



(45) 授权公告日 2022.06.28

权利要求书3页 说明书13页 附图8页

[接上页]

**(56) 对比文件**

M R Ananthan 等.《Micro-Raman spectroscopy studies of bulk and thin

films of CuInTe<sub>2</sub>》.《semiconductor science and technology》.2009,

1. 一种表面检验系统,其包括:

晶片定位系统,其包含晶片卡盘,半导体晶片可移除地接附至所述晶片卡盘,所述半导体晶片包含衬底材料,其具有以一或多个晶轴为特征的晶体结构;

照明源,其经配置以生成照明光束;

一或多个光学元件,其经配置以将所述照明光束聚焦到测量点,所述测量点形成在所述半导体晶片的表面上,其中所述晶片定位系统相对于入射的所述照明光束定位所述半导体晶片的所述表面;

一或多个缺陷颗粒检测器,其经配置以生成一或多个缺陷输出信号,当所述晶片定位系统使所述照明光束横跨所述测量点扫描所述半导体晶片的所述表面时,每个缺陷输出信号指示在所述测量点内存在检测到的缺陷颗粒,多个检测到的缺陷颗粒中的每一检测到的缺陷颗粒位于在所述半导体晶片的所述表面上的不同位置;

计算系统,其经配置以:

接收所述一或多个缺陷输出信号;

生成所述多个检测到的缺陷颗粒图,所述图指示每一检测到的缺陷颗粒在所述半导体晶片的所述表面上的位置;

传达控制指令到所述晶片定位系统,使所述晶片定位系统定位所述半导体晶片以使所述测量点在时间段内形成在所述半导体晶片的所述表面上的所述多个检测到的缺陷颗粒中的检测到的缺陷颗粒的位置处,其中所述照明光束在所述检测到的缺陷颗粒上的入射化学地改变所述检测到的缺陷颗粒使得所述检测到的缺陷颗粒在所述时间段内变成光谱活性;及

一或多个分光计,其经配置以,响应于在所述时间段中在所述检测到的缺陷颗粒上的所述照明光束的所述入射,基于从所述经活化的检测到的缺陷颗粒散射的光量来生成指示所述经活化的检测到的缺陷颗粒的材料组成的输出信号,所述计算系统,其进一步经配置以:

接收指示所述经活化的检测到的缺陷颗粒的材料组成的所述输出信号;及

基于所述输出信号来确定所述经活化的检测到的缺陷颗粒的材料组成。

2. 根据权利要求1所述的表面检验系统,其进一步包括:

第一偏振元件,其位于所述照明光束的光学路径中,所述第一偏振元件经配置以使所述照明光束在第一方向上偏振;及

第二偏振元件,其位于从所述经活化的检测到的缺陷颗粒散射的所述光量的光学路径中,所述第二偏振元件经配置以使从所述经活化的检测到的缺陷颗粒散射的所述光量在与所述第一方向正交的第二方向上偏振。

3. 根据权利要求2所述的表面检验系统,其中所述第一偏振元件相对于所述半导体晶片的所述衬底材料的所述一个或多个晶轴中的晶轴的方向定向,以使得所述照明光束呈相对于所述衬底材料的所述晶轴的预定偏振定向角聚焦到所述测量点上。

4. 根据权利要求1所述的表面检验系统,其进一步包括:

先前分析的检测到的缺陷颗粒的测量值的库数据库,其存储在存储器中,所述计算系统进一步经配置以使指示所述经活化的检测到的缺陷颗粒的材料组成的所述输出信号与所述库数据库中的先前分析的检测到的缺陷颗粒的多个测量值相关,以确定所述经活化的

检测到的缺陷颗粒的所述材料组成。

5. 根据权利要求1所述的表面检验系统,其中所述检测到的缺陷颗粒具有具结晶结构或非晶结构的有机或无机化学组成。

6. 根据权利要求5所述的表面检验系统,其中所述无机化学组成为金属化学组成。

7. 根据权利要求5所述的表面检验系统,其中所述结晶结构为多晶结构。

8. 根据权利要求1所述的表面检验系统,其中所述检测到的缺陷颗粒是具有不展现固有振动拉曼光谱特征的面心立方结晶结构或体心立方结晶结构的金属,或微弱展现固有振动拉曼光谱特征的六方密堆积结晶结构的金属。

9. 根据权利要求1所述的表面检验系统,其中所述检测到的缺陷颗粒是金属的且所述检测到的缺陷颗粒是通过化学氧化化学地改变以变成光谱活性。

10. 根据权利要求9所述的表面检验系统,其进一步包括:

环境腔室,其包含与围绕所述表面检验系统的周围环境的氧分压不同的受控氧分压,其中所述化学氧化发生在所述环境腔室中。

11. 根据权利要求9所述的表面检验系统,其中所述检测到的缺陷颗粒是在所述照明光束投射到所述检测到的缺陷颗粒上之前用表面活性材料涂覆,其中所述表面活性材料促进所述化学氧化。

12. 根据权利要求1所述的表面检验系统,其中指示所述经活化的检测到的缺陷颗粒的所述材料组成的所述输出信号包含可观察拉曼光谱。

13. 根据权利要求1所述的表面检验系统,其中指示所述经活化的检测到的缺陷颗粒的所述材料组成的所述输出信号包含可观察光致发光光谱。

14. 根据权利要求1所述的表面检验系统,其中所述照明源经配置以生成具有多个不同波长的所述照明光束。

15. 根据权利要求1所述的表面检验系统,其中所述照明源为第一照明源且所述照明光束为第一照明光束,所述表面检验系统进一步包括:

第二照明源,其经配置以生成第二照明光束;

偏振元件,其位于所述第二照明光束的光学路径中,所述偏振元件经配置以所述半导体晶片的所述衬底材料的所述一个或多个晶轴中的晶轴的方向成预定偏振定向角,且其中响应于以所述预定偏振定向角在所述经活化的检测到的缺陷颗粒上的所述第二照明光束的所述入射,基于从所述经活化的检测到的缺陷颗粒散射的光量生成指示所述经活化的检测到的缺陷颗粒的所述材料组成的所述输出信号。

16. 根据权利要求1所述的表面检验系统,进一步包括:

照明功率控制元件,其位于所述照明源和所述半导体晶片之间的光学路径中,其中在所述测量点形成在所述半导体晶片的所述表面上的所述多个检测到的缺陷颗粒中的所述检测到的缺陷颗粒的所述位置处的所述时间段内,所述照明功率控制元件改变所述照明光束的照明功率。

17. 一种表面检验方法,其包括:

在第一时间段中用照明光束照射在半导体晶片的表面上的缺陷颗粒;

在所述第一时间段内响应于所述照明光束,基于从所述缺陷颗粒散射的光量生成第一输出信号,其中所述第一输出信号包括指示所述缺陷颗粒的材料组成的可观察光致发光光

谱；

在第一时间段后的第二时间段中用所述照明光束照明在所述半导体晶片的所述表面上的所述缺陷颗粒，其中所述照明光束的照明功率在第二时间段内高于在第一时间段内，其中所述照明光束在第二时间段内化学地改变所述缺陷颗粒使得所述缺陷颗粒变成光谱活性，其中在所述缺陷颗粒变成光谱活性前无法观察到拉曼光谱响应，而在所述缺陷颗粒变成光谱活性后能够观察到拉曼光谱响应；

响应于在所述第二时间段内的所述照明光束，基于从所述经活化的缺陷颗粒散射的光量来生成指示所述经活化的缺陷颗粒的材料组成的第二输出信号；及

基于所述第一输出信号及所述第二输出信号来确定所述经活化的缺陷颗粒的材料组成。

18. 根据权利要求17所述的方法，其中所述缺陷颗粒是金属的且所述缺陷颗粒是通过化学氧化化学地改变以变成光谱活性。

19. 根据权利要求17所述的方法，其中指示所述经活化的缺陷颗粒的所述材料组成的所述第二输出信号包含可观察拉曼光谱。

20. 根据权利要求17所述的方法，其进一步包括：

使所述照明光束在第一方向上偏振；及

使从所述经活化的缺陷颗粒散射的所述光量在与所述第一方向正交的第二方向上偏振。

21. 一种表面检验系统，其包括：

缺陷颗粒检测子系统，其经配置以在第一时间段内将照明光束投射到样品的表面上的测量点处，且在所述第一时间段内基于响应于由所述照明光束照明缺陷颗粒从所述缺陷颗粒散射的光量检测所述测量点处所述缺陷颗粒的存在；及

缺陷颗粒活化及分析子系统，其经配置以在所述第一时间段后的第二时间段内将所述照明光束投射到所述测量点上以化学地改变所述缺陷颗粒使得所述缺陷颗粒变成光谱活性，其中在所述缺陷颗粒变成光谱活性前无法观察到拉曼光谱响应，而在所述缺陷颗粒变成光谱活性后能够观察到拉曼光谱响应，在所述第二时间段内基于响应于所述照明光束从所述经活化的缺陷颗粒散射的光量生成指示所述经活化的缺陷颗粒的材料组成的输出信号，且基于指示所述经活化的缺陷颗粒的材料组成的所述输出信号来确定所述经活化的缺陷颗粒的材料组成。

## 表面检验系统及方法

### 技术领域

[0001] 所描述实施例涉及用于表面检验的系统,且更特定来说,涉及半导体晶片检验模态。

### 背景技术

[0002] 半导体装置(例如逻辑装置及存储器装置)通常通过应用于衬底或晶片的一系列处理步骤来制造。半导体装置的各种特征及多个结构层级是通过这些处理步骤形成。例如,其中光刻是一种涉及在半导体晶片上生成图案的半导体制造工艺。半导体制造工艺的额外实例包含(但不限于)化学机械抛光、蚀刻、沉积及离子注入。多个半导体装置可制造在单个半导体晶片上及接着分离成个别半导体装置。

[0003] 在半导体制造工艺期间的各个步骤使用检验过程以检测晶片上的缺陷以促进更高产率。随着设计规则及工艺窗口不断缩小,检验系统需在晶片表面上捕获更宽范围的物理缺陷同时维持高处理量。

[0004] 一种此类检验系统针对非期望颗粒照明且检验未图案化晶片表面。随着半导体设计规则不断演进,必须通过表面检验系统检测的最小颗粒尺寸不断缩小。

[0005] 由于来自晶片处理设备的颗粒污染所致的集成电路产率损失必须经修复以实现成本有效的制造工艺。在半导体制造设施中,颗粒污染程度是通过未图案化晶片表面检验系统(例如由美国加利福尼亚州苗必达市科磊公司(KLA-Tencor Corporation, Milpitas, California (USA))制造的Surfscan®序列产品)监测。由检验工具测量的典型污染度量是每个晶片通过颗粒(PWP)的数目。通过比较测试晶片经过过程工具之前及之后测量的缺陷图,定期测量及跟踪添加的缺陷的数目。当PWP超过控制图极限时,使违规工艺工具离线以研究偏移的根本原因且解决问题。

