(19)国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 119998637 A
(43)申请公布日 2025.05.13

(21)申请号 202380047864.6
(22)申请日 2023.07.10
(30)优先权数据
22382673.6 2022.07.14 EP
(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2024.12.17
(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/IB2023/057060 2023.07.10
(87)PCT国际申请的公布数据
WO2024/013636 EN 2024.01.18
(71)申请人 菲拉激光有限公司
地址 西班牙巴伦西亚
(72)发明人 P•佩雷斯•米兰
A•加西亚•德拉雷娜•卡里奥
M•古铁雷斯•贝尼托
E•伊莱斯•安东
(74)专利代理机构 广州嘉权专利商标事务所有限公司 44205
专利代理师 陈家灿
(51)Int.Cl.
G01J 3/50(2006.01)
G02B 26/08(2006.01)
G01J 3/02(2006.01)
G01J 3/10(2006.01)
G01N 21/25(2006.01)
G01N 21/89(2006.01)
G01J 3/46(2006.01)
G01N 21/31(2006.01)

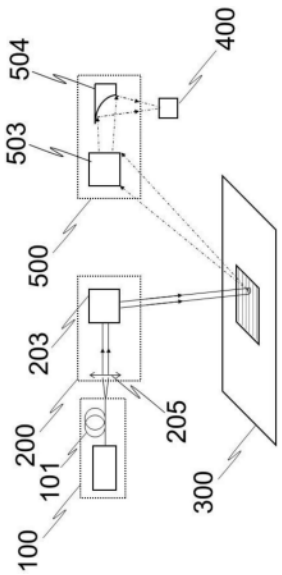
权利要求书3页 说明书15页 附图10页

(54)发明名称

用于测量样本区域颜色的系统和方法

(57)摘要

一种测量样本区域颜色的系统和方法。该系统包括:光源;第一光学装置,用于逐个部分地扫描样本区域;第二光学装置,包括第二光学设备和光学元件,用于收集从样本散射的光;光谱仪,用于接收收集到的散射光并测量每个部分的光谱;以及计算设备。该系统被配置为使得该区域的扫描与对该区域各部分的光谱的记录同步。第二光学设备被配置为与第一光学设备同步地改变并动态地调整重定向散射光的传播方向。计算设备确定颜色坐标,计算和分析整体光谱,计算XYZ三刺激值。



CN 119998637 A

1.一种测量样本区域颜色的系统,包括:

光源(100),所述光源(100)配置为发射光以照射样本(300);

第一光学装置(200),所述第一光学装置(200)配置为接收所述光,以将所述光的准直光束输出并将其引导至位于给定距离处的所述样本(300)的表面,所述第一光学装置(200)包括第一光学设备(203),所述第一光学设备(203)配置为改变和动态地调整所述准直光束朝向所述样本(300)的方向,从而逐个部分地扫描所述样本(300)的区域;

第二光学装置(500),在用所述准直光束照射所述样本时,所述第二光学装置(500)被配置为收集从所述样本散射的光,所述第二光学装置(500)包括第二光学设备(503)和光学元件(504),其中,所述第二光学设备(503)被配置为接收由所述样本散射的光,所述散射光在当所述准直光束入射到所述样本的表面上时以相对于从所述样本反射的镜面反射分量的方向的观察角α散射,并且所述第二光学设备(503)被进一步配置为将接收到的散射光重定向到所述光学元件(504),

并且其中,所述第二光学设备(503)还配置为与所述第一光学设备(203)同步地改变和动态调整重定向散射光的传播方向,使得在扫描所述样本(300)的区域期间,所述重定向散射光的所述传播方向相对于所述光学元件(504)保持不变;

光谱仪(400),所述光谱仪(400)配置为接收由所述第二光学装置(500)收集的散射光,并记录每个部分收集的散射光的光谱;以及

计算设备,所述计算设备可操作地连接到所述光谱仪(400);

其中:

由所述光源(100)发射的光包括同时发射的波长光谱,并且所述光谱连续地覆盖可见光范围内的从第一波长到第二波长的至少一个波长带;

由所述光源(100)发射的光至少对于从所述第一波长到所述第二波长的所有波长带是空间相干的;

用于输出所述准直光束的所述第一光学装置(200)被配置为如果空间相干光是准直的,则保持准直的所述空间相干光,或者所述光学装置(200)还包括准直器(205),所述准直器(205)用于执行所述空间相干光的准直;

其中,所述系统被配置用于,当所述第一光学设备(203)扫描所述区域时,使所述区域的扫描与所述光谱仪(400)对所述区域各部分的光谱的记录同步,并且记录每个部分的光谱所持续的光谱积分时间等于所述第一光学设备(203)扫描所述部分的持续时间;

所述计算设备被配置为通过对所述区域的所有或一些扫描部分对应的所有或一些光谱进行统计计算来计算整体光谱,并且通过分析所述整体光谱,来确定所述样本(300)区域在给定颜色空间中的颜色坐标,所述分析包括计算与所述整体光谱相对应的XYZ三刺激值;

并且其中,所述第一波长包含在370nm至460nm之间的范围内,所述第二波长包含在620nm至780nm之间的范围内。

2.根据权利要求1所述的系统,其中,所述重定向散射光的传播方向平行于所述光学元件(504)的主光轴,优选地,所述光学元件(504)是离轴抛物面镜。

3.根据前述权利要求中任一项所述的系统,其中,所述观察角α约为45度,并且其中,所述第一光学设备(203)进一步配置为在对所述样本区域进行逐个部分扫描期间改变和动态地调整所述准直光束的方向,使其围绕垂直于所述样本的表面的中心方向定向。

4.根据前述权利要求中任一项所述的系统,其中,所述第一光学设备(203)和所述第二光学设备(503)包括各自的检流计反射镜;所述第二光学装置还包括与所述光谱仪(400)光学耦合的光纤;并且所述光学元件(504)被配置为接收由所述第一光学设备(503)重定向的散射光并进一步将其重定向到所述光纤的输入端。

5.根据前述权利要求中任一项所述的系统,其中,所述光学元件(504)是带有通孔的离轴抛物面镜,并且所述系统还包括激光器,所述激光器配置为通过所述孔向所述第二光学设备(503)发射激光。

6.根据前述权利要求中任一项所述的系统,其中,所述光源是超连续谱光源。

7.根据前述权利要求中任一项所述的系统,其中,对于从所述第一波长到所述第二波长的所有波长,所述准直光束的横截面的直径在距所述第一光学装置(200)1m处的点或更小的任何距离处为10mm或更小,或者在距所述第一光学装置(200)10m处的点或更小的任何距离处为100mm或更小,所述直径被认为是$1/e^2$宽度,当所述第一光学装置(200)包括所述准直器(205)时,所述点优选地位于所述准直器(205)处。

8.根据前述权利要求中任一项所述的系统,其中,由从所述第一波长到所述第二波长的所有波长组成的准直光束的亮度在距所述第一光学装置(200)1m处的点或更小的任何距离处为$1mW/cm^2$或更高,或者在距所述第一光学装置(200)10m处的点或更小的任何距离处为$0.01mW/cm^2$或更高,当所述第一光学装置(200)包括所述准直器(205)时,所述点优选地位于所述准直器(205)处。

9.一种用于测量样本区域颜色的方法,包括:

利用光源发射光,用于照射位于所述光源给定距离处的样本,所述光包括同时发射的波长光谱,其中,所述光谱至少连续覆盖可见光范围内的从第一波长到第二波长的波长带,所述光至少在从所述第一波长到所述第二波长的所有波长上是空间相干的,并且其中,所述第一波长包含在370nm至460nm之间的范围内,所述第二波长包含在620nm至780nm之间的范围内;

在距离所述光源的一端一定距离的第一光学装置处接收空间相干光;

在所述第一光学装置处,如果所述空间相干光是准直的,则保持准直的所述空间相干光,或者用准直器准直所述空间相干光;

通过所述第一光学装置输出并将所述空间相干光的准直光束引导至距所述第一光学装置给定距离处的所述样本的表面,所述距离优选为0.5m或更长;通过所述第一光学装置的第一光学设备逐个部分地扫描所述样本区域,改变并动态地调整准直光束的方向;

通过第二光学装置收集从所述样本散射的光,所述第二光学装置包括第二光学设备和光学元件,其中,通过所述第二光学设备接收由所述样本散射的光,所述散射光在当所述准直光束入射到所述样本的表面上时以相对于从所述样本反射的镜面反射分量的方向的观察角散射,并且通过所述第二光学设备,将接收到的散射光重定向到所述光学元件,通过所述第二光学设备与所述第一光学设备同步,在扫描所述样本区域期间改变和动态定向重定向散射光的传播方向,使得所述重定向散射光的所述传播方向相对于所述光学元件保持不变;

通过光谱仪记录从所述样本的每个部分收集到的散射光的光谱;

使所述区域的扫描与所述光谱仪对所述区域各部分的光谱的记录同步,其中,每个部

分的光谱记录所持续的光谱积分时间等于所述第一光学设备扫描所述部分的持续时间;以及

通过与所述光谱仪可操作地连接的计算设备,通过对所述区域的所有或一些扫描部分对应的所有或一些光谱进行统计计算来计算整体光谱,并通过分析所述整体光谱,来测量所述样本区域在给定颜色空间中的颜色坐标,所述分析包括计算与所述整体光谱相对应的XYZ三刺激值。

10.根据权利要求9所述的方法,其中,使用与时间相关的电压信号来执行所述同步。

11.根据权利要求9或10所述的方法,其中,所述样本在用所述准直光束照射时,所述样本还接收来自环境的其他光。

12.根据前述权利要求9至11中任一项所述的方法,其中,

对于从所述第一波长到所述第二波长的所有波长,所述准直光束具有的最大全角发散角为0.46度或更小,优选地在0.01至0.20度之间;或者

对于从所述第一波长到所述第二波长的所有波长,所述准直光束的横截面的直径在距所述第一光学装置1m处的点或更小的任何距离处为10mm或更小,或者在距所述第一光学装置10m处的点或更小的任何距离处为100mm或更小,所述直径被认为是$1/e^2$宽度;或者

对于从所述第一波长到所述第二波长的所有波长,所述准直光束的光束质量因子M^2的范围在1.0至2.0之间;或者

由从所述第一波长到所述第二波长的所有波长组成的所述准直光束的亮度在距所述第一光学装置1m处的点或更小的任何距离处为1mW/cm^2或更高,或者在距所述第一光学装置(200)10m处的点或更小的任何距离处为0.01mW/cm^2或更高;

