



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 117001534 A

(43) 申请公布日 2023. 11. 07

(21) 申请号 202310816202.2

(22) 申请日 2019.08.28

(30) 优先权数据

62/735,772 2018.09.24 US

(62) 分案原申请数据

201980066820.1 2019.08.28

(71) 申请人 应用材料公司

地址 美国加利福尼亚州

(72) 发明人 B·切里安 J·钱 N·威斯韦尔

D·J·本韦格努 B·A·斯韦德克

T·H·奥斯特海德

(74) 专利代理机构 上海专利商标事务所有限公

司 31100

专利代理师 侯颖嫒 张鑫

(51) Int.Cl.

B24B 49/04 (2006.01)

B24B 37/005 (2012.01)

H01L 21/67 (2006.01)

H01L 21/304 (2006.01)

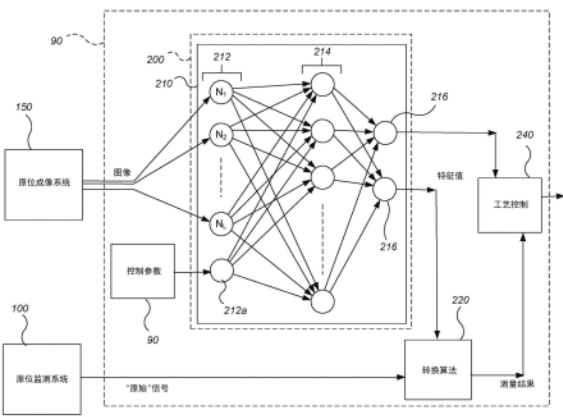
权利要求书2页 说明书9页 附图7页

(54) 发明名称

以机器视觉作为对CMP工艺控制算法的输入

(57) 摘要

本申请涉及以机器视觉作为对CMP工艺控制算法的输入。在基板的化学机械抛光期间,通过第一原位监测系统来确定取决于经受抛光的基板上的测量点中的层的厚度的信号值。通过第二原位成像系统产生至少基板的测量点的图像。机器视觉处理(例如卷积神经网络)用于基于图像来确定测量点的特征值。然后,基于特征值和信号值两者来计算测量值。



1. 一种抛光系统,包括:

支撑件,所述支撑件用于保持抛光垫;

承载头,所述承载头用于使基板保持与所述抛光垫接触;

电机,所述电机用于产生所述支撑件与所述承载头之间的相对运动;

第一原位监测系统,所述第一原位监测系统产生信号,所述信号取决于在所述基板上的测量点中的层的厚度;

第二原位成像系统,所述第二原位成像系统与所述第一原位监测系统产生针对所述基板上的所述测量点的所述信号基本上同时地产生至少所述基板的所述测量点的图像;以及

控制器,所述控制器被配置成

接收来自所述第二原位成像系统的所述图像,

接收来自所述第一原位监测系统的所述信号,

基于所述图像并且使用对所述图像的机器视觉处理来确定与所述测量点相对应的所述图像的一部分的结构类别,

执行将来自所述第一原位监测系统的所述信号转换为针对所述测量点的厚度值,其中针对所述测量点的所述结构类别影响所述转换,以及

基于所述厚度值来进行下列各项中的至少一者:停止抛光所述基板;或调整抛光参数。

2. 如权利要求1所述的系统,其中所述机器视觉处理包括人工神经网络。

3. 如权利要求2所述的系统,其中所述机器视觉处理包括卷积神经网络。

4. 如权利要求2所述的系统,其中所述控制器被配置为使用包括图像和所述图像的已知结构类别的训练数据通过反向传播来训练所述人工神经网络。

5. 如权利要求1所述的系统,其中所述第一原位监测系统包括光谱监测系统以产生针对所述测量点的测得的光谱。

6. 如权利要求5所述的系统,其中所述结构类别将所述图像的所述部分分类为阵列、刻划线、外围或接触垫中的一者。

7. 如权利要求5所述的系统,其中所述控制器被配置为存储参考光谱的多个库,其中所述参考光谱中的每个参考光谱具有相关联的厚度值,并且所述控制器被配置为基于所述结构类别来选择所述多个库中的一个库。

8. 如权利要求7所述的系统,其中所述控制器被配置为通过以下操作来执行所述转换:将所述测得的光谱与所选择的库的所述参考光谱进行比较并从所述参考光谱确定最匹配的参考光谱,并且确定与最匹配的参考光谱相关联的所述厚度值。

9. 如权利要求1所述的系统,其中所述控制器被配置为确定与所述测量点相对应的所述图像的一部分。

10. 如权利要求9所述的系统,其中所述控制器被配置为将来自所述第二原位成像系统的图像数据与来自所述第一原位监测系统的信号值同步。

11. 一种抛光系统,包括:

支撑件,所述支撑件用于保持抛光垫;

承载头,所述承载头用于使基板的表面保持与所述抛光垫接触;

电机,所述电机用于产生所述支撑件与所述承载头之间的相对运动;

第一原位监测系统,所述第一原位监测系统产生信号,所述信号取决于在所述基板上

的测量点中的层的厚度；

第二原位成像系统，所述第二原位成像系统与所述原位监测系统产生针对所述基板上的所述测量点的所述信号基本上同时地产生至少所述基板的所述测量点的图像；以及

控制器，所述控制器被配置成

接收来自所述第二原位成像系统的所述图像，

接收来自所述原位监测系统的所述信号，

基于所述图像并且使用对所述图像的机器视觉处理来确定与取向和/或距离相关的几何值，所述取向和/或距离为在与所述测量点对应的所述图像的一部分中的特征的所述基板的所述表面的平面内的取向和/或距离，