[0006] 传统上,在开发与特定技术节点相关联的制造工艺期间生成正常及失控缺陷组成的数据库。在开发期间,编译添加的颗粒的扫描电子显微镜(SEM)图像。然而,在许多情况下,缺陷图像无法单独正确地识别缺陷类型及来源。因此,另外,颗粒在电子轰击下发射的特性X射线的光谱是用能量色散X射线(EDX)分光计测量以识别构成元素。

[0007] 随后,当在大批量制造期间出现偏差时,使用SEM及EDX工具测量失控测试晶片。比较所述数据与在过程开发期间生成的数据库。比较经测量的缺陷组成分布与过往偏差的数据库以识别问题的根本原因。基于这个知识采取行动以使工具恢复生产。

[0008] 通常,当已知违规颗粒的化学组成时,更容易解决污染问题。然而,在大批量生产环境中获得组成测量结果是耗时过程,其中由SEM及EDX工具重检图案化晶片通常优先于重检未图案化晶片。另外,由与颗粒缺陷重检工具分离的SEM及EDX工具进行的重检需将晶片从一个工具移动到另一工具,这是耗时的。

[0009] 拉曼光谱学是可用来识别晶片表面上颗粒缺陷的组成的潜在分析技术。授权给日立高新技术公司(Hitachi High-Technologies)公司的第7,777,876及9,007,581号美国专利描述检测弹性散射光及非弹性散射光(即,分别为瑞利散射及拉曼散射)两者的表面检验

系统。分光计用来在非弹性光中分辨固态振动模式,揭示组成信息,但发明者不知晓所报告测量中的任一者对应于来自可能由集成电路工艺工具生成的实际颗粒缺陷的拉曼光谱。

[0010] 尽管一些颗粒的原子振动带可用激光拉曼显微光谱学观察,但通常,存在许多受关注的重要缺陷颗粒(即,受关注材料),其不展现活性拉曼振动带且因此无法通过拉曼光谱技术来观察。

[0011] 期望改善扫描表面检验系统以在无需将晶片转移到不同重检工具的情况下既可检测晶片表面上缺陷的存在又可识别经检测的缺陷颗粒的材料组成。

## 发明内容

[0012] 本文中描述用于检测晶片表面上的颗粒缺陷,将颗粒转化为光谱活性状态,且通过光谱技术来识别经活化的颗粒的材料组成的方法及系统。颗粒缺陷是通过化学处理、热处理、光化学处理或其组合转化,使得经活化的颗粒展现可光谱观察的原子振动带。

[0013] 由半导体制造设备及工艺生成的许多缺陷颗粒是光谱非活性的。例如,具有体心立方(bcc)或面心立方(fcc)晶体对称性的金属纳米颗粒不具有可观察拉曼光谱线。

[0014] 在一个方面中,扫描表面检验系统检测晶片表面上颗粒缺陷的存在、活化经检测的颗粒中的一或多者中的可观察拉曼带,且通过光谱技术来识别经活化的颗粒的材料组成。通过在相同检验工具上执行缺陷检测及组成分析两者,无需将晶片转移到不同重检工具或工具组合以执行沉积在半导体晶片上的颗粒缺陷的组成分析。

[0015] 计算系统经配置以接收从经活化的颗粒收集的光谱测量结果且基于测量评估颗粒的组成。在一些实施例中,计算系统将经测量的光谱的光谱特征(例如,峰位置、峰量值等)与从具有已知成分的颗粒测量的参考光谱的特征匹配。在一些实施例中,计算系统将经测量的光谱的光谱特征与经分析推导的光谱的特征匹配。在一些实施例中,计算系统将经测量的光谱的光谱特征与先前分析的缺陷颗粒的库数据库相关联。在一些实施例中,所述库包含光学光谱响应数据。在一些进一步实施例中,所述库还包含其它组成数据(例如,光致发光数据、能量色散X射线(EDX)分光计数据等)。

[0016] 在进一步方面中,缺陷颗粒的组成是基于光致发光(PL)光谱的测量来确定。在一些实例中,缺陷颗粒展现延伸到近IR的宽带光致发光(PL)光谱。

[0017] 在另一进一步方面中,经收集的光相对于照明光交叉偏振以改善经检测的信号的信噪比。

[0018] 在一些实施例中,表面检验系统用来以扫描模式生成晶片表面上缺陷位置的图以快速生成整个晶片表面或晶片表面的重要部分的缺陷绘图。在对晶片表面进行绘图之后,表面检验系统用来活化及分析先前由缺陷颗粒检测子系统检测的缺陷颗粒中的一或多者。在一些其它实施例中,在检测之后立即活化并分析缺陷颗粒。

[0019] 在一些实例中,颗粒的活化是由于金属颗粒的化学氧化所致。在一些实例中,颗粒的转化发生在受控氧分压的腔室中。在一些实例中,腔室包含不参与氧化过程的基本上惰性气体的额外分压。在一些实例中,腔室包含催化氧化转化的气态化合物的额外分压。

[0020] 在一些实例中,在氧化之前用表面活性材料处理金属颗粒以促进形成金属氧化物,其中氧化状态且结晶多晶的结构具有增强型拉曼散射横截面。

[0021] 在一些实例中,氧化转化是由高温驱动。在一些实例中,高温可通过辐射加热、电

磁辐射照明或其组合生成。

[0022] 在一些实例中,颗粒的氧化转化是由通过暴露于从电磁辐射源发射的光子所刺激的光化学路径驱动。

[0023] 在一些实例中,所述转化是除氧化反应外的以气态、液态或溶液型试剂及光热或光化学驱动力发生的化学反应。

[0024] 通常,多个不同照明源可用来为活化、光谱测量或两者提供照明。另外,用来对晶片表面上缺陷颗粒的位置绘图的一或多个照明源还可用来为活化、光谱测量或两者提供照明。

[0025] 在一些实施例中,采用多个不同波长且选择所述波长,因为已知其与衬底晶片的表面微凸体(例如,薄膜、高度非球形缺陷颗粒的高纵横比突起等)相互作用。表面微凸体在其附近产生增强型电磁场,所述电磁场增强弱光谱特征。

[0026] 前文为发明内容且因此必然含有细节的简化、概括及省略;因此,所属领域技术人员将明白,发明内容仅是说明性的且不应以任何方式进行限制。本文中描述的装置及/或过程的其它方面、发明特征及优点将在本文中陈述的非限制性实施方式中变得显而易见。

## 附图说明

[0027] 图1是说明经配置以在被检验的样品上检测、活化及识别缺陷颗粒的材料组成的检验系统的一个实施例的简化图。

[0028] 图2是说明位于旋转扫描台上的晶片的俯视图的图。

[0029] 图3是说明作为球径的函数的铜颗粒吸收横截面的模拟的图。

[0030] 图4是说明作为入射辐照度及各种有效热导率值的函数的沉积在硅晶片的表面上的铜颗粒的热加热的模拟的图。

[0031] 图5是说明在低照明功率水平下活化的缺陷颗粒的光谱测量的图。

[0032] 图6是说明在高照明功率水平下活化的缺陷颗粒的光谱测量的图。

[0033] 图7是说明在不同照明功率水平下活化的缺陷颗粒的光谱测量的图。

[0034] 图8是说明由表面检验系统在低照明功率下收集的二氧化钛颗粒的光谱测量的图。

[0035] 图9是说明与二氧化钛( $\text{TiO}_2$ )相关联的参考拉曼光谱的简化图。

[0036] 图10说明可用于识别晶片表面上经活化的缺陷颗粒的材料组成的实例性方法100的流程图。

## 具体实施方式

[0037] 现将详细地参考本发明的背景实例及一些实施例,在附图中说明所述实施例的实例。

[0038] 本文中描述用于检测晶片表面上的颗粒缺陷,将颗粒转化为光谱活性状态,且通过光谱技术来识别经活化的颗粒的材料组成的方法及系统。

[0039] 本文中描述的发明概念是基于对通过半导体制造设备及工艺生成的许多缺陷颗粒是光谱非活性(例如,颗粒不具有用拉曼光谱学可观察的原子振动带)的观察。然而,通过化学处理、热处理、光化学处理或其组合,颗粒缺陷经转化使得经活化的颗粒展现可光谱

(例如,经由拉曼光谱学)观察的原子振动带。

[0040] 在一个方面中,扫描表面检验系统检测晶片表面上颗粒缺陷的存在、活化经检测的颗粒中的一或多个者的可观察拉曼带且通过光谱技术来识别经活化的颗粒的材料组成。通过在相同检验工具上执行缺陷检测及组成分析两者,无需将晶片转移到不同重检工具或工具组合以执行沉积在半导体晶片上的颗粒缺陷的组成分析。

[0041] 图1是可用来执行本文中描述的检验方法的表面检验系统100的一个实施例的简化示意图。为简化,已省略系统的一些光学组件。举例来说,还可包含折叠式反射镜、偏振器、光束形成光学器件、额外光源、额外集光器及额外检测器。所有此类变化是在本文中描述的发明的范围内。本文中描述的检验系统可用于检验图案化晶片以及未图案化晶片。

[0042] 如图1中说明,表面检验系统100包含缺陷颗粒检测子系统,其包含照明源101,光学元件103、104及107,及检测器109。另外,表面检验系统100包含缺陷颗粒活化及分析子系统,其包含照明源111,光学元件112到115、130到132,及检测器116。

[0043] 缺陷颗粒检测子系统的照明源101生成引导朝向晶片110的照明光束102。如图1中描绘,照明是通过缺陷颗粒检测子系统以斜角提供到晶片110的表面。然而,通常,缺陷颗粒检测子系统可经配置以使光束以法向入射角引导到样品。在一些实施例中,缺陷颗粒检测子系统可经配置以使多个光束以不同入射角(例如斜角及法向入射角)引导到样品。多个光束可基本上同时或循序地引导到样品。

[0044] 照明源101可包含(举例来说)激光、二极管激光、氦氖激光、氩激光、固态激光、二极管泵浦固态(DPSS)激光、氙弧灯、气体放电灯及LED阵列或白炽灯。光源可经配置以发射近单色光或宽带光。在一些实施例中,缺陷颗粒检测子系统经配置以使具有相对窄波带的光(例如,近单色光或具有小于约20nm、小于约10nm、小于约5nm或甚至小于约2nm的波长范围的光)引导到样品历时一段时间。因此,如果光源是宽带光源,那么缺陷颗粒检测子系统还可包含可限制引导到样品的光的波长的一或多个光谱滤波器。一或多个光谱滤波器可为带通滤波器及/或边缘滤波器及/或陷波滤波器。在一些实施例中,缺陷颗粒检测子系统经配置以使具有适于拉曼光谱学的非常窄波带的光引导到样品。在一些实例中,照明的线宽具有大约30千兆赫( $1\text{cm}^{-1}$ )或更小的线宽。在一个实例中,激光照明源经配置以在405纳米下发射具有小于0.016纳米线宽的光。

