



(21) 申请号 201980057650.0

(22) 申请日 2019.08.29

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 112654859 A

(43) 申请公布日 2021.04.13

(30) 优先权数据
62/726,782 2018.09.04 US
16/551,155 2019.08.26 US(85) PCT国际申请进入国家阶段日
2021.03.03(86) PCT国际申请的申请数据
PCT/US2019/048680 2019.08.29(87) PCT国际申请的公布数据
W02020/051046 EN 2020.03.12(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 A·曾 海伦·刘

(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.

G01N 21/88 (2006.01)

G01B 9/02015 (2022.01)

(56) 对比文件

US 2001013936 A1, 2001.08.16

US 2011242312 A1, 2011.10.06

WO 2014164935 A1, 2014.10.09

JP 2004526168 A, 2004.08.26

US 2007258096 A1, 2007.11.08

US 2012057013 A1, 2012.03.08

US 6756591 B1, 2004.06.29

CN 106415809 A, 2017.02.15

CN 106404174 A, 2017.02.15

CN 107533103 A, 2018.01.02

CN 106575631 A, 2017.04.19

CN 103748454 A, 2014.04.23

陈祥等. 微分干涉相衬法在材料显微分析中的应用.《实验技术与管理》.2003,第20卷(第3期),第19-23页.

审查员 王树玲

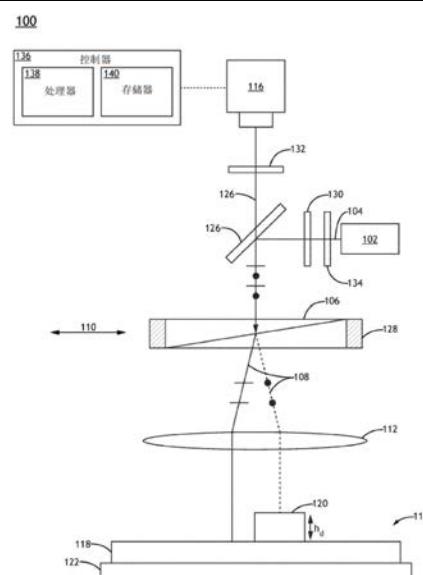
权利要求书2页 说明书10页 附图10页

(54) 发明名称

用于缺陷分类的检验系统和方法

(57) 摘要

一种检验系统可包含耦合到差分干涉对比成像工具的控制器,所述差分干涉对比成像工具用于基于两个经剪切照明光束的照明产生样本的图像。所述控制器可基于所述样本上的缺陷的第一图像集确定第一缺陷诱发相移,所述第一图像集具有第一选定照明光谱及所述两个经剪切照明光束之间的两个或更多个选定诱发相差;基于所述缺陷的第二图像集确定第二缺陷诱发相移,所述第二图像集具有第二选定照明光谱及所述两个经剪切照明光束之间的两个或更多个选定诱发相差;及基于所述第一相移与所述第二相移的比较将所述缺陷分类为金属或非金属。



1. 一种检验系统,其包括:

控制器,其通信地耦合到差分干涉对比成像工具,所述差分干涉对比成像工具经配置以基于两个经剪切照明光束的照明产生样本的一或多个图像,其中所述两个经剪切照明光束的照明光谱及所述两个经剪切照明光束之间的诱发相差可针对所述样本的任何特定图像来选择,其中所述控制器包含经配置以执行程序指令的一或多个处理器,所述程序指令致使所述一或多个处理器:

接收所述样本上的缺陷的第一图像集,所述第一图像集具有第一选定照明光谱及所述两个经剪切照明光束之间的两个或更多个选定诱发相差;

基于所述第一选定照明光谱确定第一缺陷诱发相移;

接收所述样本上的缺陷的第二图像集,所述第二图像集具有不同于所述第一选定照明光谱的第二选定照明光谱及所述两个经剪切照明光束之间的两个或更多个选定诱发相差;

基于所述第二选定照明光谱确定第二缺陷诱发相移;及

基于所述第一缺陷诱发相移与所述第二缺陷诱发相移的比率的选定阈值将所述缺陷分类为金属或非金属,其中所述选定阈值基于:包括所述缺陷的所关注的材料、所述第一选定照明光谱、或所述第二选定照明光谱中的至少一者进行调整,其中所述将所述缺陷分类为金属或非金属包括:

如果所述比率的大小等于或高于所述选定阈值,那么将所述缺陷分类为金属;或

如果所述比率的所述大小低于所述选定阈值,那么将所述缺陷分类为非金属。

2. 根据权利要求1所述的检验系统,其中所述比率的所述大小是所述比率的绝对值,其中将所述缺陷分类为金属或非金属包括:

确定所述第一缺陷诱发相移与所述第二缺陷诱发相移的所述比率的所述绝对值。

3. 根据权利要求1所述的检验系统,其中所述成像工具包括:

照明源,其经配置以产生照明光束;

剪切棱镜,其经配置以将来自所述照明源的照明分裂成沿剪切方向在空间上分离的所述两个经剪切照明光束;

物镜,其经配置以将所述两个经剪切照明光束引导到所述样本,其中所述物镜进一步经配置以收集样本光,所述样本光包含响应于所述两个经剪切照明光束的照明而从所述样本发出的光,其中所述剪切棱镜进一步经配置以将与所述两个经剪切照明光束相关联的所述样本光的部分组合成共同光束;及

多像素检测器,其经配置以基于所述共同光束产生所述样本的一或多个图像。

4. 根据权利要求3所述的检验系统,其中所述剪切棱镜包括:

渥拉斯顿棱镜。

5. 根据权利要求3所述的检验系统,其中所述剪切棱镜包括:

诺马斯基棱镜。

6. 根据权利要求3所述的检验系统,其中所述多像素检测器包括:

帧模式检测器,其经配置以在所述样本静止时产生所述样本的图像。

7. 根据权利要求6所述的检验系统,其中所述帧模式检测器包括:

电荷耦合装置CCD或互补金属氧化物半导体CMOS传感器中的至少一者。

8. 根据权利要求3所述的检验系统,其中所述多像素检测器包括:

扫描模式检测器,其经配置以在所述样本沿扫描方向移动时产生所述样本的图像。

9. 根据权利要求8所述的检验系统,其中所述扫描模式检测器包括:

线扫描传感器或时间延迟积分传感器中的至少一者。

10. 根据权利要求8所述的检验系统,其中所述剪切方向相对于所述扫描方向成45度角定向。

11. 根据权利要求3所述的检验系统,其中通过沿相对于所述成像工具的光学轴的横向方向将所述剪切棱镜平移到两个或更多个选定位置,选择所述第一图像集或所述第二图像集中的至少一者的所述两个经剪切照明光束之间的所述两个或更多个选定诱发相差。

12. 根据权利要求1所述的检验系统,其中所述差分干涉对比成像工具包括:

明场差分干涉对比成像工具。

13. 根据权利要求8所述的检验系统,其中所述剪切方向沿所述扫描方向定向。

14. 一种检验方法,其包括:

从差分干涉对比成像工具接收样本上的缺陷的第一图像集,所述第一图像集具有第一选定照明光谱及两个经剪切照明光束之间的两个或更多个选定诱发相差;

利用一或多个处理器,基于所述第一选定照明光谱确定第一缺陷诱发相移;

从所述差分干涉对比成像工具接收所述样本上的缺陷的第二图像集,所述第二图像集具有不同于所述第一选定照明光谱的第二选定照明光谱及所述两个经剪切照明光束之间的两个或更多个选定诱发相差;

利用一或多个处理器,基于所述第二选定照明光谱确定第二缺陷诱发相移;及

利用一或多个处理器,基于所述第一缺陷诱发相移与所述第二缺陷诱发相移的比率的选定阈值将所述缺陷分类为金属或非金属,其中所述选定阈值基于:包括所述缺陷的所关注的材料、所述第一选定照明光谱、或所述第二选定照明光谱中的至少一者进行调整,其中所述将所述缺陷分类为金属或非金属包括:

如果所述比率的大小等于或高于所述选定阈值,那么将所述缺陷分类为金属;或

如果所述比率的所述大小低于所述选定阈值,那么将所述缺陷分类为非金属。

用于缺陷分类的检验系统和方法

[0001] 相关申请案的交叉引用

[0002] 本申请案依据35 U.S.C§119 (e) 要求2018年9月4日申请的、标题为“通过使用相位对比成像干涉仪对金属及非金属缺陷进行成分分析 (COMPOSITION ANALYSIS OF METAL AND MONMETAL DEFECTS BY USING PHASE CONTRAST IMAGING INTERFEROMETER)”、指定安德鲁·曾 (Andrew Zeng) 及海伦·亨·刘Helen Heng Liu为发明人的第62/726,782号美国临时申请案的权益,所述申请案的全部内容以引入的方式并入本文中。

技术领域

[0003] 本发明大体上涉及半导体制造中的缺陷分类,且更特定来说,涉及用于缺陷分类的多波长干涉法。

背景技术

[0004] 缺陷检测是半导体制造工艺中的关键步骤且可在制造的各个阶段执行以控制良率。此外,可期望识别经识别缺陷的成分以促进确定所述缺陷的根本原因。例如,识别样本上的经识别颗粒是否是金属或非金属(例如,电介质)可提供对污染源的了解。

[0005] 然而,典型缺陷检验系统不适于基于成分对经识别缺陷进行分类。而是,成分分析通常可使用单独工具(例如能量分散X射线 (EDX) 工具) 来执行,其可能遭受相对长测量时间,此负面地影响处理量。另外,在工具之间转移样本可能潜在地使样本暴露到进一步污染物且进一步减小处理量。因此需要开发用来解决上述缺陷的系统及方法。