执行将来自所述原位监测系统的所述信号转换为针对所述测量点的厚度值，其中针对所述测量点的所述几何值影响所述转换，以及

基于所述厚度值来进行下列各项中的至少一者：停止抛光所述基板；或调整抛光参数。

12. 如权利要求11所述的系统，其中所述机器视觉处理包括人工神经网络。

13. 如权利要求12所述的系统，其中所述机器视觉处理包括卷积神经网络。

14. 如权利要求12所述的系统，其中所述控制器被配置为使用包括图像和所述图像的已知几何值的训练数据通过反向传播来训练所述人工神经网络。

15. 如权利要求11所述的系统，其中所述第一原位监测系统包括涡流监测系统以产生针对所述测量点的信号值。

16. 如权利要求11所述的系统，其中所述几何值包括针对影响所述测量点中电流的特征的所述基板的所述表面的所述平面内的距离、尺寸或取向中的至少一者。

17. 如权利要求11所述的系统，其中所述控制器被配置为基于所述几何值来计算增益并且将所述信号值乘以所述增益。

18. 如权利要求11所述的系统，其中所述控制器被配置为确定与所述测量点对应的所述图像的一部分。

19. 如权利要求18所述的系统，其中所述控制器被配置为将来自所述第二原位成像系统的图像数据与来自所述第一原位监测系统的信号值同步。

以机器视觉作为对CMP工艺控制算法的输入

[0001] 本申请是申请日为2019年8月28日、申请号为201980066820.1、名称为“以机器视觉作为对CMP工艺控制算法的输入”的中国专利申请(PCT申请号为PCT/US2019/048636)的分案申请。

技术领域

[0002] 本公开内容涉及例如在诸如化学机械抛光之类的处理期间的基板的光学监测。

背景技术

[0003] 通常通过将导电层、半导体层或绝缘层顺序沉积到硅晶片上来在基板上形成集成电路。一个制造步骤涉及将填料层沉积在非平面的表面上,并将填料层平坦化。对于一些应用,填料层被平坦化,直到暴露出图案化层的顶表面。例如,可在图案化绝缘层上沉积导电填料层以填充绝缘层中的沟槽或孔。在平坦化之后,剩余在绝缘层的凸起图案之间的导电层的部分形成通孔、插头和线,所述通孔、插头和线在基板上的薄膜电路之间提供导电路径。对于其他应用,将填料层平坦化,直到在下层上保留预定厚度为止。例如,沉积的介电层可以被平坦化以用于光刻。

[0004] 化学机械抛光(CMP)是一种被接受的平坦化方法。此平坦化方法通常需要将基板安装在承载头上。通常将基板的暴露表面抵靠在具有耐用粗糙表面的旋转抛光垫上。承载头在基板上提供可控制的负载,以将基板推靠在抛光垫上。通常将抛光液体(诸如具有研磨颗粒的浆料)供应至抛光垫的表面。

[0005] CMP中的一个问题是使用适当的抛光速率来实现期望的轮廓,例如,已经被平坦化至期望的平坦度或厚度或已经去除期望量的材料的基板层。基板层的初始厚度、浆料分布、抛光垫状况、抛光垫与基板之间的相对速度、以及基板上的负载的变化可导致整个基板上以及各基板之间的材料去除速率的变化。这些变化导致到达抛光终点所需的时间和去除量的变化。因此,不可能仅将抛光终点确定为抛光时间的函数,也不可能仅通过施加恒定压力来实现期望的轮廓。

[0006] 在一些系统中,在抛光期间例如通过光学监测系统或涡流监测系统对基板进行原位监测。来自原位监测系统的厚度测量结果,可用于调节施加到基板上的压力,从而调节抛光速率并减少晶片内不均匀性(WIWNNU)。

发明内容

[0007] 一种抛光系统,包含:用于保持抛光垫的支撑件;用于使基板保持与抛光垫接触的承载头;用于产生支撑件与承载头之间的相对运动的电机;用于产生信号的第一原位监测系统,所述信号取决于在基板上的测量点中的层的厚度;第二原位成像系统,所述第二原位成像系统用于在原位监测系统产生针对基板上的测量点的信号的基本上同时,产生至少基板的测量点的图像;以及控制器。控制器被配置成:接收来自第二原位成像系统的图像,并使用机器视觉处理基于图像确定测量点的特征值;接收来自原位监测系统的信号;基于特

征值与信号值两者来产生测量值；以及基于测量值来进行下列各项中的至少一者：停止抛光基板；或调整抛光参数。

[0008] 在另一方面，一种用于控制基板的处理的计算机程序产品包含用于使一个或多个处理器执行以下操作的指令：从第一原位监测系统接收信号值，所述信号值取决于在经受抛光的基板上的测量点中的层的厚度；从第二原位成像系统接收至少针对基板的测量点的图像数据；使用机器视觉处理基于图像确定测量点的特征值；基于特征值与信号值两者来产生测量值；以及基于测量值来进行下列各项中的至少一者：停止抛光基板；或调整抛光参数。

[0009] 实现可包含下列特征中的一个或多个。

[0010] 机器视觉处理可以包括使用人工神经网络来处理图像。人工神经网络可以是卷积神经网络。控制器可被配置为使用包括图像和图像的已知特征值的训练数据、通过反向传播来训练人工神经网络。

[0011] 第一原位监测系统可包括光谱监测系统，以产生针对测量点的测得的光谱。人工神经网络可被配置为确定对应于测量点的基板的一部分的分类，分类可对应于基板上的结构类型。结构类型可包括阵列、刻划线、外围和接触垫中的至少一个。可以基于分类来选择多个参考光谱库中的一个参考光谱库。

[0012] 第一原位监测系统可包括涡流监测系统以产生针对测量点的信号值。人工神经网络可被配置为确定影响测量点中的电流的特征的几何值。几何值可包括距离、尺寸或取向中的至少一个。

[0013] 可以确定与测量点相对应的图像数据的一部分。可以将来自第二原位成像系统的图像数据与从第一原位监测系统收集的信号同步。

[0014] 某些实现可具有下列优点中的一个或多个。工艺控制技术可以针对管芯的性能敏感部分。可以更准确和/或更快速地测量基板上的层的厚度。可以减小晶片内厚度不均匀性和晶片间厚度不均匀性(WIWN和WTWN)，并且可以提高用于检测所期望的处理终点的终点系统的可靠性。CMP后度量可以基于产品的良率和/或性能敏感部分，而不是平均管芯厚度(平均管芯厚度可能包括与产品性能无关的管芯区域)。

[0015] 在附图与以下说明书中阐述一个或多个实施例的细节。根据说明书、附图以及权利要求，其他特征、方面和优点将变得显而易见。

附图说明

[0016] 图1示出了抛光设备的示例的示意性截面图。

[0017] 图2A是原位光学监测系统的示意图。

[0018] 图2B是原位涡流监测系统的示意图。

[0019] 图3是抛光设备的示意性俯视图。

[0020] 图4示出了线扫描成像系统的示意图。

[0021] 图5示出了用作抛光设备的控制器的一部分的神经网络。

[0022] 图6示出了测量值随时间变化的曲线图。

[0023] 在各种附图中，相同的附图标记与命名指示相同的元件。

具体实施方式

[0024] 可使用各种技术(例如涡流监测和光学监测)以在处理期间监测基板。此类监测技术可以以两阶段的方式进行。首先,将来自监测系统的原始信号(例如,来自分光光度计的测量光谱或来自涡流监测系统的电压)转换为更有用的测量形式(例如,表示通过抛光进度的指标或厚度值)。然后,可以监测随着处理进展的随时间推移的测量序列,以用于工艺控制。例如,可将函数拟合到测量序列,并且函数预计到达阈值的时间可以用于触发抛光终点或用于控制其他抛光参数。