并且其中,当所述第一光学装置包括所述准直器时,所述第一光学装置上的所述点位于所述准直器处。

13.根据前述权利要求9至12中任一项所述的方法,其中,所述光谱积分时间通过执行以下步骤来确定:

通过所述第一光学设备连续扫描白色参照物的区域的一部分,优选地是周边;

在对所述部分进行扫描的同时,通过光谱仪记录具有不同光谱积分时间的光谱,所述光谱积分时间以一定的恒定时间差渐进且离散地增加;并且

将在任何波长记录均不饱和的光谱的最大光谱积分时间选择作为光谱积分时间。

14.根据前述权利要求9至13中任一项所述的方法,其中,所述XYZ三刺激值通过以下方式计算:

使用所述样本区域的整体光谱、白色参照物的参照物整体光谱和背景光谱计算反射率曲线;

将计算出的反射率曲线乘以CIE标准光源光谱曲线、CIE标准观察者光谱曲线和归一化常数。

用于测量样本区域颜色的系统和方法

技术领域

[0001] 本发明总体上涉及颜色测量。特别地,本发明涉及一种用于测量样本区域颜色的系统和方法。

背景技术

[0002] 一些要求最苛刻的颜色测量应用需要能够以高速和低成本提供精确颜色测量的系统和方法。一些要求更高的应用还需要在远处测量物体的颜色,并且能够与其它并行过程(例如在工厂生产线上进行的过程)相结合。颜色测量领域中的大部分现有技术都无法满足上述几个要求,因为其涉及的系统和方法为了实现精确和快速的测量需要使用复杂和昂贵的设备以及存在特殊条件。特殊条件例如是,零环境照明或极低的环境照明,和/或将样本放置在特殊的外壳内或与特殊的外壳接触,和/或用颜色测量设备接触样本。所述特殊条件与必须进行颜色测量的环境不相容。同样,准确地确定样本的颜色通常需要对所述样本进行准确的多角度测量,但是从远处并且在环境对样本有强光照射下进行所述多角度测量是具有挑战性的。

[0003] 专利申请文件US2018/0180480A1描述了一种多角度色度计,其包括光照明和接收光学系统、光谱块、控制单元和外壳,并且还描述了可以测量样本的颜色,该样本的观察颜色根据多个光接收角度中的每一个的比色观察方向而改变。然而,US2018/0180480A1也描述了在测量颜色时,外壳的压紧部分压靠样本。

[0004] 同样,专利申请文件US2006/0109474A1描述了一种用于测量物体的多角度色度计,并且该色度计包括照明系统、环形镜、光检测系统、控制器/计算器,和具有测量开口的壳体,其中测量开口朝向物体表面并且具有用于在物体表面上限定预定测量区域的周长。

[0005] 从上文可以理解,需要用于从远处精确测量样本颜色并且能够同时提供多角度测量的方法和系统。此外,需要一些方法和系统,其用于前述精确测量颜色的目的,特别是在所述多角度测量期间,确保或旨在不需要也没有必要在测量期间重新定位照明光源和/或光谱仪,也不需要使用多个照明光源和/或光谱仪。

发明内容

[0006] 本发明提供了一种测量颜色的系统和方法,其中颜色被远程、在线或离线、实时地测量,该测量不受周围照明光的影响。该系统和方法是非侵入式的:在分析之后,被研究的样本保持未损坏和未改变(例如,不需要切割一块样本来测量其颜色)。本发明适用于测量各种材料的颜色,例如纺织品、聚合物、有机材料、塑料、玻璃、金属、木材、陶瓷和用于绘画或染色的颜料(天然或合成)等。本发明允许在现有生产线或其它复杂设置中或附近进行先进的颜色测量。本发明提供了一种系统,该系统易于扩展、坚固,并且可以被制造得紧凑,并且具有小的形状因素,以实现多功能和便携式。本发明不需使用非常昂贵的设备。本发明允许测量不同大小和形状的区域。本发明允许以高分辨率执行颜色映射。非常重要的是,本发明允许执行多角度颜色测量,而不需要在测量期间重新定位照明光源和/或光谱仪,也不需

要使用多个照明光源和/或光谱仪。

[0007] 为此目的,本发明的实施例公开了一种测量样本区域颜色的系统,包括:光源,该光源被配置为发射光以照射样本;第一光学装置,该第一光学装置配置为接收所述光,以将所述光的准直光束输出并将其引导至位于给定距离处的样本的表面,该第一光学装置包括第一光学设备,该第一光学设备配置为改变和动态定向准直光束朝向样本的方向,从而逐个部分地扫描样本区域;第二光学装置,在用准直光束照射样本时,该第二光学装置被配置为收集从样本散射的光;光谱仪,该光谱仪配置为接收收集到的散射光(即,由第二光学装置收集到的散射光),并记录每个(扫描的)部分的收集的散射光的光谱;以及可操作地连接到光谱仪的计算设备。逐个部分可以是逐行、逐点或逐斑点。优选地,通过照射该区域的各行来扫描该区域,也就是说逐行扫描该区域。光谱仪接收到的散射光可以是或包括反向散射光,即在用准直光束照射样本时从样本上反向散射的光。

[0008] 第二光学装置包括第二光学设备和光学元件。该第二光学设备被配置为接收由样本散射的光,当准直光束入射到样本的表面上时,所述散射光以相对于从样本反射的镜面反射分量的方向的观察角α散射。此外,所述第二光学设备还被配置为将接收到的散射光重定向到光学元件。

[0009] 此外,在扫描样本区域期间,所述第二光学设备还配置为与第一光学设备同步地改变和动态调整重定向散射光的传播方向,使得重定向散射光的所述传播方向相对于光学元件保持不变(即相同)。

[0010] 在所提出的系统中,由光源发射的光包括同时发射的波长光谱,并且所述光谱连续覆盖可见光范围内的从第一波长到第二波长的至少一个波长带。此外,至少对于从第一波长到第二波长的所有波段,光源发射的光是空间相干的。该光谱最优选是宽光谱,例如宽度超过10纳米、50纳米或100纳米的光谱。

[0011] 此外,该系统被配置用于,当第一光学设备扫描该区域时,使所述区域的扫描与光谱仪对该区域各部分的光谱的记录同步。同样,该系统被配置成使得记录每个部分(每个被扫描的部分)的光谱所持续的光谱积分时间等于第一光学设备扫描所述部分的持续时间。

[0012] 用于输出准直光束的第一光学装置被配置为如果或当空间相干光被准直时,保持准直的所述空间相干光;和/或所述光学装置还包括准直器以执行空间相干光的准直。优选地,准直器位于离光源一端的特定距离处。

[0013] 因此,由光源发射的空间相干光在离开光源时可以是或可以不是准直的。同样,所述光在被第一光学装置接收到之前可以是准直的,也可以不是准直的。后者可以通过具有不破坏所述准直的光学元件来保持光的准直。同样,第一光学装置可以包括如上所述的准直器,以导致或改善光的准直。同样,可选地,该系统可以包括在所述光源和第一光学装置之间的准直器,用于准直从光源到第一光学装置的光。

[0014] 根据以上所述,可以设想第一光学装置具有准直器(例如准直透镜或准直镜),该准直器位于距光源一端的一定距离(对应于准直器的焦距)处,以将空间相干光转换成准直光束。

[0015] 该计算设备被配置成通过对区域的所有或一些扫描部分对应的所有或一些光谱进行统计计算来计算整体光谱,并且通过分析该整体光谱,来确定所述样本区域在给定颜色空间中的颜色坐标,所述分析包括计算与所述整体光谱相对应的XYZ三刺激值。可以清楚

地理解,计算整体光谱需要执行所述统计计算,即计算整体光谱包括或通过(借助于)执行所述统计计算来完成。

[0016] 所述整体光谱可以可选地是对应于该区域的所有或一些扫描部分的所有或一些光谱的统计平均值(均值)、中值或众数,以及其它有利的统计数字。优选地,所述整体光谱是平均(均值)光谱,根据该区域的所有扫描部分对应的所有光谱计算得出。

[0017] 在优选实施例中,重定向散射光的传播方向平行于光学元件的主光轴。同样,优选地,所述光学元件是离轴抛物面镜。因此,该系统可受益于功能良好还易于实施的光学设计。

[0018] 在一个优选实施例中,观察角α约为45度,并且第一光学设备进一步配置为在对样本区域进行逐个部分扫描期间,改变和动态地调整准直光束的方向使其围绕垂直于样本表面的中心方向定向。因此,该系统可以选择提供CI E 0/45(即0°/45°)颜色测量,以满足许多工业应用中标准化目的的要求。

[0019] 在优选实施例中,第一光学设备和第二光学设备包括各自的检流计反射镜。使用检流计反射镜,特别是使用市面上销售的检流计反射镜,可以有利地简化系统的整体光学设计。此外,可选地并且优选地,第二光学装置还包括光学耦合到光谱仪的光纤。使用光纤将光谱仪与第二光学装置进行光学耦合(即连接),可以有利地有助于减小系统的形状因子,和/或使所述系统便携化。此外,在优选实施例中,光学元件被配置为接收由光学元件重定向的散射光,并进一步将所述光重定向到前述可选的光纤的输入端。

[0020] 在优选实施例中,该系统的光学元件是带有通孔的离轴抛物面镜,并且该系统还包括激光器,该激光器配置为通过所述孔向第二光学设备发射激光。因此,第二光学设备可以进一步将所述激光重定向到样本表面。利用激光和准直光束照射样本的位置,可以在进行颜色测量之前,对第一光学设备和第二光学设备进行光学对准。所述光学对准可以用于使得所述激光和准直光束在样本表面上重合,用于确保第二光学设备正确地将散射光重定向为平行于所述离轴抛物面镜的光轴。这样,可以有利地优化第二光学装置对散射光的收集。

[0021] 可选地和优选地,空间相干光源是或包括超连续谱光源。可选地,光源,例如所述可选的超连续谱光源,包括非线性光纤或被配置为被光激发并发射超连续光谱的光纤。有利的是,这种选择可以进一步使得系统紧凑、耐用和便携。

[0022] 在一个实施例中,第一波长包括在370nm至460nm之间的范围内,第二波长包括在620nm至780nm之间的范围内。在特定实施例中,第一波长是430nm。在另一特定实施例中,第二波长是750nm。在另一特定实施例中,第一波长是400nm。在另一特定实施例中,第二波长是780nm。在另一特定实施例中,第一波长是380nm,第二波长是750nm。可选地,控制第一波长和第二波长可以提高测量的精度和/或允许根据样本的预期颜色来调整系统。