发明内容

[0006] 揭示一种根据本发明的一或多个说明性实施例的检验系统。在一个说明性实施例中,所述系统包含通信地耦合到差分干涉对比成像工具的控制器的,所述差分干涉对比成像工具经配置以基于两个经剪切照明光束的照明产生样本的一或多个图像,其中所述两个经剪切照明光束的照明光谱及所述两个经剪切照明光束之间的诱发相差可针对所述样本的任何特定图像来选择。在另一说明性实施例中,所述控制器接收所述样本上的缺陷的第一图像集,所述第一图像集具有第一选定照明光谱及所述两个经剪切照明光束之间的两个或更多个选定诱发相差。在另一说明性实施例中,所述控制器基于所述第一选定照明光谱确定第一缺陷诱发相移。在另一说明性实施例中,所述控制器接收所述样本上的缺陷的第二图像集,所述第二图像集具有不同于所述第一照明光谱的第二选定照明光谱及所述两个经剪切照明光束之间的两个或更多个选定诱发相差。在另一说明性实施例中,所述控制器基于所述第二选定照明光谱确定第二缺陷诱发相移。在另一说明性实施例中,所述控制器基于所述第一相移与所述第二相移的比较将所述缺陷分类为金属或非金属。

[0007] 揭示一种根据本发明的一或多个说明性实施例的检验系统。在一个说明性实施例中,所述系统包含差分干涉对比成像工具,所述差分干涉对比成像工具用来基于两个经剪切照明光束的照明产生样本的一或多个图像,其中所述两个经剪切照明光束的照明光谱及

所述两个经剪切照明光束之间的相差可针对所述样本的任何特定图像来选择。在另一说明性实施例中,所述系统包含通信地耦合到所述成像工具的控制器的。在另一说明性实施例中,所述控制器接收所述样本上的缺陷的第一图像集,所述第一图像集具有第一选定照明光谱及所述两个经剪切照明光束之间的两个或更多个选定诱发相差。在另一说明性实施例中,所述控制器基于所述第一选定照明光谱确定与所述缺陷相关联的第一相移。在另一说明性实施例中,所述控制器接收所述样本上的缺陷的第二图像集,所述第二图像集具有不同于所述第一照明光谱的第二选定照明光谱及所述两个经剪切照明光束之间的两个或更多个选定诱发相差。在另一说明性实施例中,所述控制器基于所述第二选定照明光谱确定与所述缺陷相关联的第二相移。在另一说明性实施例中,所述控制器基于所述第一相移与所述第二相移的比较将所述缺陷分类为金属或非金属。

[0008] 揭示一种根据本发明的一或多个说明性实施例的检验方法。在一个说明性实施例中,所述方法包含从差分干涉对比成像工具接收样本上的缺陷的第一图像集,所述第一图像集具有第一选定照明光谱及两个经剪切照明光束之间的两个或更多个选定诱发相差。在另一说明性实施例中,所述方法包含基于所述第一选定照明光谱确定第一缺陷诱发相移。在另一说明性实施例中,所述方法包含从所述差分干涉对比成像工具接收所述样本上的缺陷的第二图像集,所述第二图像集具有不同于所述第一照明光谱的第二选定照明光谱及所述两个经剪切照明光束之间的两个或更多个选定诱发相差。在另一说明性实施例中,所述方法包含基于所述第二选定照明光谱确定第二缺陷诱发相移。在另一说明性实施例中,所述方法包含基于所述第一缺陷诱发相移与所述第二缺陷诱发相移的比较将所述缺陷分类为金属或非金属。

[0009] 应理解,前文概述及下文详细描述两者仅为示范性及解释性的,且未必限制所主张发明。并入说明书中且构成说明书的一部分的附图说明本发明的实施例,且连同概述一起用来解释本发明的原理。

附图说明

[0010] 通过参考附图,所属领域的技术人员可更好地理解本发明的众多优点。

[0011] 图1是根据本发明的一或多个实施例的DIC检验系统的概念视图。

[0012] 图2是根据本发明的一或多个实施例的在365nm的波长下依据厚度而变化的硅衬底上的钨(W)及铜(Cu)的RPC的模拟图表。

[0013] 图3是根据本发明的一或多个实施例的在365nm的波长下依据厚度而变化的硅衬底上的SiO₂的RPC的模拟图表。

[0014] 图4是根据本发明的一或多个实施例的根据厚度而变化的硅衬底上的铜(Cu)的图表。

[0015] 图5是根据本发明的一或多个实施例的根据厚度而变化的硅衬底上的铜SiO₂的图表。

[0016] 图6包含根据本发明的一或多个实施例的使用具有四个不同选定系统诱发相移的多次循序扫描产生的缺陷的强度的模拟图表。

[0017] 图7包含根据本发明的一或多个实施例的基于图6中的图表的缺陷轮廓的图表及经模拟且经重建的缺陷诱发相移的图表。

[0018] 图8包含根据本发明的一或多个实施例的不具有缺陷的样本的三个经测量图像。

[0019] 图9是根据本发明的一或多个实施例的图8中成像的样本的经重建相移的图表。

[0020] 图10是说明根据本发明的一或多个实施例的在用于对缺陷进行分类的方法中执行的步骤的流程图。

具体实施方式

[0021] 现将详细参考附图中说明的所揭示目标物。已关于特定实施例及其特定特征特定地展示及描述本发明。本文中所阐述的实施例被认为是说明性而非限制性的。对于所属领域的一般技术人员应容易显而易见的是,在不背离本发明的精神及范围的情况下,可在形式及细节上进行各种改变及修改。

[0022] 本发明的实施例涉及用于基于经识别缺陷的反射相变 (RPC) 提供缺陷的成分的缺陷识别 (例如,检测缺陷的存在) 及分类两者的基于多波长干涉的显微术的系统及方法。

[0023] 本文中应认知,由材料反射的光基于材料的反射率及相变 (例如,反射相变 (RPC)) 展现振幅变化。由给定材料诱发的RPC的量可基于若干因素而变化,包括但不限于材料的成分及入射光的波长。例如,金属可在宽范围的波长内展现几乎恒定的RPC。作为另一实例,电介质可展现依据波长而变动的RPC。

[0024] 在本发明的一个实施例中,可使用多波长差分干涉对比 (DIC) 显微术识别 (例如,检测) 及分类缺陷。DIC检验系统可通过以下步骤来产生样本或其部分的图像:将照明光束剪切成两个经剪切光束;用所述经剪切光束照明样本;及重组所述经剪切光束以形成由检测器捕获的图像。对应图像中的对比度 (例如,光强度及因此经检测信号强度的变动) 与基于检测器上的经组合光的光学相位的检测器处的经组合的经剪切光束的干涉相关。此光学相位可能受多个因素影响,包括但不限于两个经剪切光束在其传播穿过系统且反射离开样本时的光学路径之间的光学路径差 (OPD)、在反射时引入到两个经剪切光束的RPC之间的差。在检验系统的背景下,样本上存在缺陷可能诱发相关联于基于缺陷高度的OPD及缺陷与周围材料之间的RPC差两者的相移。情况也可能为DIC检验系统可基于经剪切光束的光学路径中的组件的特定配置进一步引入相移。例如,经剪切光束的光学路径可基于剪切棱镜的位置及/或定向而不同。

[0025] 本发明的进一步实施例涉及执行相位检索分析以提取或以其它方式隔离缺陷对DIC信号的贡献。例如,DIC检验系统可利用相移技术来基于具有经剪切照明光束之间的不同诱发相位偏差的样本的多个图像隔离缺陷诱发相移。

[0026] 本发明的进一步实施例涉及基于比较与两个或更多个波长相关联的缺陷诱发相移对缺陷进行分类。例如,DIC检验系统可用两个或更多个波长使样本或其部分成像,且基于每一波长的缺陷诱发相移的比较对经识别缺陷进行分类。此外,DIC检验系统可基于每一波长下的多个图像执行相位检索分析以提取每一波长的缺陷诱发OPD。

[0027] 如上文所描述,金属的RPC可依据波长基本上保持恒定,而许多非金属 (例如但不限于电介质) 的RPC可能依据波长而变动。因此,比较用不同波长产生的缺陷诱发相移 (或缺陷与周围材料之间的RPC差,如果直接确定) 可提供对缺陷的成分的了解。例如,可通过确定用两个不同波长产生的缺陷诱发相移的比率来对经识别缺陷进行分类。在一种情况下,当比率在选定公差1内时,可将缺陷分类为金属,否则可将缺陷分类为非金属 (例如,电介质)。

[0028] 在一些实施例中,从缺陷诱发OPD提取或以其它方式隔离RPC。在此方面,可移除不随成像波长而变动的缺陷高度的贡献。例如,可基于两个或更多个波长下的RPC的比较对缺陷进行分类。在一些情况下,基于理论及/或实验数据,可知道特定波长下的特定材料(例如,特定金属或电介质材料)的RPC。据此,可基于RPC的经测量值与这些已知值的比较识别缺陷的成分。

[0029] 现参考图1到9,描述根据本发明的一或多个实施例的用于基于多波长差分干涉对比(DIC)检验的缺陷识别及分类的系统及方法。

[0030] 图1是根据本发明的一或多个实施例的DIC检验系统100的概念视图。

[0031] 在一个实施例中,DIC检验系统100包含:照明源102,其用来产生照明光束104;剪切棱镜106,其用来将照明光束104分裂成沿剪切方向110分离的两个经剪切光束108;物镜112,其用来在空间分离位置处将两个经剪切光束108引导到样本114;及检测器116,其用来基于两个经剪切光束108之间的干涉捕获样本114的图像。在图1中,样本114被说明为衬底118及缺陷120。此外,样本114可经安装在平移台122上以控制样本114在DIC检验系统100的视场内的位置。例如,平移台122可包含但不限于线性、旋转或翻转/倾斜致动器的任何组合。

[0032] 在另一实施例中,物镜112进一步收集从样本114反射的经剪切光束108的部分(例如,经反射光124),使得由剪切棱镜106沿共同光学路径重组与两个经剪切光束108相关联的经反射光124。此外,如图1中所说明,DIC检验系统100可包含分束器126,所述分束器126用来沿共同光学路径朝向检测器116分离照明光束104与经组合的经反射光124。

[0033] 剪切棱镜106可为此项技术中已知的适于将照明光束104剪切成两个经剪切光束108的任何类型的光学元件。例如,剪切棱镜106可包含基于偏振将照明光束104分离成经剪切光束108的偏振棱镜。例如,经剪切光束108可包含诺马斯基(Nomarski)棱镜、渥拉斯顿(Wollaston)棱镜、罗歇(Rochon)棱镜或类似者,其中两个经剪切光束108对应于寻常光线及非寻常光线。

