的任何SR或SE技术(包含基于图像的度量技术)。

[0071] 在另一实施例中,系统100包含经采用以基于根据本文中所描述的方法收集的光谱测量数据而执行实际装置结构的测量的一或多个计算系统130。一或多个计算系统130可通信地耦合到光谱仪(例如,光谱仪123)。在一个方面中,一或多个计算系统130经配置以接收与样品115的结构的测量相关联的测量数据125。

[0072] 应认识到,单计算机系统130或替代地多计算机系统130可执行本发明通篇所描述的一或多个步骤。此外,系统100的不同子系统(例如光谱椭偏仪123)可包含适于执行本文中所描述的步骤的至少一部分的计算机系统。因此,上述说明不应解释为对本发明的限制而仅是说明。

[0073] 另外,计算机系统130可以此项技术中已知的任何方式通信地耦合到光谱仪123。举例来说,一或多个计算系统130可耦合到与光谱仪123相关联的计算系统。在另一实例中,光谱仪123可直接由耦合到计算机系统130的单计算机系统控制。

[0074] 度量系统100的计算机系统130可经配置以通过可包含有线及/或无线部分的发射媒体从系统的子系统(例如,光谱仪123等等)接收及/或获取数据或信息。以此方式,发射媒体可用作计算机系统130与系统100的其它子系统之间的数据链路。

[0075] 度量系统100的计算机系统130可经配置以通过可包含有线及/或无线部分的发射媒体而从其它系统接收及/或获取数据或信息(例如,测量结果、模型化输入、模型化结果、参考测量结果等)。以此方式,发射媒体可用作计算机系统130与其它系统(例如,存储器板上度量系统100、外部存储器或其它外部系统)之间的数据链路。举例来说,计算系统130可经配置以经由数据链路从存储媒体(即,存储器132或外部存储器)接收测量数据。举例来说,使用光谱仪123获得的光谱结果可存储于永久性或半永久性存储器装置(例如,存储器132或外部存储器)中。就此来说,光谱结果可从板上存储器或从外部存储器系统传入。此外,计算机系统130可经由发射媒体将数据发送到其它系统。举例来说,由计算机系统130确定的测量模型或实际装置参数值可经传递并存储于外部存储器中。就此来说,测量结果可传出到另一系统。

[0076] 计算系统130可包含但不限于个人计算机系统、大型计算机系统、工作站、图像计算机、并行处理器或此项技术中已知的任一其它装置。大体来说,术语“计算系统”可广义定义为涵盖具有执行来自存储器媒体的指令的一或多个处理器的任一装置。

[0077] 实施例如本文中所描述的那些方法等方法的程序指令134可经由发射媒体(例如导线、电缆或无线发射链路)发射。举例来说,如图5中所说明,存储于存储器132中的程序指令134经由总线133发射到处理器131。程序指令134存储于计算机可读媒体(例如,存储器132)中。示范性计算机可读媒体包含只读存储器、随机存取存储器、磁盘或光盘或者磁带。

[0078] 在一些实例中,测量模型实施为可从美国加利福尼亚州苗必达市KLA-科磊公司(KLA-Tencor Corporation)购得的SpectraShape®光学临界尺寸度量系统的元件。以此方式,模型经创建且准备好在由系统收集光谱之后立即使用。

[0079] 在一些其它实例中,测量模型是(举例来说)由实施可从美国加利福尼亚州苗必达市KLA-科磊公司购得的AcuShape®软件的计算系统离线实施。所得经训练模型可并入为可由执行测量的度量系统存取的AcuShape®库的元件。

[0080] 在另一方面中,本文中所描述的测量模型结果可用于提供对工艺工具(例如,光刻工具、蚀刻工具、沉积工具等)的主动反馈。举例来说,基于本文中所描述的测量方法确定的经测量参数的值可传递到光刻工具以调整光刻系统以便实现所要输出。以类似方式,蚀刻参数(例如,蚀刻时间、扩散率等)或沉积参数(例如,时间、浓度等)可包含于测量模型中以分别提供对蚀刻工具或沉积工具的主动反馈。在某一实例中,对基于经测量装置参数值确定的工艺参数的校正及经训练测量模型可传递到光刻工具、蚀刻工具或沉积工具。

[0081] 如本文中所描述,术语“临界尺寸”包含结构的任何临界尺寸(例如,底部临界尺寸、中间临界尺寸、顶部临界尺寸、侧壁角、光栅高度等)、任何两个或多于两个结构之间的临界尺寸(例如,两个结构之间的距离),及两个或多于两个结构之间的位移(例如,重叠光