[0023] 在一个实施例中,对于从第一波长到第二波长的所有波长,准直光束具有0.46度或更小的最大全角发散角。可选地并且优选地,对于从第一波长到第二波长的所有波长,所述最大全角发散角在0.01至0.20度之间。该选项可以允许控制光束的方向和直径,并且可以有助于精确测量距系统不同距离处的样本。

[0024] 在一个实施例中,第一光学装置包括优选为准直透镜的准直器,并且第一光学装置在距准直器一定距离处,所述距离对应于准直器的焦距,对于从第一波长到第二波长的

所有波长,准直光束的横截面的直径为5mm或更小,特别是小于2.15mm,直径被认为是$1/e^2$宽度。这种选择有助于在测量过程中获得高空间分辨率和良好的信噪比。

[0025] 在一个实施例中,对于从第一波长到第二波长的所有波长,准直光束的横截面的直径在距第一光学装置1m的点处或更小的任何距离处为10mm或更小,和/或所述直径在距第一光学装置10m的点处或更小的任何距离处为100mm或更小,该直径被认为是$1/e^2$宽度。优选地,当(如果)第一光学装置包括所述准直器时,所述点在准直器处。同样,可选地,所述点位于第一光学装置的光学出口处,所述光学出口是光束从其离开第一光学装置的光学端口、光圈、材料或间隙。

[0026] 同样,可选地,所述点位于改变和动态调整光的方向的第一光学设备处。这些选项有助于改善在不同距离对样本测量的表现,并具有良好的分辨率,甚至当样本从环境中接收大量其它光时也是如此。

[0027] 在一个实施例中,对于从第一波长到第二波长的所有波长,准直光束的光束质量因子M^2的范围在1.0至2.0之间。在特定实施例中,这种质量因子M^2低于1.4。该选项有助于控制和优化系统对样本的照明。

[0028] 在一个实施例中,由从第一波长到第二波长的所有波长组成的准直光束的亮度在距第一光学装置1m的点或更小的任何距离处为$1mW/cm^2$或更高;可选地或补充地,在距第一光学装置10m的点或更小的任何距离处,所述亮度为$0.01mW/cm^2$或更高,其中当(如果)第一光学装置包括所述准直器时,所述点优选地在准直器处。在特定的实施例中,该亮度在距离准直透镜1m处为$136mW/cm^2$,在距离准直透镜10m处为$2.8mW/cm^2$。这些选项有助于优化测量的准确性。

[0029] 本发明的实施例还公开了一种用于测量样本区域颜色的方法。该方法包括用光源发射光,用于照射位于光源给定距离处的样本,该光包括同时发射的波长光谱,该光谱至少连续覆盖可见光范围内的从第一波长到第二波长的波长带,并且该光至少在从第一波长到第二波长的所有波长上是空间相干的;在距离光源一端一定距离的第一光学装置处接收空间相干光;在第一光学装置处,如果空间相干光是准直的,则保持准直的空间相干光,和/或用准直器准直所述空间相干光;通过所述第一光学装置输出并将所述空间相干光的准直光束引导至距所述第一光学装置给定距离处的样本表面;逐个部分地扫描样本区域;通过第一光学装置的第一光学设备改变并动态调整准直光束的方向;通过第二光学装置收集从样本散射的光,第二光学装置包括第二光学设备和光学元件;通过光谱仪记录由第二光学装置从样本的每个(扫描)部分收集到的散射光的光谱;使所述区域的扫描与光谱仪对该区域各部分的光谱的记录同步,其中,记录每个部分的光谱所持续的光谱积分时间等于光学设备扫描所述部分的持续时间;以及通过与光谱仪可操作地连接的计算设备,通过对该区域的所有或一些扫描部分对应的所有或一些光谱进行统计计算来计算整体光谱,并通过分析整体光谱来测量样本区域在给定颜色空间中的颜色坐标,所述分析包括计算与所述整体光谱相对应的XYZ三刺激值。在根据本发明的方法中,所述通过第二光学装置收集散射光包括:通过第二光学设备接收由样本散射的光,当准直光束入射到样本表面时(即由于准直光束入射到样本表面上),所述散射光以相对于从样本反射的镜面反射分量的方向的观察角散射;通过所述第二光学设备,将接收到的散射光重定向到光学元件;以及在扫描样本区域期间,通过第二光学设备与第一光学设备同步地改变并动态调整重定向散射光的传播方

向,使得重定向散射光的所述传播方向相对于光学元件保持不变。

[0030] 在该方法中,可选地且优选地,样本位置距第一光学装置的给定距离为0.5m或更长。可选地,该方法包括在给定距离处提供样本。

[0031] 在一个实施例中,使用与时间相关的电压信号来执行所述同步。优选地,所述电压信号是方形的。

[0032] 在一个实施例中,样本在被准直光束照射时还接收来自环境的其它光。

[0033] 在一个实施例中,通过由第一光学设备连续扫描白色参照物的区域的一部分来确定光谱积分时间;在对该部分进行扫描的同时,通过光谱仪记录具有不同光谱积分时间的光谱,所述光谱积分时间以一定的恒定时间差渐进且离散地增加;并且将在任何波长记录均不饱和的光谱的最大光谱积分时间选择作为光谱积分时间。可选地并且优选地,所述部分是白色参照物的所述区域的周边。

[0034] 在一个实施例中,计算XYZ三刺激值包括:使用样本区域的整体光谱、白色参照物的整体光谱和背景光谱计算反射率曲线,优选地“整体”是“平均”;将计算出的反射率曲线乘以CI E标准光源光谱曲线、CI E标准观察者光谱曲线和归一化常数。需要注意的是,CI E标准观察者由3条不同的光谱曲线(函数)描述,即三条CI E标准观察者光谱曲线(函数),每条曲线分别用于计算X、Y和Z[参考文献4,参考文献5]。

[0035] 本文公开的本发明的其它实施例也包括软件程序,以执行上面总结的和下面详细公开的方法实施例步骤和操作。更具体地,计算机程序产品是具有计算机可读介质的一个实施例,该计算机可读介质包括编码在其上的计算机程序指令,当在计算机系统中的至少一个处理器上执行时,该计算机程序指令会使处理器执行本文所示的作为本发明实施例的操作。

附图说明

[0036] 参照附图,从下面对实施例的详细描述中,将更全面地理解前述和其它优点和特征,这些附图必须以说明性和非限制性的方式来考虑,其中:

[0037] 图1示意性地示出了根据本发明实施例的用于测量样本区域的颜色的系统。

[0038] 图2A示出了样本扫描和光谱记录之间的时空同步过程的图解。

[0039] 图2B示出了用于检流计反射镜扫描仪和光谱仪之间同步的电压信号的示例性示波器迹线。

[0040] 图3A-图3C和图4示出了与根据本发明的方法的一些实施例类似的样本照明步骤的图片。

[0041] 图5描述了一种情况,其中对颜色的感知取决于照明光源、样本和观察者之间的相对方位。图5还示出了镜面反射分量的反射角θ和相对于镜面反射分量方向的观察角α。

[0042] 图6A示意性地示出了根据本发明的系统的一个实施例。

[0043] 图6B示意性地示出了根据本发明的系统的一个实施例。

[0044] 图7A示意性地示出了根据本发明的系统的一个实施例。

[0045] 图7B示意性地示出了根据本发明的系统的一个实施例。

[0046] 图8示出了使用本发明的系统和方法的实施例测量的涂覆铝样本的反射光谱。图8还示出了由样本制造商提供的理论反射光谱。

具体实施方式

[0047] 图1示出了所提出的系统的一个实施例,用于测量样本300的区域颜色。所述样本的一些非限制性示例是:纺织品、聚合物、有机材料、塑料、玻璃、金属、木材、陶瓷、颜料(天然或合成)等。在图1的实施例中,该系统包括光源100;第一光学装置200;第二光学装置500:光谱仪400和计算设备(未示出),该计算设备带有一个或多个处理器和可操作地连接到光谱仪400的至少一个存储器。

[0048] 光源100发射的光包括同时发射的波长光谱。关于图1中的实施例,所述光谱至少连续地覆盖了可见光范围内的从第一波长(370-460nm)到第二波长(620-780nm)的波长带。

[0049] 至少对于从第一波长到第二波长的所有波长,光源100发射的光是空间相干的。优选地,至少对于从第一波长到第二波长的所有波长,所述空间相干光以准直光束的形式传播。根据已知的定义,空间相干光应该理解为具有一定光束轮廓的光,其中,在光束轮廓上不同位置处的电场具有固定的相位关系,因此所述电场是相关的。光的空间相干性允许使所使用的光具有高度的方向性,这有助于最小化系统的光学损失,以及即使当样本远离系统或接收大量环境光时,也能允许对样本进行稳健的颜色测量和可能的高分辨率颜色映射。

[0050] 空间相干光可以优选具有高度的空间相干性。空间相干度可以例如通过在光束横截面上的一对点(点1和点2)之间的复相干度的模$|\gamma_{12}(\Delta z \cong 0)|$来确定[参考文献1],并例如通过光纤干涉仪或杨氏双缝法进行测量,如[参考文献1、参考文献2]中所示。对于系统中的空间相干光,至少对于从第一波长(370-460nm)到第二波长(620-780nm)的所有波长,所述复相干度的系数可以优选地在例如0.5至1.0之间的范围内,优选地在0.8至1.0之间的范围内。

[0051] 在优选实施例中,以及在图1的实施例中,光源100是光纤超连续谱光源,其中超连续谱光在光纤中产生,并且通过所述光纤101或通过另一根光纤101被传送到光源的末端。在这样的实施例中,光源的末端是用于传送超连续谱光源的光的所述光纤101的末端。在所述优选实施例中,光从该末端发射到自由空间(例如空气),该末端是光纤和自由空间(例如空气)之间的界面,其可以是横向抛光界面(例如超物理接触连接器UPC)或成角度抛光界面(例如成角度抛光连接器APC)等形式。

[0052] 在所述优选实施例中,超连续谱光的光谱至少连续覆盖了从第一波长(370-460nm)到第二波长(620-780nm)的波长带。在所述优选实施例中,所有这些波长都仅在用于将超连续谱光传送到光源末端的光纤的基本横向模式中传播。因此,由该实施例的光源发射的光是空间相干的,至少对于从第一波长(370-460nm)到第二波长(620-780nm)的所有波长而言。从光源的末端,所有这些波长可以同时发射到自由空间。

[0053] 可以在所提出的系统中使用的光源的其它非限制性示例包括:

