



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 110313059 B

(45) 授权公告日 2023. 11. 03

(21) 申请号 201880012604.4

(22) 申请日 2018.02.16

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 110313059 A

(43) 申请公布日 2019.10.08

(30) 优先权数据
62/460,668 2017.02.17 US
15/896,978 2018.02.14 US

(85) PCT国际申请进入国家阶段日
2019.08.19

(86) PCT国际申请的申请数据
PCT/US2018/018457 2018.02.16

(87) PCT国际申请的公布数据
W02018/152382 EN 2018.08.23

(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 N·沙皮恩 S·克里许南

D·Y·王 A·比特纳 K·普鲁克
K·A·彼得林茨

(74) 专利代理机构 北京律盟知识产权代理有限公司
11287
专利代理师 刘丽楠

(51) Int.Cl.
H01L 21/66 (2006.01)
H01L 21/67 (2006.01)

(56) 对比文件
US 2016161245 A1, 2016.06.09
US 2013114085 A1, 2013.05.09
US 2013321810 A1, 2013.12.05
US 2016381776 A1, 2016.12.29
US 2014166862 A1, 2014.06.19
US 2008088821 A1, 2008.04.17
US 2016139032 A1, 2016.05.19
US 2013342105 A1, 2013.12.26

审查员 张志芳

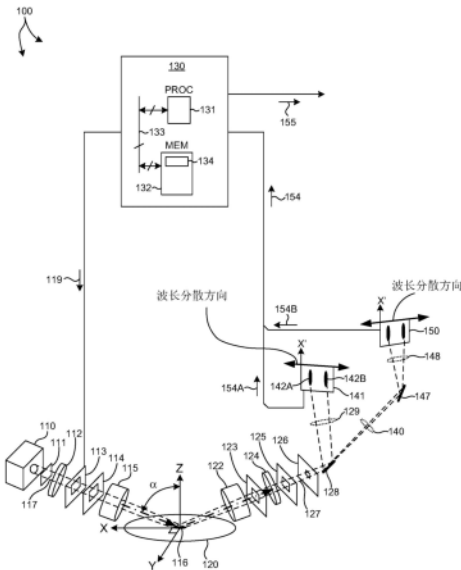
权利要求书4页 说明书14页 附图11页

(54) 发明名称

用于测量厚膜和高长宽比结构的方法和系统

(57) 摘要

在本文中呈现用于执行包含大于二微米的紫外线、可见光和红外线波长的半导体结构的光谱测量的方法和系统。光谱测量系统包含组合照明源,所述组合照明源包含第一照明源和第二照明源,所述第一照明源产生紫外线、可见光和近红外线波长(小于二微米的波长),所述第二照明源产生中间红外线和长红外线波长(二微米和更大的波长)。此外,所述光谱测量系统包含一或多个跨越用于执行半导体结构的测量的照明波长范围的测量通道。在一些实施例中,所述一或多个测量通道在所述整个波长范围内同时测量样本。在一些其它实施例中,所述一或多个测量通道在所述整个波长范围内依序测量所述样本。



1. 一种光谱计量系统,其包括:

组合照明源,其包含第一照明源和第二照明源,所述第一照明源被配置成产生包含小于二微米的波长的第一量的照明光,所述第二照明源被配置成产生包含大于二微米的波长的第二量的照明光;

照明光学件子系统,其包含所述第一量的照明光和所述第二量的照明光的光学路径中的一或多个光学元件,所述第一量的照明光和所述第二量的照明光通过所述一或多个光学元件而被以一或多个入射角、一或多个方位角或其组合从所述组合照明源引导到被测量样品的表面上的测量光点;

收集光学件子系统,其包含从所述样品的所述表面上的所述测量光点收集的一定量的光的光学路径中的一或多个光学元件;

至少一个检测器,其具有对入射光灵敏的平坦二维表面,其中所述至少一个检测器包含各自具有不同光敏性的两个或更多个不同表面区域,其中所述两个或更多个不同表面区域与跨所述至少一个检测器的所述表面的波长分散方向对齐,所述至少一个检测器被配置成检测所述入射光并且产生指示所述所检测到的入射光的输出;和

计算系统,其包含一或多个处理器,所述一或多个处理器基于所述至少一个检测器的所述输出的分析来产生所述被测量样品的受关注参数的估计值,

其中所述第一照明源是激光维持等离子体LSP照明源,且所述第二照明源是超连续激光照明源;以及

其中等离子体灯泡含纳所述LSP光源所产生的所述等离子体,且其中所述等离子体灯泡至少部分地由氟化钙或氟化镁制造。

2. 根据权利要求1所述的计量系统,其中所述至少一个检测器包含被配置成级联式布置的两个或更多个检测器,其中所述两个或更多个检测器中的每一个在不同光谱范围内检测到所述量的所收集光的一部分。

3. 根据权利要求1所述的计量系统,其另外包括:

冷却系统,其使所述至少一个检测器在操作期间维持于恒定温度下。

4. 根据权利要求1所述的计量系统,其中所述第二量的照明光的至少一部分透射穿过所述LSP光源的等离子体。

5. 根据权利要求1所述的计量系统,其中所述第一量和第二量的照明光同时提供给所述样品。

6. 根据权利要求1所述的计量系统,其中所述第一量和第二量的照明光在不同时间提供给所述样品。

7. 根据权利要求1所述的计量系统,其中所述至少一个检测器包含铋化铟检测器。

8. 根据权利要求1所述的计量系统,其中所述被测量样品包含三维NAND结构或动态随机存取存储器结构。

9. 一种计量方法,其包括:

将来自组合照明源的包含小于二微米的波长的第一量的宽带照明光和包含大于二微米的波长的第二量的宽带照明光引导到被测量样品的表面上的测量光点,所述组合照明源包含产生所述第一量的宽带照明光的第一照明源和产生所述第二量的宽带照明光的第二照明源,其中所述第一照明源是激光维持等离子体LSP照明源,且所述第二照明源是超连续

激光照明源;以及,其中等离子体灯泡含纳所述LSP光源所产生的所述等离子体,且其中所述等离子体灯泡至少部分地由氟化钙或氟化镁制造;

响应于所述第一量和第二量的照明光而从所述样品的所述表面上的所述测量光点收集一定量的所收集光并且将所述量的所收集光引导到一或多个检测器;和

用具有对入射光灵敏的平坦二维表面的至少一个检测器检测与所述量的所收集光相关联的测量光谱。

10. 根据权利要求9所述的计量方法,其中所述至少一个检测器包含被配置成级联式布置的两个或更多个检测器,其中所述两个或更多个检测器中的每一个在不同光谱范围内检测到所述量的所收集光的一部分。

11. 根据权利要求9所述的计量方法,其中所述至少一个检测器包含各自具有不同光敏性的两个或更多个不同表面区域,其中所述两个或更多个不同表面区域与跨所述至少一个检测器的所述表面的波长分散方向对齐。

12. 根据权利要求9所述的计量方法,其另外包括:

使所述至少一个检测器在操作期间维持于恒定温度下。

13. 根据权利要求9所述的计量方法,其中所述第二量的照明光的至少一部分透射穿过所述LSP光源的等离子体。

14. 根据权利要求9所述的计量方法,其中所述第一量和第二量的照明光同时提供给所述样品。

15. 根据权利要求12所述的计量方法,其中所述第一量和第二量的照明光在不同时间提供给所述样品。

16. 一种计量系统,其包括:

组合照明源,其包含基于等离子体的照明源以及第二照明源,所述基于等离子体的照明源被配置成产生包含小于二微米的波长的第一量的照明光,所述第二照明源被配置成产生包含大于二微米的波长的第二量的照明光,其中,所述第二量的照明光的至少一部分透射穿过所述基于等离子体的照明源的等离子体;

一或多个光学元件,其位于所述第一量的照明光和所述第二量的照明光的光学路径中,所述第一量的照明光和所述第二量的照明光通过所述一或多个光学元件而被从所述组合照明源引导到被测量样品的表面上的测量光点;

至少一个检测器,其响应于在所述测量光点处入射到所述样品的所述第一量和第二量的照明光而检测从所述测量光点收集的一定量的光并产生指示所检测到的光的输出;以及

计算系统,其包含一或多个处理器,所述一或多个处理器基于所述至少一个检测器的所述输出的分析来产生所述被测量样品的受关注参数的估计值,

其中所述基于等离子体的照明源是激光维持等离子体LSP照明源,且所述第二照明源是超连续激光照明源;以及

其中等离子体灯泡含纳所述LSP光源所产生的所述等离子体,且其中所述等离子体灯泡至少部分地由氟化钙或氟化镁制造。

17. 一种计量系统,其包括:

组合照明源,其包含第一照明源和第二照明源,所述第一照明源被配置成产生包含小于二微米的波长的第一量的照明光,所述第二照明源被配置成产生包含大于二微米的波长

的第二量的照明光,所述第一量的照明光和所述第二量的照明光被从所述组合照明源引导到被测量样品的表面上的测量光点;

至少一个检测器,其被配置成响应于所述第一量的照明光和所述第二量的照明光而检测从所述测量光点收集的一定量的光并产生指示所检测到的光的输出;以及

计算系统,其包含一或多个处理器,所述一或多个处理器基于所述至少一个检测器的所述输出的分析来产生所述被测量样品的受关注参数的估计值,

其中所述第一照明源是激光维持等离子体LSP照明源,且所述第二照明源是超连续激光照明源;以及

其中等离子体灯泡含纳所述LSP光源所产生的所述等离子体,且其中所述等离子体灯泡至少部分地由氟化钙或氟化镁制造。

18. 根据权利要求17所述的计量系统,其中所述至少一个检测器包含对入射光敏感的表面,且其中所述表面包含两个或更多个不同表面区域,每一表面区域具有不同的光敏性。

19. 根据权利要求18所述的计量系统,其中所述两个或更多个不同表面区域与跨所述至少一个检测器的所述表面的波长分散方向对齐。

20. 根据权利要求17所述的计量系统,其中所述至少一个检测器包含被配置成级联式布置的两个或更多个检测器,其中所述两个或更多个检测器中的每一个在不同光谱范围内检测从所述测量光点收集的所述一定量的光的一部分。

21. 根据权利要求17所述的计量系统,其中所述第二量的照明光的至少一部分透射穿过所述LSP光源的等离子体。

22. 根据权利要求17所述的计量系统,其中所述第一量的照明光和所述第二量的照明光同时提供给所述样品。

23. 根据权利要求17所述的计量系统,其中所述第一量的照明光和所述第二量的照明光在不同时间提供给所述样品。

24. 根据权利要求17所述的计量系统,其中所述至少一个检测器包含铈化铟检测器。

25. 根据权利要求17所述的计量系统,其中所述被测量样品包含三维NAND结构或动态随机存取存储器结构。

26. 一种计量方法,其包括:

提供来自基于的等离子体的照明源的包含小于二微米的波长的第一量的宽带照明光;

提供来自第二照明光源的包含大于二微米的波长的第二量的宽带照明光,其中所述第二量的照明光的至少一部分透射穿过所述基于等离子体的照明源的等离子体;

响应于所述第一量的照明光和所述第二量的照明光而检测从样品收集的一定量的光;

产生指示所检测到的一定量的光的输出;

基于所述输出的分析通过计算机系统来估计所述样品的受关注参数的值,

其中所述基于等离子体的照明源是激光维持等离子体LSP照明源,且所述第二照明源是超连续激光照明源;以及

其中等离子体灯泡含纳所述LSP光源所产生的所述等离子体,且其中所述等离子体灯泡至少部分地由氟化钙或氟化镁制造。

27. 根据权利要求26所述的计量方法,其中所述第一量的照明光和所述第二量的照明光同时提供给样品。

28. 根据权利要求26所述的计量方法, 其中所述第一量的照明光和所述第二量的照明光在不同时间提供给样品。

29. 一种组合照明源, 其包括:

基于等离子体的照明源, 其被配置成产生包含小于二微米的波长的第一量的照明光;

第二照明源, 其被配置成产生包含大于二微米的波长的第二量的照明光, 其中所述第二量的照明光的至少一部分透射穿过所述基于等离子体的照明源的等离子体;