[0045] 在一些实施例中,恒定功率激光束由照明源101生成,且照明功率控制元件103用来调节光束功率以防止损坏晶片表面。在一些实施例中,光束功率是基于被扫描颗粒的尺寸及材料组成来调节。

[0046] 在经过照明功率控制元件103后,使照明光束引导到照明光学器件104,照明光学器件104将照明光束102聚焦到晶片表面上。通常,到达晶片表面的光可以一或多种方式改变,包含偏振、强度、尺寸及形状等。

[0047] 在图1说明的实施例中,晶片定位系统125在照明光束102下移动晶片110以调整晶片表面上测量点106的位置。晶片定位系统125包含晶片卡盘126、运动控制器123、旋转台121及平移台122。晶片110经支撑在晶片卡盘126上。如图2中说明,晶片110经定位成其几何中心150大致对准旋转台121的旋转轴。以这种方式,旋转台121使晶片110绕其几何中心以指定角速度 $\omega$ 在可接受公差内旋转。另外,平移台122在基本上垂直于旋转台121的旋转轴的方向上以指定速度 $V_T$ 平移晶片110。运动控制器123通过旋转台121协调晶片110的旋转且

通过平移台122协调晶片110的平移以实现晶片110在检验系统100内的所期望扫描运动。

[0048] 在实例性操作方案中,检验以位于晶片110的几何中心150处的测量点106开始,且接着旋转及平移晶片110直到测量点106到达晶片110的外周(即,当R等于晶片110的半径时)。由于旋转台121及平移台122的协调运动,由测量点106照明的点的轨迹勾勒晶片110的表面上的螺旋路径。晶片110的表面上的螺旋路径被称为检验轨道127(未全部展示)。实例性检验轨道127的部分在图2中被说明为 $TRACK_1$ 。如图2中说明,测量点106位于距晶片150的几何中心距离R处。

[0049] 集光光学器件107收集从测量点106散射及/或反射的光。尽管图1中说明集光光学器件107的特定标称定向,但应了解,可适当地取决于(例如)晶片的入射角及/或构形特性来布置所述集光光学器件相对于晶片表面的定向。

[0050] 使由集光光学器件107收集的光108被引导到检测器109。检测器109通常用来将经检测的光转换成电信号,所述电信号指示在检测视野内从晶片110收集的经检测的光。通常,检测器109可包含所属领域中已知的基本上任何光检测器。然而,本发明的一或多个实施例内使用的特定检测器可基于检测器的所期望性能特性、要检验的样品的类型及照明的配置来选择。例如,如果可用于检验的光量是相对低的,那么可采用效率增强检测器(例如时间延迟积分(TDI)相机)来增加系统的信噪比及处理量。然而,取决于可用于检验的光量及执行中检验的类型,可使用其它检测器,例如光电二极管;光电管;光电倍增管(PMT);电荷耦合装置(CCD)相机;光电二极管、光电管及光电倍增管(PMT)的阵列。

[0051] 在一些实施例中,检测器109是经配置以生成指示从测量点106散射的光量的单个输出信号的非成像检测器。单个输出信号允许以高处理量有效地检测大颗粒。

[0052] 在一些实施例中,检测器109是可以各种成像模式(例如明场、暗场及共焦)实施的成像检测器。各种成像模式(例如明场、暗场及相位对比)可通过使用不同光圈或傅里叶滤波器来实施。以引用方式并入本文中的第7,295,303及7,130,039号美国专利进一步详细地描述这些成像模式。在另一实例(未展示)中,检测器通过使成较大场视角收集的散射光成像来生成暗场图像。在另一实例中,可将匹配入射点106的针孔放置在检测器(例如,检测器109)前方以生成共焦图像。以引用方式并入本文中的第6,208,411号美国专利进一步详细地描述这些成像模式。另外,第6,271,916号美国专利及第6,201,601号美国专利中描述表面检验系统100的各个方面,所述两个案的全文以引用方式并入本文中。

[0053] 在一些实施例中,可选择性地采用多个检测器来检测从测量点106收集的光108。例如,可采用一或多个回转镜或分束器以使经收集的光108被选择性地引导到不同检测器(例如,一或多个非成像检测器及一或多个成像检测器)以执行不同缺陷颗粒测量。

[0054] 在图1描绘的本发明的至少一个实施例中,单个检测器(例如,个别光电倍增管(PMT))用作检测器109以检测从测量点106散射的光。将检测器109的输出信号134传达到计算系统140以供处理以确定缺陷颗粒的存在。

[0055] 在一些实施例中,表面检验系统100的缺陷颗粒检测子系统用来生成晶片表面上缺陷位置的图。在这些实施例中,缺陷颗粒检测子系统是在扫描模式中操作以快速生成整个晶片表面或晶片表面的重要部分的缺陷绘图。在对晶片表面进行绘图之后,使用缺陷颗粒活化及分析子系统来活化及分析先前由缺陷颗粒检测子系统检测的缺陷颗粒中的一或多个者。然而,在一些其它实施例中,缺陷颗粒活化及分析子系统用来在由缺陷颗粒检测子系

统检测之后立即活化及分析缺陷颗粒。

[0056] 缺陷颗粒活化及分析子系统的照明源111生成引导朝向晶片110的照明光束117。如图1中描绘,照明是通过缺陷颗粒活化及分析子系统以多个入射角提供到晶片110的表面。然而,通常,缺陷颗粒活化及分析子系统可经配置以使光束以任何单个入射角或多个入射角集(包含法向入射角)引导到样品。

[0057] 照明源111可包含(举例来说)激光、二极管激光、氦氖激光、氩激光、固态激光、二极管驱动固态(DPSS)激光、氙弧灯、气体放电灯及LED阵列或白炽灯。光源可经配置以发射近单色光或宽带光。在一些实施例中,缺陷颗粒活化及分析子系统经配置以使具有相对窄波带的光(例如,近单色光或具有小于约20nm、小于约10nm、小于约5nm或甚至小于约2nm的波长范围的光)引导到样品历时一段时间。因此,如果光源是宽带光源,那么缺陷颗粒活化及分析子系统还可包含可限制引导到样品的光的波长的一或多个光谱滤波器112。一或多个光谱滤波器可为带通滤波器及/或边缘滤波器及/或陷波滤波器。在一些实施例中,缺陷颗粒检测子系统经配置以使光引导到具有适于拉曼光谱学的非常窄波带的样品。在一些实例中,照明的线宽具有大约30千兆赫( $1\text{cm}^{-1}$ )或更小的线宽。在一个实例中,激光照明源经配置以在405纳米下发射具有小于0.016纳米线宽的光。

[0058] 在图1描绘的实施例中,使照明光束117引导到照明功率控制元件130。照明功率控制元件130经配置以根据从计算系统140接收的指令信号133控制照明光束117的光学功率。在一个实施例中,照明功率控制元件130位于在照明源111与分光元件113之间的照明光束路径中以在颗粒活化及分析期间动态地调整照明功率。

[0059] 在优选实施例中,照明功率控制元件130是高效、低成本、声光调制器(AOM)。透射AOM的光学功率是由提供快速切换能力的射频(RF)驱动器而非昂贵的高电压驱动器调制。

[0060] 通常,照明功率控制元件130可与选择性透射光学组件一起实施,所述选择性透射光学组件可经调适以基于入射光的偏振来透射部分入射光。在一些实施例中,照明功率控制元件130包含波片(例如四分之一波片)及偏振分束器。在这种配置中,波片可用来改变入射光的偏振,而分束器用来透射一或多个选择偏振(例如,线性偏振光)且反射所有其它(例如,随机、圆形或椭圆偏振光)。通过反射部分光,波片及分束器用来降低透射光的强度或功率水平。

[0061] 在一些实施例中,照明功率控制元件130包含可在“开”状态与“关”状态之间切换的电光材料。当“开”时,电光材料将入射光的偏振改变为预定偏振定向。这个所谓“重新偏振光”可接着供应到偏振分束器,所述偏振分束器可取决于来自光电开关的特定偏振输出来透射仅部分重新偏振光。可反射及丢弃重新偏振光的剩余部分(例如,由束流收集材料吸收)。在一些情况下,电光材料可在几纳秒到几微秒的时间跨度内在“开”与“关”状态之间切换。

[0062] 在特定实施例中,照明功率控制元件130包含被称为普克尔斯盒(Pockels Cell)的高速电控光学快门。普克尔斯盒可经设置为“开”状态以允许由照明源101生成的光自由通过。当检测到大颗粒的存在时,普克尔斯盒可切换到“关”状态以将经生成的光的偏振改变到不同偏振,其可由偏振分束器至少部分滤除。为了在“开”与“关”状态之间切换,将由可变电电源提供的电压供应到普克尔斯盒以改变经过电光材料(通常,电光晶体)的光的偏振。供应到普克尔斯盒的电压可由从计算系统140传达的控制信号133确定。

[0063] AOM可在任何合适频率下驱动,且因此在宽范围内调制照明功率。在另一实例中,普克尔斯盒可经驱动以产生基本上任何相移,且因此,可与偏振分束器组合以产生基本上任何输出功率水平。在一些实施例中,电路及/或软件可与照明功率控制元件130包含在一起以提供持续功率水平调整(例如,以闭环反馈回路的形式)。

[0064] 在一些实施例中,照明功率控制元件130包含基于从计算系统140接收的控制指令133来选择性地插入到光束路径中的离散光学密度滤波器的组合。

[0065] 通常,只要功率控制元件提供相对快的响应及足够动态范围,那么本发明可涵盖用于动态地改变照明源的功率水平的任何适当技术。在一些实例中,光束功率是以亚秒级时间尺度调制以用高功率照明金属颗粒来起始氧化,接着立即降低功率以在照明波长下由氧化物继续吸收而不损坏经氧化的颗粒。

[0066] 如图1中描绘,照明光117还通过偏振元件131偏振。一些照明源(例如激光)本质上发射偏振光。在一些实施例中,优选使照明光偏振且使经收集的光交叉偏振(例如,利用分析器132)以改善经检测的信号的信噪比。在这些实施例中,优选相对于缺陷颗粒下方的衬底(例如,单晶硅等)的一或多个晶轴成预定定向角使照明光偏振且相对于照明光成正交角使经收集的光交叉偏振以抑制来自衬底的背景噪声且增强缺陷信号的信噪比。

[0067] 在一些其它实施例中,照明光是相对于缺陷颗粒的一或多个晶轴成不同定向角偏振。在一些实例中,可改变入射偏振及分析器方向且对于一组定向角中的每一定向角收集光谱。光谱响应经分析以证实颗粒缺陷是否为结晶,辅助识别其组成或识别缺陷类别成员。应注意,在不同照明及收集偏振角下从缺陷颗粒采集测量数据集是耗时的且以减小处理量为代价。

[0068] 在经过照明功率控制元件130之后,使照明光束117引导到分光元件113,分光元件113将部分照明光束119引导到物镜114。在一些实施例中,分光元件113是二向色分束器。然而,通常,在本专利文件中可预期任何合适分束器。