[0054] -光源,包括锁模激光器,例如钛-蓝宝石锁模激光器、或Yb^{3+}锁模激光器、或Er^{3+}锁模激光器等,并且还包括非线性晶体或非线性光纤,其用于将所述锁模激光器发射的光辐射的红外发射光频率加倍或增至三倍。由所述非线性晶体或非线性光纤发射的光可以是空间相干光。

[0055] -光源,包括空间相干超辐射发光二极管,称为SLD或SLED。

[0056] -光源,包括宽带光源,例如白炽灯、卤素灯或白光发光二极管等,该宽带光源被配

置用于发射空间非相干光,该光源还包括针孔,该针孔用于将所述空间非相干光进行空间滤波并转换成空间相干光。

[0057] -光源,包括宽带光源,例如白炽灯、卤素灯或白光发光二极管等,该宽带光源被配置用于发射空间非相干光,该光源还包括单模光纤,该单模光纤用于将所述空间非相干光转换成空间相干光,该宽带光源被耦合到单模光纤中。

[0058] -光源,包括用于产生超连续谱光的非线性晶体。

[0059] 上述所有光源在可见光范围内的宽波长带中可以是空间相干的,并且同时发射这些波长。由这些光源发射的光可以以准直光束的形式自然传播,或者可以被准直器转换成准直光束,所述准直器例如由准直镜或准直透镜或一组准直透镜组成。光源可以可选地包括准直器。

[0060] 可选地,对于光源不以准直光束的形式自然发射的情况,如图1的实施例中的情况,第一光学装置200包括准直器205,其适于将空间相干光转换成准直光束。在一个实施例中,第一光学装置具有准直器,该准直器被放置在离光源末端一定距离处,所述距离与准直器的焦距相对应。在光源是光纤超连续谱光源的优选实施例中,这种准直器被放置在距光源末端一定距离处,该距离与准直器的焦距相对应,该距离是在将超连续谱光传送到光源末端的光纤的传播轴线方向上测量的。

[0061] 对于从第一波长到第二波长的所有波长,准直光束可以具有0.46度或更小的全角发散角。在特定实施例中,对于从430到780nm的所有波长,所引用的全角发散角在0.01至0.20度之间。同样,可选地,对于从第一波长到第二波长的所有波长,在距准直器205对应于准直器205的焦距的距离处,准直光束的横截面的直径可以是5mm或更小,并且其中,该直径被认为是光束宽度的$1/e^2$,即光束横截面中的侧点与光束横截面的中心最大光强点之间的距离,其中光强是该最大光强的$1/e^2$倍。在特定实施例中,对于从430到780nm的所有波长,在距准直器205一段对应于准直器205的焦距的距离处,所引用的直径在2.1mm至2.15mm之间。

[0062] 补充地或替代地,对于从第一波长到第二波长的所有波长,准直光束的横截面的直径在距第一光学装置200处1m的点或更小的任何距离处可以是10mm或更小,和/或在距第一光学装置200处10m的点或更小的任何距离处可以是100mm或更小,其中当/如果第一光学装置200包括所述准直器205时,在第一光学装置的所述点优选地在准直器205处,并且其中,直径被认为是光束宽度的$1/e^2$,即光束横截面中的侧点与光束横截面的中心最大光强点之间的距离,其中光强是该最大光强的$1/e^2$倍。在第一光学装置包括准直器205的特定实施例中,对于从430到780nm的所有波长,在距准直器1m的距离处,所引用的直径在2.1mm至5.3mm之间,并且对于从430到780nm的所有波长,在距准直器10m的距离处,所引用的直径在5mm至37mm之间。

[0063] 因此,在系统包括准直器的特定实施例中,对于从第一波长到第二波长的所有波长,入射到距离准直器1m或更小距离处的样本上的光束横截面在$1/e^2$宽度处的直径为10mm或更小,并且对于从第一波长到第二波长的所有波长,入射到距离准直器10m或更小距离处的样本上的光束在$1/e^2$宽度处的直径为100mm或更小。在系统包括准直器的特定实施例中,优选地对于从430nm到780nm的所有波长,在与准直器205相距1m的距离处,所引用的直径在2.1mm至5.3mm之间;并且优选地对于从430nm到780nm的所有波长,在与准直器205相距10m

的距离处,所引用的直径在5mm至37mm之间。为了说明的目的,图4示出了在类似于本发明的实施例中,当被超连续谱光源的准直光束照射时,由纺织品样本散射的光的图片。在与图4中的图片相关的示例中,对于从430到780nm的所有波长,入射到样本上的光束的横截面的直径值(在$1/e^2$处)在2.1至5.3mm之间,并且对于光束在每个样本中的所有位置,样本与准直透镜的距离在0.95至1m之间。

[0064] 系统的空间分辨率,所述空间分辨率被理解为系统能够提供颜色坐标并将它们与相同大小的相邻区域的颜色坐标区分开的样本的最小区域,可以被假定为对应于光束直径在$1/e^2$宽度处的光束入射到样本上的面积。因此,对于放置在距第一光学装置或第一光学装置内1m的点处或更小距离处的任何样本,所述空间分辨率可以是78.6mm^2或更小,或者对于放置在距第一光学装置或第一光学装置内10m的点处或更小距离处的任何样本,所述空间分辨率可以是78.6cm^2或更小。在第一光学装置具有准直器的特定实施例中,距离准直器1m时,该空间分辨率为22.1mm^2;距离准直器10m时,该空间分辨率为10.7cm^2。

[0065] 如果在光束横截面平面的不同方向上测量,准直光束的全发散角和直径可能具有不同的值。例如,对于具有椭圆形横截面的光束,可能就是这种情况。因此,在本发明中,优选地,光束的全发散角是在光束横截面的所有方向上测量的光束全发散角中的最大全发散角。同样,在本发明中,优选地,光束的直径是在光束横截面的所有方向上测量的光束直径中的最大直径。在横截面为圆形的光束的可选和优选情况下,光束的发散角和直径在光束横截面的所有方向上都相等。

[0066] 可选地,根据ISO标准11146(2005)[参考文献3],对于从第一波长到第二波长的所有波长,准直光束的光束质量因子M^2的范围在1.0至2.0之间,1.0是衍射极限高斯光束的M^2值,并且是M^2的最小物理可能值。优选地,对于从第一波长到第二波长的所有波长,所述质量因子M^2低于1.4。可选地和优选地,由从第一波长到第二波长的所有波长组成的准直光束的亮度,在距第一光学装置1m的点处或更小的任何距离处为1mW/cm^2或更高,和/或在距第一光学装置处的所述点10m或更小的任何距离处为0.01mW/cm^2或更高,当第一光学装置包括所述准直器时,所述点优选地在该准直器处。在第一光学装置包括准直器的特定实施例中,这种亮度在距离准直透镜1m处为136mW/cm^2,在距离准直透镜10m处为2.8mW/cm^2。

[0067] 在样本300被准直光束照射的同时,样本300可以被环境光照射,或者完全不被环境光照射。不同于被配置为使用光学分光计(分光光度计)测量区域颜色的传统系统(其中必须避免环境光才能获得正确的颜色测量结果),在本发明的系统中,颜色的测量不受来自环境光的同时照射的影响(因此,测量可以在对周围照明开放的空间中进行)。造成这种情况的一个原因是,入射到样本上的光束可选择更高的亮度,通常比入射到样本上的环境照明的亮度高得多。

[0068] 参考图1的实施例,第一光学装置200还包括第一光学设备203,例如XY检流计反射镜。所述第一光学设备203被配置为改变并动态地调整准直光束朝向样本300的方向,对样本300的区域执行逐个部分的扫描。

[0069] 如上所述,样本300的一个区域优选地被逐行扫描。在一个实施例中,对所述逐行扫描过程的更完整的描述如下:如图2A(图的右侧)所示,准直光束利用光学设备203动态地定向,以依次照射在样本的不同点上。在图2A(图的右侧)中,样本上所述点的位置用它们相应的坐标(x,y)表示。随后,光束从位置(x_0,y_0)定向到位置(x_0+L_x,y_0)。这被理解为扫描长度

为L_x的第一行。接下来,光束从位置(x_0,y_1)依次定向到位置(x_0+L_x,y_1),执行第二行的扫描。继续这一过程,用其它行(每一行为任意数n)从位置(x_0,y_n)到位置(x_0+L_x,y_n)逐步扫描样本,直到扫描完边长为L_x和L_y的样本完整区域。

[0070] 可选地,可以通过仅扫描一个单行来执行区域的所述扫描。实际上,扫描一行可以照射样本的一个单点或斑点,因为光束横截面或斑点具有有限的尺寸。因此,可以扫描的最小面积可以是入射到样本上的光束的横截面的面积,这将对应于如上所述的系统的空间分辨率。

[0071] 参照图1,第二光学装置500被配置为在用准直光束照射样本时收集从样本散射出的光。为了收集散射光,第二光学装置500包括第二光学设备503和光学元件504,其配置如下:第二光学设备503被配置成接收由样本散射的光,当准直光束入射到样本表面上时,所述散射光以相对于从样本反射的镜面反射分量的方向的观察角散射。所述第二光学设备503还被配置成将接收到的散射光重定向至光学元件504。此外,所述第二光学设备503被配置为与第一光学设备203同步地改变和动态调整重定向散射光的传播方向,使得在扫描样本300的区域期间,重定向散射光的所述传播方向相对于光学元件504保持恒定。在图1的优选实施例中,所述光学元件504是离轴抛物面镜,并且第二光学设备503包括检流计反射镜。

[0072] 光谱仪400被配置为针对区域的每个扫描部分测量收集到的散射光(即由第二光学装置500收集到的散射光)的光谱。为此目的,在图1的优选实施例中,光学元件504被配置成接收由第一光学设备503重定向的散射光,并进一步将其重定向到光谱仪400的输入端。

[0073] 计算设备运行/实现一个或多个算法,通过计算整体光谱(优选为平均光谱)来确定样本300区域在给定颜色空间中的颜色坐标。为此,优选地,对所有扫描部分的所有光谱求平均,并且计算与平均光谱的XYZ三刺激值。可选地,系统可以从样本的单次扫描或照射部分确定颜色坐标。

[0074] 因此,所提出的系统使用准直的空间相干照明光源来测量颜色,该准直的空间相干照明光源通过使用第一光学设备203指向(或引导)照明光来允许远距离的局部照明,在特定实施例中,该第一光学设备203由一对x、y可移动检流计反射镜组成,但是也可以是基于非线性晶体中光传播的旋转多边形镜、声光偏转器或电光偏转器等。因此,可以用第一光学设备203以快速扫描样本300的大面积区域。在所提出的系统中,这种区域例如可以在$22mm^2$至$2.25m^2$的范围内(例如1.5m×1.5m的正方形面积)。这种区域的总扫描时间例如可以在0.1ms到1000s的范围内。