[0025] 如果监测系统的传感器扫过基板,则可以在基板上的不同位置进行测量。因此,可以在基板的不同区域进行测量,例如,在管芯内而不是刻划线内进行测量,或者在管芯内的不同区域(例如,阵列、接触垫等)进行测量。这些不同的区域可以具有不同属性并提供不同的原始信号。确定所进行测量的区域的类型将是有用的,以便将原始信号正确地转换为有用的测量。

[0026] 尽管例如由于基板相对于承载头的旋转滑动而可以确定测量的径向位置,但是可能根本不知道基板上的测量的角位置。因此,商业化的原位监测技术在将原始信号转换为有用的测量值时没有考虑到测量是在管芯中的何处进行的。

[0027] 而且,尽管一些监测系统执行滤波以排除一些原始信号(例如基于频谱的形状来排除频谱),但是此类技术没有使用来自基板周围部分的信息。

[0028] 然而,可以通过机器学习技术(例如卷积神经网络)来处理由原位成像器收集的图像,以确定正由另一监测系统执行测量的基板的特性。此特性可以是例如正在进行测量的区域的类型(例如刻划线、阵列、外围),或者各种特征(例如保护环)到测量位置的相对取向和/或距离。然后将特性作为输入提供给原位监测系统,以影响原始信号到测量的转换。

[0029] 图1示出了抛光设备100的示例。抛光设备20可包含可旋转碟形工作台22,抛光垫30位于可旋转碟形工作台22上。工作台可操作以围绕轴23旋转。例如,电机24可转动驱动轴26以旋转工作台22。

[0030] 抛光垫30可以例如通过粘合剂层可拆卸地固定到工作台22。抛光垫30可以是具有外侧抛光层32和较软的背层34的双层抛光垫。可在抛光垫30中形成窗口36。

[0031] 抛光设备20可包含抛光液体供应端口40以将抛光液体42(诸如研磨浆)分配到抛光垫30上。抛光设备20还可包含抛光垫调节器用于打磨抛光垫30,以使抛光垫30维持在一致的研磨状态中。

[0032] 承载头50可操作以将基板10保持抵靠在抛光垫30上。每个承载头50还包含多个独立可控的可增压腔室,例如三个腔室52a-52c,腔室52a-52c可将独立可控的增压施加至基板10上的相关联的区域。基板上的中心区域可以是基本上圆形的,而其余区域可以是围绕中心区域的同心环形区域。

[0033] 腔室52a-52c可以由柔性膜54限定,柔性膜54具有底表面,基板10安装到所述底表面。承载头50还可包含扣环56以将基板10保持在柔性膜54之下。虽然为了便于说明,图1仅示出三个腔室,但可存在单个腔室、两个腔室、或四个或更多个腔室,例如五个腔室。另外,可以在承载头50中使用其他机制来调节施加到基板上的压力,例如压电致动器。

[0034] 每个承载头50从支撑结构60(例如转盘或轨道)悬挂,并且由驱动轴62连接至承载

头旋转电机64,使得承载头可绕轴51旋转。可选地,每个承载头50可通过沿着轨道的运动或通过转盘自身的旋转振荡来(例如在转盘上的滑动件上)横向振荡。在操作中,工作台22绕工作台22的中央轴23旋转,并且承载头50绕承载头50的中央轴51旋转并跨抛光垫30的顶表面横向平移。

[0035] 抛光设备还包括第一原位监测系统100和第二原位成像系统150。原位监测系统150和原位成像系统150可以一起用于控制抛光参数,例如,腔室52a-52c中的一者或多者中的压力,和/或检测抛光终点和停止抛光。

[0036] 第一原位监测系统100包括传感器100a(参见图3),传感器100a产生取决于被抛光层的厚度的原始信号。第一原位监测系统100可以是例如涡流监测系统或光学监测系统,例如光谱监测系统。

[0037] 传感器可以配置为扫过基板。例如,传感器可以被固定到工作台22并与工作台22一起旋转,使得随着工作台的每次旋转,传感器以弧形扫过基板。

[0038] 参照图2A,作为光学监测系统,第一原位监测系统100可包括光源102、光检测器104以及电路系统106,电路系统106用于在控制器90(例如计算机)与光源102以及光检测器104之间发送和接收信号。一根或多根光纤可用于将光从光源102传输到窗口36,并将从基板10反射的光传输到检测器104。例如,可以使用分叉光纤108将光从光源102传输到窗口36并返回到检测器104。在此实现中,分叉光纤108的端部可以提供扫过基板的传感器。如果光学监测系统是光谱系统,则光源102可以可操作以发射白光,并且检测器104可以是光谱仪。

[0039] 参照图2B,作为涡流监测系统,第一原位监测系统100可以包括磁芯112和缠绕在芯114的一部分周围的至少一个线圈114。驱动和感测电路系统116电连接到线圈114。驱动和感测电路系统116可以将AC电流施加到线圈114,线圈114在芯112的两个极之间产生磁场,此磁场可以进入基板10。在此实现中,芯112和线圈114可以提供扫过基板的传感器。电路系统116可以包括与线圈114并联连接的电容器。线圈114和电容器可以一起形成LC谐振回路(resonant tank)。当磁场到达导电层时,磁场150可以穿过并产生电流(如果所述层是回路)或产生涡流(如果所述层是薄片)。这修改了LC电路的有效阻抗。驱动和感测电路系统116可以检测有效阻抗的变化,并生成可以发送到控制器90的信号。

[0040] 在任一种情况下,电路系统106或电路系统116的输出可以是数字电子信号,所述数字电子信号通过驱动轴26中的旋转耦合器28(例如滑环)到达控制器90(见图1)。替代地,电路系统106或电路系统116可以通过无线信号与控制器90通信。电路系统106或电路系统116中的一些或全部可以安装在工作台22中。