[0069] 物镜114将照明光束119聚焦到晶片110上的测量点106处。如前文描述,晶片定位系统125移动晶片110,将照明光束119投射到晶片表面的测量点106上。运动控制器123通过旋转台121协调晶片110的旋转且通过平移台122协调晶片110的平移以实现晶片110在缺陷颗粒活化及分析子系统的视野内的所期望定位。

[0070] 在图1描绘的实施例中,物镜114在测量点106处的收集角的范围内响应于照明光束119收集从晶片110散射及/或反射的光。经收集的光120经过分光元件113。

[0071] 在一些实施例中,缺陷颗粒活化及分析子系统经配置以执行经收集的光的拉曼分析。在这些实施例中,优选通过从经收集的光120滤除瑞利波长的一或多个光谱滤波器115过滤经收集的光120。以这种方式,相对小拉曼特征可与缺陷颗粒的相对大瑞利(即,弹性散射)响应分离。一或多个光谱滤波器可为带通滤波器及/或边缘滤波器及/或陷波滤波器。

[0072] 在进一步方面中,缺陷颗粒活化及分析子系统经配置以使照明及经收集的光交叉偏振以改善经检测的信号的信噪比。如图1中描绘,经收集的光120是通过分析器132以与由偏振元件131提供的照明光118的偏振正交的偏振来偏振。通常,在本专利文件中可预期任何合适偏振光学元件。

[0073] 最后,将经收集的光120投射到分光计116的检测表面上。分光计116通常用来以波长或能量分辨方式测量经检测的光。分光计116将指示经测量的光谱的电信号135传达到计

算系统140以进一步分析在测量下的缺陷颗粒的材料组成。通常,分光计116的检测器可包含所属领域中已知的基本上任何光检测器。然而,本发明的一或多个实施例内使用的特定检测器可基于检测器的所期望性能特性、要检验的样品的类型及照明的配置来选择。例如,如果可用于检验的光量是相对低的,那么可采用效率增强检测器(例如时间延迟积分(TDI)相机)来增加系统的信噪比及处理量。然而,取决于可用于检验的光量及执行中检验的类型,可使用其它检测器,例如电荷耦合装置(CCD)相机;光电二极管、光电管及光电倍增管(PMT)的阵列。

[0074] 在一个方面中,表面检验工具的缺陷颗粒活化及分析子系统经配置以通过激光辅助热氧化活化缺陷颗粒的可观察拉曼带且对经活化的颗粒执行拉曼光谱测量。许多金属纳米颗粒因其体心立方(bcc)或面心立方(fcc)晶体对称性而不具有可观察拉曼光谱线。在一个重要实例中,金属铜(Cu)具有fcc晶体结构。

[0075] 图5描绘在低照明功率下由表面检验系统100的缺陷颗粒活化及分析子系统收集的光谱测量。在这个实例中,照明源111在405纳米波长下将大约0.01毫瓦的照明功率供应到晶片111的表面上大约1微米直径的测量点尺寸上。在100秒测量周期内对光谱测量结果进行积分。标绘线160描绘激光照明点中无颗粒的晶片表面的经测量的光谱。标绘线161描绘在激光照明点中具有945纳米直径的铜颗粒的晶片表面的经测量的光谱。如图5中描绘,指示石墨碳的弱拉曼带是可见的,但尽管积分100秒仍无任何拉曼带的证据。因此,经氧化的铜(如果存在)的量太小以致无法产生可识别拉曼光谱。

[0076] 图6描绘在高照明功率下由表面检验系统100的缺陷颗粒活化及分析子系统收集的光谱测量。在这个实例中,照明源111在405纳米波长下将大约10毫瓦的照明功率供应到晶片111的表面上大约1微米直径的测量点尺寸上。在50秒测量周期内对光谱测量结果进行积分。标绘线163描绘在激光照明点中具有945纳米直径的铜颗粒的晶片表面的经测量的光谱。标绘线162描绘CuO的参考光谱。通过与参考光谱比较,氧化铜(CuO)的强拉曼响应在标绘线163描绘的测量结果中清晰可见。因此,在活化(例如,激光辅助热氧化)之后,指示氧化铜化学组成的拉曼响应是清晰可见的。

[0077] 此外,图6中描绘的经测量的光谱是如前文描述那样通过使经收集的光与照明光交叉偏振来测量。通过使经测量的光谱与照明光交叉偏振,抑制了与硅衬底相关联的一阶声子峰及二阶声子峰(分别为 $520\text{cm}^{-1}$ 及 $1000\text{cm}^{-1}$ )。另外,还抑制了与多声子散射相关联的背景信号,从而在经测量的光谱中导致增强型CuO峰。在一些实例中,如本文中描述的交叉偏振在 $200\text{cm}^{-1}$ 与 $1000\text{cm}^{-1}$ 之间的波数范围内增强经检测的拉曼带的信噪比(SNR)。

[0078] 图7描绘在不同照明功率水平下由表面检验系统100的缺陷颗粒活化及分析子系统收集的光谱测量。在这些实例中,照明源111在405纳米波长下将不同水平的照明功率供应到晶片111的表面上大约1微米直径的测量点尺寸上。一百次扫描(每次扫描有1秒曝光时间)经平均化以实现所描绘结果。标绘线164描绘0.1毫瓦的曝光功率。标绘线165描绘0.5毫瓦的曝光功率。标绘线166描绘1毫瓦的曝光功率。标绘线167描绘5毫瓦的曝光功率。标绘线168描绘10毫瓦的曝光功率。如图7中描绘,随着照明功率增加,与CuO相关联的拉曼响应的量级增加。通常,响应在0.1毫瓦曝光下几乎不可检测,但在1.0毫瓦曝光下开始变得可检测。

[0079] 结果展示在0.1或0.5毫瓦功率下获取的系列中无CuO峰的证据。CuO峰在1毫瓦功

率下是清楚可辨的,且更强峰在5及10毫瓦功率下是可观察的。图7中描绘的总和光谱说明Cu0峰的尺寸相对于与相关联于硅的一阶及二阶声子峰相关联的峰逐渐增长。

[0080] 在活化之前及之后收集的铜颗粒的光学显微图像揭示与光谱系列中可观察的变化对应的颗粒变化。在0.1及0.5毫瓦测量之后,颗粒的尺寸不存在可辨变化。然而,颗粒尺寸在1、5及10毫瓦测量之后有所增加。原则上,氧化铜单位晶胞具有比金属铜大74%的体积。颗粒在用10毫瓦照明活化之后的显微图像至少直径增加56%,这表示体积增加大约45%。

[0081] 聚焦到大约1微米的光点尺寸的10毫瓦激光束可将小铜颗粒加热到150℃到1500℃从而在周围气氛中驱动氧化是相当合理的。

[0082] 考虑在绝对温度 $T_0$ 下在真空中与环境热平衡的隔离球形铜颗粒。在这种状态下,根据方程式(1)中说明的斯蒂芬-玻尔兹曼法则平衡辐射发射及吸收,

$$P_{\text{abs},o} = P_{\text{rad},o} = \sigma \epsilon A T_0^4 \quad (1)$$

[0084] 其中A是球体表面积, $\epsilon$ 是表面发射率,及 $\sigma$ 是斯蒂芬-玻尔兹曼常数( $5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$ )。

[0085] 当由405nm光照明时,铜的复折射率是 $1.301 + 2.129i$ 。图3描绘根据米氏理论计算的作为球体直径的函数的铜颗粒的吸收横截面。就180纳米直径的铜球体来说,吸收横截面 $C_{\text{abs}}$ 是 $3.91 \times 10^{-10} \text{ cm}^2$ 。在1微米光点尺寸曝光10毫瓦时,辐照度 $I_0$ 是 $1 \text{ MW/cm}^2$ 。在这些条件下,方程式(2)中说明铜球体的热吸收,

$$P_{\text{abs},l} = C_{\text{abs}} I_0 = 3.76 \times 10^{-4} \text{ W} \quad (2)$$

[0087] 其是总共10毫瓦激光学功率的3.9%。将吸收的能量转换为热且颗粒温度升高。

[0088] 就完全被流体包围的球体来说,由方程式(3)给定在球体与周围流体之间的热流Q,

$$Q = 2\pi k d (T - T_0) \quad (3)$$

[0090] 其中d是球体直径,T是球体表面的温度, $T_0$ 是远离球体的空气的温度,且k是流体的热导率。就衬底上的颗粒来说,根据有效热导率 $k = k_{\text{eff}}$ 编写方程式(7)是合理的,其取值大于空气的热导率但小于衬底的热导率。确切值取决于颗粒与衬底的热接触程度。

[0091]  $k_{\text{eff}}$ 值可通过将方程式(3)加到由方程式(1)说明的热平衡的右侧更狭窄指定。这导致方程式(4)中说明的四次方程式,

$$T^4 + \alpha T - \beta = 0 \quad (4)$$

[0093] 其中 $\alpha = 2k_{\text{eff}}/\sigma \epsilon d$ 且 $\beta = \alpha T_0 + T_0^4 + C_{\text{abs}} I_0 / \sigma \epsilon A$ 。就 $k_{\text{eff}}$ 的各个值来说,图4描绘表示作为入射辐照度( $I_0$ )的函数的方程式(4)针对T的解的图155。图4中说明与每一标绘线相关联的 $k_{\text{eff}}$ 值。每一标绘线表示具有180纳米直径的经辐照的铜球体的稳态温度。在真空中, $k_{\text{eff}}$ 是零值。如图4中描绘,其取值将小于 $1 \text{ W/cm}^2$ 以充分加热颗粒来起始氧化(在真空中假设痕量氧分子)。在空气中, $k_{\text{eff}}$ 是大约0.024。在空气中,其取值 $10^4 \text{ W/cm}^2$ 到 $10^5 \text{ W/cm}^2$ 以实现氧化条件。然而,在实际操作条件下, $k_{\text{eff}}$ 必须更大,因为经测量的铜颗粒在 $1 \text{ MW/cm}^2$ 下不液化及消失。因此,似乎最有可能的是,硅衬底上的铜颗粒的 $k_{\text{eff}}$ 值是在 $0.3 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$ 与 $1 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$ 之间,其中 $1 \text{ MW/cm}^2$ 将颗粒分别加热到大约1,300K及600K。

[0094] 作为相对反应性金属,微细铜纳米颗粒是通过暴露于激光照明而氧化。如图5到7中描绘,氧化铜可从其已知振动拉曼光谱识别。表面检验系统100还包含处理由检测器检测

的散射信号所需的各种电子组件(未展示)。例如,系统100可包含放大器电路以接收来自检测器的信号且将信号放大预定量。在一些实施例中,包含模/数转换器(ADC)(未展示)以将经放大的信号转换成适于计算系统140内使用的数字格式。在一个实施例中,处理器141可通过传输媒体直接耦合到ADC。替代地,处理器141可接收来自耦合到ADC的其它电子组件的信号。以这种方式,处理器可通过传输媒体及任何中间电子组件间接耦合到ADC。