栅结构之间的重叠位移等)。结构可包含三维结构、经图案化结构、重叠结构等。

[0082] 如本文中所描述,术语“临界尺寸应用”或“临界尺寸测量应用”包含任何临界尺寸测量。

[0083] 如本文中所描述,术语“度量系统”包含至少部分地经采用以在任何方面(包含测量应用,例如临界尺寸度量、重叠度量、聚焦/剂量度量及组合物度量)中表征样品的任何系统。然而,这些技术术语并不限制如本文中所描述的术语“度量系统”的范围。另外,度量系统100可经配置用于经图案化晶片及/或未经图案化晶片的测量。度量系统可经配置为LED检验工具、边缘检验工具、背面检验工具、宏观检验工具或多模式检验工具(涉及同时来自一或多个平台的数据),以及从基于临界尺寸数据校准系统参数获益的任何其它度量或检验工具。

[0084] 本文中描述可用于处理样品的半导体处理系统(例如,检验系统或光刻系统)的各种实施例。术语“样品”在本文中用于指晶片、光罩或可通过此项技术中已知的手段处理(例如,印刷或检验缺陷)的任何其它样本。

[0085] 如本文中所使用,术语“晶片”通常指由半导体或非半导体材料形成的衬底。实例包含但不限于单晶硅、砷化镓及磷化铟。通常可在半导体制作设施中找到及/处理此类衬底。在一些情形中,晶片可仅包含衬底(即,裸晶片)。替代地,晶片可包含形成于衬底上的一或多个不同材料层。形成于晶片上的一或多个层可为“经图案化”或“未图案化”的。举例来说,晶片可包含具有可重复图案特征的多个裸片。

[0086] “光罩”可在光罩制作工艺的任何阶段处的光罩或者可或可不释放以供在半导体制作设施中使用的完成光罩。光罩或“掩模”通常定义为具有在其上形成且配置成图案的基本上不透明区域的基本上透明衬底。衬底可包含(举例来说)例如非晶SiO<sub>2</sub>等玻璃材料。光罩可在光刻工艺的曝光步骤期间安置于抗蚀剂覆盖的晶片上面,使得可将所述光罩上的图案转印到所述抗蚀剂。

[0087] 形成于晶片上的一或多个层可为经图案化或未图案化的。举例来说,晶片可包含各自具有可重复图案特征的多个裸片。此类材料层的形成及处理可最终产生完成装置。可在晶片上形成许多不同类型的装置,且如本文中所使用的术语晶片打算涵盖上面制作此项技术中已知的任何类型的装置的晶片。

[0088] 在一或多个示范性实施例中,所描述的功能可以硬件、软件、固件或其任一组合来实施。如果以软件实施,那么所述功能可存储在计算机可读媒体上或经由计算机可读媒体作为一或多个指令或代码来发射。计算机可读媒体包含计算机存储媒体及通信媒体两者,包含促进计算机程序从一处传送到另一处的任何媒体。存储媒体可以是可由通用或专用计算机存取的任何可用媒体。以举例方式且无限制地,此类计算机可读媒体可包括:RAM、ROM、EEPROM、CD-ROM或其它光盘存储装置、磁盘存储装置或其它磁性存储装置,或者可用于载运或存储呈指令或数据结构形式的所要程序代码构件且可由通用或专用计算机或者通用或专用处理器存取的任何其它媒体。同样,任何连接恰当地称为计算机可读媒体。举例来说,如果使用同轴电缆、光纤电缆、双绞线、数字订户线(DSL)或例如红外线、无线电及微波等无线技术从网站、服务器或其它远程源发射软件,那么同轴电缆、光纤电缆、双绞线、DSL或例如红外线、无线电及微波等无线技术包含在媒体的定义中。如本文中所使用,磁盘及光盘包含:压缩光盘(CD)、激光光盘、光学光盘、数字多功能光盘(DVD)、软盘及蓝光盘,其中磁盘通

常以磁性方式再现数据，而光盘利用激光以光学方式再现数据。上述的组合也应包含于计算机可读媒体的范围内。

[0089] 虽然在上文中出于指导性目的而描述了某些特定实施例，但本专利文件的教示内容具有一般适用性且不限于上文所描述的特定实施例。因此，可在不背离如权利要求书中所陈述的本发明的范围的情况下实践对所描述实施例的各种特征的各种修改、改动及组合。