[0041] 控制器90可以是包括微处理器、存储器和输入/输出电路系统的计算装置,例如可编程计算机。尽管以单个框示出,但是控制器90可以是具有分布在多个计算机上的功能的联网系统。

[0042] 由于控制器90可以执行信号的一部分处理(例如,将“原始”信号转换为可用的测量结果),因此可以认为控制器90提供了第一监测系统的一部分。

[0043] 如图3所示,由于工作台的旋转(由箭头A所示),当传感器100a在承载头下方行进时,第一原位监测系统以采样频率进行测量。作为结果,测量是在横跨基板10的弧形中的位置94处进行的(点的数量是说明性的;取决于采样频率,可以进行比示出的更多或更少的测量)。基板也可以旋转(由箭头B所示)和径向振动(由箭头C所示)。

[0044] 抛光系统20可以包括诸如光学中断器之类的位置传感器96以感测第一原位监测系统100的传感器100a何时在基板10下方以及何时传感器100a离开基板10。例如,位置传感器96可以安装在与承载头70相对的固定位置。标记98可被附接到工作台22的外围。选择标记98的附接点与长度,以使得当传感器100a扫过基板10下方时,标记98可以向位置传感器96发送信号。

[0045] 替代地或另外地,抛光系统20可包括编码器,以确定工作台22的角位置。

[0046] 在工作台的一圈旋转中,从基板10上的不同位置获得光谱。具体而言,一些光谱可以从更靠近基板10的中心的位置获得,而一些光谱可以从更靠近边缘的位置获得。控制器90可以被配置为基于定时、电机编码器信息、工作台旋转或位置传感器数据、和/或基板和/或扣环的边缘的光学检测来计算来自扫描的每次测量的径向位置(相对于基板10的中心)。因此,控制器可以将各种测量结果与基板上的各种区域相关联。在一些实现中,测量的时间可以用作径向位置的精确计算的替代。

[0047] 原位成像系统150定位成生成与第一原位监测系统100正在测量的基板10的基本上相同的部分的图像。简而言之,成像系统的相机与原位监测系统100的传感器位于同一位置。

[0048] 参照图4,原位成像系统150可以包括光源152、光检测器154以及电路系统156,电路系统156用于在控制器90与光源152以及光检测器154之间发送和接收信号。

[0049] 光源152可以可操作以发射白光。在一个实现中,所发射的白光包括具有200-800纳米的波长的光。合适的光源是白光发光二极管(LED)阵列,或者氙灯或汞灯。光源152被定向为以非零入射角 α 将光158引导到基板10的暴露表面上。入射角 α 可以是例如大约30°至75°,例如50°。

[0050] 光源152可以照亮基本上线性的细长区域。细长区域可以跨越基板10的宽度。光源152可以包括光学器件(例如扩束器),以将来自光源的光散布到细长区域中。替代地或另外地,光源152可包括光源的线性阵列。光源152本身以及在基板上所照亮的区域可以是细长的,并且具有平行于基板表面的纵轴。

[0051] 可以将扩散器160放置在光168的路径中,或者光源162可以包括扩散器,以在光到达基板10之前将光扩散。

[0052] 检测器154是对来自光源152的光敏感的相机,例如彩色相机。相机包括检测器元件阵列。例如,相机可包括CCD阵列。在一些实现中,阵列是单排检测器元件。例如,相机可以是线扫描相机。所述一排检测器元件可以平行于由光源152照亮的细长区域的纵轴延伸。在光源165包括一排发光元件的情况下,所述一排检测器元件可以沿着平行于光源152的纵轴的第一轴延伸。一排检测器元件可以包含1024个或更多个元件。

[0053] 检测器154配置有适当的聚焦光学器件162,以将基板的视场投射到检测器154的检测器元件的阵列上。视场可以足够长以查看基板10的整个宽度,例如150mm至300mm长。检测器164也可以被配置为使得像素宽度与像素长度相当。例如,线扫描相机的优点是其非常快的帧率(frame rate)。帧率可以为至少5kHz。可以将帧率设置为这样的频率,使得当被成像区域在整个基板10上扫描时,像素宽度与像素长度相当,例如等于或小于大约0.3毫米。

[0054] 可以将光源162和光检测器164支撑在工作台凹部的凹部中,例如保持第一原位监测系统100的传感器的同一凹部中。

[0055] 具有跨基板一起移动的线扫描相机和光源的可能优点是,例如,与常规2D相机相比,对于整个晶片上的不同位置,光源与相机之间的相对角度保持恒定。因此,可以减少或消除由视角变化引起的伪像。另外,线扫描相机可以消除透视失真,而传统的2D相机则表现出固有的透视失真,然后需要通过图像变换来对透视失真进行校正。

[0056] 可选地,可将偏振滤光器164定位在光路径中,例如在基板10与检测器154之间。偏振滤光器164可以是圆偏振器(CPL)。典型的CPL是线性偏振器和四分之一波片的组合。偏振滤光器164的偏振轴的恰当定向可以减少图像中的雾度并且锐化或增强期望的视觉特征。

[0057] 控制器90将来自光检测器154的各个图像线组装成二维图像。相机164可以是具有例如针对红色、蓝色和绿色中的每一者的单独的检测器元件的彩色相机,在这种情况下,控制器90将来自光检测器154的各个图像线组装成二维彩色图像。二维彩色图像可以包括针对每个颜色通道(例如,针对红色通道、蓝色通道和绿色通道中的每一者)的单色图像204、206、208。

[0058] 参考图5,控制器90可以将来自原位监测系统的原始信号转换成有用的测量结果。控制器90使用来自第一原位监测系统100的信号和来自第二原位成像系统150的图像数据两者来计算测量结果。可以将来自原位成像系统150收集的图像与从第一原位监测系统100收集的数据流同步。

[0059] 具体而言,控制器90将图像从原位成像系统150馈送到机器视觉系统200,机器视觉系统200被配置为导出由第一原位监测系统100测量的基板部分的特征值。机器视觉系统可以包括例如神经网络210。神经网络210可以是卷积神经网络。

[0060] 神经网络210包括多个输入节点212,例如针对来自原位成像系统150的图像中的每个像素的输入节点212。这些输入节点212可以包括输入节点 N_1 、 N_2 …… N_L 。神经网络210还包括多个隐藏节点214(以下也称为“中间节点”)和至少一个输出节点216,所述至少一个输出节点216将生成至少一个特征值。