[0095] 通常,计算系统140经配置以使用从每一检测器获得的电信号来检测晶片的特征、缺陷或光散射性质。计算系统140可包含所属领域中已知的(若干)任何适当处理器。另外,计算系统140可经配置以使用所属领域中已知的任何适当缺陷检测算法或方法。例如,计算系统140可使用裸片到数据库比较或阈值化算法来检测样品上的缺陷。

[0096] 另外,检验系统100可包含可用来接收来自操作者(例如,键盘、鼠标、触摸屏等)的输入且向操作者(例如,显示监视器)显示输出的外围装置。可由计算系统140使用来自操作者的输入指令以调整用来控制照明功率的阈值。所得功率水平可在显示监视器上以图形表示呈现给操作者。

[0097] 检验系统100包含处理器141及一定量的计算机可读存储器142。处理器141及存储器142可通过总线143通信。存储器142包含存储程序代码的一定量的存储器144,所述程序代码在由处理器141执行时引起处理器141执行本文中描述的缺陷活化及组成分析功能。

[0098] 在进一步方面中,计算系统140经配置以接收从经活化的颗粒收集的光谱测量结果且基于测量评估所述颗粒的组成。在一些实施例中,计算系统140将经测量的光谱的光谱特征(例如,峰位置、峰量值等)与从具有已知组成的颗粒测量的参考光谱的特征匹配。在一些实施例中,计算系统140将经测量的光谱的光谱特征与分析推导光谱的特征匹配。在一些实施例中,计算系统140使经测量的光谱的光谱特征与先前分析的缺陷颗粒的库数据库相关。在一些实施例中,所述库包含光学光谱响应数据。在一些进一步实施例中,所述库还包含其它组成数据(例如,光致发光数据、能量色散X射线(EDX)分光计数据等)。在一些实施例中,计算系统140将分类代码指派给最好地匹配与所述库中最近光谱匹配相关联的分类代码的颗粒。以这种方式,经测量的缺陷颗粒的组成是利用最接近匹配经测量的光谱的缺陷分类代码进行识别。

[0099] 通常,经转化的颗粒的光学光谱特征可利用多种光学光谱方法中的一或多者来观察,包含(但不限于):自发拉曼光谱学;受激拉曼光谱学;相干反斯托克斯拉曼光谱学;二次谐波生成、四波混频及其它非线性光谱学;荧光光谱学(也被称为光致发光(PL)光谱学);荧光寿命时间相关光子计数光谱学;由于位于分析中颗粒附近的金属纳米结构而具有增强型灵敏度的拉曼及/或荧光光谱学,例如尖端增强型拉曼光谱学。

[0100] 在进一步方面中,缺陷颗粒的组成是基于光致发光(PL)光谱的测量(例如,由表面检验系统100测量的PL光谱)来确定。在一些实例中,缺陷颗粒展现延伸到近IR的宽带光致发光(PL)光谱。

[0101] 然而,在一些实例中,如果采用过度的照明功率,那么PL光谱是不稳定的且趋于随时间漂白。在另一进一步方面中,由照明源(例如,照明源111)提供的辐照度最初设置为低水平以获取PL光谱来最小化将在采用相对高功率的情况下会发生的漂白。在获取PL光谱之后,辐照度经增加以光谱活化颗粒且获取拉曼光谱测量。以这种方式,PL光谱及拉曼光谱两者可用来识别缺陷颗粒的组成。

[0102] 在一些实例中,缺陷颗粒展现无显著活化的拉曼光谱。图8描绘通过表面检验系统100的缺陷颗粒活化及分析子系统在低照明功率下收集的光谱测量。在这个实例中,照明源111在405纳米波长下将大约0.1毫瓦的照明功率供应到晶片111的表面上大约1微米直径的测量点尺寸上。在10秒测量周期内对光谱测量结果是进行积分。标绘线170描绘在激光照明点中无颗粒的晶片表面的经测量的光谱。标绘线171描绘在激光照明点中具有大约117纳米直径的颗粒的晶片表面的经测量的光谱。强拉曼响应在标绘线171描绘的测量结果中是清楚可见的。就参考来说,图8中标记与主峰中的每一者相关联的波数。图9描绘与二氧化钛( $\text{TiO}_2$ )相关联的参考拉曼光谱的标绘线172。就参考来说,图9中标记与相关联于参考光谱的主峰中的每一者相关联的波数。比较图8中描绘的缺陷颗粒的经测量的拉曼光谱与图9中与 $\text{TiO}_2$ 相关联的参考拉曼光谱,经测量的缺陷颗粒明显为 $\text{TiO}_2$ 。

[0103] 尽管本文中具体描述铜颗粒的测量,但通常,表面检验系统100经配置以测量许多不同类型的颗粒,包含(但不限于)具有具结晶、多晶或非晶结构的有机、无机或金属化学组成的颗粒。

[0104] 在一些实例中,检验下的颗粒是具有缺乏固有振动拉曼光谱特征的bcc或fcc结晶结构的金属颗粒。

[0105] 在一些实例中,检验下的颗粒是具有具非常弱固有振动拉曼光谱特征的六方密堆积(hcp)结构的金属颗粒。在这些实例中,颗粒活化用来转化颗粒且改善与经转化的颗粒相关联的振动拉曼光谱特征的可检测性。

[0106] 在一些实例中,颗粒的转化是金属颗粒在周围陆地气氛中在平均海平面以上0英尺到10,000英尺的高度下的化学氧化。

[0107] 在一些实例中,颗粒的转化发生在大于或小于0.2气氛的受控氧分压的腔室中。在一些实例中,腔室包含不参与氧化过程的基本上惰性气体的额外分压。此类气体包含(但不限于)氮、氦、氟、氩、氙、二氧化碳、卤代烃、氟化金属及非金属(分别例如六氟化铀及六氟化硫)。

[0108] 在一些实例中,金属颗粒的氧化转化是利用催化氧化转化的气态化合物的额外分压来实行。

[0109] 在一些实例中,金属颗粒的氧化转化是在具有促进形成金属氧化物的气态化合物的额外分压的腔室中进行,其中氧化状态且结晶多晶的结构相对于在缺乏额外气态化合物的情况下形成的其它可能氧化状态或多晶具有增强型拉曼散射横截面。

[0110] 在一些实例中,金属颗粒是在氧化之前利用表面活性材料处理以促进形成金属氧化物,其中具有氧化状态且结晶多晶的结构相对于在缺乏处理的情况下形成的所述金属颗粒的其它可能氧化状态或多晶具有增强型拉曼散射横截面。表面活性材料的实例包含(但不限于)呈气相或溶解在液体溶液中的有机胺或本身表面活性且涂覆金属颗粒的液体。

[0111] 在一些实例中,氧化转化是通过高温驱动。在一些实例中,高温可通过辐射加热、电磁辐射照明或其组合生成。

[0112] 在一些实例中,温度驱动的氧化转化是通过刺激经转化的颗粒以发射经测量且用来识别颗粒的组成的光谱特征的相同电磁辐射源驱动。

[0113] 在一些实例中,颗粒的氧化转化是由通过暴露于从电磁辐射源发射的光子所刺激的光化学路径驱动。在一些实例中,光子驱动的氧化转化是通过刺激经转化的颗粒以发射

经测量且用来识别颗粒的组成的光谱特征的相同电磁辐射源驱动。

[0114] 在一些实例中,所述转化是除氧化反应以外使用气态、液态或溶液型试剂及光热或光化学驱动力的化学反应。通过电磁辐射源提供的驱动力可与刺激经转化的颗粒以发射经测量且用来识别颗粒的组成的光谱特征的源不同或相同。

[0115] 尽管表面检验系统100包含为颗粒活化及光谱测量两者提供照明的照明源111,但通常,可采用多个不同照明源以为活化、光谱测量或两者提供照明。另外,用来对晶片表面上缺陷颗粒的位置进行绘图的一或多个照明源(例如,图1中描绘的照明源101)还可用来为活化、光谱测量或两者提供照明。

[0116] 尽管表面检验系统100包含执行缺陷颗粒的光谱测量的分光计116,但通常,可采用多个不同分光计子系统来提供缺陷颗粒的光谱测量。在一些实例中,收集光束路径中包含一或多个分束元件以使散射光同时引导到多个分光计。在一些实例中,收集路径中采用可移动镜或可移动转台以使散射光循序地引导朝向多个分光计。

[0117] 尽管参考图5到9描述利用405纳米照明光的光谱测量结果,但通常,可采用照明光的一或多个不同波长来改善光谱测量的信噪比。

[0118] 在一些实施例中,采用多个不同波长且选择所述波长,因为已知其与衬底晶片的表面微凸体(例如,薄膜、高度非球形缺陷颗粒的高纵横比突起等)相互作用。表面微凸体在其附近产生增强型电磁场,所述电磁场增强弱光谱特征。在一些实施例中,表面检验系统(例如,表面检验系统100)包含具有介于600nm与700nm之间的波长的可见电磁辐射源。已知这个波长范围内的光是在非球形铜纳米颗粒的高纵横比突起及特征中激发局部表面等离子共振。与经激发的等离子共振相关联的增强型电磁场在铜纳米颗粒的表面上增强来自氧化亚铜、氧化铜或两者的薄层的拉曼散射信号。在一些实例中,氧化物层以足够量存在于具有最小或无额外活化的缺陷颗粒的表面上。

[0119] 图10描绘可用于识别如本文中描述的经活化的缺陷颗粒的材料组成的实例性方法200的流程图。在一些非限制性实例中,参考图1描述的检验系统100经配置以实施方法200。然而,通常,方法200的实施不受限于本文中描述的具体实施例。

[0120] 在框201中,用照明光束照明将样品表面上的测量点。照明光束化学地改变缺陷颗粒使得缺陷颗粒变成光谱活性。

[0121] 在框202中,基于从经活化的缺陷颗粒散射的光量生成指示经活化的缺陷颗粒的材料组成的输出信号。

[0122] 在框203中,基于输出信号来确定经活化的缺陷颗粒的材料组成。

[0123] 本文中描述可用于检验样品的检验系统或工具的各种实施例。本文中使用的术语“样品”是指所属领域中已知的可检验缺陷、特征或其它信息(例如,雾度或膜性质的量)的晶片、光罩或任何其它样本。

[0124] 如本文中使用的,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、砷化镓及磷化铟。此类衬底可通常在半导体制造设施中发现及/或处理。在一些情况下,晶片可包含仅衬底(即,裸晶片)。替代地,晶片可包含衬底上形成的一或多个不同材料层。晶片上形成的一或多个层可为“图案化”或“未图案化”的。例如,晶片可包含具有可重复图案特征的多个裸片。