至少一个检测器, 其被配置成响应于所述第一量的照明光和所述第二量的照明光而检测从样品收集的一定量的光并产生指示所检测到的一定量的光的输出; 以及

计算系统, 其包含一或多个处理器, 所述一或多个处理器基于所述至少一个检测器的所述输出的分析来产生所述样品的受关注参数的估计值,

其中所述基于等离子体的照明源是激光维持等离子体LSP照明源, 且所述第二照明源是超连续激光照明源; 以及

其中等离子体灯泡容纳所述LSP光源所产生的所述等离子体, 且其中所述等离子体灯泡至少部分地由氟化钙或氟化镁制造。

用于测量厚膜和高长宽比结构的方法和系统

[0001] 相关申请案的交叉参考

[0002] 本专利申请案依据35U.S.C.§119要求2017年2月17日申请的美国临时专利申请序列号62/460,668的优先权,其主题以全文引用的方式并入本文中。

技术领域

[0003] 所描述的实施例涉及度量系统和方法,且更具体地说,涉及用于改进半导体结构的测量的方法和系统。

背景技术

[0004] 通常通过应用于样品的一系列处理步骤来制造例如逻辑和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和多个结构层级。举例来说,尤其光刻技术是一种涉及在半导体晶片上产生图案的半导体制造过程。半导体制造过程的额外实例包含但不限于化学机械抛光、蚀刻、沉积和离子植入。多个半导体装置可制造在单个半导体晶片上并且随后分成个别半导体装置。

[0005] 在半导体制造过程期间在各个步骤处使用度量过程来检测晶片上的缺陷以促成更高良品率。光学度量技术可在无样本损坏风险的情况下实现高处理量的潜力。多种基于光学度量的包含散射测量法和反射测量法实施方案的技术和相关联的分析算法常用来表征纳米级结构的临界尺寸、膜厚度、组成物、重叠和其它参数。

[0006] 闪存存储器架构正在从二维浮动栅极架构向完全三维几何形状转变。在一些实例中,膜堆叠和经蚀刻结构是非常深的(例如,深度高达六微米)。这类高长宽比结构给膜和CD测量带来挑战。测量界定这些结构的孔洞和沟槽的形状的临界尺寸的能力对于达成所要性能水平和装置良品率至关重要。另外,多个半导体架构采用不透明的厚材料层,例如非晶型碳层、钨层和硬掩模层。真空紫外线、紫外线、可见光和短红外线波长范围(即,低于大约1微米的波长)中的照明光不会充分穿透这些不透明层,从而产生具有低信噪比的测量信号或完全不可测量的信号。

[0007] 多种光学技术遭遇低信噪比(SNR)问题,这是因为仅照明光的小部分能够到达高长宽比特征的底部,并且向上反射到检测器。因此,多种可用的高处理量计量技术不能够可靠地执行对高长宽比结构的CD和膜测量。采用临界尺寸小角度X射线散射测量法(Critical dimension,small angle X-ray scatterometry,CD-SAXS)、法线入射反射测量法和散射测量法作为高长宽比结构的测量解决方案,但仍在继续开发。

[0008] 横截面扫描电子显微术(SEM)是不适用于线内计量的低处理量的破坏性技术。原子力显微术(AFM)在其测量高长宽比结构的能力上受到限制并且具有相对低处理量。CD-SAXS也未展示达成半导体行业所需的高处理量能力。基于模型的红外线反射测量法(MBIR)已用于高长宽比DRAM结构的计量,但所述技术不具有较短波长提供的分辨率且测量光点大小对于半导体计量来说太大。参见Gostein等人的“用基于模型的IR测量深沟槽结构(Measuring deep-trench structures with model-based IR)”(Solid State

Technology,第49卷,第3期,2006年3月1日),其以引用方式并入,如同在本文中全面阐述一般。

[0009] 光学CD计量当前不具有在相对小光点(例如,小于50微米,或偶数更优选地小于30微米)中以高处理量测量具有微米尺度深度和横向尺寸的结构详细轮廓的能力。以引用方式并入如同在本文中全面阐述一般的第8,860,937号美国专利描述适用于高长宽比结构的表征的红外线光谱椭圆偏振测量技术。然而,所描述的技术遭遇以下问题:跨越紫外线和红外线波长进行测量时的长测量时间、波长稳定性限制,以及在操作期间有限的红外线波长范围。

[0010] 总起来说,特征尺寸的持续减小、结构特征的深度的增加以及不透明材料层的使用率的增加都对光学计量系统施加了有困难的要求。光学计量系统必须满足日益复杂目标的高处理量下高精度和准确度的要求以保持成本效益。在此上下文中,在适用于高长宽比结构和采用不透明材料层的结构的光学计量系统的设计中,宽带照明和数据收集的速度以及红外线波长范围已成为关键的性能限制问题。因此,需要解决这些限制的改进的计量系统和方法。

发明内容

[0011] 在本文中呈现用于执行包含红外线波长的半导体结构的光谱测量的方法和系统。在一些实施例中,在相同对齐条件下以高处理量测量包含紫外线、可见光和红外线波长(包含大于二微米的红外线波长)的光谱。以此方式,可在所有所测量的波长上统一校正时间相依系统误差,例如硬件偏移和晶片瞬变。

[0012] 通过在单个系统中用红外光、可见光和紫外光测量目标,实现复杂三维结构的精确表征。一般来说,相对长的波长深入穿透到结构中并且当测量具有相对大间距的结构时提供对高衍射阶的抑制。相对短的波长提供关于可被相对短波长接入的结构(即,顶层)以及相对小CD和粗糙度特征的精确尺寸信息。一般来说,在单个系统中用红外光、可见光和紫外光测量目标改进对一些测量参数的灵敏度并且减小参数(例如,表征顶层和底层的参数)当中的相关度。

[0013] 在一个方面中,光谱测量系统包含组合照明源,其包含产生紫外线、可见光和近红外线波长(例如,小于二微米的波长)的第一照明源和产生中间红外线和长红外线波长(例如,二微米和更大的波长)的第二照明源。在一些实例中,组合照明源产生具有高达且包含4.2微米的波长的照明光。在一些实例中,组合照明源产生具有高达且包含5微米的波长的照明光。在一些实例中,组合照明源产生具有超过5微米的波长的照明光。此外,光谱测量系统包含跨越用于执行半导体结构的测量的照明波长的范围的一或多个测量通道。所述一或多个测量通道可并行(即,在整个波长范围内的样本的同步测量)或依序(即,在整个波长范围内的样本的依序测量)操作。

[0014] 在一些实施例中,检测器子系统包含两个或更多个检测器,其各自被配置成同时检测包含红外线的不同波长范围内的所收集光。

[0015] 在另一方面中,以偏离垂直于晶片的表面的方向的轴线的方式执行光谱测量以减小背侧反射对测量结果的影响。

[0016] 在另一方面中,通过包含具有不同灵敏度特性的多个光敏区域的检测器检测到广

泛范围的波长。在一些实施例中，各自在不同波带中具有灵敏性的多个传感器芯片组合成单个检测器封装。

[0017] 在另一方面中，基于被测量目标的性质调整投射于晶片平面上的照明场光阑的尺寸以优化所得测量准确度和速度。

[0018] 在另一方面中，调整照明场光阑的尺寸以达成用于每一测量应用的所要光谱分辨率。

[0019] 前述内容是概述且因此必然包含细节的简化、概括和省略；因此，所属领域的技术人员将了解，所述概述仅是说明性的且并不意图以任何方式进行限制。本文所描述的装置和/或方法的其它方面、发明特征和优点将在本文阐述的非限制性详细描述中变得显而易见。

附图说明

[0020] 图1描绘遭遇到正在测量的结构中的低光穿透问题的示范性高长宽比半导体结构160。

[0021] 图2描绘随测量波长而变的与图1中所描绘的bot_recess尺寸的测量值相关联的测量灵敏度的曲线。

[0022] 图3描绘随测量波长而变的与图1中所描绘的HM_BCD尺寸的测量值相关联的测量灵敏度的曲线。

[0023] 图4描绘采用具有1.7微米、2.2微米和4.2微米的波长的红外线照明光的变化厚度和消光系数的非晶碳层的测量值的曲线。

[0024] 图5描绘用于使用如本文中所描述的组合照明源执行半导体结构的宽带光谱测量的示范性计量系统100。

[0025] 图6描绘组合照明源的实施例180。

[0026] 图7A描绘组合照明源的另一实施例200。

[0027] 图7B描绘组合照明源的另一实施例220。

[0028] 图7C描绘组合照明源的另一实施例240。

[0029] 图8描绘说明在规定温度下操作的各种检测器技术的特定检测灵敏度的曲线。

[0030] 图9描绘以接近法线入射但具体地避免法线入射的方式入射到安置于衬底上的膜层上的照明。

[0031] 图10描绘以法线入射方式入射到安置于衬底上的膜层上的照明。

[0032] 图11描绘多区红外线检测器270的说明。

[0033] 图12说明四个可用砷化镓(InGaAs)传感器的典型光敏性曲线。

[0034] 图13说明使用如本文中所描述的组合照明源执行一或多个结构的光谱测量的方法300。

具体实施方式

[0035] 现将详细参考本发明的背景实例和一些实施例，在附图中说明所述实施例的实例。

[0036] 在本文中呈现用于执行包含红外线波长的半导体结构的光谱测量的方法和系统。

在一些实施例中,在相同对齐条件下,以高处理量测量包含紫外线、可见光和红外线波长(包含大于二微米的红外线波长)的光谱。以此方式,可跨所有所测量的波长统一校正时间相依系统误差,例如硬件偏移和晶片瞬变。

[0037] 通过在单个系统中用红外光、可见光和紫外光测量目标,实现复杂三维结构的精确表征。一般来说,相对长的波长深入穿透到结构中并且当测量具有相对大间距的结构时提供对高衍射阶的抑制。相对短的波长提供关于可被相对短波长接入的结构(即,顶层)以及相对小CD和粗糙度特征的精确尺寸信息。在一些实例中,归因于较长波长对粗糙度的较低灵敏度,较长波长实现对具有相对粗糙表面或界面的目标的尺寸特性的测量。一般来说,在单个系统中用红外光、可见光和紫外光测量目标改进对一些测量参数的灵敏度并且减小参数(例如,表征顶层和底层的参数)当中的相关度。

[0038] 在一些实施例中,用于本文中所描述的半导体装置的光谱计量的方法和系统应用于对高长宽比(HAR)、大横向尺寸结构、不透明膜层或其组合的测量。这些实施例实现用于具有HAR结构(例如,NAND、VNAND、TCAT、DRAM等)的半导体装置并且更一般地用于遭遇到正在测量的结构中的低光穿透问题的复杂装置的光学临界尺寸(CD)、膜和组成物计量。HAR结构通常包含促进用于HAR的蚀刻过程的硬掩模层。如本文所描述,术语“HAR结构”指代任何表征为超过2:1或10:1并且可高达100:1或更高的长宽比的结构。

[0039] 图1描绘包含包夹在氧化层162之间的钨层161的竖直集成式存储器结构160。如图1中所描绘,蚀刻过程相对于每一钨层161上方和下方的氧化层162在每一钨层161中留下水平凹口。在结构160的顶部处或附近的钨凹口被称为top_recess。在结构160的中间处或附近的钨凹口被称为mid_recess。在结构160的底部处或附近的钨凹口被称为bot_recess。在结构160的底部处或附近的氧化物层162的开口被称为底部临界尺寸(HM_BCD)。

[0040] 图2描绘随测量波长而变的与图1中所描绘的bot_recess尺寸的测量值相关联的测量灵敏度的曲线165。如图2中所描绘,对于三微米以下的照明波长,光谱信号166和167实际上不展现对bot_recess尺寸的灵敏度。然而,对于三微米以上高达4.2微米的照明波长,光谱信号166和167两者都展现对bot_recess尺寸的显著测量灵敏度。

[0041] 图3描绘随测量波长而变的与图1中所描绘的HM_BCD尺寸的测量值相关联的测量灵敏度的曲线170。如图3中所描绘,对于大约2微米以上的照明波长,光谱信号171和172对HM_BCD尺寸展现增加的灵敏度。对于三微米以上高达4.2微米的照明波长,光谱信号171和172两者对HM_BCD尺寸展现显著的测量灵敏度。

[0042] 图4描绘采用具有1.7微米、2.2微米和4.2微米的波长的红外线照明光的变化厚度和消光系数的非晶碳层的测量值的曲线175。如图4中所描绘,一般来说,非晶碳层的消光系数越大,可测量层厚度就越小。曲线176说明对于采用1.7微米下的照明的测量随消光系数而变的最大可达成测量厚度之间的权衡。曲线177说明对于采用2.2微米下的照明的测量随消光系数而变的最大可达成测量厚度之间的权衡。曲线178说明对于采用4.2微米下的照明的测量随消光系数而变的最大可达成测量厚度之间的权衡。如图4中所描绘,较长波长照明(例如,4.2微米波长)与较短照明波长相比实现对具有较大消光比的厚膜的测量。