[0061] 一般而言,隐藏节点214输出的值是来自连接到隐藏节点的节点的值的加权和非线性函数。

[0062] 例如,指定为节点k的隐藏节点214的输出可以表示为:

[0063] $\tanh(0.5 * a_{k1}(I_1) + a_{k2}(I_2) + \dots + a_{kM}(I_M) + b_k)$ 等式1

[0064] 其中 $\tanh$ 是双曲正切, a_{kx} 是在(M个输入节点中)第k个中间节点与第x个输入节点之间的连接权重,并且 I_M 是在第M个输入节点处的值。然而,可以使用其他非线性函数来代替 $\tanh$,诸如整流线性单元(ReLU)函数及其变体。

[0065] 神经网络210的架构可以在深度和宽度上变化。尽管神经网络210示出为具有一列中间节点214,但是实际情况中神经网络将包括许多列,这些列可以具有各种连接。卷积神经网络可以执行卷积和池化的多次迭代,然后进行分类。

[0066] 可以例如在训练模式下使用带有样本图像和样本特征值的反向传播来训练神经网络210。因此,在操作中,机器视觉系统200基于来自原位成像系统150的图像来生成特征值。这可以针对从原位监测系统100接收到的“原始信号”的每个值来执行。

[0067] 将来自原位监测系统100的原始信号和与原始信号同步(例如,对应于基板上的相同点)的特征值输入到转换算法模块220中。转换算法模块220根据特征值和原始信号来计算测量值。

[0068] 测量值通常是外层的厚度,但是可以是相关的特性,诸如去除的厚度。另外,测量值可以是基板通过抛光工艺的进度的更一般的表示,例如代表在遵循预定进度的抛光工艺中预期将观察到测量值的工作台旋转的时间或次数的指标值。

[0069] 可以将测量值馈送到工艺控制子系统240以基于一系列的特征值来调整抛光工艺,例如,检测抛光终点并停止抛光和/或在抛光工艺期间调整抛光压力以减少抛光不均匀性。工艺控制模块240可以输出处理参数,例如,用于承载头中的腔室的压力和/或用于停止抛光的信号。

[0070] 例如,参照图6,第一函数254可以拟合到第一区域的测量值252的序列250,并且第二函数264可以拟合到第二区域的特征值262的序列260。工艺控制器240可以计算预计第一函数和第二函数达到目标值V的时间T1和T2,并计算将使区域中的一个区域被以修正的速率抛光(由线270所示)的经调整的处理参数(例如经调整的承载头压力),使得各区域大约在同一时间到达目标。

[0071] 在函数指示特征值达到目标值V时,可以由工艺控制器240触发抛光终点。

[0072] 在一些实现中,可以在转换算法模块220或工艺控制模块240处组合多个测量值。例如,如果系统从传感器跨基板的单次扫描生成多个测量值,则转换算法模块220可以将来自单次扫描的多个测量结果组合起来,以生成基板上每次扫描的单个测量结果或每个径向区域的单个测量结果。然而,在一些实现中,针对每个位置94生成测量值,传感器100a为每个位置94生成原始信号值(参见图3)。

[0073] 在一些实现中,神经网络210在多个输出节点216处生成多个特征值。一个或多个附加的特征值(即除了代表厚度测量结果的特征值以外的特征值)可以代表基板的其他特征,例如晶片取向、晶片上的结构类型(例如存储器阵列、中央处理单元)。可以将附加的特征值馈送到工艺控制240中。

[0074] 示例1

[0075] 原位监测系统100可以是光谱监测系统。可由光谱监测系统和原位成像系统150的传感器使用相同的窗口36。以原位监测系统100的光谱获取时间为中心的来自原位成像系统150的线扫描相机的数据窗口,可以用于重建从中收集光谱的基板10的部分的二维图像。

[0076] 机器视觉系统200可以包括卷积神经网络(CNN) 210。为了训练神经网络210,可以用相关类别(例如阵列、刻划线、外围、接触垫等)来手动识别来自一个或多个参考基板的一系列图像。对图像分配类别有时被称为“注释”。然后,可以在训练模式下(例如使用反向传播)将来自参考基板的图像和类别输入到神经网络,以训练神经网络210作为图像分类器。应注意,可以经由转移学习的使用,用相对少量的带注释的图像来训练此类图像分类器,在转移学习中,将来自新域的几个附加图像示出给预训练的图像分类网络。

[0077] 在操作中,在产品基板的抛光期间,将图像馈送到神经网络210中。实时地使用神经网络210的输出,以将每个测得的光谱与从中获得光谱的基板部分的分类相关联。

[0078] 由卷积神经网络进行的图像分类可以在被馈送到用于厚度估计或预测的另一模型中之前与测得的光谱连结(concatenate)。

[0079] 可以由转换算法模块220使用此分类。例如,控制器90可以存储多个参考光谱库,其中每个参考光谱具有相关联的测量值,例如指标值。控制器90可以基于从神经网络210接收的分类来选择库中的一个。然后,可以例如通过找到相对于测得的光谱具有最小的平方

差之和的参考光谱来确定与测得的光谱最匹配的来自所选库的参考系统。然后可以将最匹配的参考光谱的指标值用作测量值。

[0080] 示例2

[0081] 原位监测系统100可以是涡流监测系统。涡流监测系统的传感器100a和原位成像系统150的传感器位于同一位置,例如定位在工作台同中的相同凹部中。原位成像系统150的线扫描相机产生时间同步图像,所述时间同步图像覆盖传感器100a跨基板的整个扫描。

[0082] 机器视觉系统200可以包括卷积神经网络(CNN)210。为了训练神经网络210,可以手动识别影响电流的基板特征(例如保护环)的几何形状(例如位置、尺寸和/或取向)。然后,可以在训练模式下(例如使用反向传播)将来自参考基板的图像和几何值输入到神经网络,以训练神经网络210作为特征几何重构器。

[0083] 在操作中,在产品基板的抛光期间,将图像馈送到神经网络210中。实时地使用神经网络210的输出,以将来自涡流监测系统的每个测得的值与从中获得光谱的基板部分的几何值相关联。

[0084] 由神经网络210生成的几何值可以由转换算法模块220使用。从涡流信号到电阻的映射取决于基板上的特征的相对取向和位置。例如,传感器100a对基板上的导电回路的灵敏度可以取决于回路的取向。控制器90可以包括基于几何值(例如取向)来计算增益的函数。然后可以将此增益施加到信号,例如可以将信号值乘以所述增益。因此,几何值可以用于调节如何解译涡流传感器数据。