[0125] “光罩”可为在光罩制造工艺的任何阶段的光罩,或可经释放或未经释放以用于半

导体制造设施中的完整光罩。光罩或“掩模”通常被定义为形成有基本上不透明区域且配置成图案的基本上透明衬底。衬底可包含(例如)玻璃材料,例如石英。光罩可在光刻工艺的曝光步骤期间布置在抗蚀剂覆盖晶片上方使得主光罩上的图案可转印到抗蚀剂。

[0126] 在一或多个实例性实施例中,所描述功能可在硬件、软件、固件或其任何组合中实施。如果在软件中实施,那么功能可作为一或多个指令或代码存储在计算机可读媒体上或通过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及通信媒体两者,包含促进将计算机程序从一个地方转移到另一地方的任何媒体。存储媒体可为可由通用或专用计算机获取的任何可用媒体。举例来说但非限制,此类计算机可读媒体可包括RAM、ROM、EEPROM、CD-ROM或其它光磁盘存储、磁盘存储或其它磁性存储装置,或可用来呈指令或数据结构的形式携载或存储所期望程序代码构件且可由通用或专用计算机或通用或专用处理器获取的任何其它媒体。而且,任何连接被适当地称为计算机可读媒体。例如,如果软件是使用同轴电缆、光纤电缆、双绞线、数字用户线(DSL)或无线技术(例如红外线、无线电及微波)从网站、服务器或其它远程源传输,那么媒体的定义中包含同轴电缆、光纤电缆、双绞线、DSL或无线技术(例如红外线、无线电及微波)。如本文中使用的磁盘及光盘包含压缩光盘(CD)、激光光盘、光盘、数字多功能光盘(DVD)、软盘及蓝光光盘,其中磁盘通常磁性地复制数据,而光盘用激光光学地复制数据。上文的组合还应包含在计算机可读媒体的范围内。

[0127] 尽管上文出于指导目的描述某些具体实施例,但本专利文件的教示具有一般适用性且不限于上文描述的具体实施例。因此,可在不背离如权利要求书中列举的本发明的范围的情况下实践所描述实施例的各个特征的各种修饰、调适及组合。