[0075] 为了测量样本300的给定区域的颜色,所述区域的扫描与光谱仪400对该区域多个部分的光谱的记录同步,并且每个部分的光谱记录持续的光谱积分时间等于第一光学设备203对该部分的扫描持续时间。如上所述,该区域是被逐个部分扫描的。对于每个部分,光谱仪400记录一个光谱,该光谱对应于第一光学设备203在扫描该部分的时间内收集的散射光(即,记录光谱的光谱仪积分时间与部分的扫描时间相匹配)。优选地,在第一光学设备203移动到下一个待扫描部分的第一点的时间(称为飞行时间)期间,光谱仪400保持被动状态。当扫描下一个部分时,光谱仪400记录新的光谱,依此类推,直到被扫描区域的每个部分都具有由光谱仪400记录的相应光谱。

[0076] 图2A示出了在逐行扫描区域的实施例中样本扫描和光谱记录之间的同步过程的非限制性示例的图解,并且所述示例如下:方形的电压信号(在图2A的左侧(上)表示为时间

函数)用于同步扫描和光谱记录时间。该电压信号同时馈送给第一光学设备203的同步输入端口和光谱仪400的同步输入端口。当信号从低态电压V_L变为高态电压V_H(上升触发事件)时,第一光学设备203对一行的移动扫描和光谱记录同时开始。对于任意数n(从n=0到n=N)的每个扫描行,该上升触发事件发生在时间t_n。在信号的高态期间(积分时间T_H),第一光学设备203从点(x_0,y_n)到点(x_0+L_x,y_n)扫描样本上的一行,并且光谱仪400记录光谱n,对第二光学设备500在积分时间T_H期间收集的所有散射光产生的光检测信号进行积分。当信号从高态电压变为低态电压(下降触发事件)时,第一光学设备203开始移动,以将准直光束平移到下一行的第一点,光谱仪400停止光谱记录。在信号的低态期间(飞行时间T_L),第一光学设备203将准直光束平移到下一行的第一点,并且光谱仪400保持被动状态。依次重复该过程,直到扫描完从n=0到n=N的区域的所有行,并且记录了每行n的光谱n。与光谱仪可操作地连接的计算设备执行统计计算,从而使用对应于所有行的所有或部分光谱来计算整体光谱,并且优选地,所述计算设备通过对与所有行相对应的所有光谱进行平均来计算平均光谱。

[0077] 图2B示出了在本发明的实施例中用于检流计扫描仪和光谱仪之间同步的电压信号的示例性示波器迹线,其中积分时间T_H是11.93毫秒,飞行时间T_L是571.3微秒。

[0078] 在一个实施例中,为了计算样本300的颜色,需要测量:来自样本300的散射光的光谱,以及来自白色参照物的散射光的光谱。因此,在一个实施例中,执行上述过程以获得样本300的一个区域的散射光的平均光谱,并且还获得白色参照物的散射光的平均光谱。最优选地,白色参照物与样本300放置在离系统相同的距离处。同样,最优选地,白色参照物的扫描区域与样本的扫描区域大小相同。优选地,在测量样本之前测量白色参照物。

[0079] 有利地,在记录白色参照物和样本300的光谱时利用光谱仪400的全动态范围的优选情况下,可以获得颜色确定的最佳精度。当光谱仪记录光谱的积分时间被设置为等于最大光谱积分时间时,可以获得这样的全动态范围,对于该最大光谱积分时间,光谱仪响应以及因此记录的光谱在任何波长都不饱和。在所提出的方法的一个实施例中,在饱和之前确定最大光谱积分时间,如下:第一光学设备203被配置/编程为连续扫描白色参照物的区域的一部分,优选地扫描周边,类似于图3A所示。同时,光谱仪400被配置/编程为记录具有不同积分时间的光谱,积分时间以某个恒定的时间差渐进且离散地增加。这些积分时间中的最大值,即其对应的记录光谱在任何波长都不饱和,被设定为记录参照物光谱和样本光谱的积分时间,并且相应地被设定为扫描仪和光谱仪之间在高态电压下同步信号的时间(积分时间T_H),如上所述并且在图2A中示出。

[0080] 这种积分时间的确定是利用白色参照物进行的,因为白色参照物将散射比样本300更高比例的光强,因此,如果光谱仪400没有被来自白色参照物的散射光饱和,那么光谱仪400也不会被来自样本300的散射光饱和,前提是两种情况下的积分时间相同。

[0081] 如上所述确定的所需积分时间T_H可以随着准直光束的亮度而减少。例如,积分时间T_H可以与准直光束的亮度成反比。例如,在一个实施例中,对于$1mW/cm^2$的准直光束的亮度(所述亮度由从430到780nm的所有波长组成,并且在与准直器205相距1m的距离处测量),积分时间T_H为1622.48ms,对于$136mW/cm^2$的所述亮度值,所述积分时间T_H为11.93ms。

[0082] 在一个实施例中,通过执行以下步骤来计算XYZ三刺激值:

[0083] 步骤1,测量光谱:

[0084] 测量白色参照物区域的光谱,通过上述同步过程获得。

[0085] 测量背景的光谱,在如上所述确定的积分时间T_H期间记录。背景是光谱仪记录的噪声,其由检测到的环境光和/或光谱仪的固有电噪声产生。记录背景光谱,使照明准直光束在位于光源点处、或在光源和样本之间的点处、或在第一光学设备203和光源之间的点处被关闭或阻挡(例如,使用系统中可选的机电快门)。

[0086] 测量样本300区域的光谱,通过上述同步过程获得。样本的面积和白色参照物的面积相等,并放置在离光源末端相同的距离处。

[0087] 步骤2,计算样本300区域的反射率曲线:这里,反射率曲线R(λ)被认为是一种光谱,以百分比(%)表示在每个波长λ下由样本300的区域反射的光量,所述反射光包含来自样本区域的散射光以及从样本区域反射的镜面反射分量(如果/当所述镜面反射分量存在时)。通过计算设备计算样本300区域的反射率曲线如下:

[0088] $$R(\lambda)(\%) = \frac{I(\lambda)-B(\lambda)}{W(\lambda)-B(\lambda)} \cdot 100 \quad (等式1)$$

[0089] 其中,W(λ)是白色参照物区域的光谱,I(λ)是样本区域的光谱,B(λ)是背景的光谱,测量方法如上所述,均以相同的单位表示(例如光谱仪计数、光功率或光谱功率密度等)。

[0090] 步骤3:计算三刺激值X、Y、Z:根据样本300区域的反射率曲线,样本300的所述区域的三刺激值X、Y和Z由计算设备使用由CI E-国际照明委员会制定的以下标准表达式来计算[参考文献4、参考文献5]:

[0091] $$X = k\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} S(\lambda)\,\bar{x}(\lambda)\,R(\lambda)\,d\lambda \qquad Y = k\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} S(\lambda)\,\bar{y}(\lambda)\,R(\lambda)\,d\lambda \qquad Z = k\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} S(\lambda)\,\bar{z}(\lambda)\,R(\lambda)\,d\lambda \quad (等式2)$$

$$k = \frac{100}{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} S(\lambda)\,\bar{y}(\lambda)\,d\lambda} \quad (等式3)$$

[0092] 其中,S(λ)是CIE标准光源的归一化光谱(即由CIE确立的标准光源类型的理论光谱)。CIE标准光源的示例有A-白炽灯、D65-日光和F2-荧光灯等。$\bar{x}(\lambda),\bar{y}(\lambda),\bar{z}(\lambda)$是CIE标准观察者的三刺激光谱响应,代表普通人在可见光谱中看到的颜色。对于$\bar{x}(\lambda),\bar{y}(\lambda),\bar{z}(\lambda)$的不同CIE标准响应被称为2°观察者(CIE 1931)和10°观察者(CIE 1964)。λ_1和λ_2分别对应于第一波长(优选范围从370到460nm)和第二波长(优选范围从620到780nm)。k是归一化常数。

[0093] 与白色参照物区域的反射率相关的X、Y、Z值(命名为X_n、Y_n、Z_n)也是通过上述等式,使用相同的CIE标准光源和相同的CIE标准观察者计算得出的,或者也可以视为白色参照物的给定或预定属性。

[0094] 步骤4:计算颜色空间中的颜色坐标,颜色空间例如CIEXYZ,CIE L*a*b*;CIE L*Ch或HUNTER Lab等。例如,在空间为CIE L*a*b*的情况下,样本区域的坐标L*、a*和b*由计算设备使用以下表达式来计算:

[0095] $L^* = 116(Y/Y_n)^{1/3} - 16$ (等式4a)

[0096] $a^* = 500[(X/X_n)^{1/3} - (Y/Y_n)^{1/3}]$ (等式4b)

[0097] $b^* = 200[(Y/Y_n)^{1/3} - (Z/Z_n)^{1/3}]$ (等式4c)

[0098] 上述获取纺织品样本区域的颜色坐标的过程的示例的一些细节如下:所述示例涉及一个实施例,其中第一光学装置包括准直器、检流计反射镜和机电快门。在所述示例中,样本被光纤超连续谱光源的准直光束照射,该光源在可见光范围内同时发射430至780nm的

波长带。在所述示例中,光谱由来自OceanInsight公司生产的型号为OCEAN-HDX-VIS-NIR的商用光谱仪记录。在所述示例中考虑了以下参数:样本的面积:10x10cm^2;样本与准直透镜的距离:对于样本区域内光束的所有位置,在0.95至1m的范围内;可见光谱范围:430-780nm;距离准直透镜1m处的准直光束(由430至780nm的所有波长组成)的亮度:136mW/cm^2;光谱积分时间T_H:11.93ms;飞行时间T_L:0.57ms;扫描行数:50;总面积扫描时间:0.62s。在同一示例中,计算设备被配置为确定样本区域针对CIE标准光源A、B、D50、D65、F2的颜色坐标;CIE标准2°观察者和10°观察者;标准颜色坐标空间CIEXYZ、CIEL*ab、CIEL*Ch、HUNTERLab;并确定标准ASTM E313白度和黄度指数;