[0043] 如图1-4中所说明,长波长红外线照明(例如,大于二微米,高达大约五微米)实现对例如非晶碳层的不透明厚硬掩模膜的测量。长波长红外线照明还实现对例如3D NAND和DRAM电容器结构的高长宽比结构中的深孔洞和沟槽的底部处的临界尺寸(CD)的测量。另

外,长波长红外线照明实现对监测硼等植入体的超浅结的测量。

[0044] 在一个方面中,光谱测量系统包含组合照明源,其包含产生紫外线、可见光和近红外线波长(例如,小于二微米的波长)的第一照明源和产生中间红外线和长红外线波长(例如,二微米和更大的波长)的第二照明源。在一些实例中,组合照明源产生具有高达且包含4.2微米的波长的照明光。在一些实例中,组合照明源产生具有高达且包含5微米的波长的照明光。在一些实例中,组合照明源产生具有超过5微米的波长的照明光。此外,光谱测量系统包含跨越用于执行半导体结构的测量的照明波长的范围的一或多个测量通道。所述一或多个测量通道可并行(即,在整个波长范围内的样本的同步测量)或依序(即,在整个波长范围内的样本的依序测量)操作。

[0045] 图5描绘用于执行半导体结构(例如,膜厚度、临界尺寸、重叠等)的宽带红外线光谱测量的示范性计量系统100。在一些实例中,一或多个结构包含至少一个高长宽比(HAR)结构或至少一个大横向尺寸结构。如图5中所描绘,计量系统100被配置成倾斜入射的宽带光谱反射计。然而,一般来说,计量系统100也可包含额外光谱反射计、光谱椭偏仪、散射计或其任何组合。

[0046] 计量系统100包含产生入射到晶片120上的照明光束117的照明源110。在一些实施例中,照明源110是发射紫外线、可见光和红外线光谱(包含大于二微米的红外线波长)的照明光的组合照明源。

[0047] 在优选实施例中,组合照明源110包含超连续激光源和激光维持等离子体光源。超连续激光源提供大于二微米且在一些实施例中高达5微米或更大的波长下的照明。激光维持等离子体(LSP)光源(也称为激光驱动等离子体源)产生跨从120纳米到大约2000纳米的整个波长范围的光子。LSP光源的泵浦激光可为连续波或脉冲式。在一些实施例中,组合照明源110包含超连续激光源和弧光灯,例如氙弧光灯。然而,激光驱动等离子体源与氙气灯相比跨从120纳米到2000纳米的整个波长范围产生显著更多的光子,且因而是优选的。

[0048] 一般来说,组合照明源110包含多个宽带或离散波长光源的组合。由组合照明源110产生的光包含从紫外线到红外线(例如,真空紫外线到长红外线)的连续光谱或连续光谱的部分。一般来说,组合照明光源110可包含超连续激光源、红外线氦氖激光源、碳化硅碳硅棒光源、钨卤素光源、一或多个红外线LED、一或多个红外线激光或产生大于二微米的波长的任何其它合适的红外光源,以及弧光灯(例如,氙弧光灯)、氙灯、LSP光源,或产生小于二微米的波长(包含可见光和紫外线波长)的任何其它合适的光源。

[0049] 一般来说,组合照明源110包含以任何合适方式光学耦合的多个照明源。在一些实施例中,通过紫外/可见光源产生的等离子体直接耦合超连续激光源发出的光。

[0050] 图6描绘组合照明源110的实施例180。如图6中所描绘,LSP泵浦激光源181产生聚焦光学件183聚焦的泵浦光182以维持灯泡185含纳的等离子体184。等离子体184产生在紫外线到短红外线的波长范围内的宽带谱光。灯泡185包含出射口186。LSP输出光187是来自等离子体184的光的部分,其穿过出射口186并且朝向如参考图5所描述的照明光学件子系统引导。另外,超连续激光源191产生红外光192,其被聚焦光学件193聚焦到在等离子体184处或附近的焦点194。超连续输出光197是来自焦点194的光的部分,其穿过出射口186并且朝向如参考图5所描述的照明子系统引导。在一个实例中,LSP输出光187和超连续输出光197位于同一位置。以此方式,来自超连续源191的红外光197高效地与来自LSP激光源181的

紫外/可见光187组合。在一个实例中,LSP输出光187和超连续输出光197具有相同或类似数值孔径。在另一实例中,LSP输出光187和超连续输出光197具有不同数值孔径。在一些实例中,灯泡185由氟化钙或氟化镁构成以传输由超连续激光源191产生的高于2.5微米的波长。在一些其它实例中,灯泡185包含一或多个出射口186,其由氟化钙或氟化镁构成以传输由超连续激光源191产生的高于2.5微米的波长。由熔融硅石构成的常规灯泡不传输高于2.5微米的大量光,且因此不适合用于以本文中所描述的方式组合由超连续激光源191产生的光。在一些实施例中,LSP泵浦激光源181是连续波激光。在一些其它实施例中,LSP泵浦激光源181是脉冲激光。

[0051] 图7A描绘组合照明源110的实施例200。如图7A中所描绘,跨阴极208和阳极209提供的电压产生由灯泡205含钠的等离子体204。另外,LSP泵浦激光源201产生泵浦光202,其被聚焦光学件203聚焦以维持被灯泡205含钠的等离子体204。等离子体204产生在紫外线到短红外线的波长范围内的宽带谱光。由等离子体204产生的紫外光/可见光/短红外光207提供给如参考图5所描述照明光学件子系统。另外,超连续激光源211产生红外光212。红外光212被聚焦透镜213聚焦并且在等离子体204处或附近形成焦点214。来自焦点214的红外光217提供给如参考图5所描述照明光学件子系统。在一个实例中,UV/可见光/短红外光207和红外光217位于同一位置并且高效地组合。在一些实例中,灯泡205由氟化钙或氟化镁构成以传输由超连续激光源211产生的高于2.5微米的波长。在一些其它实例中,灯泡205包含由氟化钙或氟化镁构成的一或多个出射口206以传输由超连续激光源211产生的高于2.5微米的波长。由熔融硅石构成的常规灯泡不传输高于2.5微米的大量光,且因此不适合用于以本文中所描述的方式组合由超连续激光照明源211产生的光。

[0052] 图7B描绘组合照明源110的实施例220。如图7B中所描绘,跨阴极228和阳极229提供的电压产生被灯泡225含钠的等离子体224。另外,LSP泵浦激光源221产生泵浦光222,其被聚焦光学件223聚焦以维持被灯泡225含钠的等离子体224。等离子体224产生在紫外线到短红外线的波长范围内的宽带谱光。由等离子体224产生的紫外光/可见光/短红外光227通过出射口226离开225并且提供给如参考图5所描述的照明光学件子系统。另外,超连续激光源231产生红外光232。红外光232被聚焦透镜233聚焦。来自超连续激光源231的红外光237提供给如参考图5所描述的照明光学件子系统。

[0053] 如图7B中所描绘,通过光束组合器234组合UV/可见光/短红外光227与红外光237。因而,光束组合器234组合由紫外光源221(例如,LSP光源221)产生的光与由红外光源231(例如,超连续激光源231)产生的光。在一个实例中,光束组合器234具有例如在900纳米处或附近的拆分波长。光束组合器使LSP光源产生的光的损耗降到最低(LSP损耗小于10%),并且使跨所有照明波长的消偏振效应降到最低(例如,小于0.1%)。

[0054] 图7C描绘组合照明源110的实施例240。如图7B中所描绘,跨阴极248和阳极249提供的电压产生被灯泡245含钠的等离子体244。另外,LSP泵浦激光源241产生泵浦光242,其被聚焦光学件243聚焦以维持被灯泡245含钠的等离子体244。等离子体244产生在紫外线到短红外线的波长范围内的宽带谱光。由等离子体244产生的紫外光/可见光/短红外光247通过出射口246离开245并且提供给如参考图5所描述的照明光学件子系统。另外,超连续激光源251产生红外光252。红外光252被聚焦透镜253聚焦。来自超连续激光源251的红外光257提供给如参考图5所描述的照明光学件子系统。

[0055] 如图7C中所描绘,组合照明源110将紫外线和红外线照明光选择性地提供到晶片120。在这些实例中,时分复用所述测量。镜254是可移动镜。在一个实例中,可移动镜254安装到电流计以用于基于可移动镜254是位于紫外光/可见光247的光学路径之中还是之外来将紫外光/可见光247和红外光257选择性地引导到晶片120。在另一实例中,可移动全内反射棱镜用于将紫外光/可见光247和红外光257选择性地引导到晶片120。以此方式,在不同于包含红外光谱的光谱测量的时间执行包含紫外/可见光谱的光谱测量。

[0056] 一般来说,宽带照明光包含介于120纳米与3,000纳米之间并且超过3,000纳米的波长。在一些实例中,宽带照明光包含高达5,000纳米的波长。

[0057] 如图5中所描绘,计量系统100包含被构造成将照明光117引导到形成于晶片120上的一或多个结构的照明子系统。照明子系统示出为包含组合光源110、一或多个光学滤波器111、偏振组件112、场光阑113、孔径光阑114和照明光学件115。一或多个光学滤波器111用以控制来自照明子系统的光级、光谱输出或这两者。在一些实例中,采用一或多个多区滤波器作为光学滤波器111。偏振组件112产生离开照明子系统的所要偏振状态。在一些实施例中,偏振组件是偏振器、补偿器或这两者,且可包含任何适合的可购得偏振组件。偏振组件可为固定的或可旋转到不同固定位置。虽然图5中描绘的照明子系统包含一个偏振组件,但照明子系统可包含多于一个偏振组件。场光阑113控制照明子系统的视场(FOV)并且可包含任何适合的可购得场光阑。孔径光阑114控制照明子系统的数值孔径(NA)并且可包含任何适合的可购得孔径光阑。引导来自组合照明源110的光穿过照明光学件115以聚焦于晶片120上的一或多个结构(在图5中未示出)上。照明子系统可包含在光谱计量的领域中已知的任何类型和布置的光学滤波器111、偏振组件112、场光阑113、孔径光阑114和照明光学件115。

[0058] 如所描绘,在图5中,照明光束117在从照明源110传播到晶片120时穿过光学滤波器111、偏振组件112、场光阑113、孔径光阑114和照明光学件115。束117照亮测量光点116上方的晶片120的一部分。

[0059] 在一些实例中,投射到晶片120的表面上的照明光117的量的束大小小于在样品的表面上所测量的测量目标的大小。示范性波束成形技术详细地描述于Wang等人的第2013/0114085号美国专利申请公开案中,所述美国专利申请公开案的内容以全文引用的方式并入本文中。

[0060] 在一些实例中,执行噪声和偏振优化以改进组合照明源110的性能。在一些实例中,可通过使用多模光纤、汉勒(Hanle)消偏振器或积分球来实现消偏振。在一些实例中,通过使用光导、光纤和其它光学元件(例如,透镜、曲面镜、变迹器等)来优化照明源光展量。在一些实例中,通过相干破除技术缓解源相干或相干效应,或通过建模和模拟来另外考虑源相干或相干效应。

[0061] 计量系统100还包含收集光学件子系统,其被构造成通过一或多个结构与入射照明光束117之间的交互来收集所产生的光。所收集的光束127是通过收集光学件122从测量光点116收集。所收集的光127穿过收集光学件子系统的收集孔径光阑123、偏振元件124和场光阑125。

[0062] 收集光学件122包含用于收集来自形成于晶片120上的一或多个结构的光的任何适合的的光学元件。收集孔径光阑123控制收集光学件子系统的NA。偏振元件124分析所要偏

振状态。偏振元件124是分析器或补偿器。偏振元件124可为固定的或可旋转到不同固定位置。虽然图5中描绘的收集子系统包含一个偏振元件,但收集子系统可包含多于一个偏振元件。收集场光阑125控制收集子系统的FOV。收集子系统获取来自晶片120的光并且引导所述光穿过收集光学件122和偏振元件124以聚焦于收集场光阑125上。在一些实施例中,收集场光阑125用作用于检测子系统的光谱仪的光谱仪狭缝。然而,收集场光阑125可位于检测子系统的光谱仪的光谱仪狭缝126处或附近。