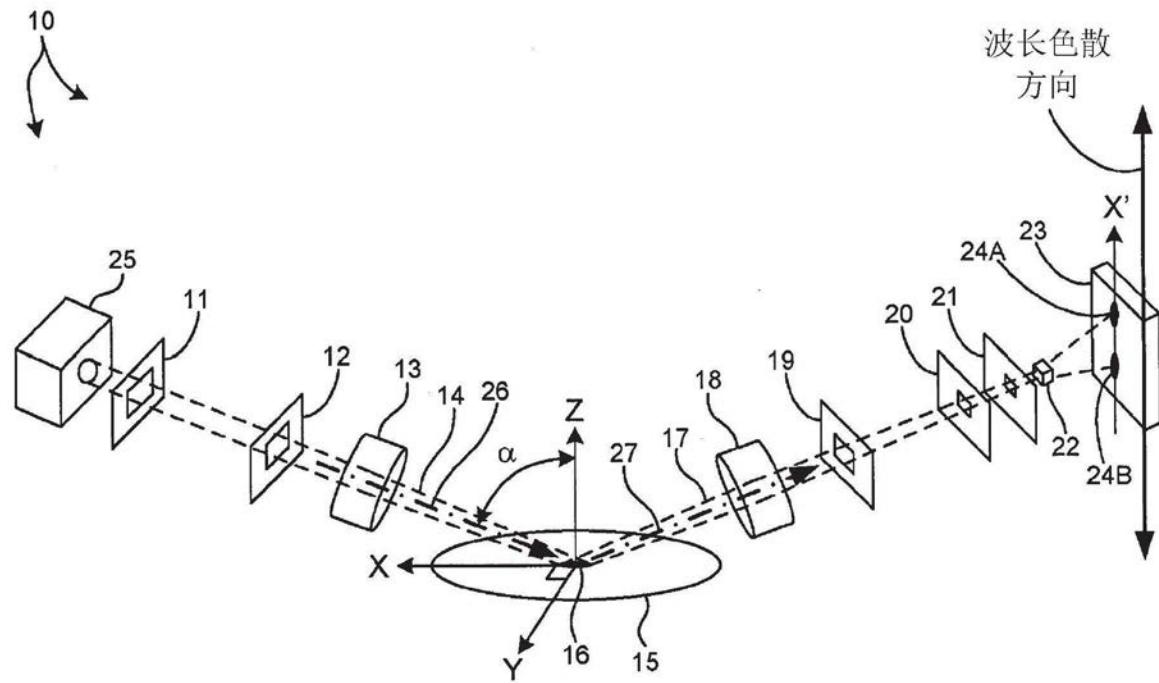


图1

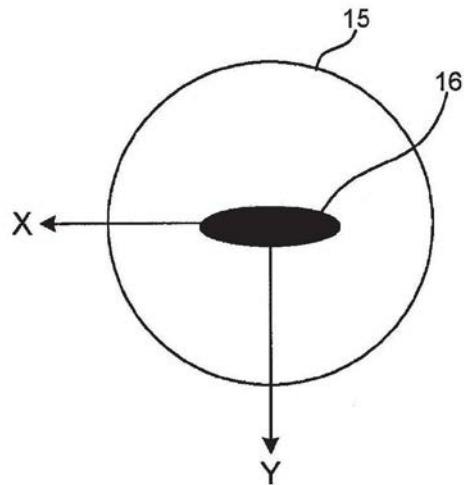


图2A