[0099] 在所述示例中,首先,类似于图3A中所示的,照明纺织品白色参照物区域的周边,用于确定光谱积分时间T_H,得到的值为T_H=11.93ms。接下来,在同一示例中,白色参照物的区域被逐行扫描,类似于图3B所示,其中示出了总共50行中的7行。执行每一行的完整扫描的时间对应于11.93ms的积分时间T_H,并且飞行时间T_L(扫描检流计反射镜将准直光束从一行的最后一点平移到下一行的第一点所花费的时间)是0.57ms。同时,在同一示例中,光谱仪记录每个扫描行的光谱。接下来,在该示例中,用放置在准直器和检流计反射镜之间的机电快门阻挡照明光束,并记录背景光谱。接下来,类似于图3C所示,逐行扫描需要获取颜色坐标的纺织品样本区域。

[0100] 在这个示例中,积分时间T_H、飞行时间T_L、行数、样本面积和样本相对于准直器末端和检流计反射镜的位置这些条件与白色参照物的先前扫描过程中的条件相同。同时,在该示例中,光谱仪记录每个扫描行的光谱。接下来,在该示例中,计算设备计算白色参照物的50行的平均光谱和纺织品样本的50行的平均光谱。最后,根据上述的等式1至等式4a、4b、4c,在该示例中,计算设备计算反射率曲线,并根据所述反射率曲线计算样本区域的颜色坐标。

[0101] 为了进一步评估本发明确定由任意材料制成的样本区域的颜色坐标的实用性,已经遵循上述过程来计算涂覆有油漆颜料的铝板样本的颜色坐标,该铝板是例如通过卷材涂覆技术制造的。作为一个示例,使用与上述针对纺织品样本的相同的测量过程来研究涂有绿色油漆颜料的铝板。在所述关于铝样本的示例中,有以下参数:样本面积:13x13mm^2;样本与准直透镜的距离:对于样本区域内光束的所有位置,在0.95至1m的范围内;可见光谱范围:420-750nm;光谱积分时间T_H:1.55ms;飞行时间T_L:0.07ms;行数:6;总面积扫描时间:9.72ms。在该示例中,本发明实施例的第一光学设备和第二光学设备是检流计反射镜。第一检流计反射镜(第一光学设备)通过改变和动态调整准直光束的方向,使其围绕垂直于样本表面的中心方向(入射角θ约为0°)来扫描样本区域。第二检流计反射镜(第二光学设备)以大约45°的观察角α接收来自表面的散射光,并且与第一检流计反射镜同步,重定向所接收的散射光,并且改变和动态调整所述重定向的散射光的传播方向,使得在扫描样本区域期间,所述传播方向保持恒定并且平行于样本的平坦表面。该重定向的光被离轴抛物面镜接收并聚焦到多模光纤中,该多模光纤将光引导到光谱仪的输入端(类似于图7A和图7B所示)。图8示出了从用于测量涂覆铝样本的过程获得的反射光谱(曲线A),并且还示出了由样本制造商提供的入射角θ=0°和观察角α=45°(测量颜色的标准几何形状,在本领域中称为0/45)的理论反射光谱(曲线B)。在图8中,反射率R(%)显示为波长λ(nm)的函数。如图8所示,随后的实验过程正确测量了几何形状为0/45的样本的预期反射光谱。从获得的反射光

谱,对于光源D50,2°观察者,在CI E L*a*b*颜色空间中,所研究的铝样本区域的颜色坐标计算为L*=37.88,a*=-53.39,b*=20.71。

[0102] 在一些实施例中,参照物光谱可以是参照物整体光谱。后者的计算方法优选地与样本整体光谱的计算方法类似。因此,在一个实施例中,用于计算样本区域的整体光谱的方法被应用于参照物样本,例如白色参照物样本,用于计算整体参照物光谱。

[0103] 本发明用于测量样本区域颜色的实用方法可应用于多种目的,例如制造过程中的质量检查、涂装材料的开发、工业分拣、用于回收或分类的材料检查等。在一个非限制性的示例中,本发明用于根据颜色差异来区分样本。在后一个示例中,可以在CI E L*a*b*、CI E L*Ch和HUNTER Lab中计算两个样本的颜色坐标。也可以计算两个样本的ASTM E313黄度参数。

[0104] 特别地,在CI E L*ab空间中计算出的它们的颜色坐标可以位于CI E L*ab空间(L*、a、b轴)的图形表示中。在该示例中,两个样本之间的色差可以由ΔL、Δa、Δb和ΔE的值来表示,其中$\Delta E = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2}$。应该澄清的是,贯穿本文的参数L*、a*、b*和ΔE*的符号可以分别等同地称为L、a、b和ΔE(没有符号*)。

[0105] 图4示出了当纺织品样本被超连续谱光源的准直光束照射时由纺织品样本散射的光的图片,类似于本发明的实施例,其中在所述实施例中,第一光学装置包括准直器,并且对于从430到780nm的所有波长,样本上的光束横截面直径($1/e^2$)在2.1至5.3mm之间。在同一实施例中,对于样本中光束的所有位置,样本与准直透镜的距离在0.95至1m之间。

[0106] 在图4中从左到右依次为:1)光束静态入射到白色参照物纺织品样本上;2)光束动态入射到相同白色参照物纺织品样本上,在11.93ms的时间(积分时间T_H)内扫描10cm长的一行;3)光束静态入射到测试中的纺织品样本上(以获取其颜色坐标);4)光束动态入射到在测试中的相同纺织品样本上,在11.93ms的时间(积分时间T_H)内扫描10cm长的一行。

[0107] 关于图5,其中示出了许多颜色测量系统的工作原理。众所周知,观察者感知到的样本颜色可能取决于照明光源、样本和观察者之间的相对方位。如果从一次观察到另一次观察,入射角和/或从垂直于样本方向的观察角发生变化,则由相同光源照射并由相同观察者观察的相同样本可能在一次观察到另一次观察时被认为具有不同的颜色。这种效应在部分反射样本的情况下可能特别有价值,因为由样本反射的光的镜面反射分量可能会掩盖样本的“真实”颜色。图5说明了这种效应,其中θ是光的入射角(即照明光的传播方向与样本平面的法线方向之间形成的角度)。镜面反射分量的反射角等于θ,而来自样本的散射光向所有方向传播。样本的“真实”颜色信息由散射光携带。因此,为了感知样本的“真实”颜色,观察者应该优选地远离θ方向,并且移动到角度α(相对于镜面反射分量的方向的观察角)。α越大,观察者接收到的镜面反射分量的光强越小。

[0108] 在先前已知的用于测量颜色的标准系统中,照明光源和观察者分别位于θ=0°和α=45°处(0/45配置),以最小化镜面反射分量的影响。然而,这些先前已知的系统忽略了在其它观察角所感知到的颜色值的重要信息,而这些信息在不同的工业领域(如汽车)中需要被高度重视。能够在不同观察角测量颜色的系统被称为“多角度”。在已知的测量颜色的多角度系统中,观察角的数量是离散的和有限的,它们需要放置在不同位置的多个照明光源和放置在不同位置的多个接收器。此外,已知系统中的照明面积只有几平方厘米。

[0109] 图6A示出了用于说明目的的本发明的实施例。在图6A中,第一光学设备203和第二

光学设备503均是检流计反射镜(检流计),其旋转轴相互平行。因此,准直光束的传播方向和由光学元件504接收的散射光的传播方向位于同一平面上。在图6A的实施例中,样本300的表面是平坦的,并且与检流计反射镜的旋转轴之间的直线平行。还参考图6A,由光学元件504从第二检流计反射镜503接收到的重定向散射光的传播方向平行于样本表面(样本平面)。本发明可以实现在第一检流计203扫描样本时,该方向保持恒定。因此,当第一检流计旋转以扫描样本时,第二检流计可以旋转以保持所述方向恒定。图6A示出了各反射镜之间的相对角度几何构造,以保持所述方向不变并平行于样本表面。还如图5所示,θ是光的入射角,由第一检流计反射镜的旋转角决定。镜面反射分量的反射角等于θ,α是相对于镜面反射分量方向的观察角。当θ改变时,样本中的照射点也发生改变。因此,由第二反射镜的固定位置决定的α发生相应的改变。参考图6A,如果γ是第二检流计相对于多个检流计反射镜的旋转轴线之间的直线的旋转角,那么,为了保持由光学元件接收到的重定向散射光的传播方向平行于表面,θ、α和γ应该保持以下角度关系:θ+α+2γ=90°。在图6A的实施例中,在扫描样本区域以测量其颜色坐标的过程中,第二检流计反射镜与第一检流计反射镜同步以维持所述角度关系。

[0110] 图6B示出了与图6A的实施例类似的实施例。在图6B中,光的入射角θ为0°,相对于镜面反射分量α的方向的观察角为45°。图6B的实施例是一个优选的实施例,因为利用该实施例,可以根据被称为0/45的几何构造计算样本区域的颜色坐标,这是被行业和颜色测量仪器的用户广泛接受的标准几何构造。

[0111] 如图6A和图6B所示,与测量样本区域的颜色的现有技术仪器相比,本发明带来的优点是,当照明角度θ和观察者角度α随时间变化时,观察者(光谱仪)可以相对于光学元件的位置和光源输出的位置保持在固定位置。保持在所述固定位置,观察者(光谱仪)可以总是在相同的接收方向上接收来自样本的散射光。因此,由观察者/光谱仪接收以确定样本颜色的散射光可以总是被观察者/光谱仪在相同的接收方向上接收。

[0112] 因此,本发明的测量样本区域颜色的系统可以有利地是多角度系统,该多角度系统可以提供大量的照明角度和观察角度,优选地该角度连续变化,更优选地使用放置在固定的单个位置的单个照明光源以及放置在固定的单个位置的单个接收器(优选为光谱仪)。

[0113] 图7A示出了另一个优选实施例,其类似于图6A中的实施例。在图7A的实施例中,光学元件504是离轴抛物面镜,并且被第二检流计反射镜重定向的散射光的传播方向平行于离轴抛物面镜的主光轴。此外,由离轴抛物面镜接收到的散射光被离轴抛物面镜聚焦到光纤600的输入端,光纤600优选地可以是多模光纤。在图7A的实施例中,所述光纤600固定在特定位置,当照明角度θ和观察角度α改变时,该特定位置不需要改变。光纤600将聚焦的光传送到光谱仪400的输入端。在非限制性示例中,该系统类似于图7A所示的系统,并且该示例的一些细节如下:光学元件是Thor l abs GmbH(索雷博有限责任公司)的90°离轴抛物面镜MPD149-M01,直径为25.4mm,反射焦距为101.6mm;光纤是来自Ocean Opt ics I nc(海洋光学股份有限公司)的多模光纤QP600-2-VIS-NI R,具有600um的芯径;光谱仪是来自海洋光学股份有限公司的OCEAN-HDX-VIS-NI R光谱仪;检流计反射镜是来自SCANLAB GmbH(施肯拉有限责任公司)的SCANLAB 7mm Scan Kit AIO型号的检流计反射镜,扫描范围为±0.42rad。