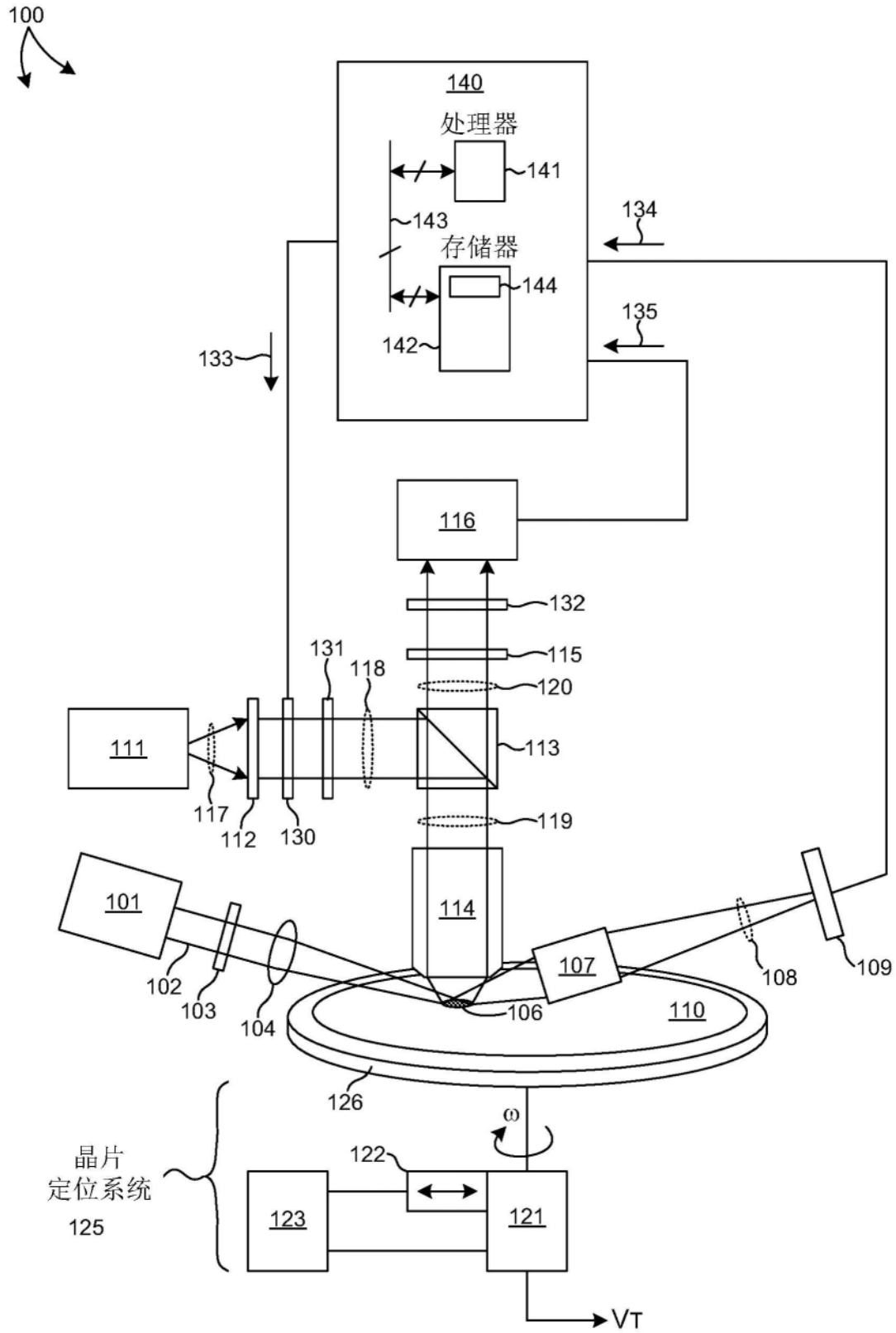


图1

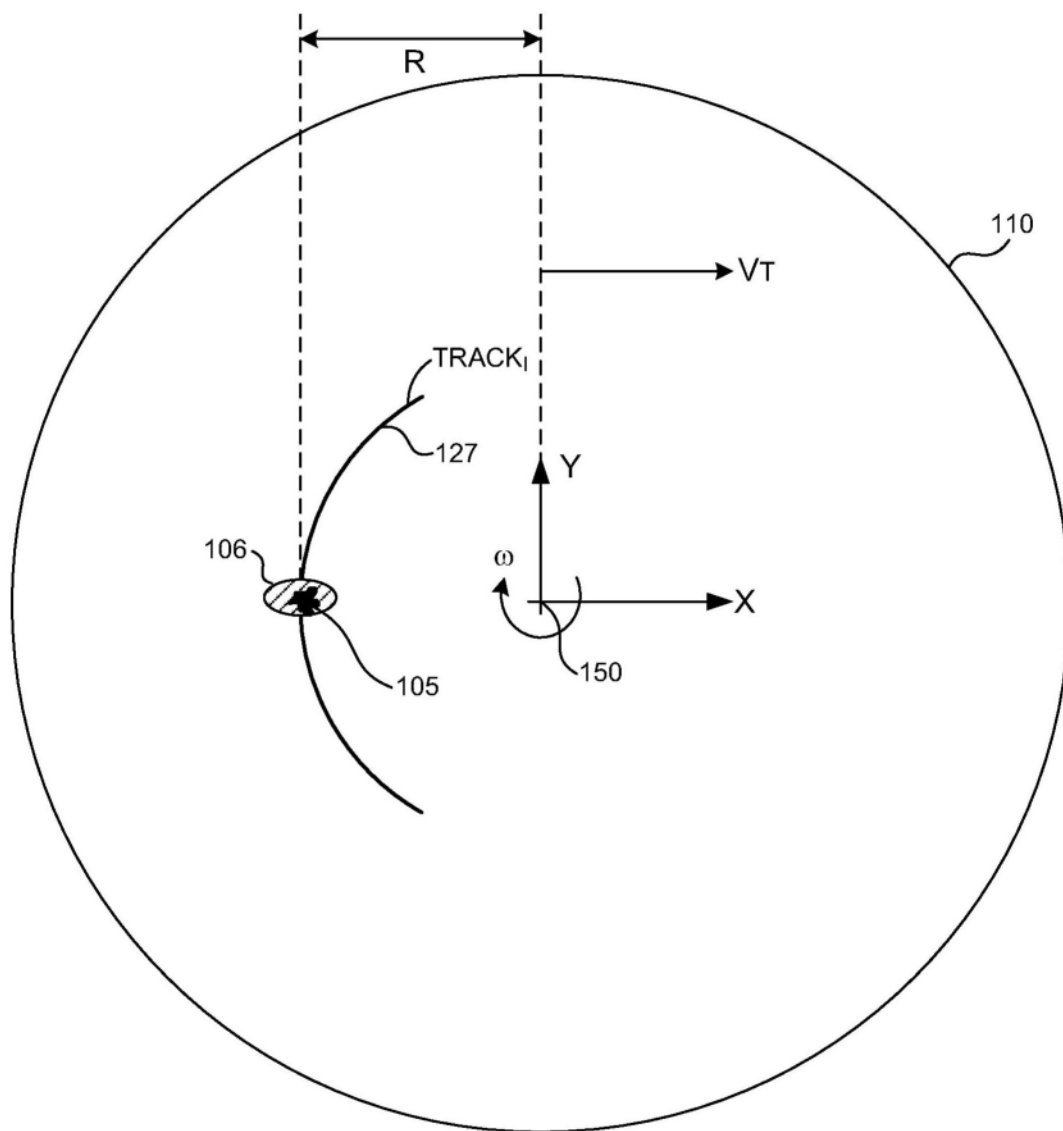


图2

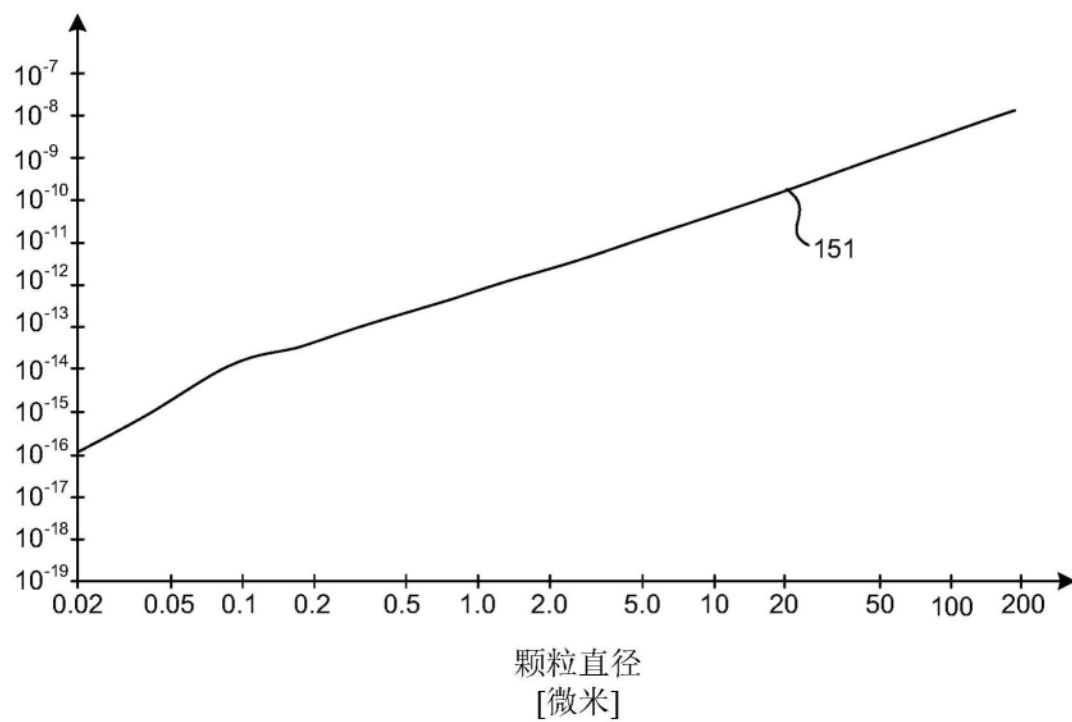


图3

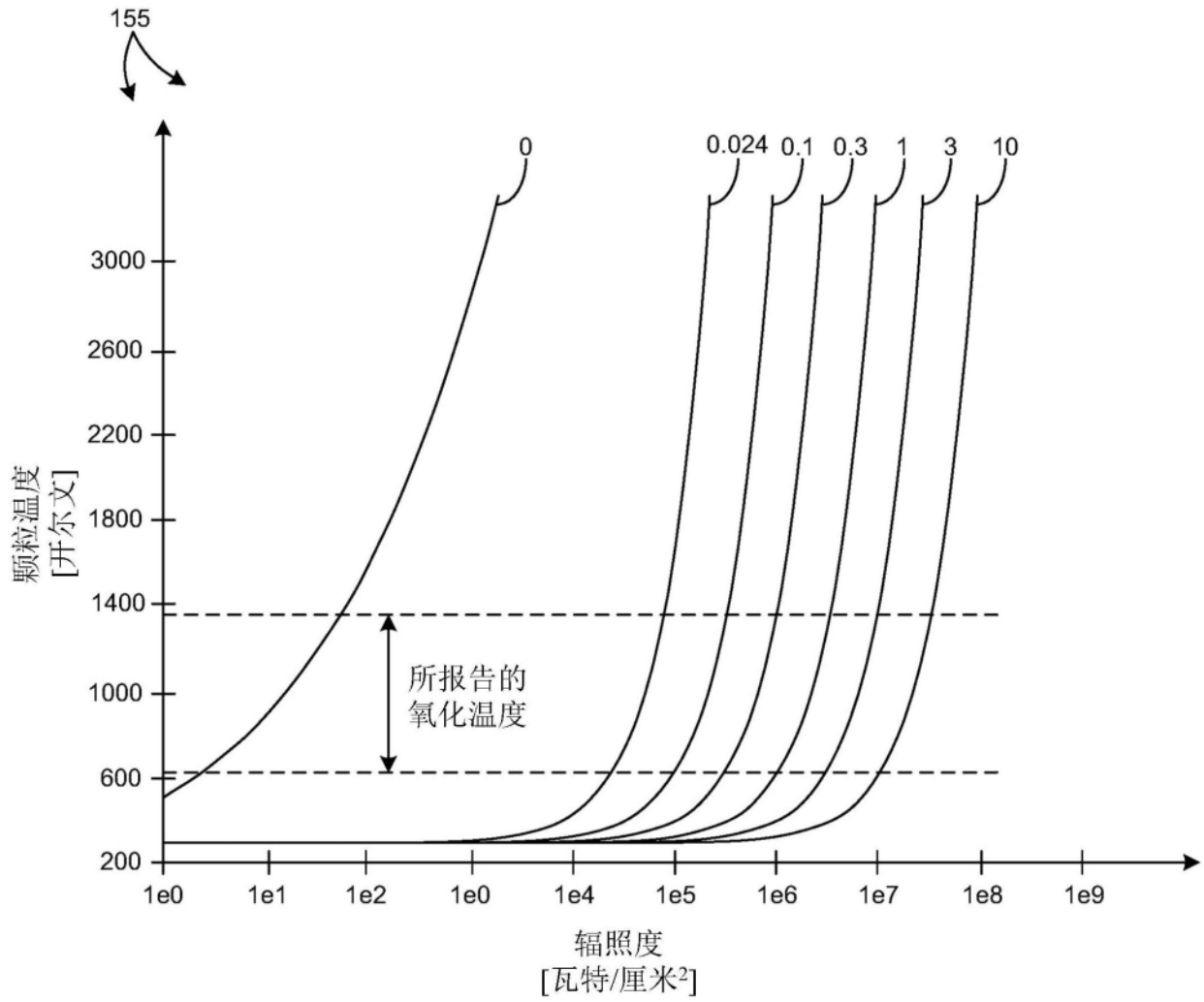


图4

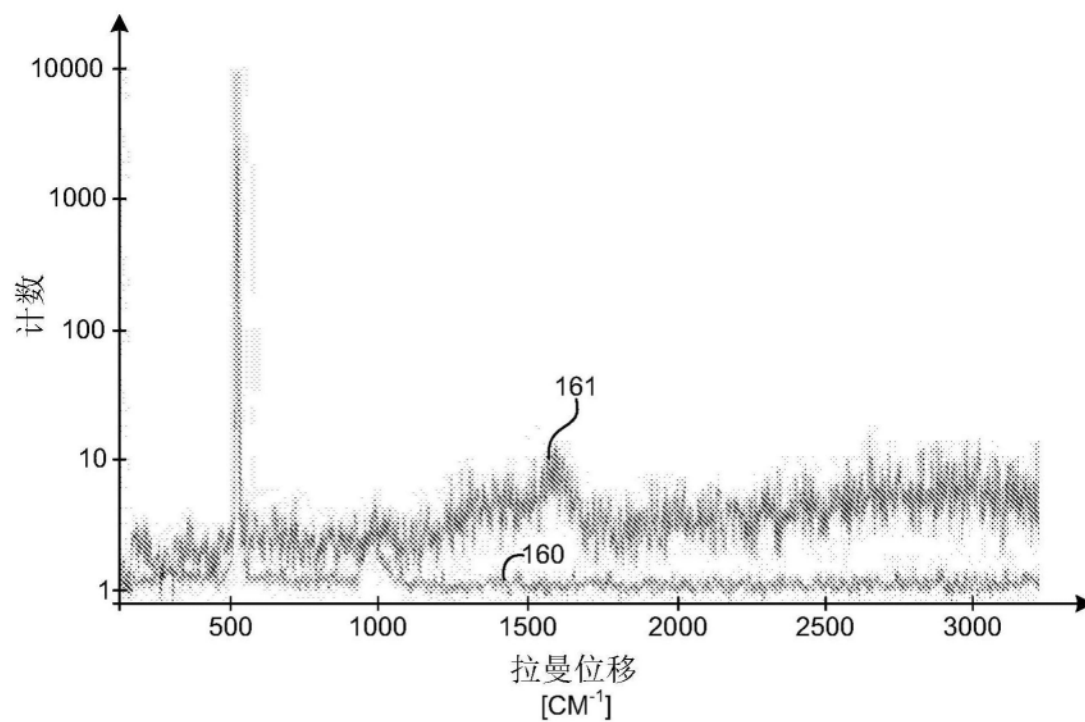


图5