[0034] 在另一实施例中,DIC检验系统100包含相位调整子系统128,所述相位调整子系统128经配置以引入、调整或以其它方式控制两个经剪切光束108穿过系统的光学路径之间的相对光学路径差(OPD),包含样本114的反射。例如,如图1中所说明,相位调整子系统128可包含耦合到固定剪切棱镜106的基座的致动器(例如,平移台或类似者)。在此方面,相位调整子系统128可通过调整剪切棱镜106的位置来控制剪切光束108之间的OPD。作为另一实例,尽管未展示,相位调整子系统128可包含德·塞纳蒙特(de Sénarmont)补偿器。

[0035] 在另一实施例中,DIC检验系统100包含用来在任何位置修改光的偏振的一或多个偏振控制光学器件。例如,DIC检验系统100可包含偏振器130,所述偏振器130用来在剪切棱镜106上提供线性偏振照明光束104。作为另一实例,DIC检验系统100可包含分析器132,所述分析器132用来隔离与经剪切光束108的反射相关联的经反射光124且促进检测器116处的高对比度干涉。作为另一实例,DIC检验系统100可包含半波片134,所述半波片134用来调整线性偏振照明光束104的定向,使得经剪切光束108具有相等强度。例如,在偏振剪切棱镜106的情况下,当照明光束104的偏振相对于形成剪切棱镜106的一或多个双折射材料的光学轴成45度定向时,经剪切光束108可具有相等强度。据此,半波片134可允许精确地调整剪切棱镜106上的照明光束104的偏振,而不管照明源102的定向或初始偏振。

[0036] 在另一实施例中,尽管未展示,但DIC检验系统100可包含用来控制、塑形或以其它方式调整DIC检验系统100中的任何点处的光的性质的光束调节光学器件。例如,光束调节光学器件可包含但不限于一或多个光谱滤波器、一或多个中性密度滤波器、一或多个孔径、或一或多个均匀器。

[0037] 照明源102可包含此项技术中已知的适于产生照明光束104的任何类型的光源,包含但不限于激光源、发光二极管(LED)源、灯源或激光持续等离子体(LSP)源。此外,照明源102可产生具有任何选定光谱的照明光束104。例如,照明光束104可包含紫外(UV)光、可见光或红外(IR)光的任何组合。作为另一实例,照明光束104可包含短波长光,例如但不限于极紫外(EUV)光、深紫外(DUV)光或真空紫外(VUV)光。

[0038] 在另一实施例中,照明源102是可调谐光源,其中可选择性地调谐照明光束104的光谱(例如,中心波长、宽带或类似者)。在此方面,DIC检验系统100可作为多波长检验系统来操作。

[0039] 照明源102可包含此项技术中已知的任何类型的可调谐光源。在一个实施例中,照明源102包含具有可调谐发射光谱的光发射器,例如但不限于可调谐激光源。在另一实施例中,照明源102包含耦合到一或多个光谱滤波器以向照明光束104提供选定光谱的宽带光源。例如,光谱滤波器可包含一或多个可选择性旋转的角度可调谐滤波器,其中可通过调整光的入射角来调谐光谱滤波性质。作为另一实例,光谱滤波器可包含可选择性地放置在来自宽带光源的宽带光的光学路径中(例如,使用滤波轮、一或多个独立致动器或类似者)以向照明光束104提供选定光谱的一或多个固定光谱滤波器。

[0040] 在另一实施例中,检测器116为多像素检测器,使得DIC检验系统100可作为多像素成像系统来操作。例如,经剪切光束108可照明样本114的经延伸部分,接着所述经延伸部分经成像到检测器116上(例如,使用物镜112及适于使样本114成像的任何额外透镜)。本文中应认知,多像素DIC检验系统100可提供相对高于单像素检验系统(例如,扫描DIC系统)的分辨率及/或检测灵敏度。例如,DIC检验系统100可组合高分辨率物镜112、低噪声检测器116及低噪声照明源102以按在纵向(例如,高度)方向上大约纳米或更低且在横向方向上几微米或更低的分辨率实现高度灵敏的缺陷检测及分类。

[0041] 此外,检测器116可产生静止或移动样本114的图像。例如,适于捕获静止样本的图像的检测器116可包含但不限于电荷耦合装置(CCD)或互补金属氧化物半导体(CMOS)装置。在另一实施例中,检测器116为帧模式检测器,其经配置以在样本114静止时产生样本114的图像,其中剪切方向相对于扫描方向成45度角定向。作为另一实例,适于捕获移动样本的图像的检测器116可包含但不限于线扫描传感器或时间延迟积分(TDI)传感器。在另一实施例中,检测器116为扫描模式检测器,其经配置以在样本114沿扫描方向移动时产生样本114的图像,其中剪切方向沿扫描方向定向。

[0042] 在另一实施例中,DIC检验系统100包含控制器136。在另一实施例中,控制器136包含一或多个处理器138,所述一或多个处理器138经配置以执行维持在存储器媒体140或存储器中的程序指令集。此外,控制器136可包含含有存储在存储器媒体140中的可由处理器138执行的一或多个程序指令的一或多个模块。控制器136的处理器138可包含此项技术中已知的任何处理元件。在此意义上,处理器138可包含经配置以执行算法及/或指令的任何微处理器型装置。在一个实施例中,处理器138可由桌面计算机、主计算机系统、工作站、图

像计算机、并行处理器、或经配置以执行经配置以操作DIC检验系统100的程序的任何其它计算机系统(例如,网络计算机)组成,如贯穿本发明所描述。进一步应认知,术语“处理器”可广义地被界定为涵盖具有执行来自非暂时性存储器媒体140的程序指令的一或多个处理元件的任何装置。

[0043] 存储器媒体140可包含此项技术中已知的适于存储可由相关联处理器138执行的程序指令的任何存储媒体。例如,存储器媒体140可包含非暂时性存储器媒体。作为额外实例,存储器媒体140可包含但不限于只读存储器、随机存取存储器、磁性或光学存储器装置(例如,磁盘)、磁带、固态驱动器及类似者。进一步应注意,存储器媒体140可与处理器138一起容纳在共同控制器外壳中。在一个实施例中,存储器媒体140可相对于处理器138及控制器136的物理位置远程地定位。例如,控制器136的处理器138可存取可通过网络(例如,因特网、内部网络及类似者)存取的远程存储器(例如,服务器)。因此,上文描述不应被解释为限制本发明,而是仅仅说明本发明。

[0044] 控制器136可与DIC检验系统100的任何组件通信地耦合。在一个实施例中,控制器136从DIC检验系统100的一或多个组件接收数据。例如,控制器136可从检测器116接收图像或其部分。在另一实施例中,控制器136执行本发明的一或多个处理步骤。例如,控制器136可接收以不同诱发相位产生的样本114的图像(例如,基于相位调整子系统128的不同配置)且执行一或多个分析步骤(例如,相位检索分析)以隔离缺陷诱发相移。作为另一实例,控制器136可接收使用不同波长的照明光束104产生的样本114的图像或其部分,且基于每一波长的缺陷诱发相移对一或多个缺陷进行分类。

[0045] 在另一实施例中,控制器136可产生一或多个控制信号以引导或以其它方式控制DIC检验系统100的组件。控制器136可为DIC检验系统100的任何组件产生控制信号,包含但不限于检测器116、平移台122或照明源102。

[0046] 现参考图2到9,更详细地描述根据本发明的一或多个实施例的基于多波长DIC干涉法的缺陷检测及分类。

[0047] 由DIC检验系统100产生的图像中的对比度(例如,如图1中所说明)通常可与相关联于从样本的空间偏移部分反射经剪切光束108的经反射光124之间的干涉相关。特定来说,如图1中所说明,情况可能为经剪切光束108中的一者可入射到具有高度(h_d)的缺陷上,而另一者可能不入射于具有高度(h_d)的缺陷上。在此情况下,光强度通常可经特性化为:

$$[0048] \quad I = I_1 R_d + I_2 R_s + 2\sqrt{I_1 R_d I_2 R_s} \cos \phi \quad (1)$$

[0049] 及

$$[0050] \quad \phi = \Delta\phi_d + \Delta\phi_s = \frac{4\pi h_d}{\lambda} + \Delta\phi_r + \Delta\phi_s, \quad (2)$$

[0051] 其中 I_1 及 I_2 为两个经剪切光束108的强度, R_d 为缺陷的反射率, R_s 为环绕缺陷的样本114的反射率, $\Delta\phi_d$ 为缺陷诱发相差,且 $\Delta\phi_s$ 为系统诱发相差。例如, $\Delta\phi_s$ 的值可与剪切棱镜106的特定位置及/或定向相关。

[0052] 如上文所描述,缺陷诱发相差($\Delta\phi_d$)可基于相对于周围材料的缺陷高度(h_d)及缺陷与周围材料的RPC之间的差。特定来说,缺陷诱发相差($\Delta\phi_d$)可不同地写为:

$$[0053] \quad \Delta\phi_d = 2\frac{2\pi}{\lambda} n h_d + \Delta\phi_r = 2\frac{2\pi}{\lambda} n (h_d + h_{RPC}) = 2\frac{2\pi}{\lambda} n h_{TOT} \quad (3)$$

[0054] 其中 n 为折射率, $\Delta \phi_r$ 为与缺陷及样本114的周围部分的RPC差相关联的相差, 且 h_{TOT} 为基于实际高度 h_d 及额外贡献 h_{RPC} 两者的缺陷的视在高度 (apparent height) (例如, 缺陷的视在OPD), 所述额外贡献 h_{RPC} 为基于缺陷与环绕缺陷的样本114之间的RPC差。等式 (3) 中的因子2解释DIC检验系统100中的经反射光的往返路径。

[0055] 本文中应认知, RPC通常取决于各种因素, 例如但不限于材料成分、材料大小及入射光的波长。据此, 比较与多个波长相关联的缺陷诱发相位 ($\Delta \phi_d$) 及/或RPC差 ($\Delta \phi_r$) 本身可基于这些因素促进缺陷的分类。