[0114] 图7B示出了图7A的实施例的配置的变型。在图7B的实施例中,离轴抛物面镜具有

与抛物面镜的主光轴同轴的通孔,并且其中包括激光指示器700。在图7B的实施例中,激光指示器700的光束在与被第二检流计重定向的散射光的传播方向相反的方向上传播通过同轴孔。在图7B的实施例中,该激光指示器的功能是控制第二检流计反射镜的旋转角γ,使得达到这样的条件,即由第二检流计重定向的散射光总是平行于离轴抛物面镜的主光轴。如图7B所示,由于激光指示器的光束通过与重定向散射光相同的光路传播,但方向相反,所以当激光指示器的光束指向样本上光源的准直光束的入射点时,就会出现所述条件。在非限制性示例中,所述离轴抛物面镜是索雷博有限责任公司的90°离轴抛物面镜MPD249H-M01,直径为50.8mm,反射焦距为101.6mm。

[0115] 虽然前述内容针对本发明的实施例,但是在不脱离本发明的基本范围的情况下,可以设计出本发明的其它和进一步的实施例。

[0116] 例如,其它方面可以通过硬件或软件或硬件与软件的组合来实现。

[0117] 此外,作为本发明的一部分包括的软件程序可以体现在计算机程序产品中,该计算机程序产品包括计算机可读介质,例如其上存储有计算机可读程序代码段的可读存储设备,如硬盘驱动器设备、闪存设备、CD-ROM、DVD/ROM或计算机磁盘。

[0118] 计算机可读介质还可以包括光学、有线或无线的通信链路,其上承载有作为数字或模拟信号的程序代码段。

[0119] 本发明的范围在所附的权利要求中定义。

[0120] 非专利参考文献:

[0121] [参考文献1]C.K.Hitzenberger、M.Danner、W.Drex ler和A.F.Fercher,“超发光二极管空间相干性的测量”,《现代光学杂志》,46:12,1763-1774(1999年)。

[0122] [参考文献2]K.Saastamoinen、J.Tervo、J.Turunen、P.Vah imaa和A.T.Fr iberg,“使用改进的杨氏干涉仪测量多色光的空间相干性”,《光学快报》,21:4,4061-4071(2013年)。

[0123] [参考文献3]ISO标准11146,“激光和激光相关设备——激光光束宽度、发散角和光束传播比的测试方法”(2005年)。

[0124] [参考文献4]摘自网站:http://cie.co.at/pub l icat ions/co lor imetry-part-3-cie-tr i st imu l us-va l ues-2,比色法——第3部分:CI E三刺激值,ISO/CI E 11664-3:2019(E)。

[0125] [参考文献5]摘自网站:https://en.wikiped ia.org/wiki/CI E_1931_co lor_space,CI E1931颜色空间,维基百科中的文章。

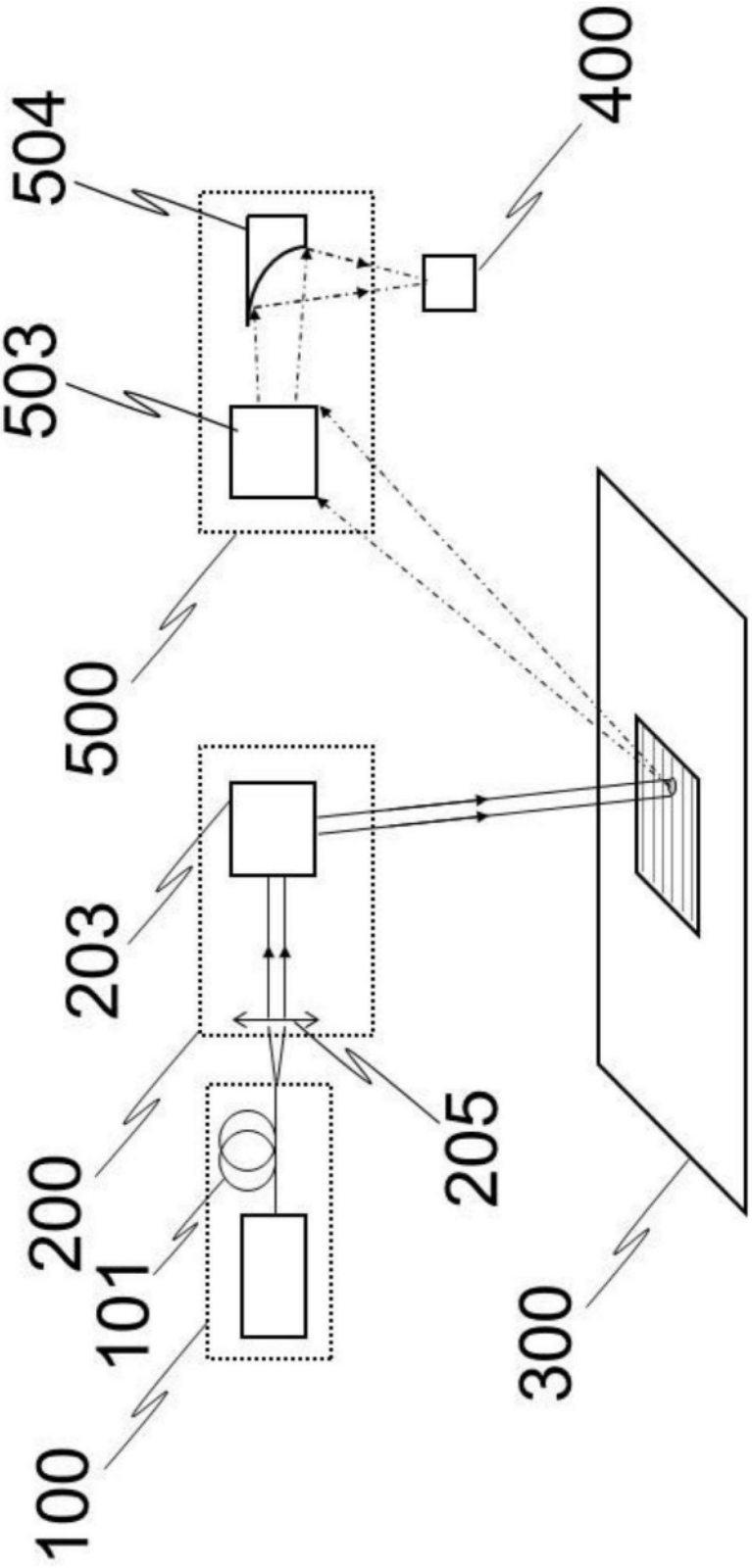


图1

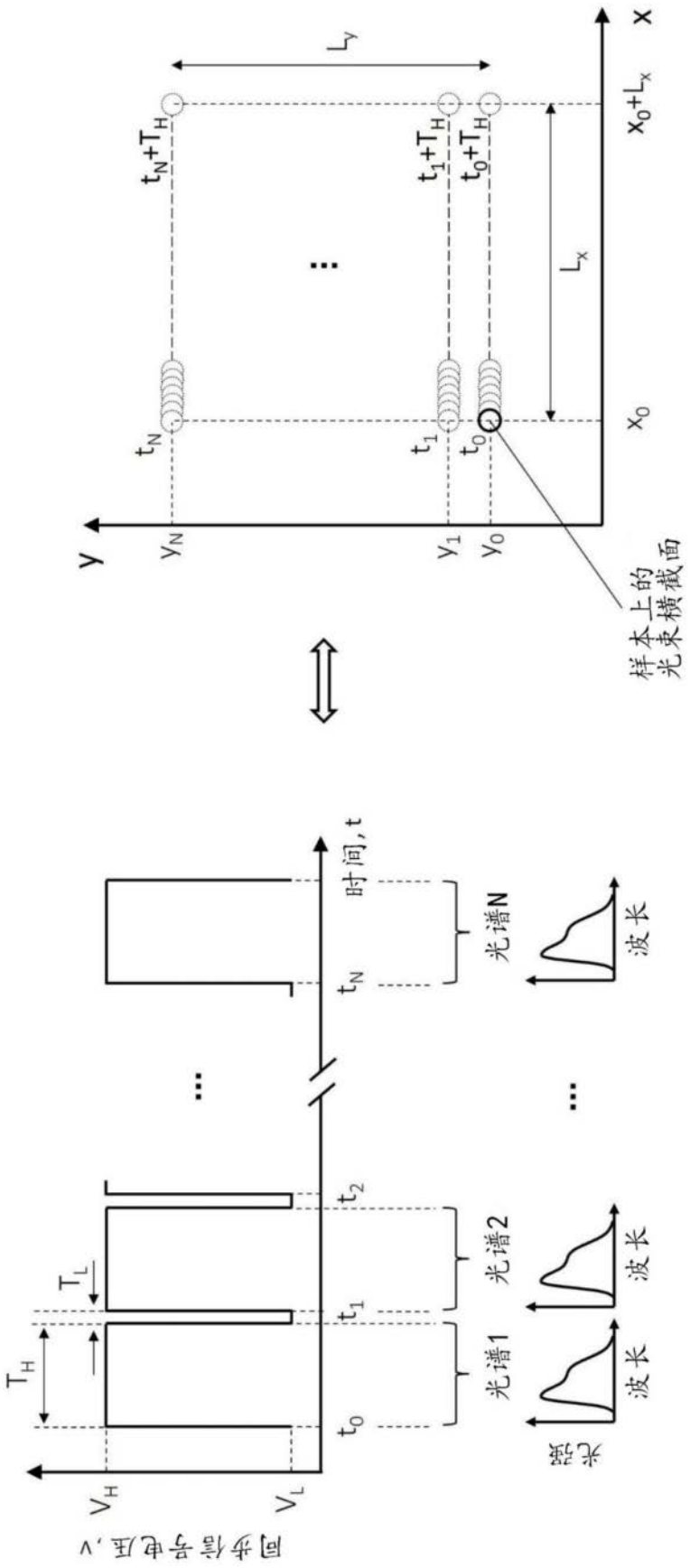

同步信号电压，v
V_H
V_L
T_H
T_L
t_0
t_1
t_2
t_N
时间，t
光谱1
光谱2
光谱N
波长
波长
波长
光强
y
y_N
y_1
y_0
t_N
t_1
t_0
t_N+T_H
t_1+T_H
t_0+T_H
L_y
L_x
x_0
x_0+L_x
x
样本上的
光束横截面