[0063] 收集子系统可包含在光谱反射测量法领域中已知的任何类型和布置的收集光学件122、孔径光阑123、偏振元件124和场光阑125。

[0064] 在图5中所描绘的实施例中,收集光学件子系统将光引导到检测子系统的多于一个光谱仪。检测子系统响应于从照明子系统照明的一或多个结构收集的光而产生输出。

[0065] 在一个方面中,检测器子系统包含两个或更多个检测器,其各自被配置成同时检测包含红外线的不同波长范围内的所收集的光。

[0066] 在图5中所描绘的实施例中,所收集的光127穿过光谱仪狭缝126并且入射到衍射元件128上。衍射元件128被配置成将入射光的波长的子集衍射成 ± 1 衍射阶并且将入射光的波长的不同子集衍射成零衍射阶。如图5中所描绘,通过衍射元件128使入射光的包含紫外光谱的部分129以 ± 1 衍射阶朝向检测器141分散。另外,衍射元件128被配置成以零衍射阶朝向光栅147反射入射光的包含红外线波长的部分140。光140入射到衍射元件147上,且衍射元件147以 ± 1 衍射阶朝向检测器150分散入射光140的包含红外线波长的部分148。

[0067] 在图5中所描绘的实施例中,衍射元件128是反射光栅元件。然而,一般来说,衍射元件128可被配置成将入射光细分成不同波长带,在不同方向上传播不同波长带,以及以任何合适方式将波长带中的一个的光分散到检测器上。在一个实例中,衍射元件128被配置成透射光栅。在一些其它实例中,衍射元件128包含将光束细分成不同波长带的光束拆分元件,以及将波长带中的一个散开到检测器141上的反射或透射光栅结构。

[0068] 采用反射光栅128,这是因为其在紫外光谱区域中展现到 ± 1 阶中的高衍射效率并且对于红外光谱区域展现到零衍射阶中的高衍射效率。通过采用反射光栅,避免光束拆分元件(例如,双色光束拆分元件)固有的损耗。

[0069] 衍射元件128和147根据沿着每一相应二维检测器的一个尺寸(即,在图5中针对每一相应检测器所指出的波长分散方向)的波长线性地分散一阶衍射光。出于说明的目的,在检测器141的表面上说明在两个不同的波长下检测到的光。衍射元件128致使投射到检测器141的表面上两个不同的光波长之间的空间分离。以此方式,从测量光点116收集的具有特定波长的光在光点142A上方投射到检测器141上,且从测量光点116收集的具有另一不同波长的光在光点142B上方投射到检测器141上。

[0070] 在一个实例中,检测器141是对紫外线和可见光(例如,具有介于190纳米和860纳米之间的波长的光)灵敏的电荷耦合装置(CCD)。在一个实例中,检测器150是对红外光(例如,具有介于950纳米和5000纳米之间的波长的光)灵敏的光电检测器阵列(PDA)。然而,一般来说,可预期其它二维检测器技术(例如,位置灵敏检测器(PSD)、红外线检测器、光伏检测器等)。每一检测器将入射光转换成指示入射光的光谱强度的电信号。举例来说,UV检测器141产生指示入射光129的输出信号154A,且IR检测器150产生指示入射光148的输出信号154B。

[0071] 如图5中所描绘,检测子系统被布置成使得所收集的光同时传播到计量系统100的所有检测器。计量系统100还包含计算系统130,其被配置成接收检测到的信号154,包含UV和IR信号两者,并且基于UV和IR信号两者确定所测量的结构的受关注参数的值的估计值155。通过同时收集UV和IR光谱,减小测量时间,并且在相同对齐条件下测量所有光谱。这允许更容易校正波长误差,因为共同校正可应用于所有光谱数据集。

[0072] 图8描绘说明在规定温度下操作的各种检测器技术的特定检测灵敏度的曲线260。如图8中所说明,光伏和光导检测器技术两者适用于检测超过一微米且高达五微米的红外线波长下的辐射。在一些实例中,计量系统100包含例如以下各项的检测器:硫化铅(PbS)、硒化铅(PbSe)、碲化铟(InSb)、砷化铟(InAs)、碲镉汞(HgCdTe)、砷化铟镓(InGaAs)、x-InGaAs、热电和辐射热检测器。

[0073] 热电和辐射热检测器并非量子检测器。因此,这些检测器可接受不饱和的高光级,且因此减小噪声灵敏度。

[0074] 在一些实施例中,检测器子系统受散粒噪声限制,而非受暗噪声限制。在这些实例中,优选的是在高光级下执行多个测量以减小测量系统噪声。

[0075] 在一些实施例中,与锁定放大器或其它锁相环路协同执行时间相依测量(例如,脉冲式光源、斩波器等)以增加测量信噪比。

[0076] 在一些实施例中,将检测器中的一或多个冷却到温度 -20°C 、 210°K 、 77°K ,或其它低温度以减小测量噪声。一般来说,可采用任何适合的冷却元件以在操作期间将检测器的温度维持在恒定温度下。借助于非限制性实例,多级帕尔贴(Peltier)冷却器、旋转圆盘冷却器、斯特灵(Stirling)循环冷却器、N₂冷却器、He冷却器等中的任一个可预期在本专利文献的范围内。

[0077] 在另一方面中,以偏离垂直于晶片的表面的方向的轴线的方式执行光谱测量以减小背侧反射对测量结果的影响。

[0078] 在另一方面中,本文中所描述的红外光谱反射计中的一或多个采用离轴照明、收集或这两者,以拒绝由从下伏衬底的底部的反射产生的测量信号。

[0079] 图9描绘入射到安置于衬底164上的膜层163上的照明155。如图9中所描绘,照明布置成接近法线入射,但具体地避免法线入射(AOI=零度)。入射光的一部分从膜163的表面反射,另一部分158从膜163和衬底164之间的界面反射。需要并且必须收集这些反射以基于反射测量技术来估计膜163的厚度。然而,另外,入射光155的部分156穿透衬底164。光156的部分157从衬底的底部(例如,晶片的背侧)反射,传播穿过衬底164和膜163。光157是非所要的并且污染膜163的测量。如图9中所描绘,收集孔口159成功地用于阻挡从衬底164的背表面反射的非所要光157。这是可能,因为照明的非零入射角产生从膜163的顶表面和底表面反射的光与从衬底164的底部反射的光157之间的空间分离。

[0080] 相比之下,图10描绘入射到安置于衬底164上的膜层163上的照明174。如图10中所描绘,照明布置成法线入射。入射光174的一部分从膜163的表面反射,另一部分从膜163与衬底164之间的界面反射。另外,入射光174的部分168穿透衬底164。光168的部分169从衬底的底部(例如,晶片的背侧)反射,传播穿过衬底164和膜163。光169是非所要的并且污染膜163的测量。如图10中所描绘,收集孔口173不能够阻挡从衬底164的背表面反射的非所要光169,这是因为照明的零入射角不产生从膜164的顶表面和底表面反射的光与从衬底164的

底部反射的光169之间的空间分离。

[0081] 因此,在一些实施例中,优选的是以非零入射角度执行如本文中所描述的红外线反射法测量。以此方式,可高效地阻止从背侧反射产生的光进入测量。

[0082] 在另一方面中,通过包含具有不同灵敏度特性的多个光敏区域的检测器检测到广泛范围的波长。所收集的光根据波长线性地分散在检测器的表面上。每一不同光敏区域布置于检测器上以感测不同范围的入射波长。以此方式,通过单个检测器检测到具有高信噪比的广泛范围的波长。这些特征单独地或以组合方式实现在高处理量、精确度和准确度下对高长宽比结构(例如,具有一微米或更大深度的结构)的高处理量测量。

[0083] 在一些实施例中,检测器子系统包含组合单个检测器封装上的不同位置处的不同灵敏度带的多区红外线检测器。所述检测器被配置成取决于入射的位置而以不同灵敏度递送连续光谱的数据。

[0084] 图12说明可用砷化镓(InGaAs)传感器的典型光敏性曲线。如图12中所描绘,可用InGaAs传感器中没有单个传感器能够跨从1微米到2.5微米的波长带提供足够光敏性。因此,单独地,可用传感器仅能够在窄波带上感测。

[0085] 在一个方面中,各自在不同波带中具有灵敏性的多个传感器芯片组合成单个检测器封装。继而,此多区检测器实施于本文中所描述的计量系统中。

[0086] 图11描绘来源于四个不同波带以产生多区红外线检测器180的四个传感器芯片270A-D。四个传感器芯片包含各自展现不同光敏性特性的不同材料组成物。如图11中所描绘,传感器芯片270A在波带A上展现高灵敏度,传感器芯片270B在波带B上展现高灵敏度,传感器芯片270C在波带C上展现高灵敏度,且传感器芯片270D在波带D上展现高灵敏度。并入有检测器270的计量系统被配置成将波带A内的波长分散到传感器芯片270A上,将波带B内的波长分散到传感器芯片270B上,将波带C内的波长分散到传感器芯片270C上,并将波带D内的波长分散到传感器芯片270D上。以此方式,在包含来自单个检测器的波带A-D的聚合波带上达成高光敏性(即,高SNR)。因此,通过将特定传感器的使用限制为其中测量灵敏度高且测量噪声低的窄带来减小整个测量范围内的测量噪声。

[0087] 在一些实例中,多区检测器包含InGaAs传感器,其对经组装于单个传感器封装中以产生覆盖从750纳米到3,000纳米或更大的波长的单个连续谱的不同光谱区具有灵敏性。

[0088] 一般来说,可沿着多区检测器的波长分散的方向组装任何数目个个别传感器,使得连续谱可来源于所述检测器。然而,通常,在例如检测器270的多区检测器中采用二到四个个别传感器。

[0089] 在一个实施例中,采用三个个别传感器,其具有跨越介于800纳米与1600纳米之间的范围的第一段,跨越介于1600纳米与2200纳米之间的范围的第二段,以及跨越介于2200纳米与2600纳米之间的范围的第三段。

[0090] 虽然本文中具体描述基于InGaAs的红外线检测器的使用,但一般来说,展现窄灵敏度范围和锐灵敏度截止的任何合适材料可集成到如本文中所描述的多区检测器中。

[0091] 如图5中所描绘,所说明的测量通道包含照明侧的偏振器和收集侧的分析器。然而,一般来说,预期任何测量通道可包含或不包含照明偏振器、收集分析器、照明补偿器、收集补偿器,其以任何组合执行样本的偏振反射率、样本的非偏振反射率或这两者的测量。

[0092] 在一些实施例中,计量系统的一或多个测量通道被配置成除了不同范围的波长和

入射角之外,还以不同方位角测量晶片。在一些实施例中,包含如本文中所描述的红外线光谱仪的计量系统被配置成以相对于计量目标的零和九十度的方位角执行晶片的测量。在一些实施例中,计量系统被配置成同时测量一或多个波长范围、一或多个AOI范围和一或多个方位角下的晶片反射率。在一些实施例中,计量系统使用一或多个光谱椭偏仪、光谱反射计、精密波长椭偏仪、旋转偏振器椭偏仪、旋转补偿器椭偏仪、旋转偏振器旋转补偿器椭偏仪和米勒矩阵椭偏仪中的一或多个组合LSP和超连续源。

[0093] 在另一方面中,基于被测量目标的性质调整投射于晶片平面上的照明场光阑的尺寸以优化所得测量准确度和速度。

[0094] 在另一方面中,调整照明场光阑的尺寸以达成用于每一测量应用的所要光谱分辨率。

[0095] 在一些实例中,例如如果样本为极厚膜或光栅结构,那么调整沿垂直于入射平面的方向投射于晶片平面上的照明场光阑以减小场大小,从而达成光谱分辨率增加。在一些实例中,例如如果样本为薄膜,那么调整沿垂直于入射平面的方向投射于晶片平面上的照明场光阑以增加场大小,从而在不损失光谱分辨率的情况下达成测量时间缩短。

[0096] 在图5中所描绘的实施例中,计算系统130被配置成接收指示通过检测器子系统检测到的光谱响应的信号154。计算系统130被进一步配置成确定传达到可编程照明场光阑113的控制信号119。可编程照明场光阑113接收控制信号119并且调整照明孔口的大小以达成所要照明场大小。

[0097] 在一些实例中,调整照明场光阑以优化如上文所描述的测量准确度和速度。在另一实例中,调整照明场光阑以防止光谱仪狭缝的图像裁剪和对应测量结果降级。以此方式,调整照明场大小以使得测量目标的图像底部填充光谱仪狭缝。在一个实例中,调整照明场光阑以使得照明光学件的偏振器狭缝的投影底部填充计量系统的光谱仪狭缝。