[0085] 结论

[0086] 在本说明书中描述的本发明的实施例与所有功能性操作可以在数字电子电路系统中实现,或者在计算机软件、固件或硬件中实现,包括本说明书中公开的结构构件及其结构等效物,或者在它们的组合中实现。本发明的实施例可被实现为一个或多个计算机程序产品(即,一个或多个计算机程序),所述一个或多个计算机程序产品被有形地体现在机器可读存储介质中,以供由数据处理设备(例如可编程处理器、计算机、或多个处理器或计算机)执行或控制数据处理设备(例如可编程处理器、计算机、或多个处理器或计算机)的操作。计算机程序(也称为程序、软件、软件应用、或代码)可用任何形式的编程语言(包括编译语言或解释语言)编写,并且可以以任何形式进行部署,包括作为独立程序或作为适于在计算环境中使用的模块、部件、子例程、或其他单元进行部署。计算机程序不一定对应于文件。程序可被储存在保存其他程序或数据的档案的一部分中、专用于所讨论的程序的单个文件中、或在多个协同的文件中(例如,储存一个或多个模块、子程序、或代码的部分的文件)。计算机程序可被部署成在一个计算机上执行或在位于一个站点或分布在多个站点上并由通信网络互连的多个计算机上执行。

[0087] 本说明书描述的工艺与逻辑流程可由一个或多个可编程处理器执行,所述可编程处理器执行一个或多个计算机程序以通过对输入数据进行操作并产生输出来执行功能。工艺与逻辑流程也可由专用逻辑电路系统(例如FPGA(现场可编程门阵列)或ASIC(专用集成电路))来执行,并且设备也可实现为专用逻辑电路系统。

[0088] 上述抛光设备和方法可以应用于各种抛光系统中。抛光垫或承载头或两者可移动以提供抛光表面与基板之间的相对运动。例如,工作台可以绕轨道运动而不是旋转。抛光垫可以是固定到工作台的圆形(或一些其他形状)的垫。抛光系统可以是线性抛光系统,例如,

其中抛光垫是线性地移动连续带或盘式带(reel-to-reel belt)。抛光层可以是标准的(例如具有或不具有填料的聚氨酯)抛光材料、软材料或固定研磨材料。相对定位的术语是相对于部件的取向或定位使用的;应当理解,抛光表面和基板可以相对于重力保持在垂直取向或一些其他取向上。

[0089] 尽管上面的描述聚焦在化学机械抛光,但是控制系统可以适用于其他半导体处理技术,例如蚀刻或沉积,例如化学气相沉积。代替线扫描相机,可以使用对基板的二维区域进行成像的相机。在这种情况下,可能需要合并多个图像。