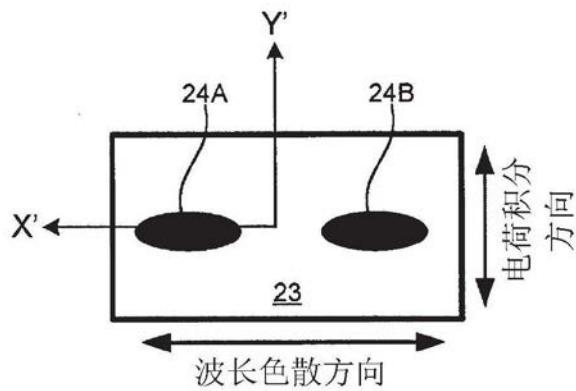


图2B

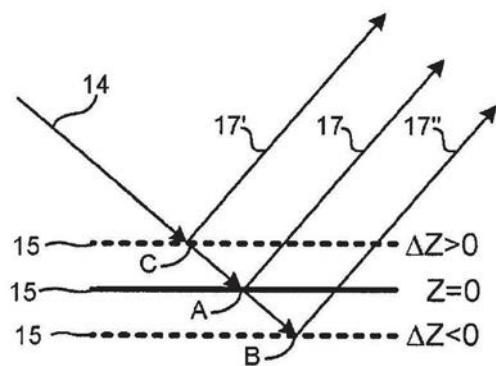


图3