[0056] 图2及3展示在共同波长下依据缺陷厚度 (大小) 而变化的金属及非金属的RPC。图2是根据本发明的一或多个实施例的在365nm的波长下依据厚度而变化的硅衬底上的两种金属 (钨 (W) 及铜 (Cu)) 的RPC的模拟图表202。图3是根据本发明的一或多个实施例的在365nm的波长下依据厚度而变化的硅衬底上的 SiO_2 的RPC的模拟图表302。

[0057] 图2及3包含使用提供相关联缺陷的RPC的第一近似值的薄膜模型的薄膜模拟。如图2中所说明, 当缺陷大小大于约100nm时, 金属的RPC为恒定的。此外, RPC的量基本上基于金属的成分而变动。相反, 如图3中所说明, SiO_2 的RPC强烈地取决于厚度。此外, 应注意, 图3说明具有360度 (2π 弧度) 的模数的包裹相位 (wrapped phase)。

[0058] 图4及5展示根据本发明的一或多个实施例的在多个波长 (365nm及405nm) 下依据缺陷厚度 (大小) 而变化的金属及非金属的RPC。据此, 图4及5说明依据波长而变化的RPC的变动可如何用于缺陷分类。图4是根据本发明的一或多个实施例的根据厚度而变化的硅衬底上的铜 (Cu) 的图表402。图5是根据本发明的一或多个实施例的根据厚度而变化的硅衬底上的铜 SiO_2 的图表502。

[0059] 如图4中所说明, 金属的RPC展现对大于200nm的几乎所有大小波长的相对小相依性 (例如, 小于5度)。相反, 如图5中所说明, SiO_2 的RPC展现对大于近似200nm的大小的波长的相对大相依性 (例如, 大于90度)。

[0060] 现参考下表1, 概述各种材料及大小的RPC值以进一步突显RPC对材料成分、大小及波长的相依性。

[0061] 表1:

[0062]

材料	大小 (nm)	365nm下的RPC (度)	405nm下的RPC (度)	差 (度)
Al	≥ 100	22.5	22.9	0.4
W	≥ 100	25.2	20.9	-4.3
Ti	≥ 100	36.8	39.3	2.5
Fe	≥ 100	29.9	27.6	-2.3
Cu	≥ 100	36.1	36.08	-.02
SiO_2	200	252	155.5	-96.5
SiO_2	250	11	315.3	304.3
SiO_2	300	152.5	45.5	-107

[0063] 考虑图2到5及表1, 金属的RPC基于金属的特定成分而变动, 但依据照明波长及大小相对恒定, 而与成分无关。相反, 非金属 (如通过 SiO_2 例示但不限于 SiO_2) 的RPC展现对大于近似200nm的缺陷大小的相对大相依性。在一个实施例中, 基于依据波长而变化的RPC的经测量变动, 可将缺陷分类为金属或非金属, 其中超过选定阈值的变动指示非金属缺陷。

[0064] 现参考图6到9,更详细地描述根据本发明的一或多个实施例的基于经测量DIC信号的缺陷的分类。

[0065] 如上述等式(1)到(3)中所展示,检测器116上的特定位置处的光强度 I 部分地取决于与由剪切棱镜106重组的经反射光124相关联的检测器116处的光学相位(ϕ)。此外,此光学相位(ϕ)可包含系统诱发相移($\Delta\phi_s$)及缺陷诱发相移($\Delta\phi_d$)。

[0066] 在一个实施例中,使用相位检索分析(例如,通过控制器136)从系统诱发相移($\Delta\phi_s$)提取或以其它方式分离缺陷诱发相移($\Delta\phi_d$)以隔离RPC对强度 I 的影响。可使用此项技术已知的任何技术或技术组合从系统诱发相移($\Delta\phi_s$)提取或以其它方式分离缺陷诱发相移($\Delta\phi_d$)。在一个实施例中,可使用相移分析提取缺陷诱发相移($\Delta\phi_d$)。例如,可基于在每一波长下具有不同(例如,选定)系统诱发相移($\Delta\phi_s$)的经识别缺陷的多个图像确定与所述缺陷相关联的缺陷诱发相移($\Delta\phi_d$)。例如,如本文中先前所描述,可使用相位调整子系统128调整系统诱发相移($\Delta\phi_s$),所述相位调整子系统128可包含但不限于用来沿剪切方向110平移剪切棱镜106的致动器。在此方面,响应于选定系统诱发相移($\Delta\phi_s$)的序列的强度(I)变动可隔离选定系统诱发相移($\Delta\phi_s$)的贡献,使得可确定缺陷诱发相移($\Delta\phi_d$)。此外,相位检索分析可应用于在两个或更多个波长中的每一者下的多个图像,以便提取与两个或更多个波长中的每一者相关联的缺陷诱发相移($\Delta\phi_d$)。在另一实施例中,可使用低通滤波器(例如但不限于可移动中值滤波器)分离缺陷诱发相移($\Delta\phi_d$)与系统诱发相移($\Delta\phi_s$)。本文中应认知,系统诱发相移($\Delta\phi_s$)可源自例如但不限于经剪切光束108(例如,来自剪切棱镜106的非寻常光束及寻常光束)之间的非均匀差或与样本114的表面的自然或样本支架诱发变动相关联的局部斜率的源。此外,这些系统诱发相移($\Delta\phi_s$)可具有相对缓慢变动频率,使得低通滤波器可分离缺陷诱发相移($\Delta\phi_d$)与系统诱发相移($\Delta\phi_s$)。

[0067] 另外,可使用此项技术中已知的任何成像技术产生具有不同选定系统诱发相移($\Delta\phi_s$)的多个图像。例如,在DIC检验系统100经配置以使静止样本114成像的情况下,可使用不同选定系统诱发相移($\Delta\phi_s$)循序地获取多个图像,同时样本114保持静止。作为另一实例,在DIC检验系统100经配置以使移动样本114成像的情况下,可使用使用不同选定系统诱发相移($\Delta\phi_s$)的多次循序扫描获取多个图像。

[0068] 图6包含根据本发明的一或多个实施例的使用具有四个不同选定系统诱发相移($\Delta\phi_s$) (分别为0度、90度、180度及270度)的多次循序扫描产生的缺陷的强度(I)的模拟图表602到608。图7包含根据本发明的一或多个实施例的基于图6中的图表的缺陷轮廓(例如,高度(h_d))的图表702及经模拟且经重建的缺陷诱发相移($\Delta\phi_d$)的图表704。如图7中所说明,基于不同选定系统诱发相移($\Delta\phi_s$)的多个图像的相位检索分析可准确地提取缺陷诱发相移($\Delta\phi_d$)。据此,DIC检验系统100可基于与两个或更多个波长相关联的缺陷诱发相移($\Delta\phi_d$)的比较对缺陷进行分类。

[0069] 现参考图8及9,展示基于具有十一个选定系统诱发相移($\Delta\phi_s$)的静止样本的多个静止图像的无缺陷样本114的相位提取。图8包含根据本发明的一或多个实施例的无缺陷样本114的十一个经测量图像802到806中的三者。图9是根据本发明的一或多个实施例的在图8中成像的样本114的经重建相移的图表902。特定来说,与图8及9相关联的剪切方向110在相应图表中为45度。此外,图8及图9可示范即使在照明光束104存在光学不均匀性的情况下仍可使用本文中所揭示的相位提取技术提取(例如重建)相移的能力。本文中应认知,本

文中所揭示的相位提取技术可用来特性化由样本114的表面的固有变动诱发的相移及由一或多个缺陷诱发的相移。

[0070] 再次参考上述等式 (1) 到 (3), 缺陷与样本114的周围部分之间的RPC差可表现为缺陷诱发相移 ($\Delta \phi_d$) 的变动, 使得不同波长的缺陷诱发相移 ($\Delta \phi_d$) 的比较可促进缺陷的分类。下表2提供根据本发明的一或多个实施例针对200nm到350nm的范围内的缺陷大小展示与相关联于多个波长的缺陷诱发相移 ($\Delta \phi_d$) 相关联的模拟数据。特定来说, 表2包含 h_{RPC} 及 h_{TOT} 的模拟值。

[0071] 表2:

材料	缺陷大小(nm)	λ	h_{RPC}	h_{TOT}	$\frac{h_{TOT}(\lambda = 365 \text{ nm})}{h_{TOT}(\lambda = 405 \text{ nm})}$
[0072] Cu	200	365	-16.98	183	1.02
		405	-21.1	179	
	300	365	-16.98	283	1.01
[0073] SiO ₂	200	405	-21.1	279	0.61
		365	-131.12	69	
	300	405	-86.7	113	0.84
		365	-74.1	236	
	350	405	-103.9	246	0.77
		365	-161.1	189	
	300	405	-22.4	278	0.84
		365	-74.1	236	

[0074] 在一个实施例中, 基于与两个波长相关联的缺陷诱发相移 ($\Delta \phi_d$) 的比率 (其等效于基于上述等式 (3) 的表2中所展示的 h_{TOT} 的比率) 对缺陷进行分类。例如, 如果缺陷诱发相移 ($\Delta \phi_d$) 的比率的绝对值低于选定阈值, 那么可将缺陷分类为非金属。阈值可为任何选定值且可基于所关注的特定材料及/或所使用的波长来调整。例如, 阈值0.9将使Cu缺陷能够分类为金属且将使SiO₂缺陷能够分类为非金属。

[0075] 图10系说明根据本发明的一或多个实施例的在用于对缺陷进行分类的方法1000中执行的步骤的流程图。申请人应注意, 本文中先前在DIC检验系统100的背景下所描述的实施例及致能技术应被解释为扩展到方法1000。然而, 进一步应注意, 方法1000不限于DIC