[0090] 已经描述了本发明的具体实施例。其他实施例在所附权利要求的范围内。

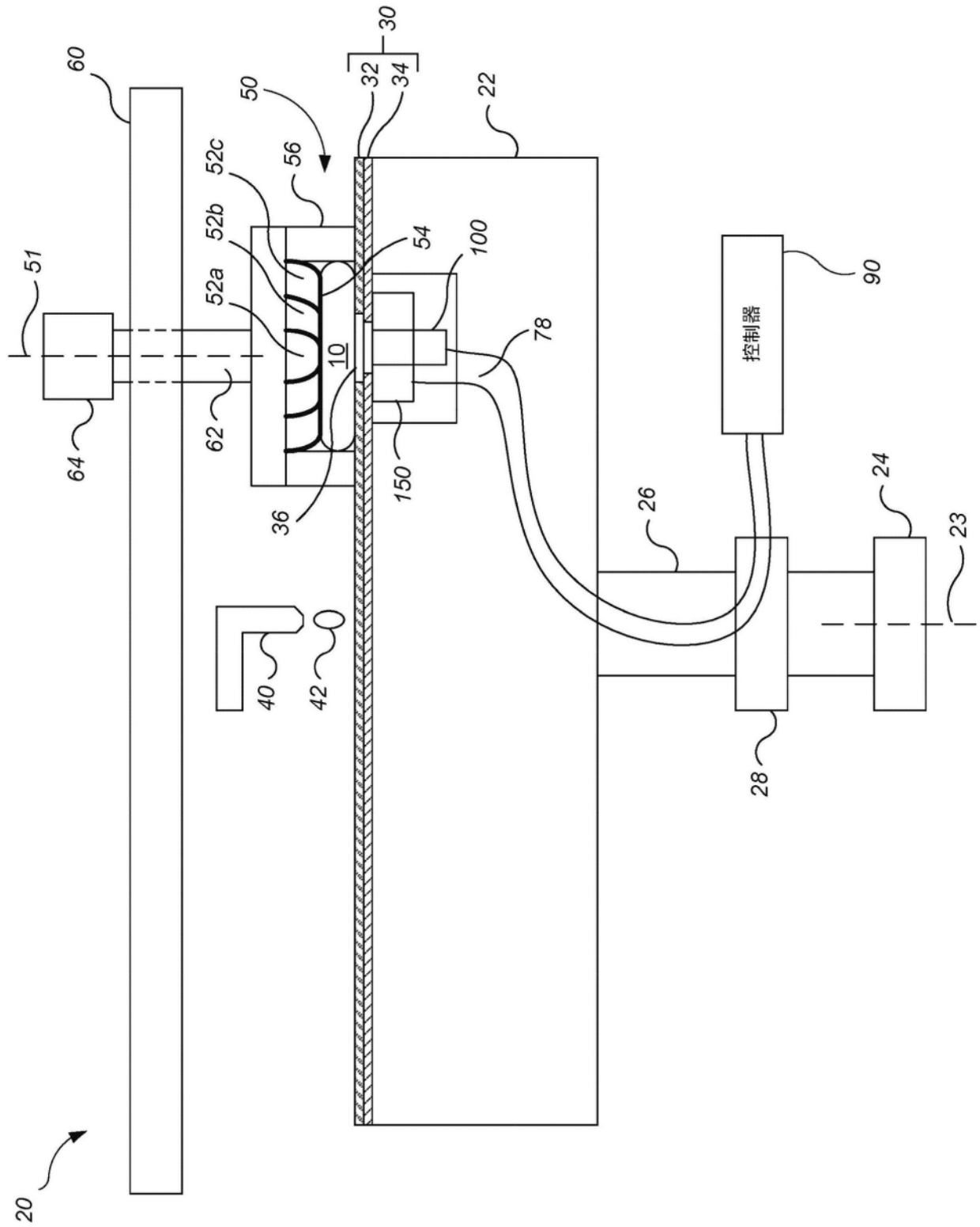


图1

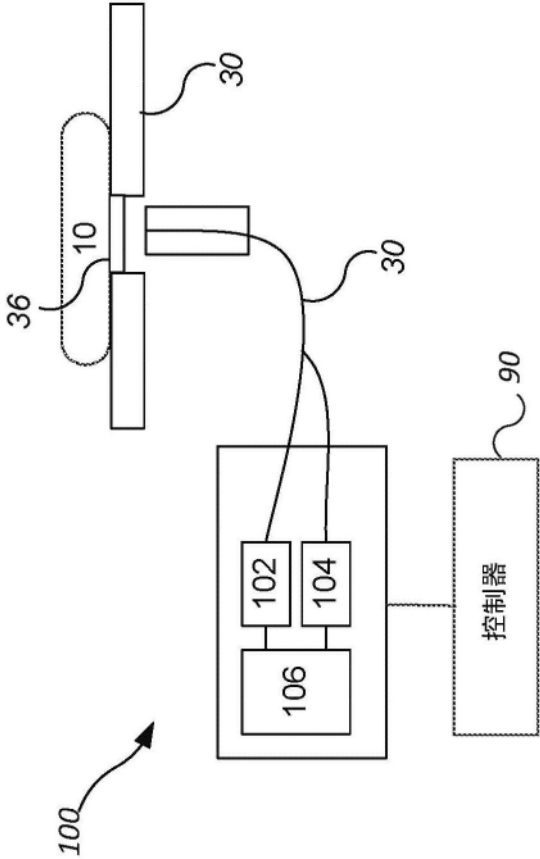


图2A

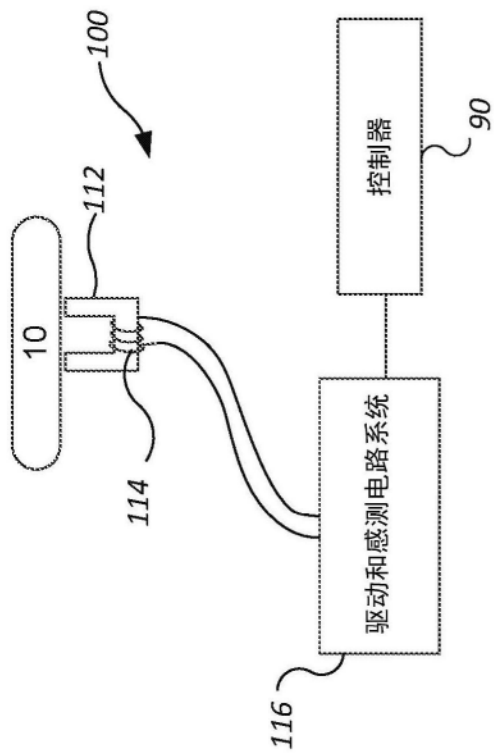


图2B