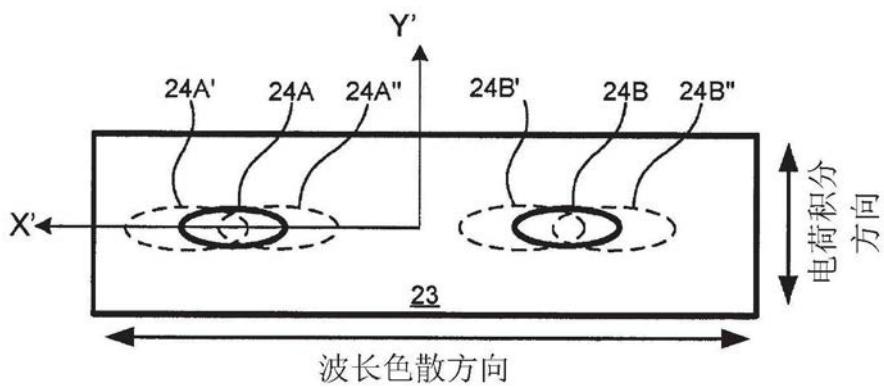


图4

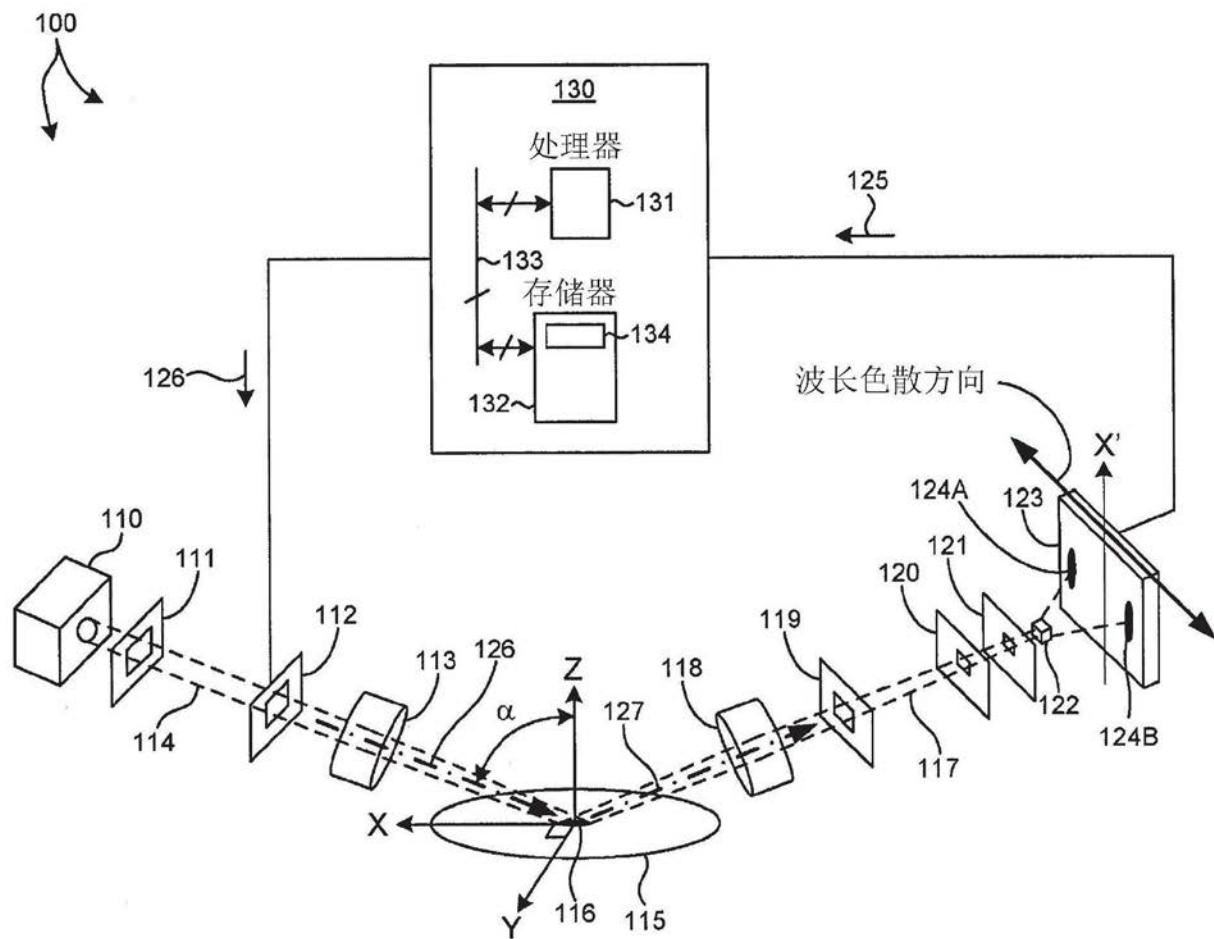


图5

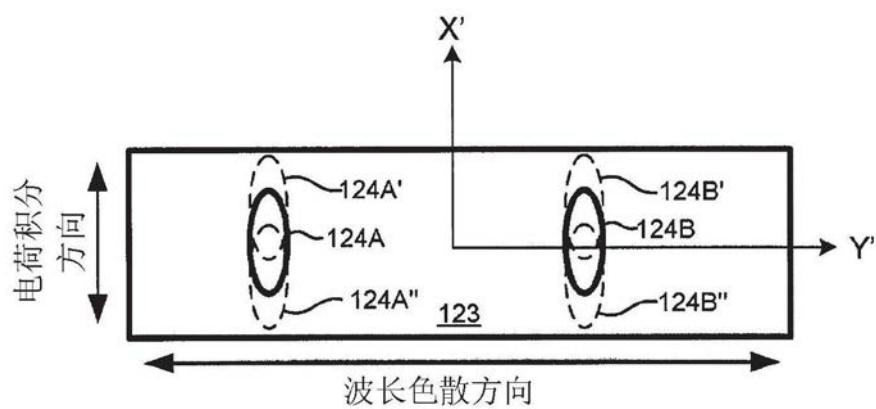