检验系统100的架构。

[0076] 在一个实施例中,方法1000包含步骤1002:从差分干涉对比成像工具接收样本上的缺陷的第一图像集,所述第一图像集具有第一选定照明光谱及两个经剪切照明光束之间的两个或更多个选定诱发相差。在另一实施例中,差分干涉对比成像工具包括明场差分干涉对比成像工具。在另一实施例中,方法1000包含步骤1004:基于第一选定照明光谱确定第一缺陷诱发相移。在另一实施例中,方法1000包含步骤1006:从差分干涉对比成像工具接收样本上的缺陷的第二图像集,所述第二图像集具有不同于第一照明光谱的第二选定照明光谱及两个经剪切照明光束之间的两个或更多个选定诱发相差。在另一实施例中,方法1000包含步骤1008:基于第二选定照明光谱确定第二缺陷诱发相移。例如,步骤1004及1008可包含应用并入使用第一图像集的相移技术的相位检索算法。在另一实施例中,方法1000包含步骤1010:基于第一缺陷诱发相移与第二缺陷诱发相移的比较将缺陷分类为金属或非金属。例如,步骤1010可包含但不限于基于第一缺陷诱发相移相对于第二缺陷诱发相移的比率将缺陷分类为金属或非金属。在一种情况下,步骤1010包含如果第一缺陷诱发相移相对于第二缺陷诱发相移的比率的绝对值低于选定阈值,那么将缺陷分类为非金属。

[0077] 本文中所述的目标物有时说明其它组件内所含或与其它组件连接的不同组件。应理解,这些所描绘的架构仅为示范性的,且事实上可实施实现相同功能的许多其它架构。在概念意义上,实现相同功能的任何组件布置有效地“相关联”,使得实现所期望功能。因此,在本文中组合以实现特定功能的任何两个组件可被视为彼此“相关联”,使得实现所期望功能,而与架构或中间组件无关。同样地,如此相关联的任何两个组件也可被视为彼此“连接”或“耦合”以实现所期望功能,且能够如此相关联的任何两个组件也可被视为彼此“可耦合”以实现所期望功能。可耦合的特定实例包含但不限于物理上可交互及/或物理上交互的组件及/或可无线交互及/或无线交互的组件及/或逻辑上可交互及/或逻辑上交互的组件。

[0078] 应相信,通过前文描述将理解本发明及许多其伴随优点,且将显而易见的是,在不背离所揭示目标物的情况下或在不牺牲所有其材料优势的情况下,可在组件的形式、构造及布置上进行各种改变。所描述形式仅为解释性的,且所附权利要求书希望涵盖及包含这些改变。此外,应理解,本发明由所附权利要求书界定。