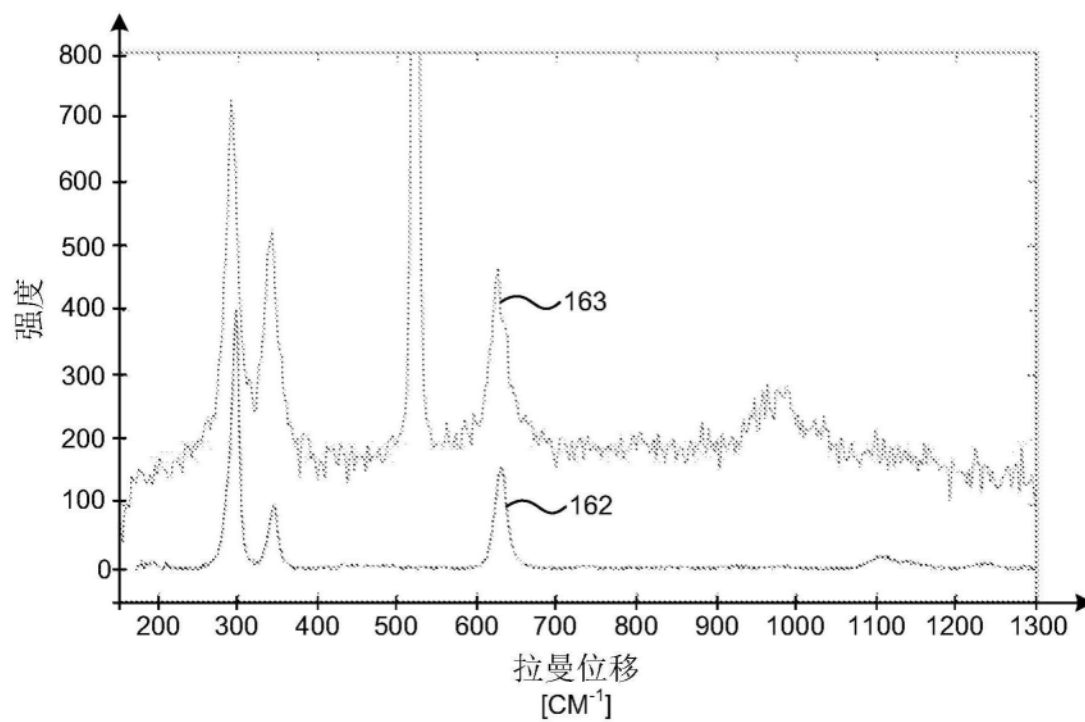


图6

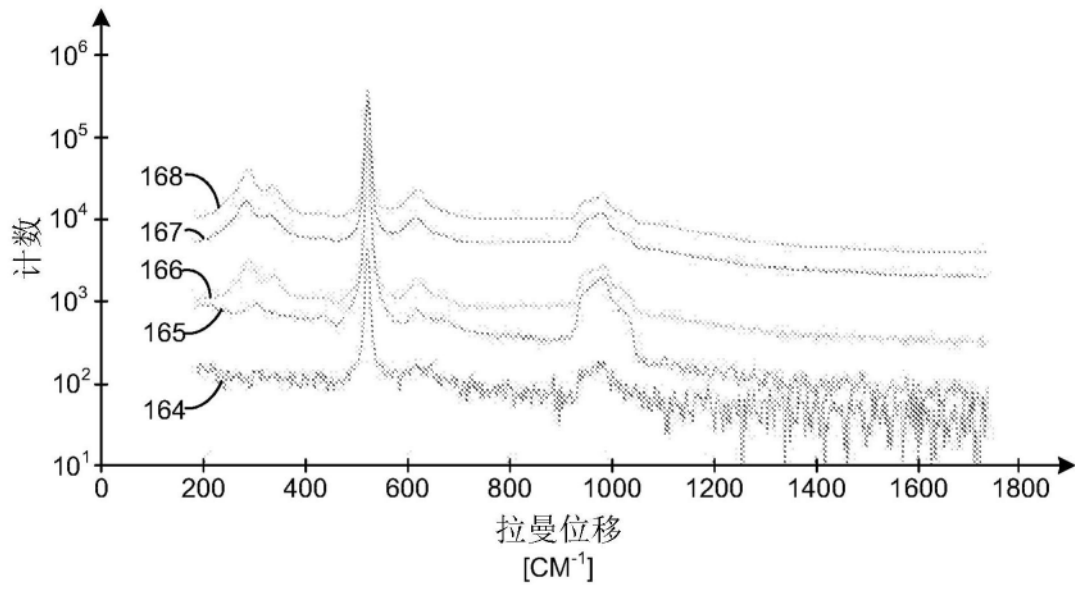


图7

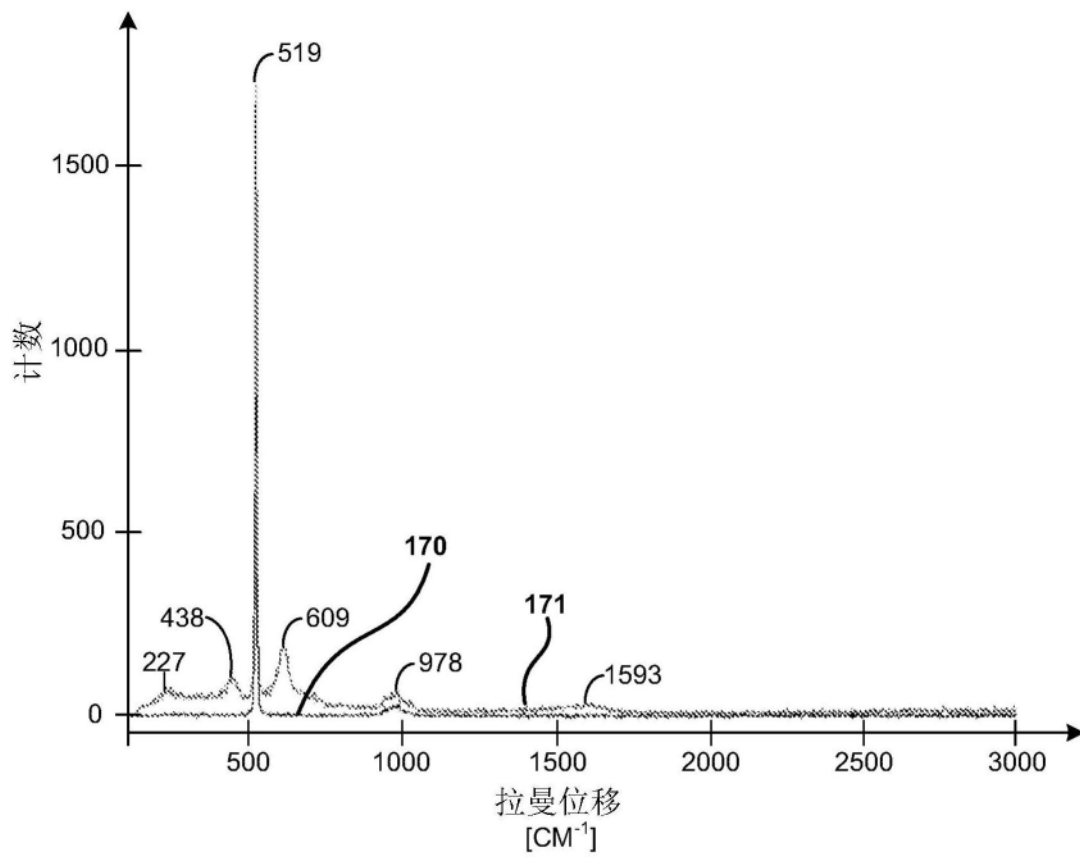


图8

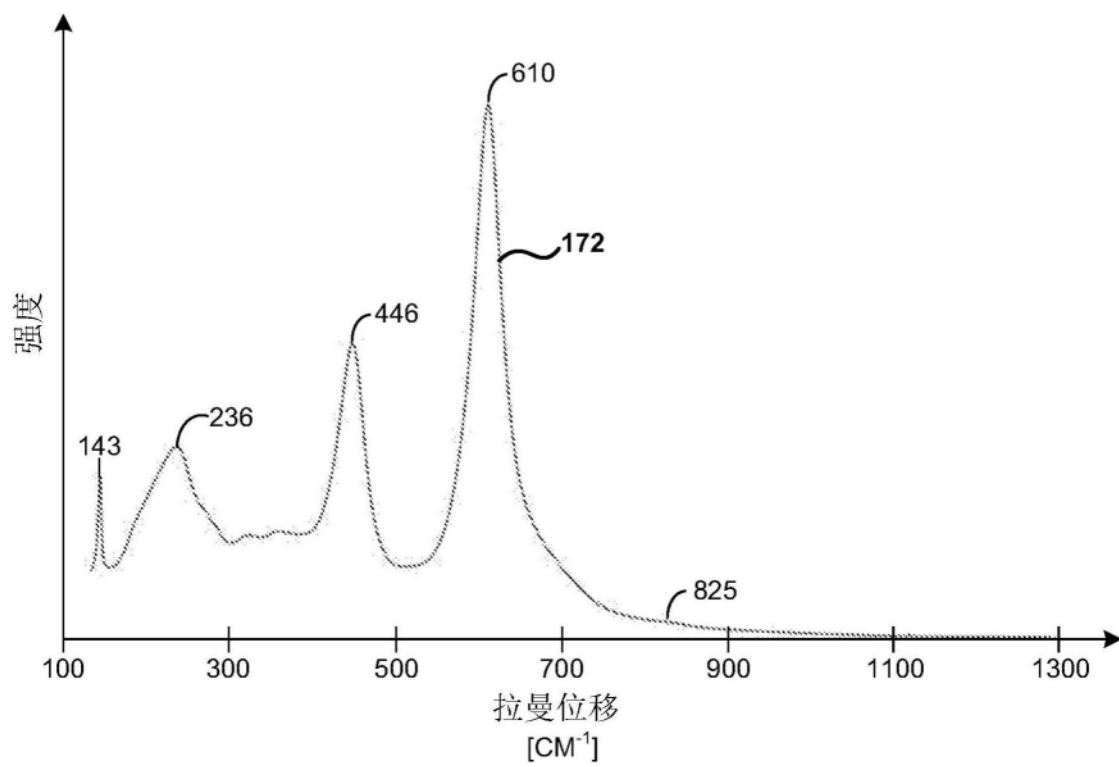


图9

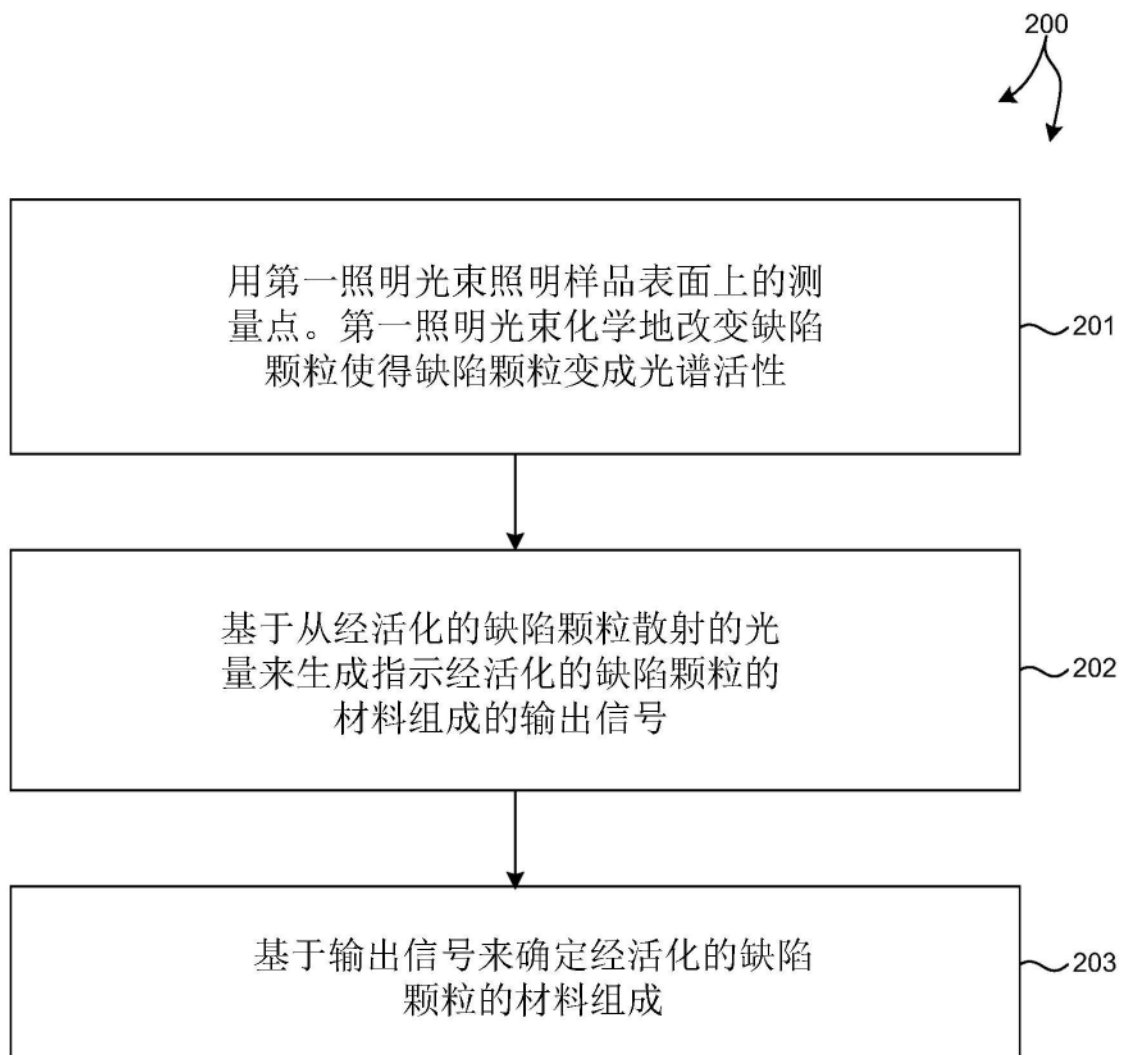


图10