[0098] 图13说明在至少一个新型方面中执行光谱测量的方法300。方法300适用于通过例如图5中说明的本发明的计量系统100的计量系统进行的实施。在一个方面中,应认识到,可经由计算系统130的一或多个处理器或任何其它通用计算系统所执行的预编程算法来执行方法300的数据处理块。在本文中应认识到,计量系统100的特定结构方面不表示限制并且应解释仅为说明性的。

[0099] 在框301中,将来自组合照明源的包含小于二微米的波长的第一量的宽带照明光和包含大于二微米的波长的第二量的宽带照明光引导到被测量样品的表面上的测量光点。组合照明源包含产生第一量的宽带照明光的第一照明源和产生第二量的宽带照明光的第二照明源。

[0100] 在框302中,响应于第一量和第二量的照明光而从样品的表面上的测量光点收集一定量的所收集光,并且将所述量的所收集光引导到一或多个检测器。

[0101] 在框303中,用具有对入射光灵敏的平坦二维表面的至少一个检测器检测到与所述量的所收集光相关联的测量光谱。

[0102] 在另一实施例中,系统100包含用于基于根据本文中所描述的方法收集的光谱测量数据执行实际装置结构的测量的一或多个计算系统130。所述一或多个计算系统130可以通信方式耦合到光谱仪。在一个方面中,所述一或多个计算系统130被配置成接收与被测量样品的结构的测量值相关联的测量数据。

[0103] 应认识到,贯穿本公开所描述的一或多个步骤可由单个计算机系统130执行,或替代地,由多个计算机系统130执行。此外,系统100的不同子系统可包含适用于进行本文中所描述的步骤的至少一部分的计算机系统。因此,前述描述不应解释为对本发明的限制,而是仅为说明性的。

[0104] 另外,计算机系统130可以所属领域中已知任何方式通信耦合到光谱仪。举例来说,一或多个计算系统130可耦合到与光谱仪相关联的计算系统。在另一实例中,可通过耦合到计算机系统130的单个计算机系统直接控制光谱仪。

[0105] 计量系统100的计算机系统130可被配置成通过可包含有线和/或无线部分的传输媒体从系统的子系统(例如,光谱仪等等)接收和/或获取数据或信息。以此方式,所述传输媒体可充当计算机系统130与系统100的其它子系统之间的数据链路。

[0106] 计量系统100的计算机系统130可被配置成通过可包含有线和/或无线部分的传输媒体从其它系统接收和/或获取数据或信息(例如,测量结果、建模输入、建模结果、基准测量结果等)。以此方式,所述传输媒体可充当计算机系统130与其它系统(例如,计量系统100机载存储器、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可被配置成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,使用本文中所描述的光谱仪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。在这点上,光谱结果可从机载存储器或从外部存储器系统导入。此外,计算机系统130可将数据经由传输媒体发送到其它系统。举例来说,测量模型或通过计算机系统130确定的所估计参数值171可传达和存储于外部存储器中。在这点上,测量结果可导出到另一系统。

[0107] 计算系统130可包含但不限于个人计算机系统、主机计算机系统、工作站、图像计算机、并行处理器,或在所属领域中已知的任何其它装置。一般来说,术语“计算系统”可广泛定义为涵盖具有执行来自存储媒体的指令的一或多个处理器的任何装置。

[0108] 实施例如本文中所描述的方法的方法的程序指令134可经由例如电线、电缆或无线传输链路等传输媒体被传输。举例来说,如图1中所说明,存储于存储器132中的程序指令134经由总线133传输到处理器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、磁盘或光盘或磁带。

[0109] 在一些实例中,测量模型作为SpectraShape®光学临界尺寸计量系统的一个元件实施,所述系统可从美国加利福尼亚州米比塔的美商科磊公司(KLA-Tencor Corporation, Milpitas, California, USA)获得。以此方式,在系统收集光谱之后立即产生模型并且准备使用。

[0110] 在一些其它实例中,测量模型例如通过实施可从美国加利福尼亚州米比塔的美商科磊公司获得的AcuShape®软件的计算系统离线实施。所得训练模型可以作为执行计量的计量系统可存取的AcuShape®库中的一个元素。

[0111] 在另一方面中,用于本文中所描述的半导体装置的光谱计量的方法和系统适用于高长宽比(HAR)结构、大横向尺寸结构或这两者的测量。所描述的实施例实现包含三维NAND结构的半导体装置的光学临界尺寸(CD)、膜和组成物计量,所述三维NAND结构例如由各个半导体制造商制造的竖直NAND(V-NAND)结构、动态随机存取存储器结构(DRAM)等,所述半导体制造商例如三星公司(Samsung Inc.) (韩国)、海力士公司(SK Hynix Inc.) (韩国)、东

芝公司(Toshiba Corporation)(日本)和美光科技公司(Micron Technology, Inc.)(美国)等。这些复杂装置遭遇到正在测量的结构中的低光穿透问题。如本文中所描述的具有宽带能力和宽范围的A0I、方位角或这两者并且进行同步光谱带检测的光谱椭偏仪适用于测量这些高长宽比结构。HAR结构通常包含硬掩模层以促进用于HAR的蚀刻过程。如本文中所描述,术语“HAR结构”指代表征为超过2:1或10:1且可高达100:1或更高的长宽比的任何结构或更高。

[0112] 在又一方面中,本文描述的测量结果可用于向过程工具(例如,光刻工具、蚀刻工具、沉积工具等)提供活跃反馈。举例来说,可以将基于本文描述的测量方法确定的经测量参数值传达到光刻工具,以调整光刻系统从而达成所要输出。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)可能包含在测量模型中,以分别将活跃反馈提供到蚀刻工具或沉积工具。在某一实例中,可以将基于测量到的装置参数值和经训练测量模型确定的过程参数的校正传达到光刻工具、蚀刻工具或沉积工具。

[0113] 如本文所描述,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、中部临界尺寸、顶部临界尺寸、侧壁角、光栅高度等),任何两种或超过两种结构之间的临界尺寸(例如两个结构之间的距离),以及两种或超过两种结构之间的移位(例如重叠光栅结构之间的重叠移位等)。结构可包含三维结构、图案化结构、重叠结构等。

[0114] 如本文所描述,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。

[0115] 如本文中所描述,术语“计量系统”包含至少部分用于在任何方面表征样品的任何系统,包含例如临界尺寸计量、重叠计量、聚焦/剂量计量和组成物计量的测量应用。然而,这类技术术语并不限制如本文所描述的术语“计量系统”的范围。此外,计量系统100可以被配置成用于测量经图案化晶片和/或未经图案化晶片。计量系统可能配置为LED检测工具、边缘检测工具、背面检测工具、巨型检测工具或多模式检测工具(包含同时来自一或多个平台的数据),以及受益于基于临界尺寸数据的系统参数校准的任何其它计量或检测工具。

[0116] 本文中描述了用于半导体测量系统的各种实施例,其可以用于测量任何半导体处理工具(例如,检测系统或光刻系统)内的样品。术语“样品”在本文中用以指晶片、光罩或可以通过所属领域中已知的方式来处理(例如印刷或检测缺陷)的任何其它样本。

[0117] 如本文所使用,术语“晶片”通常是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、砷化镓和磷化铟。这类衬底可通常发现和/或处理于半导体制造设施中。在一些情况下,晶片可仅包含衬底(即,裸晶片)。替代地,晶片可包含形成在衬底上的不同材料的一或多个层。形成于晶片上的一或多个层可以是“图案化的”或“未图案化的”。举例来说,晶片可包含多个具有可复验图案特征的裸片。

[0118] “光罩”可以是处于光罩制造过程的任何阶段的光罩或完成的光罩,所述完成的光罩可以或可以不释放以供用于半导体制造设备中。光罩或“掩模”通常定义为大体上透明的衬底,所述衬底具有形成于其上的大体上不透明区且被配置成图案。衬底可以包含例如玻璃材料,例如非晶型SiO₂。光罩可在光刻过程的曝光步骤期间安置于抗覆盖晶片上方以使得可将光罩上的图案转印到抗蚀剂。

[0119] 形成于晶片上的一或多个层可以是图案化的或未图案化的。举例来说,晶片可包含多个各自具有可复验图案特征的裸片。这类材料层的形成和处理可最终产生完成的装

置。多种不同类型的装置可形成于晶片上,且如本文中所使用的术语晶片意图涵盖其上制造所属领域中已知的任何类型的装置的晶片。

[0120] 在一或多个示范性实施例中,所描述的功能可实施在硬件、软件、固件或其任何组合中。如果实施于软件中,则可将功能作为一或多个指令或代码存储在计算机可读媒体上或经由计算机可读媒体传输。计算机可读媒体包含计算机存储媒体和包含促进计算机程序从一处传送到另一处的任何媒体的通信媒体两者。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。借助于实例而非限制,这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,或可用于携载或存储呈指令或数据结构形式的所要程序代码装置且可由通用或专用计算机或通用或专用处理器存取的任何其它媒体。并且,适当地将任何连接称作计算机可读媒体。举例来说,如果使用同轴缆线、光纤缆线、双绞线、数字订户线(DSL)或例如红外线、无线电和微波等无线技术从网站、服务器或其它远程源传输软件,则所述同轴缆线、光纤缆线、双绞线、DSL或例如红外线、无线电和微波等无线技术包含在媒体的定义中。如本文中所使用,磁盘和光盘包含压缩光盘(CD)、激光光盘、光学光盘、数字多功能光盘(DVD)、软性磁盘和蓝光光盘,其中磁盘通常以磁性方式再现数据,而光盘用激光以光学方式再现数据。以上各项的组合也应包含于计算机可读媒体的范围内。

[0121] 尽管在上文描述某些具体实施例是用于指导性目的,但此专利文献的教导内容具有一般适用性且不限于上文所描述的具体实施例。因此,可在不脱离如权利要求书中所阐述的本发明的范围的情况下实践对所描述的实施例的各个特征的各种修改、改编和组合。