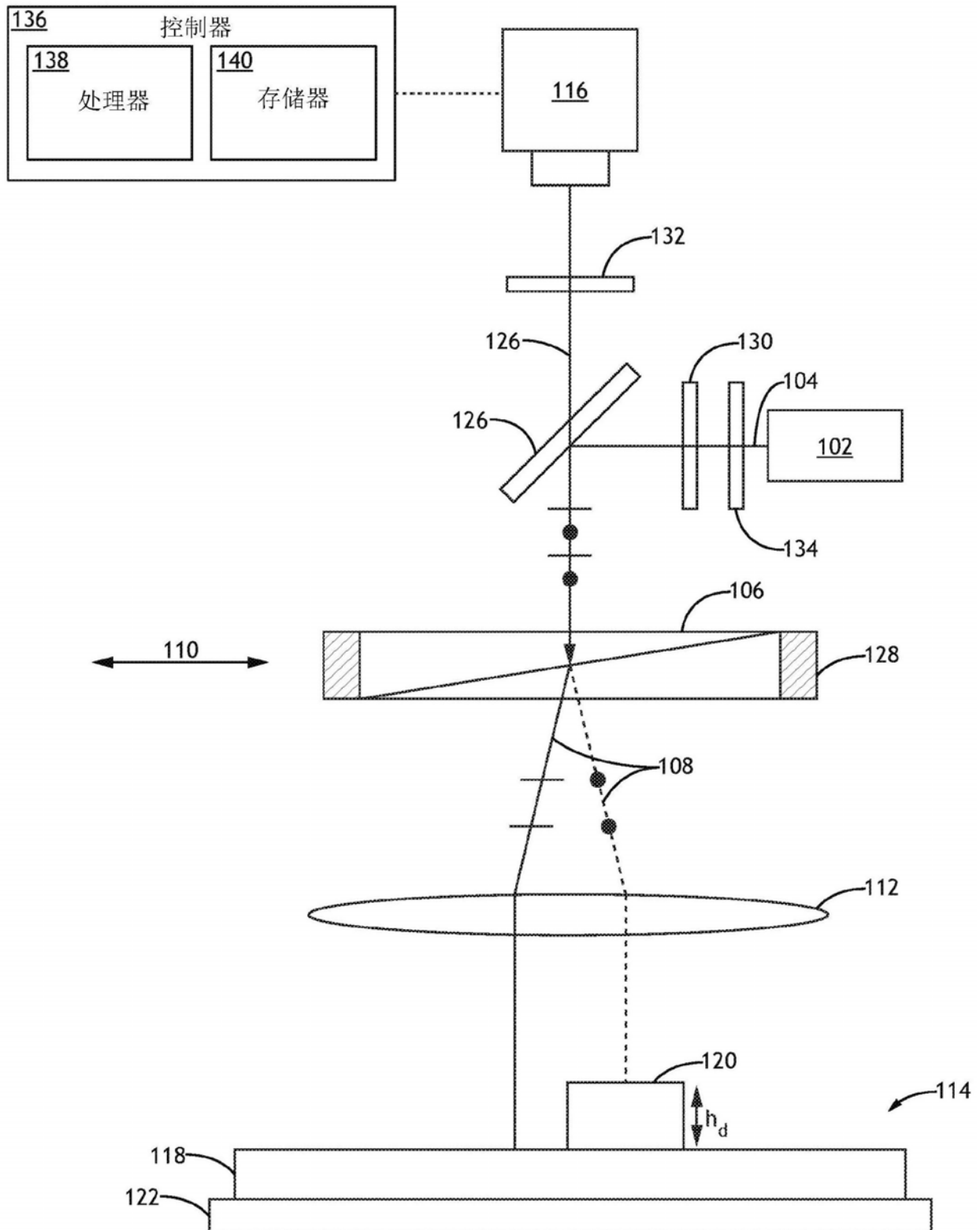
100

图1

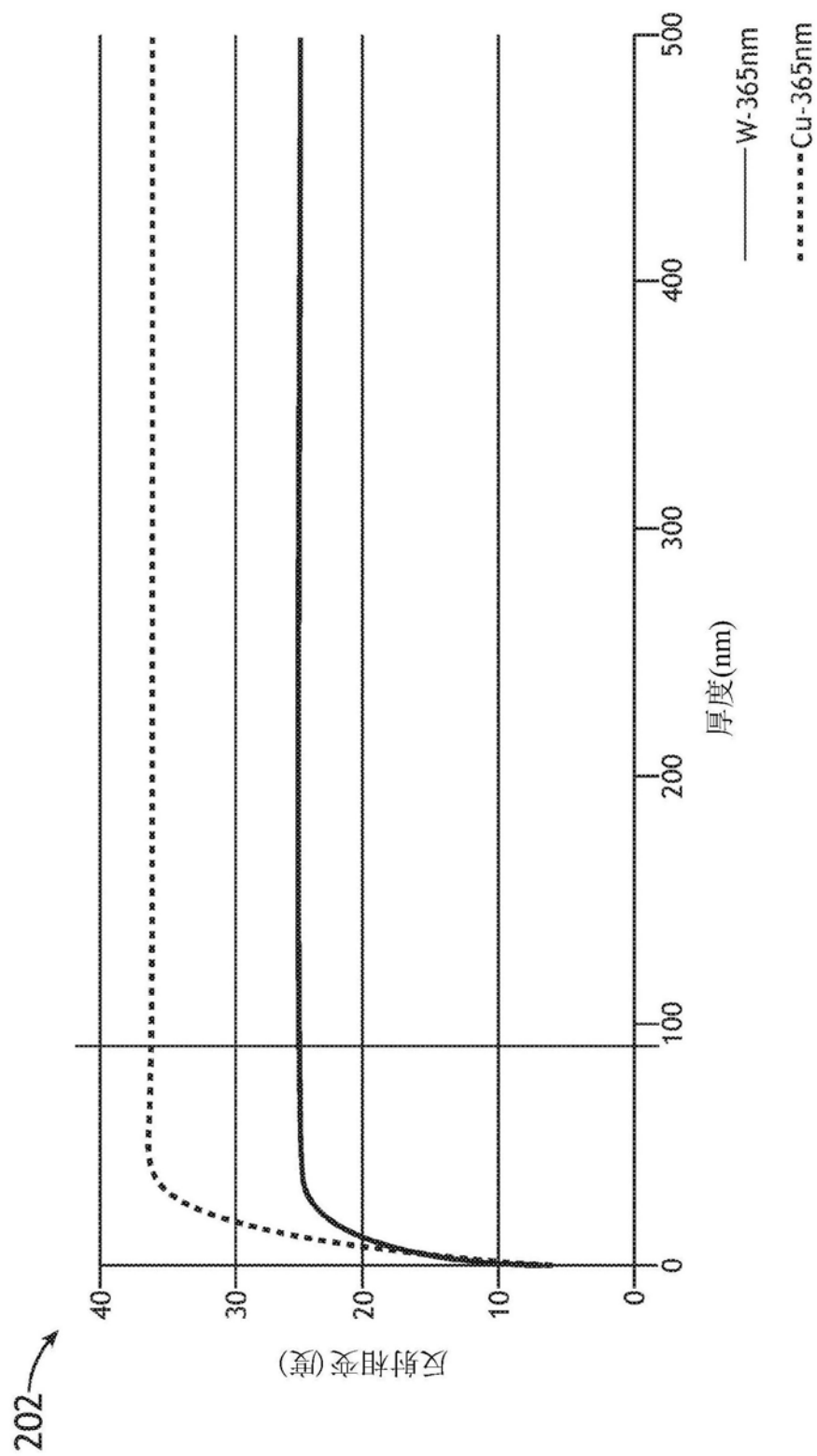


图2

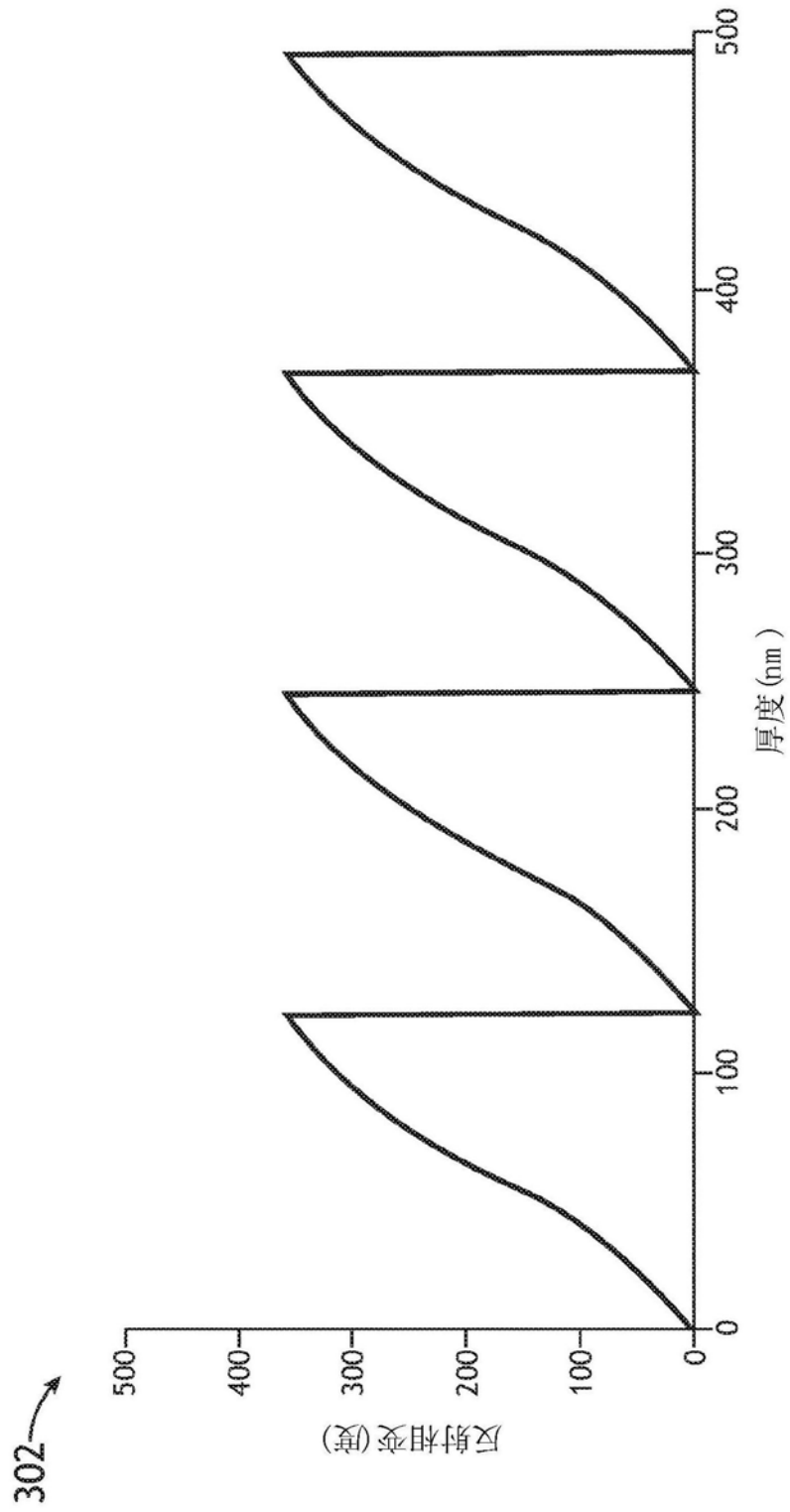


图3