图6

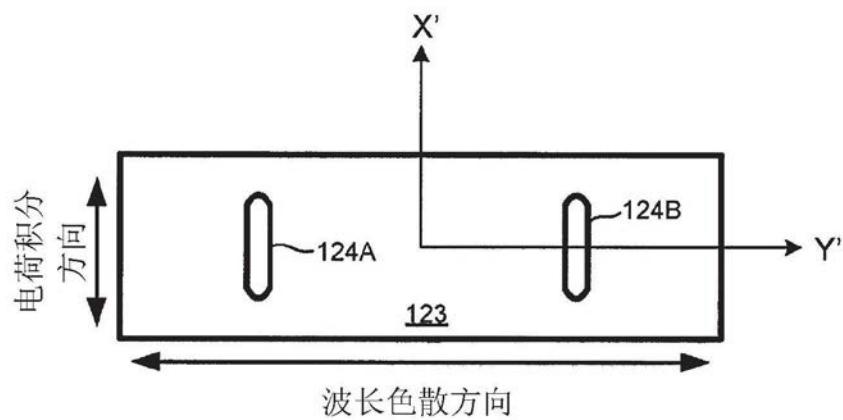


图7

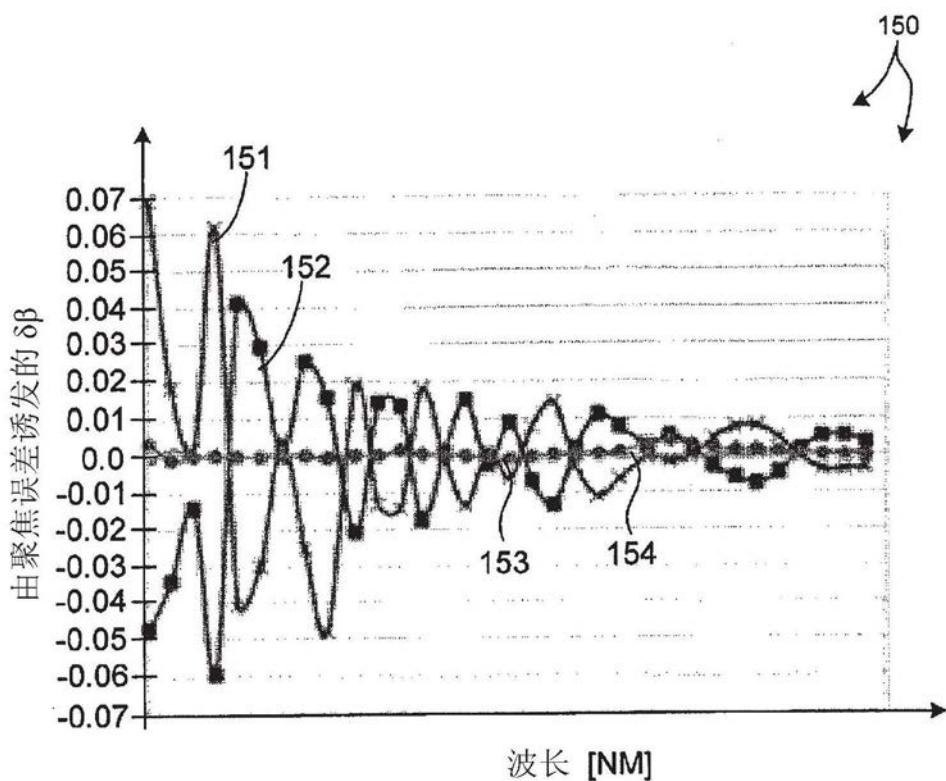