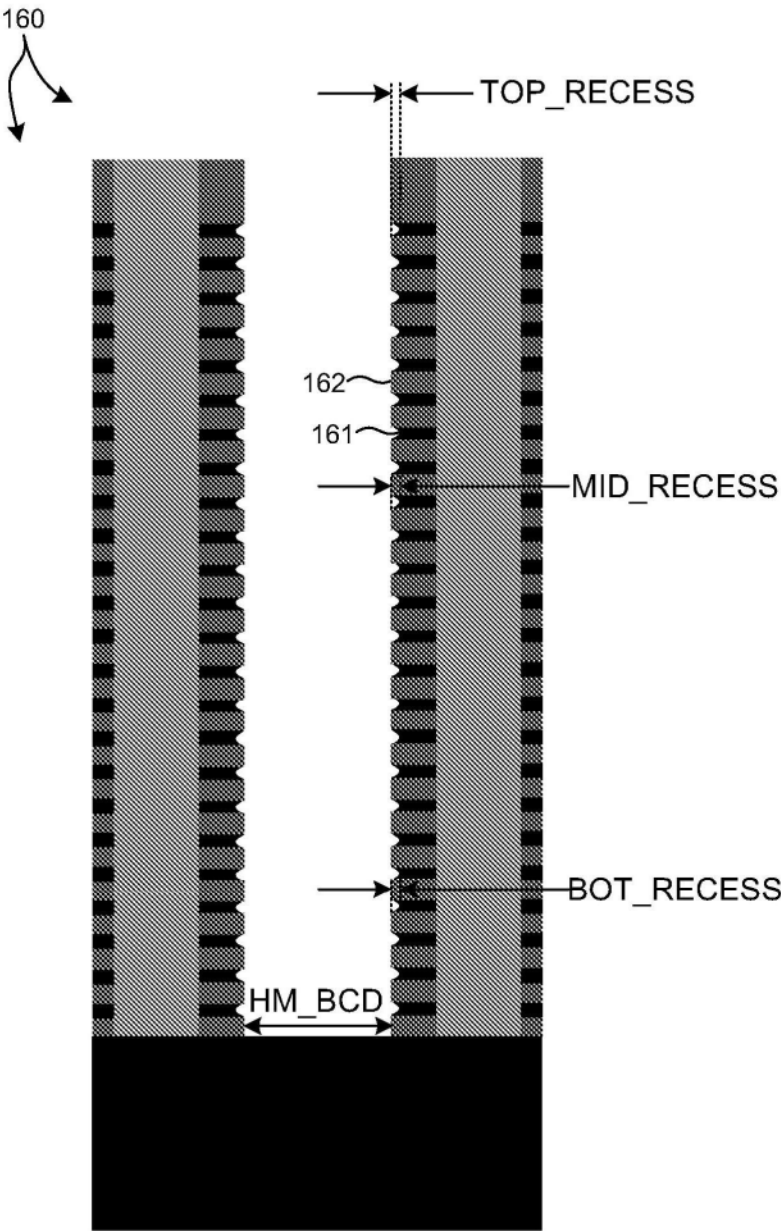


图1

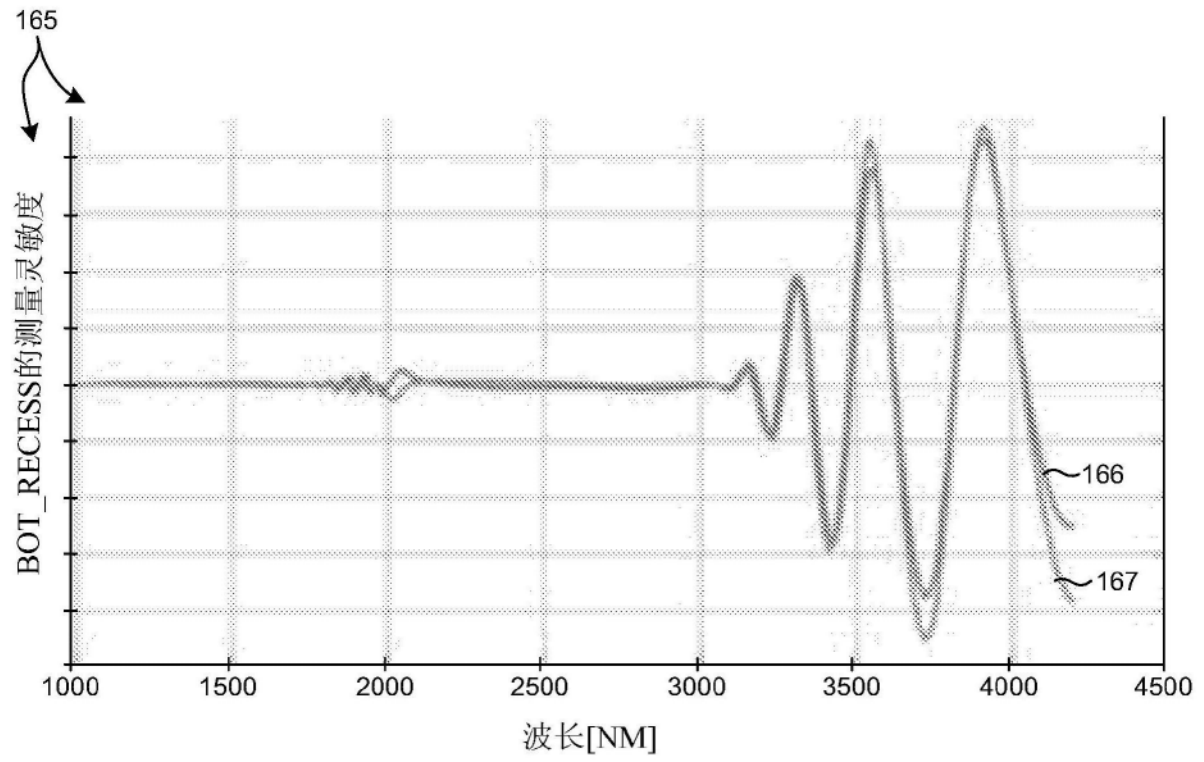


图2

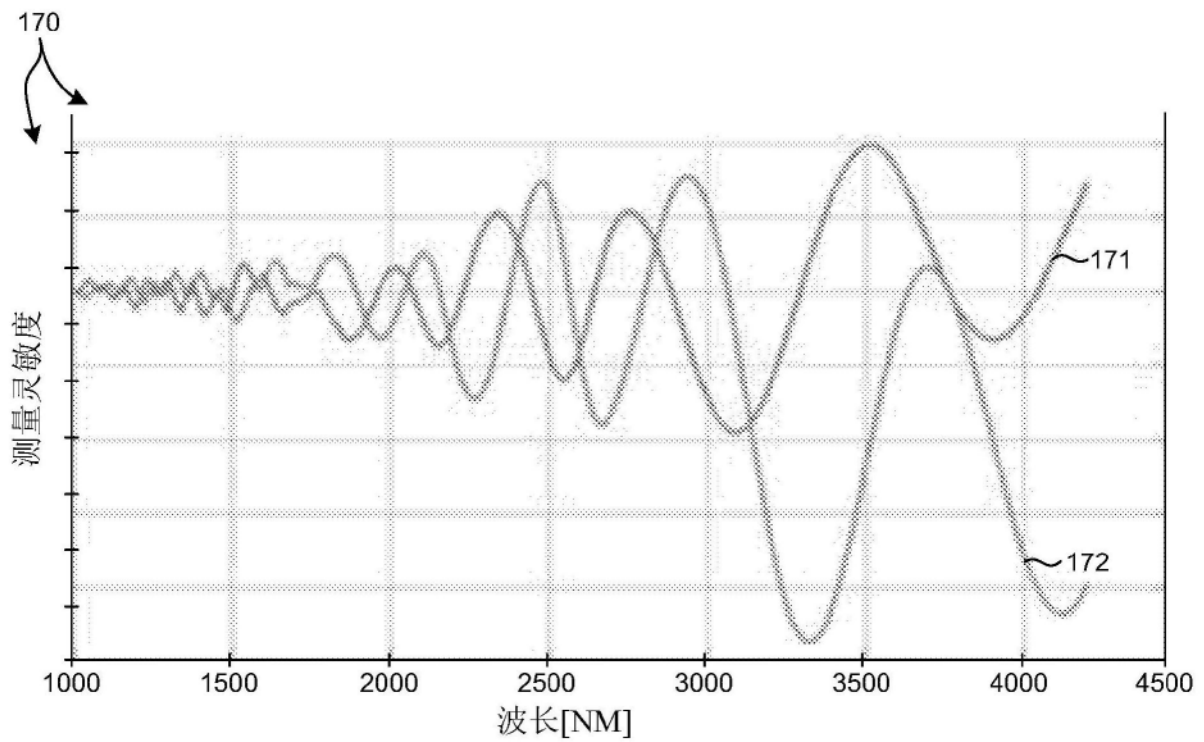


图3

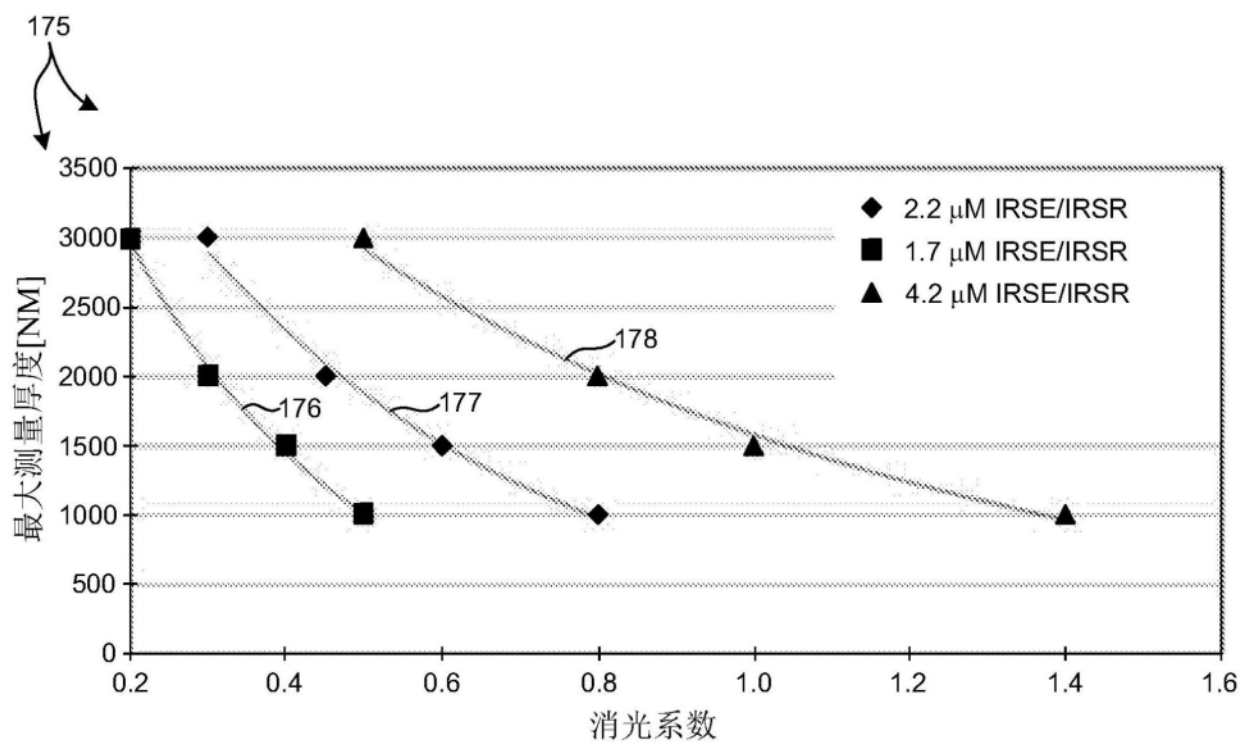


图4

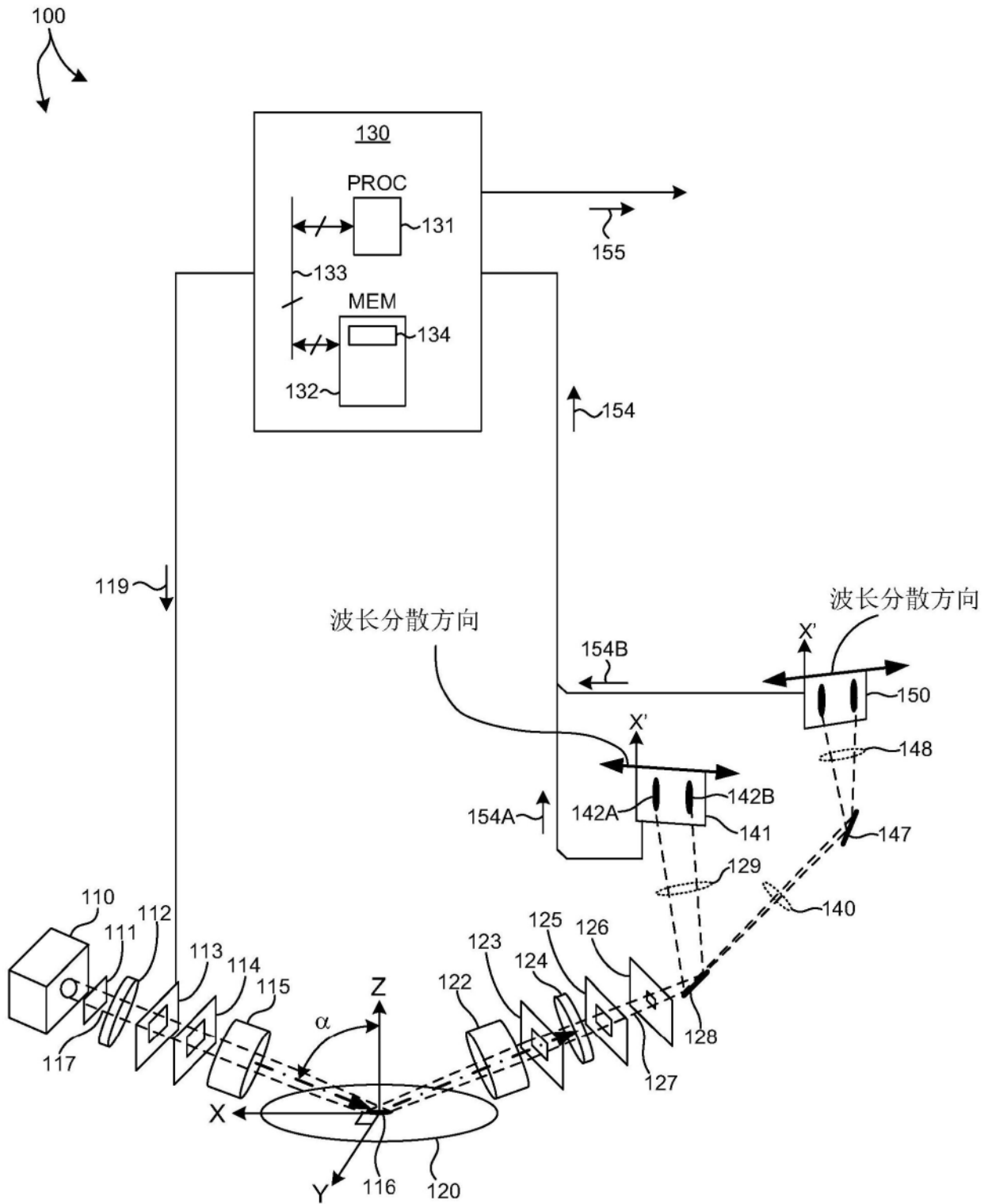


图5