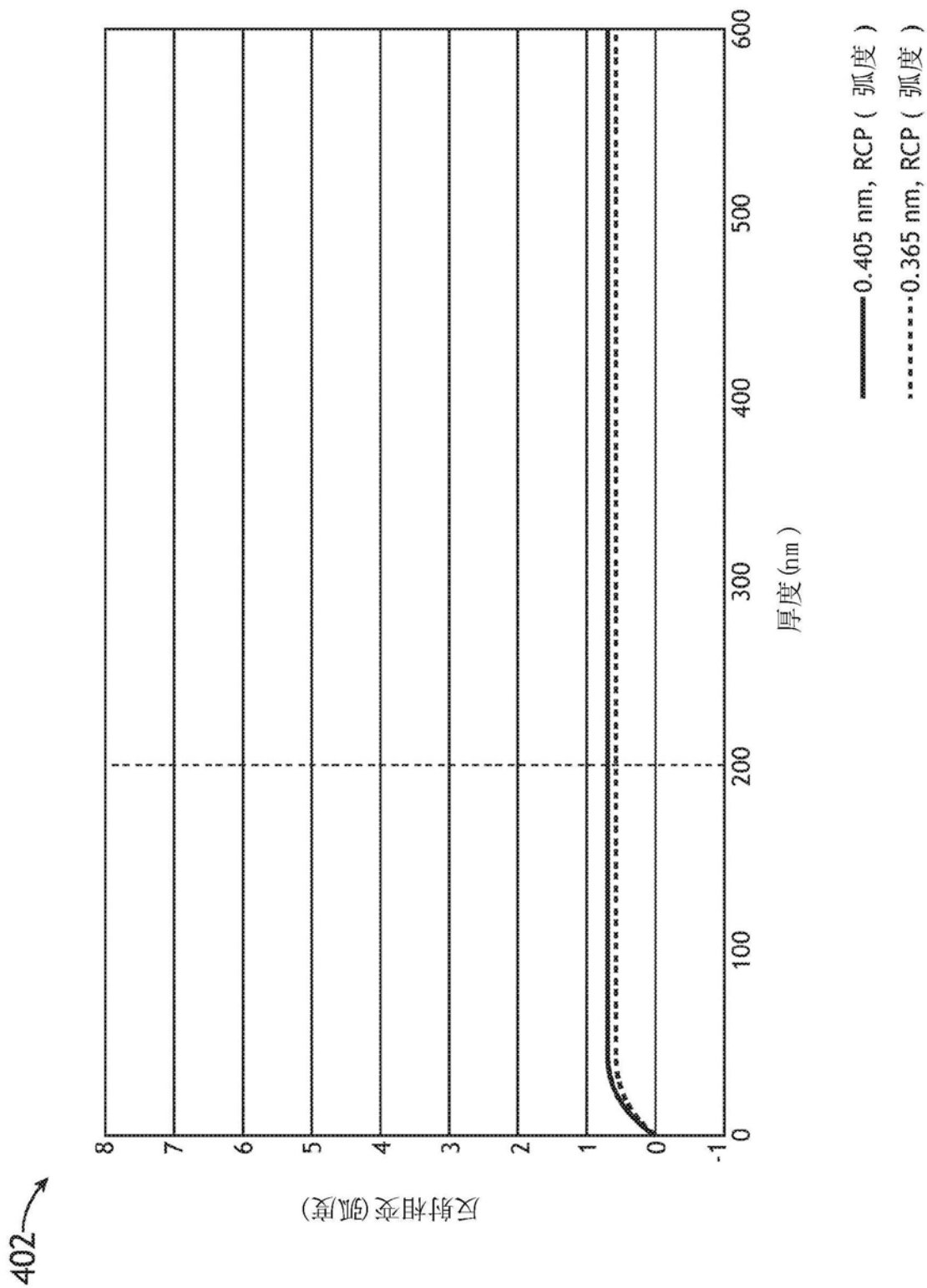


图4

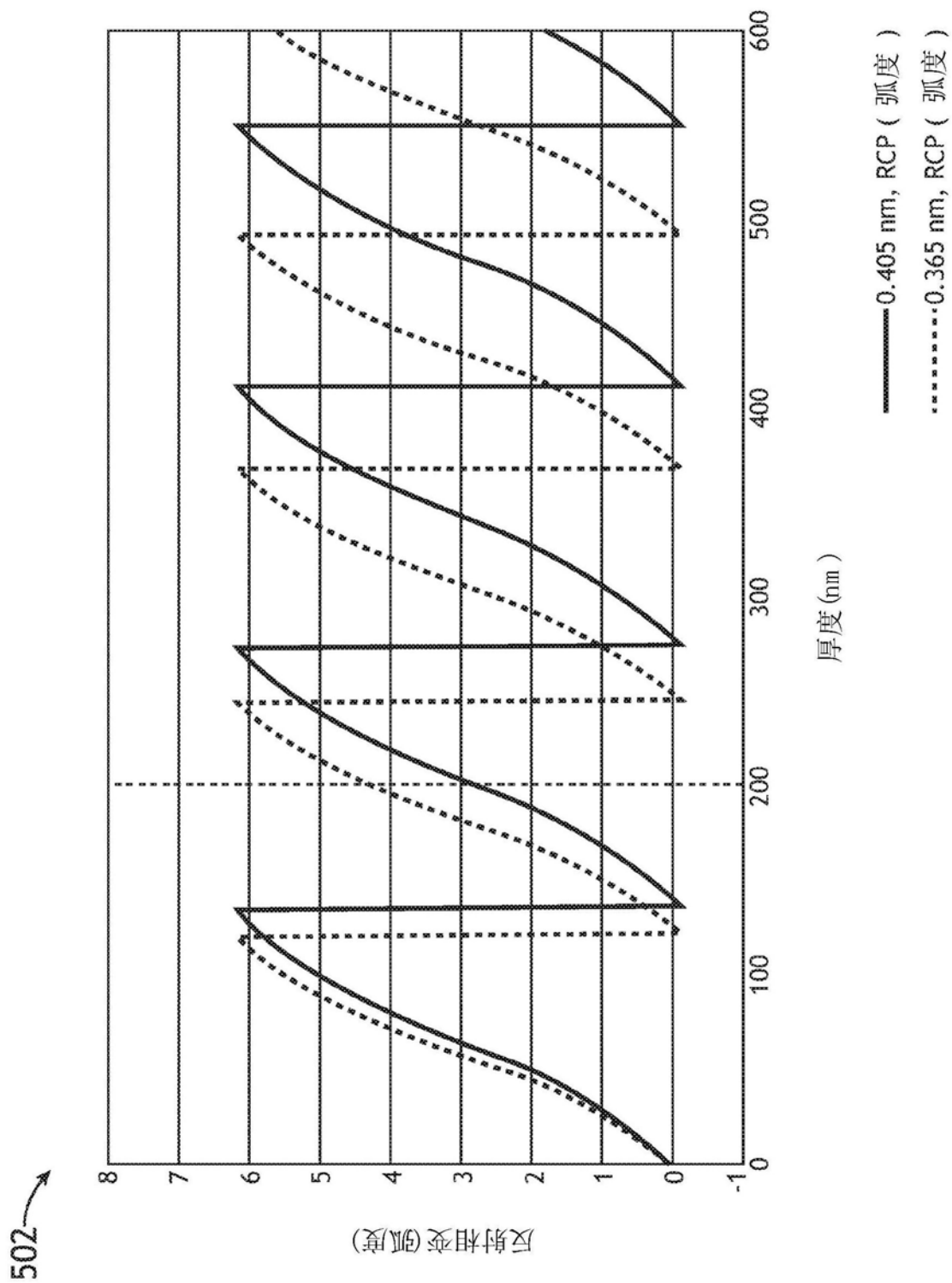


图5

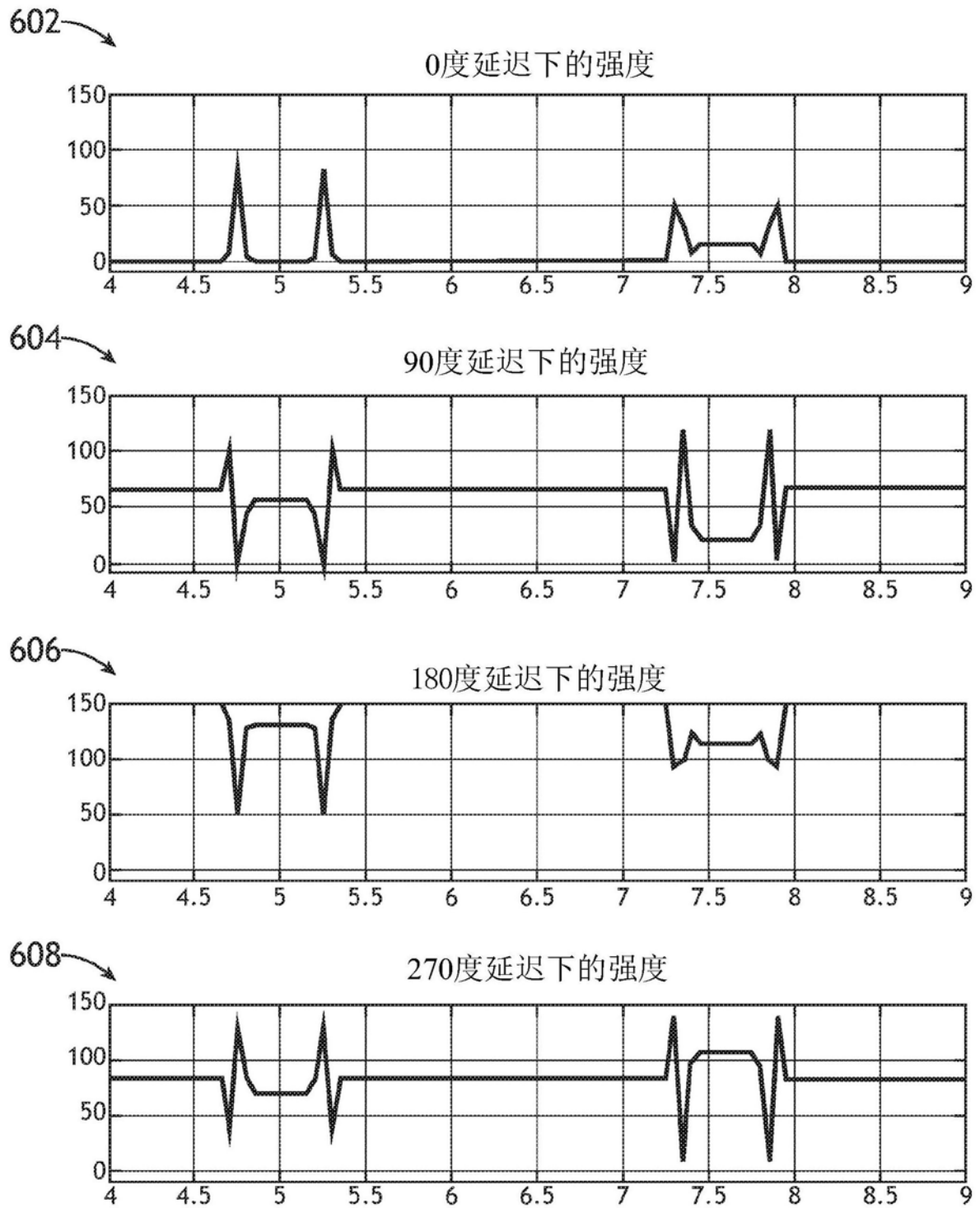


图6

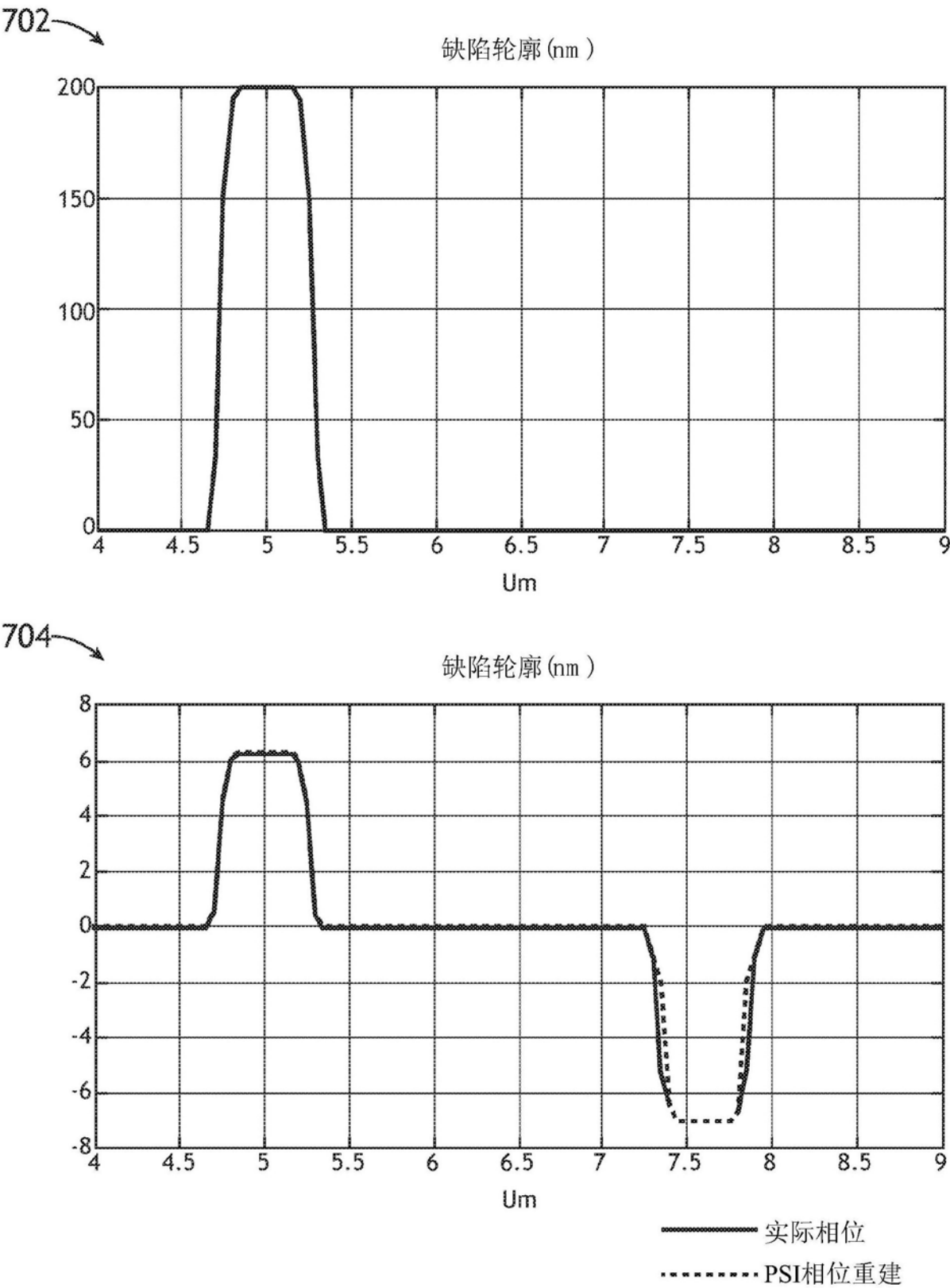