图8

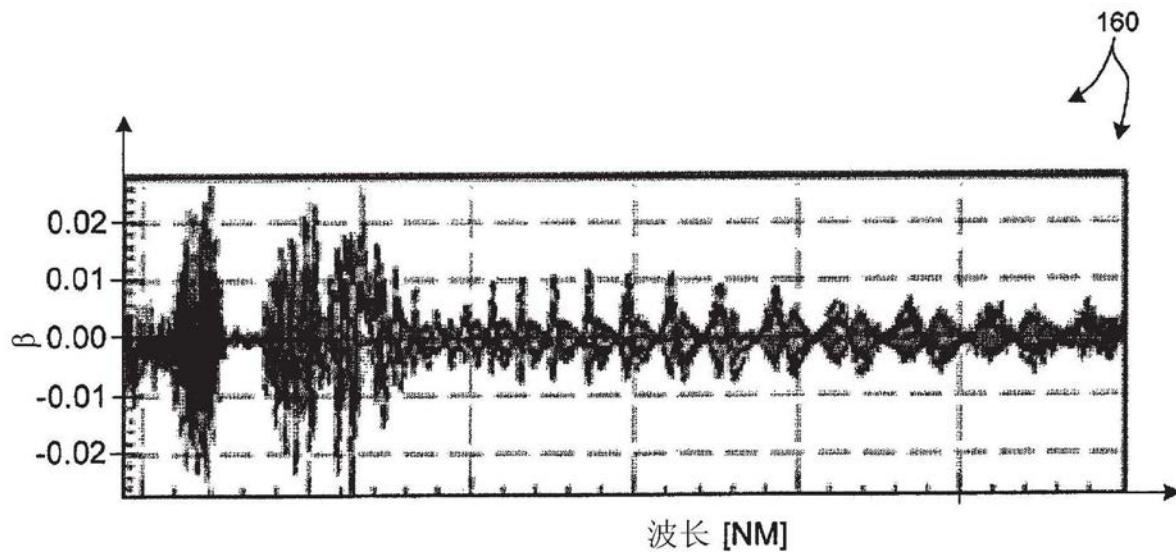


图9

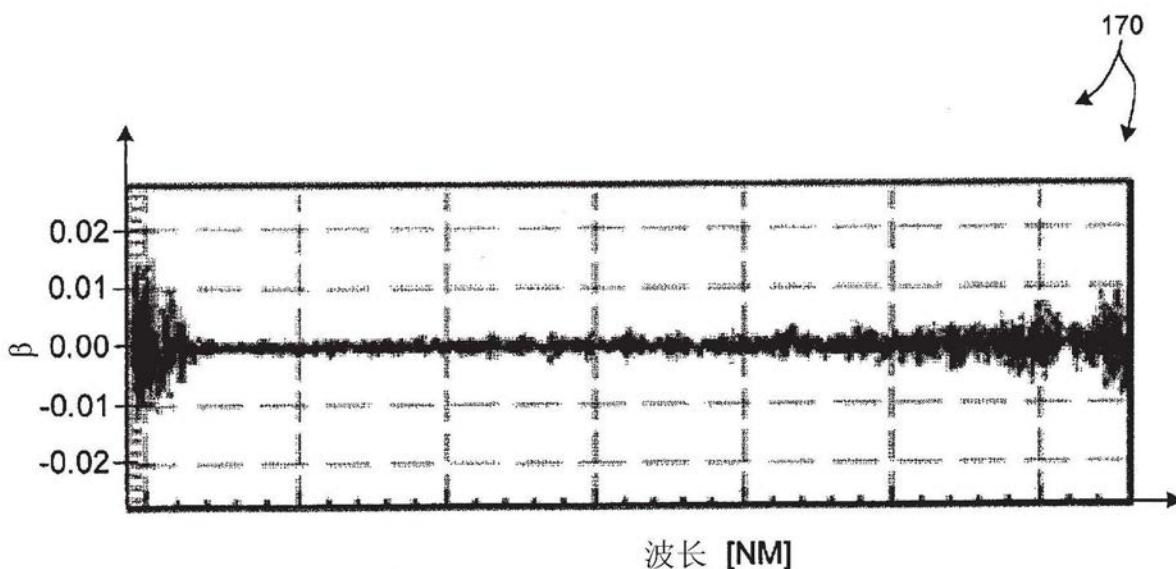