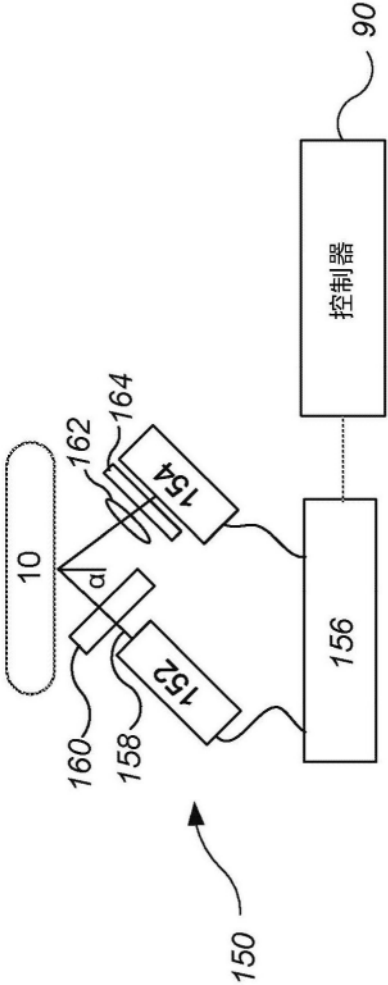


图4

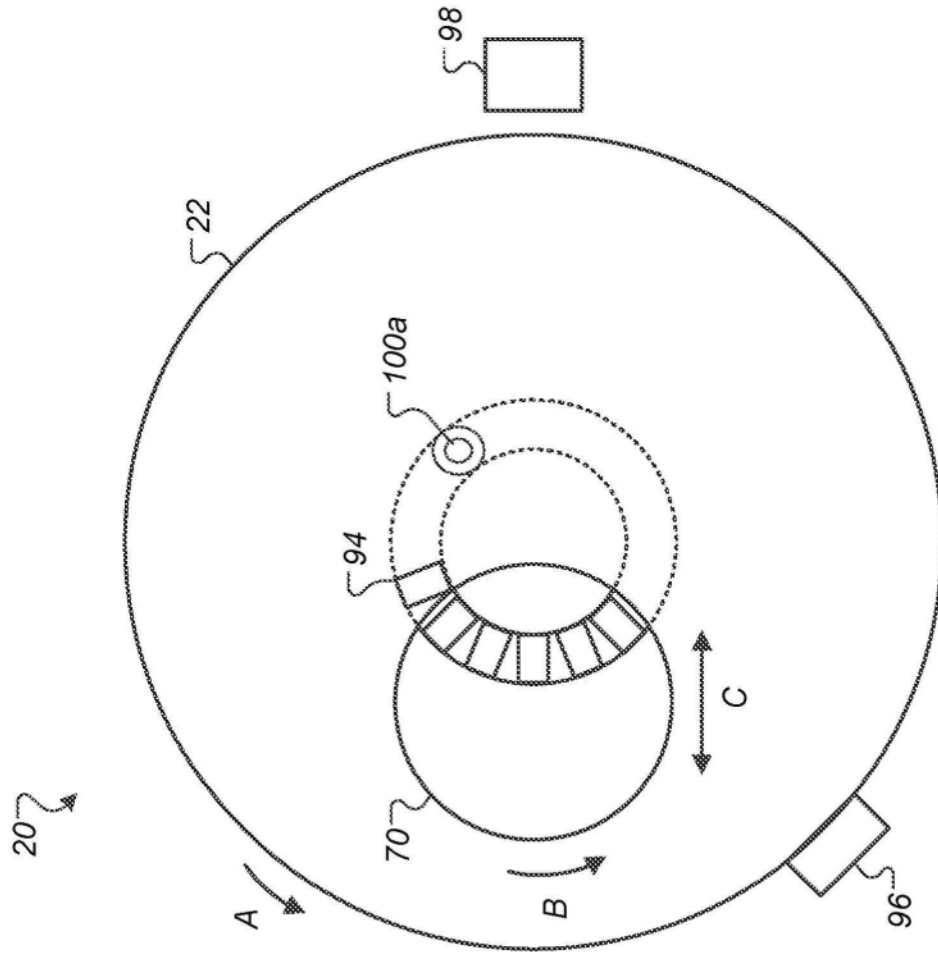


图3

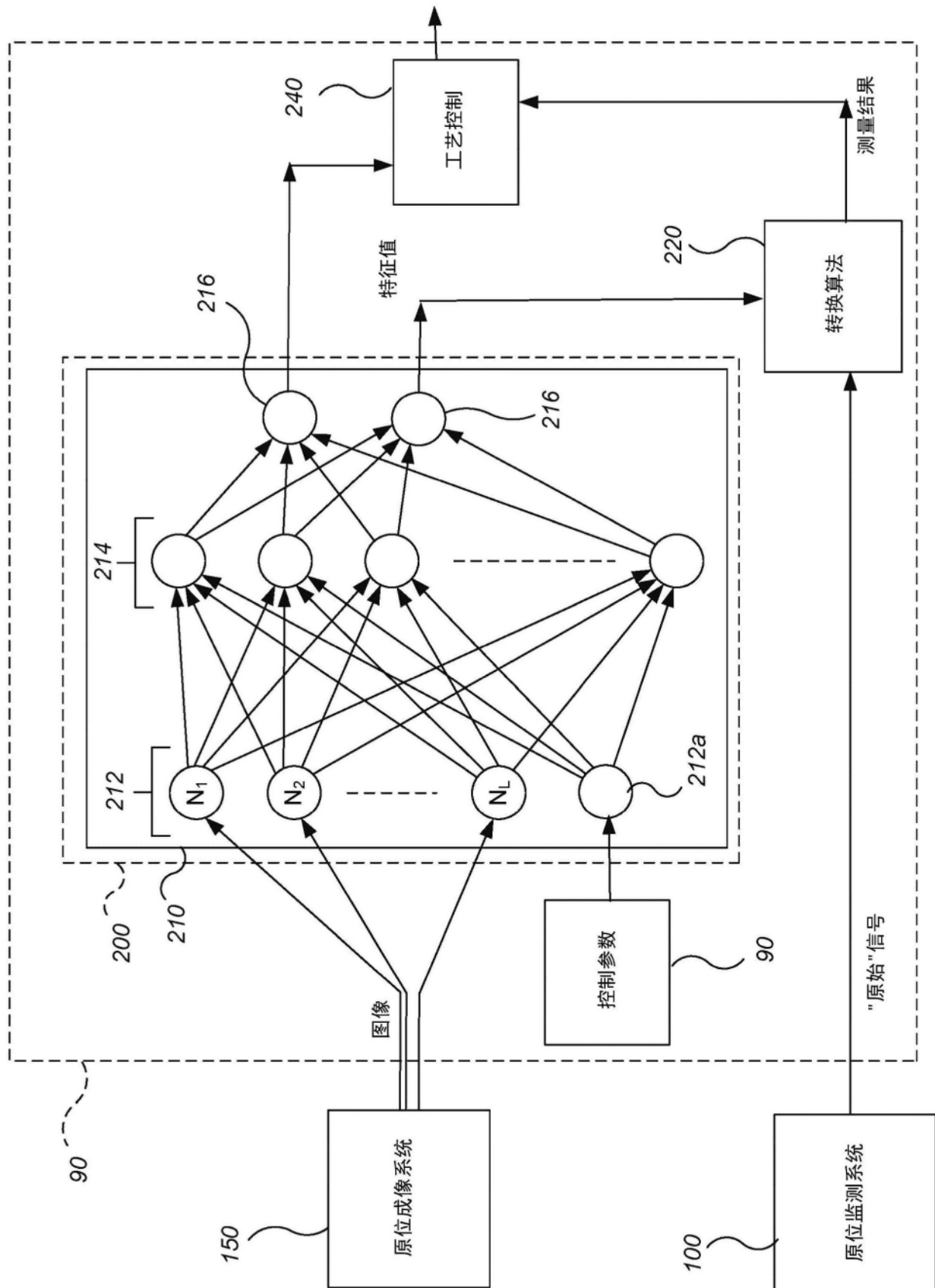


图5

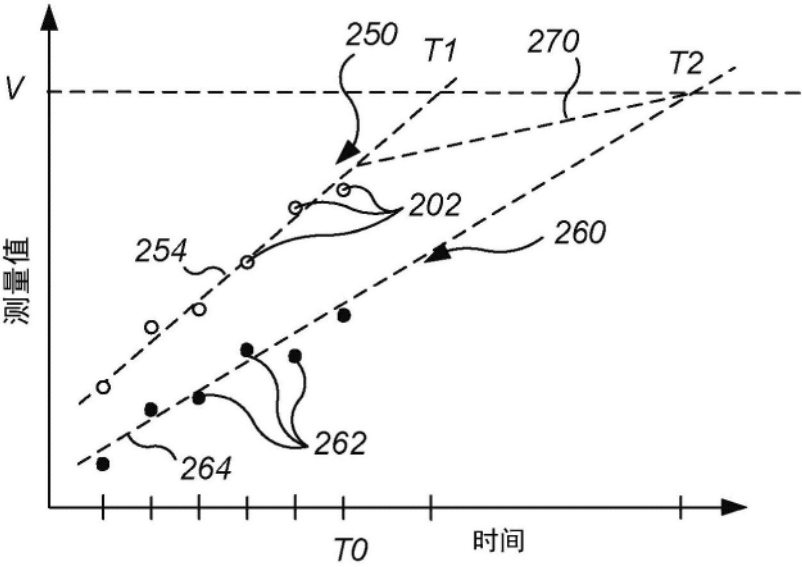


图6