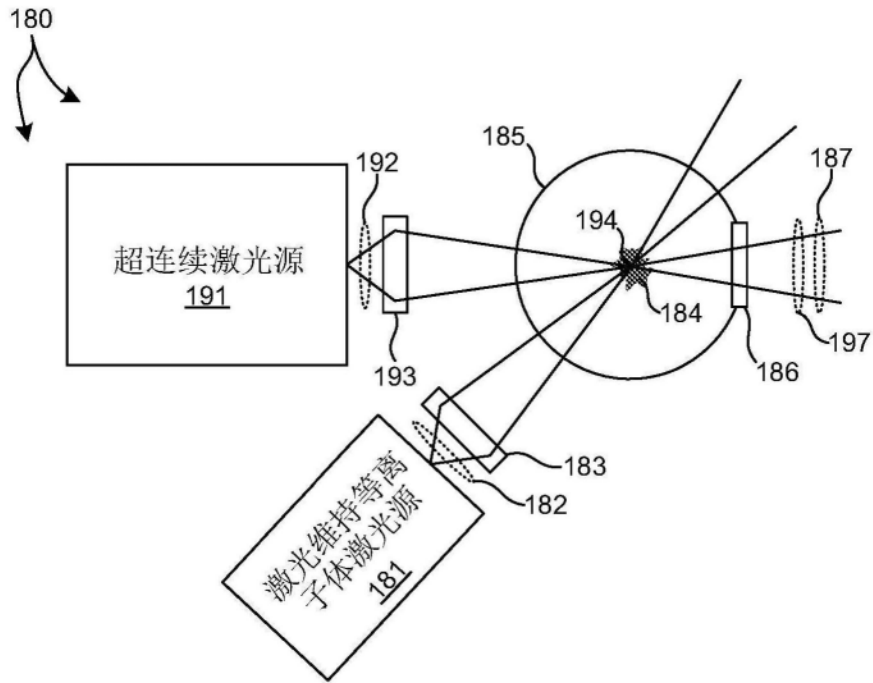


图6

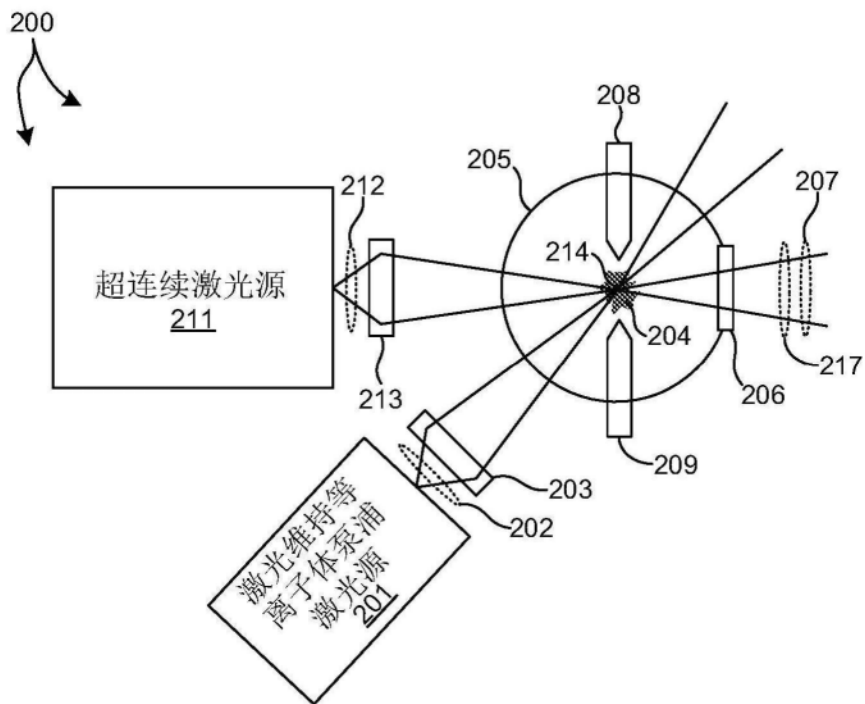


图7A

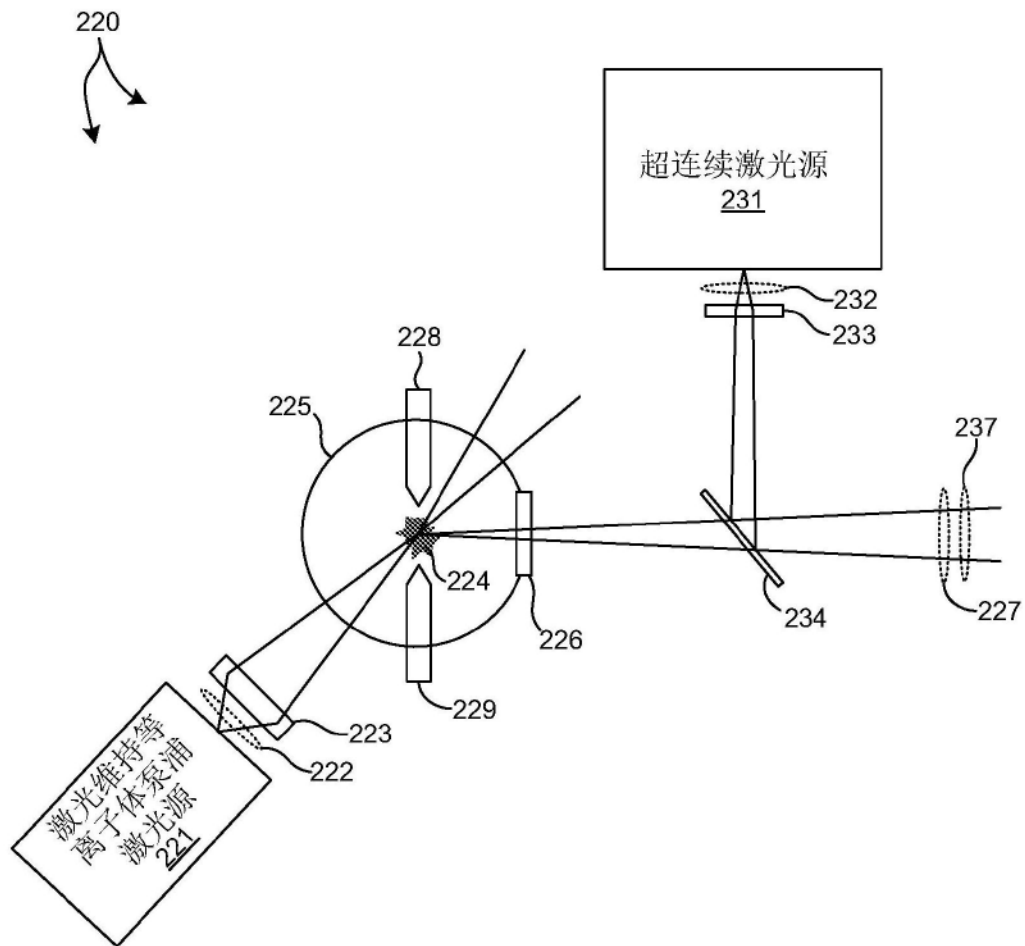


图7B

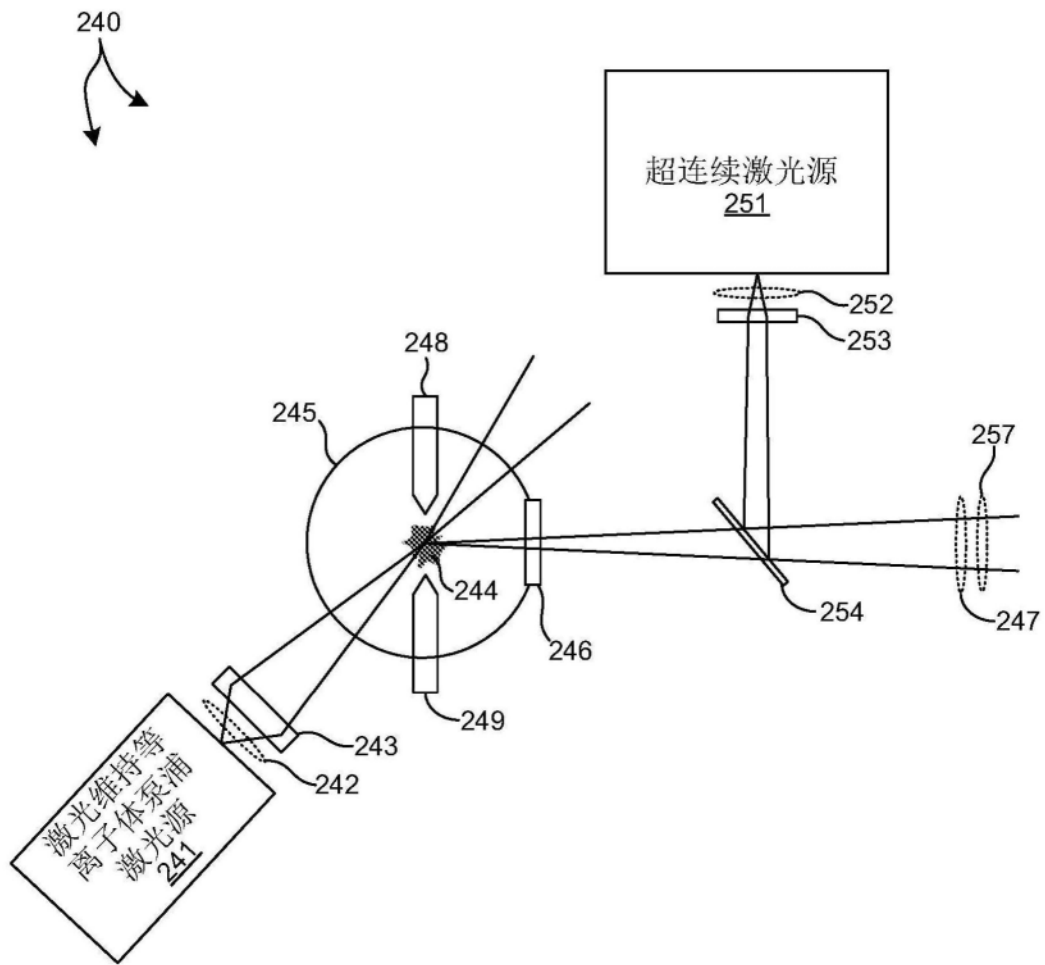


图7C

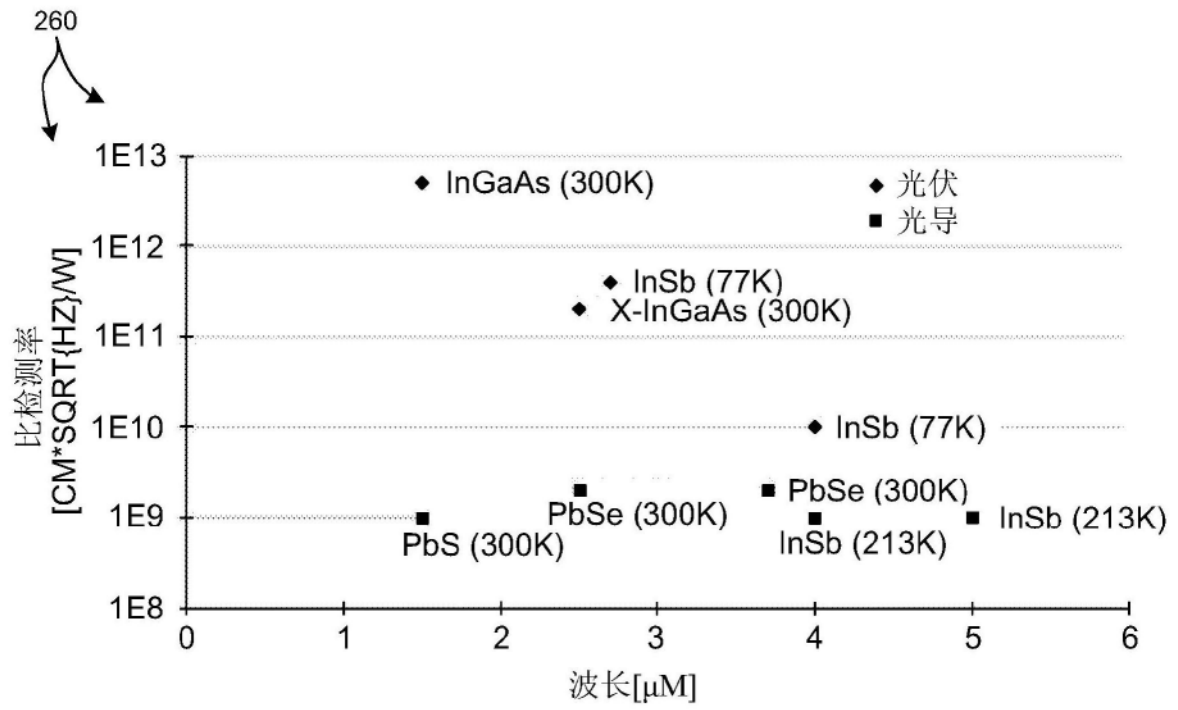


图8