图10

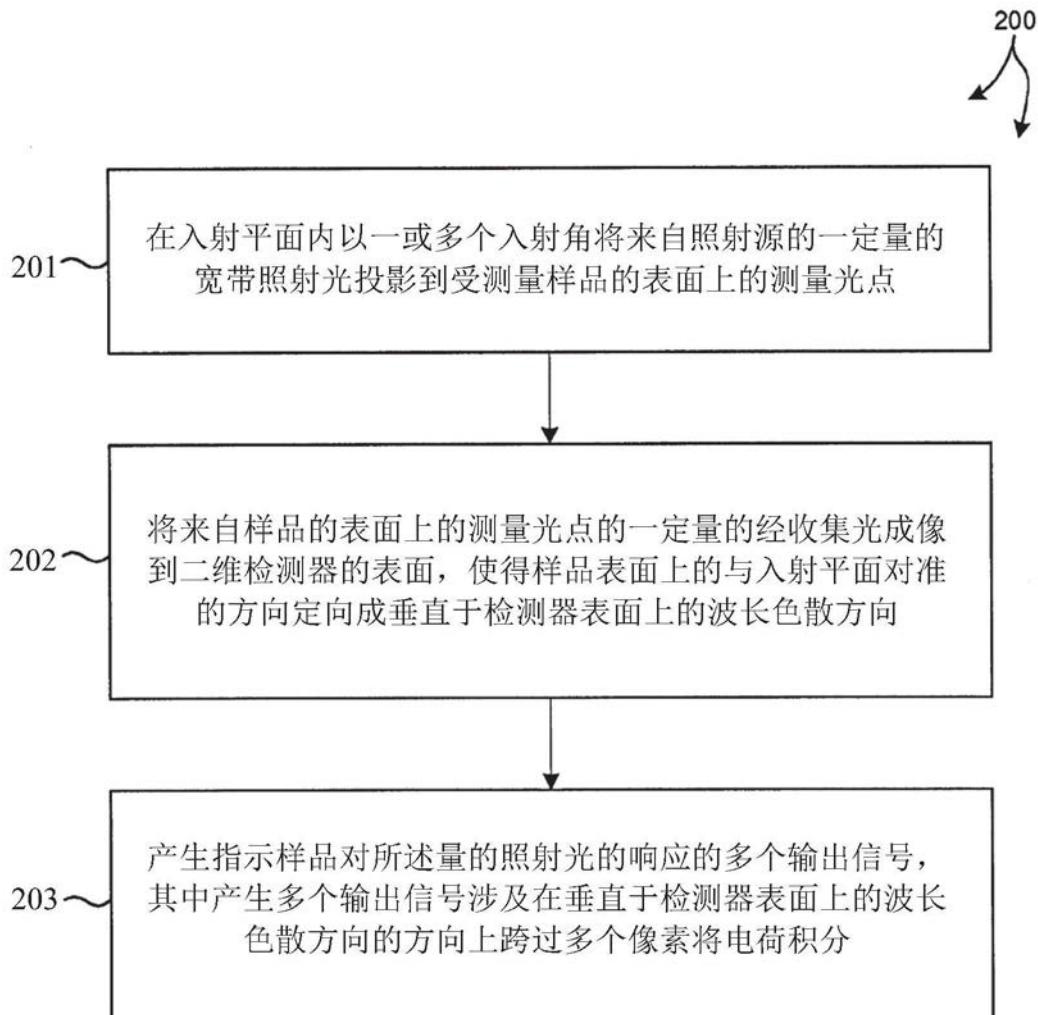


图11

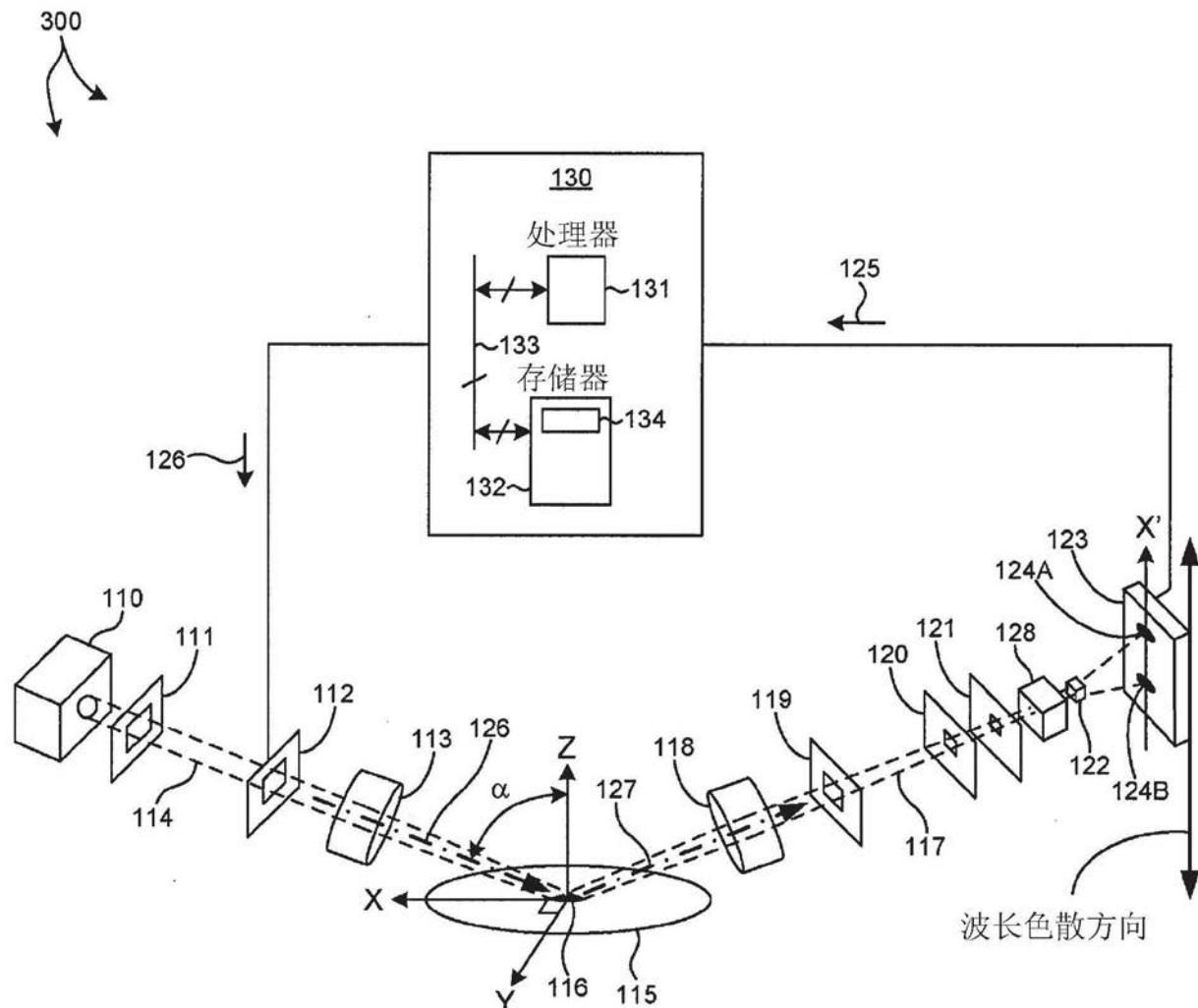


图12