图7

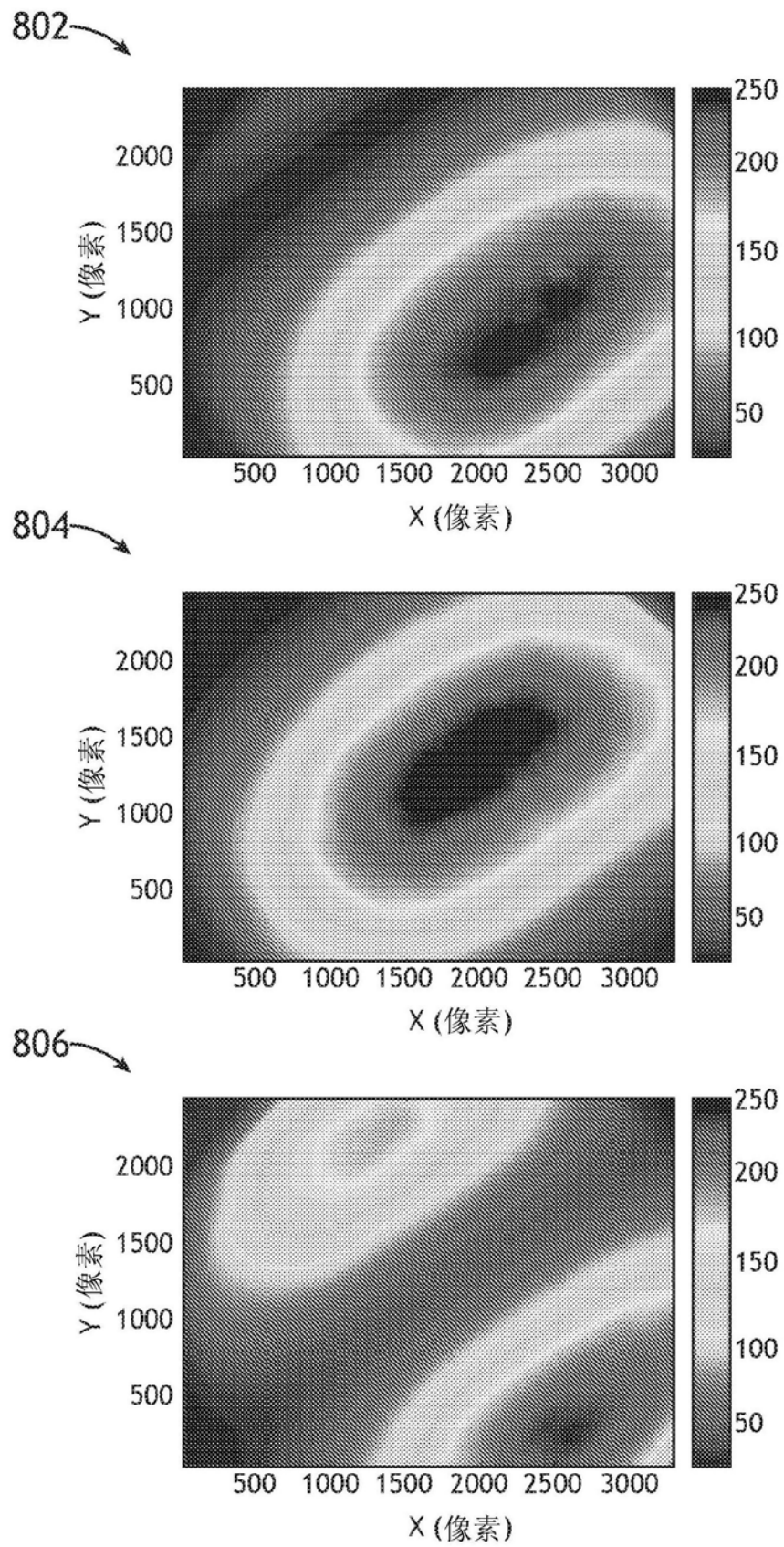


图8

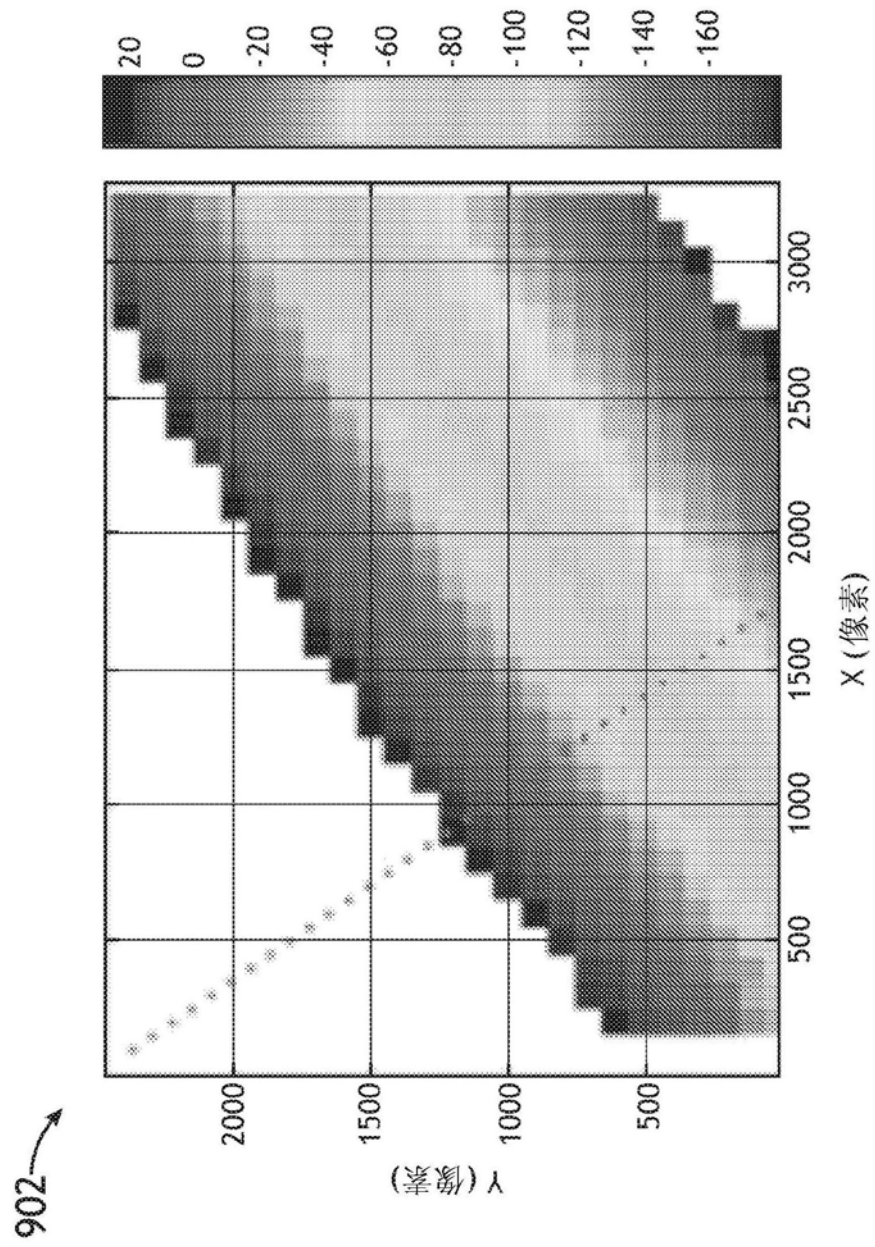


图9

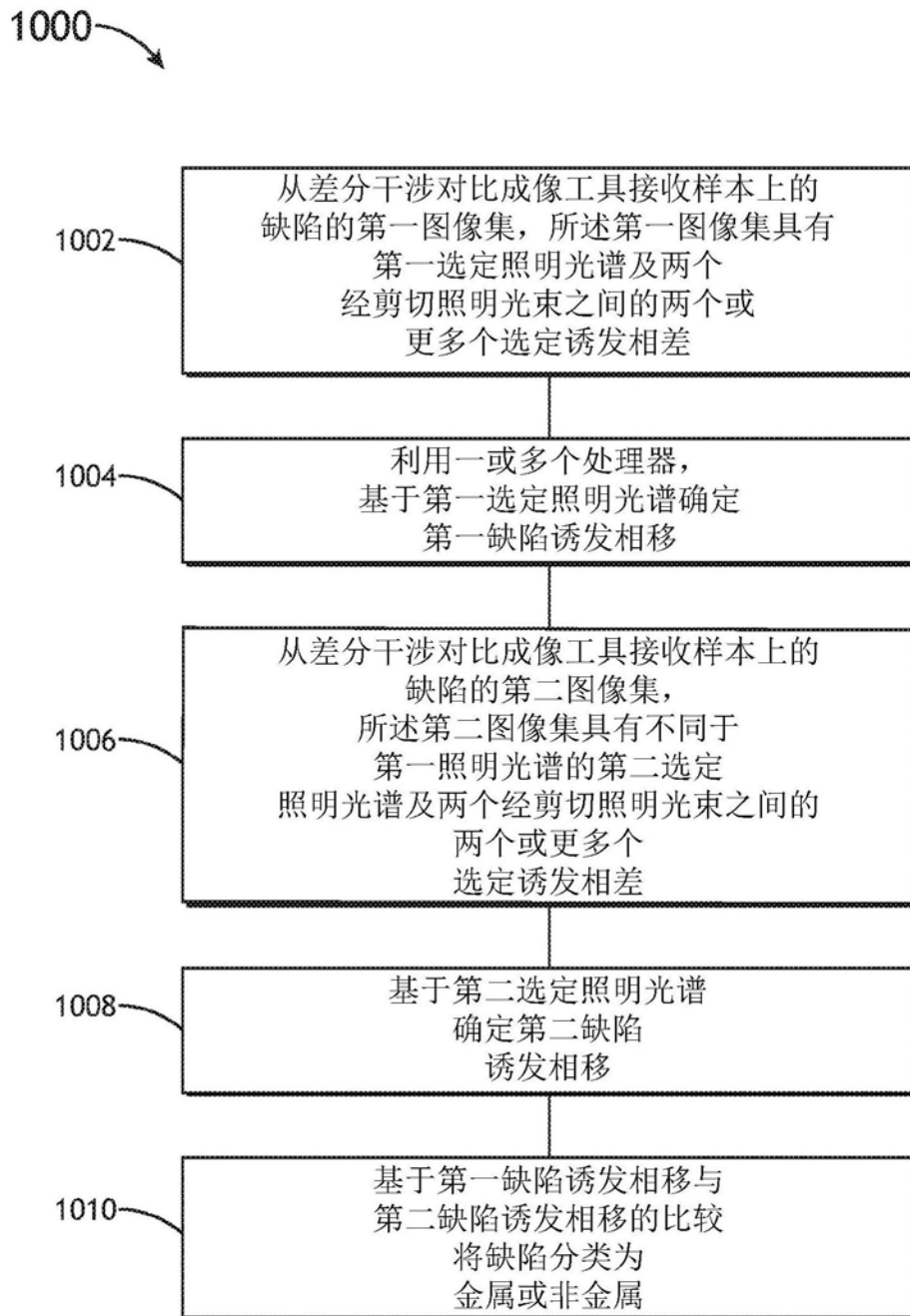


图10