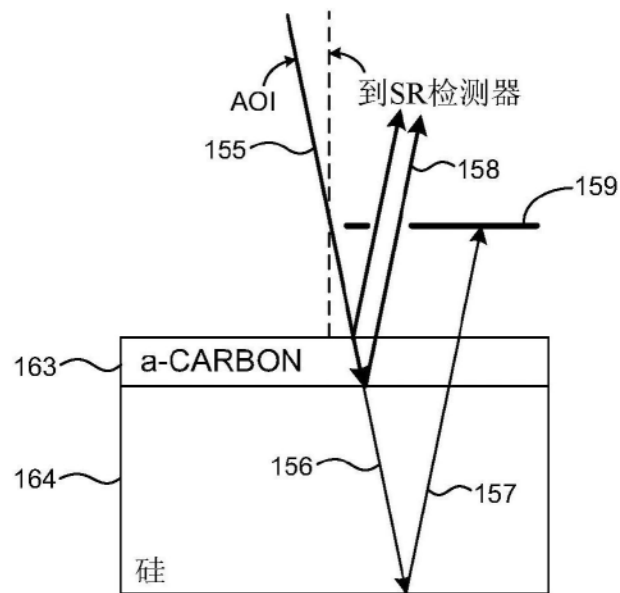


图9

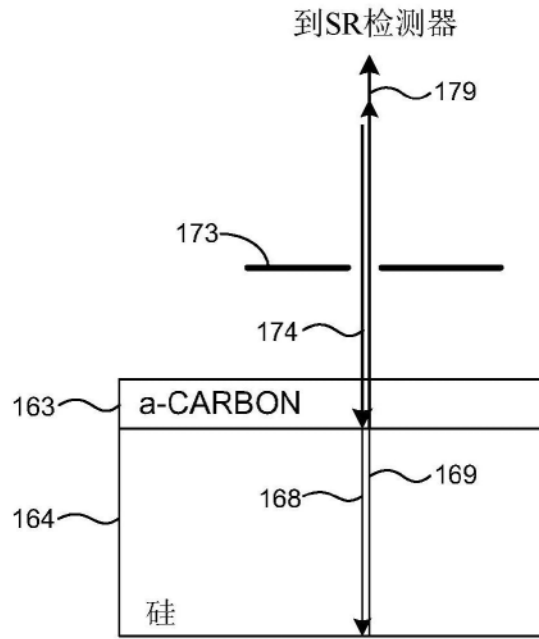


图10

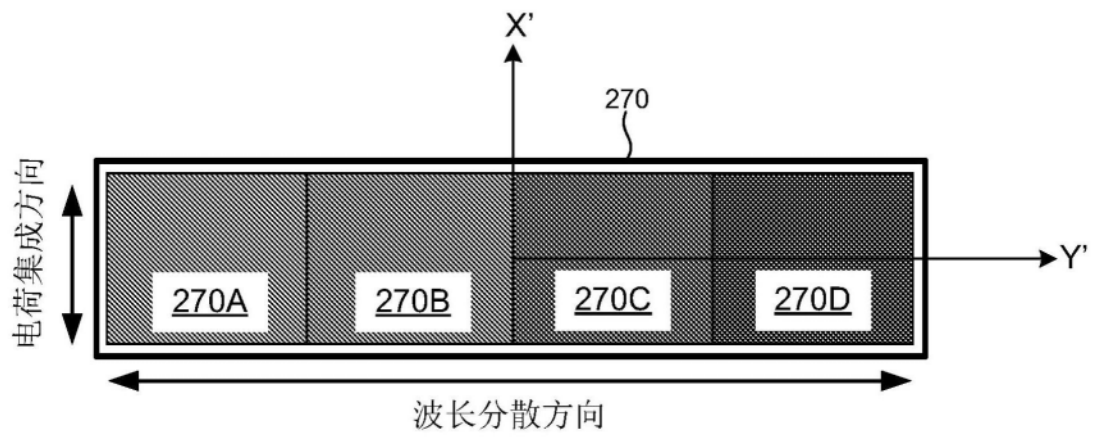


图11

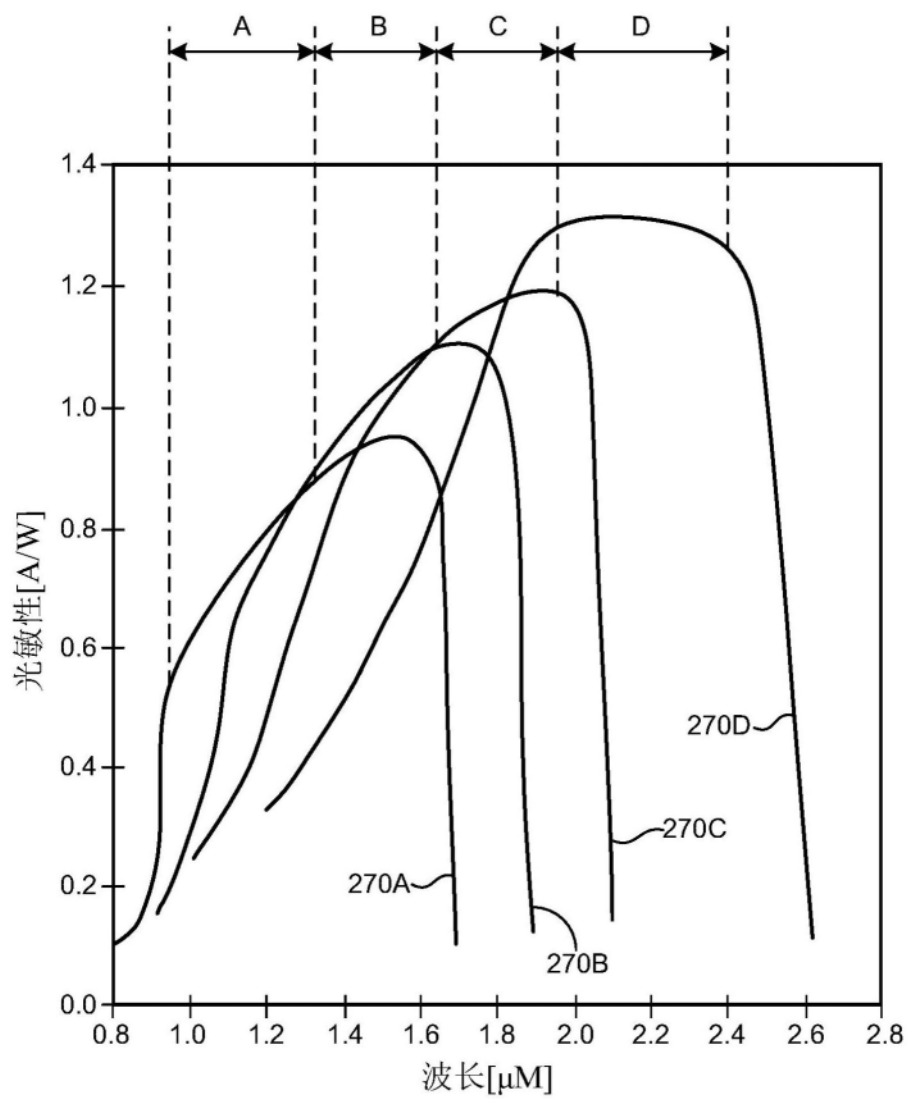


图12

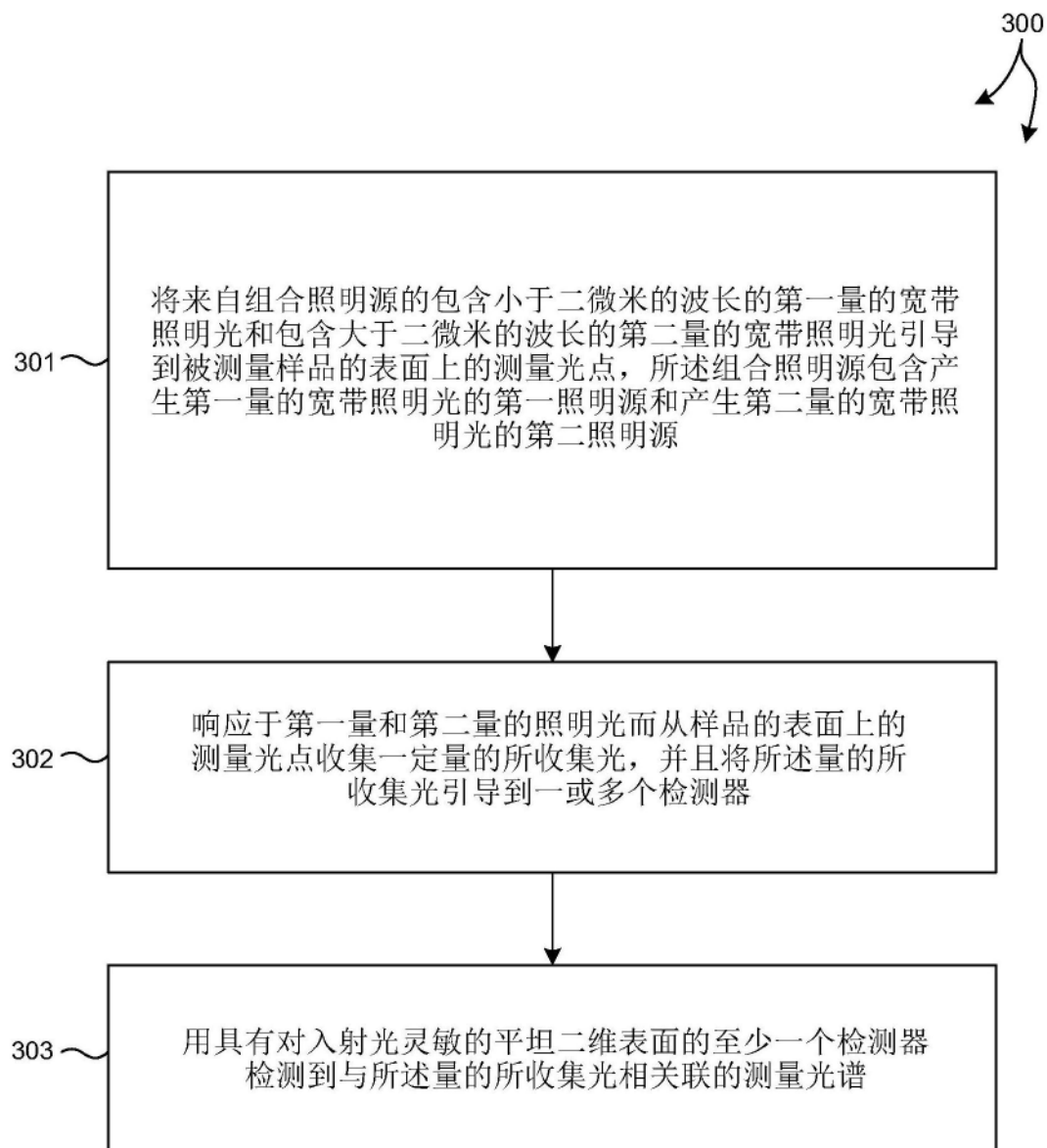


图13