图2A

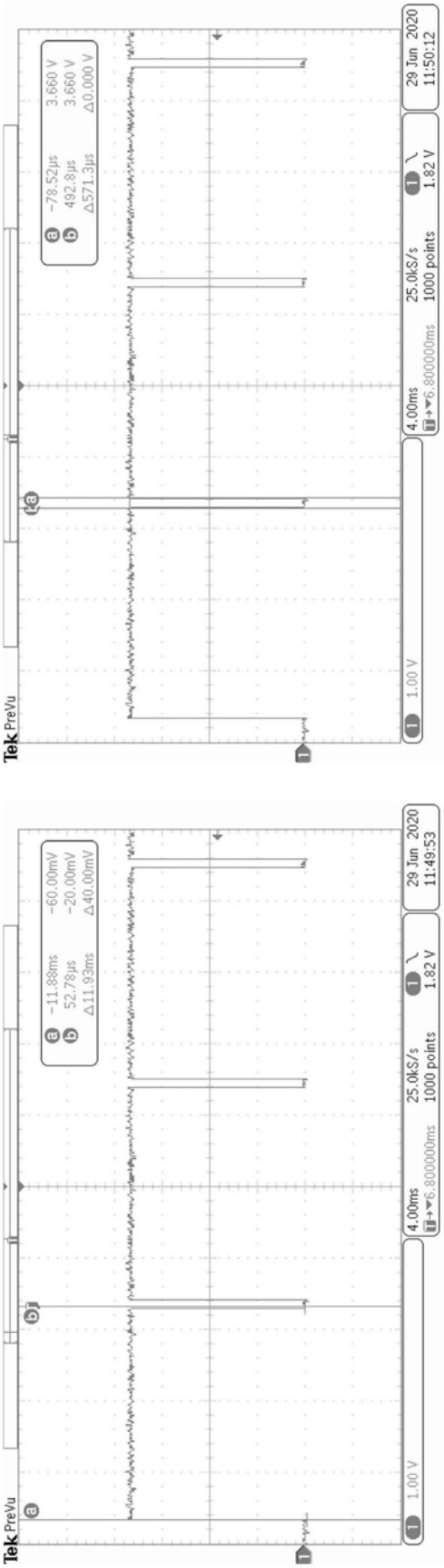

Tek PreVu
29 Jun 2020
11:50:12
a -78.52µs 3.660 V
b 492.8µs 3.660 V
Δ571.3µs Δ0.000 V
1.00 V
4.00ms
25.0kS/s
1000 points
1.82 V
Tek PreVu
29 Jun 2020
11:49:53
a -11.88ms -60.00mV
b 52.78µs -20.00mV
Δ11.93ms Δ40.00mV
1.00 V
4.00ms
25.0kS/s
1000 points
1.82 V

图2B

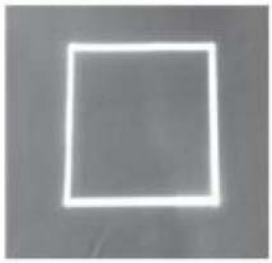


图3A



图3B



图3C

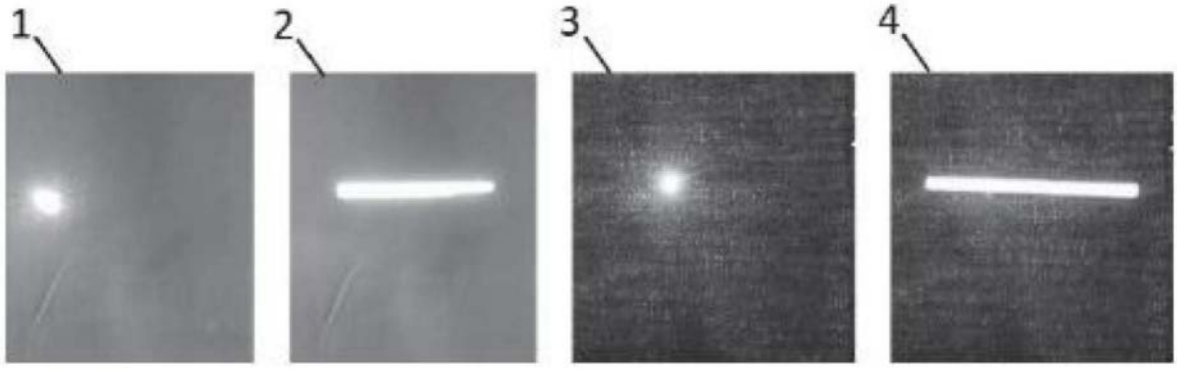


图4

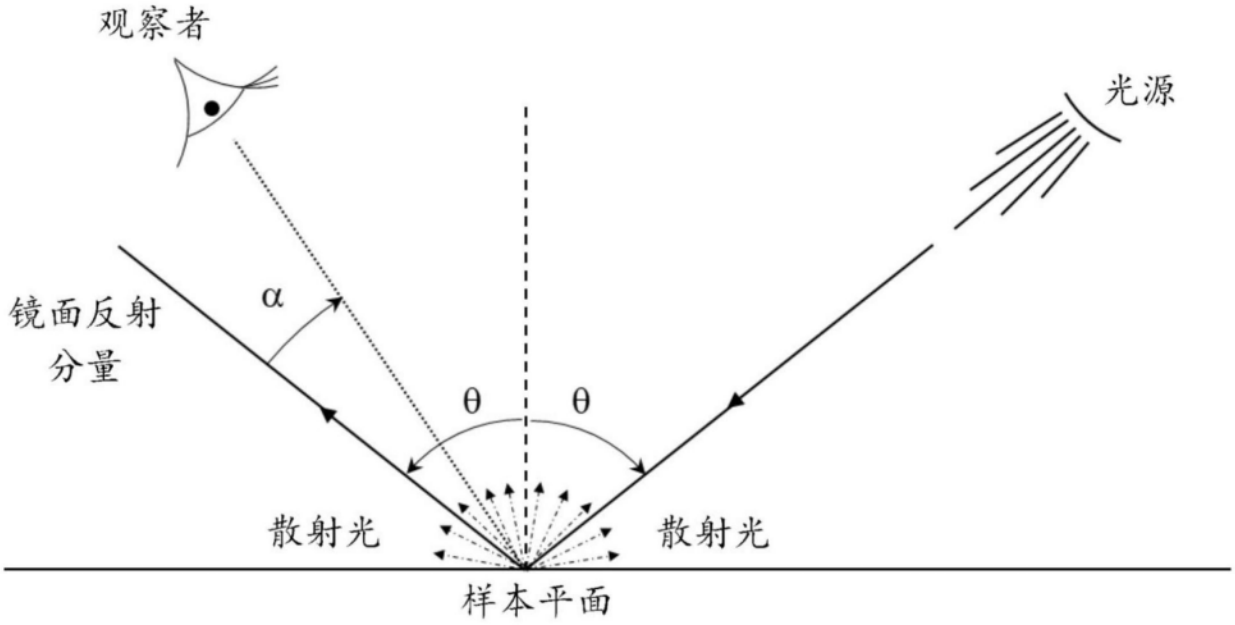


图5

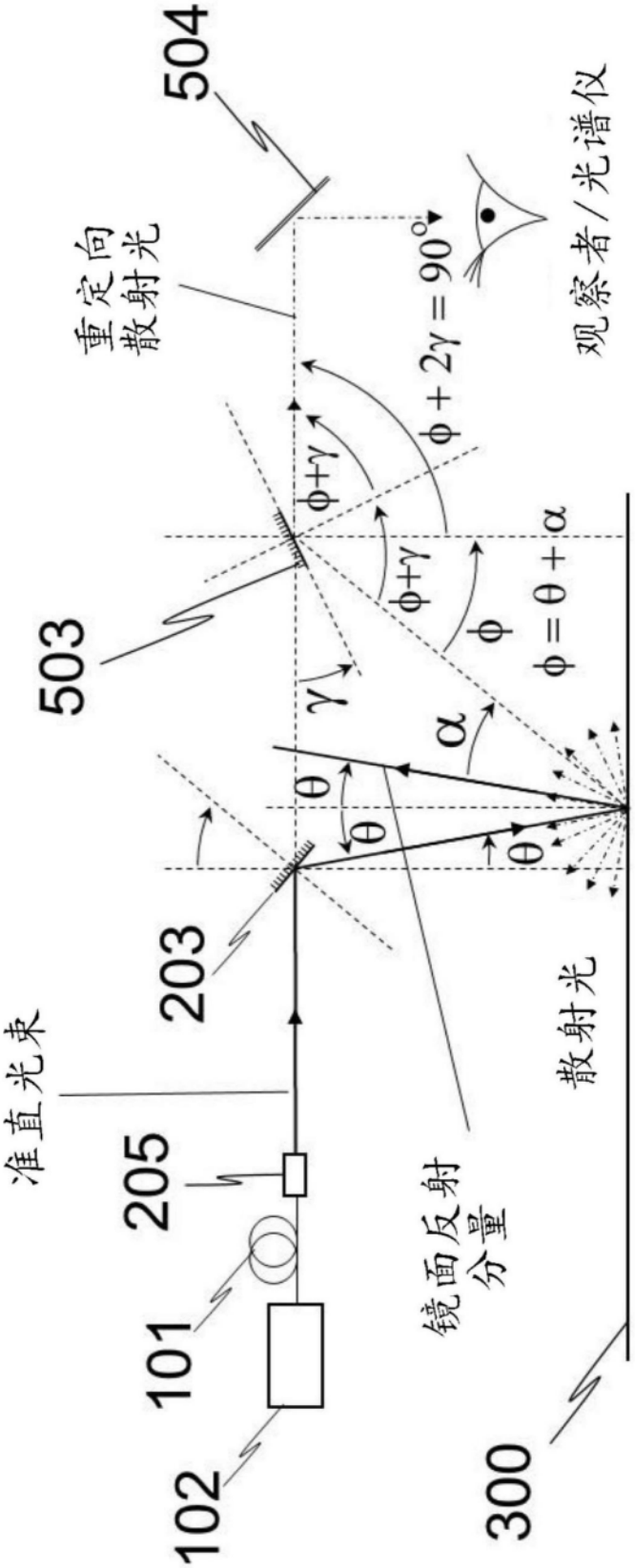

504
重定向
散射光
观察者/光谱仪
$\phi + 2\gamma = 90°$
503
$\phi+\gamma$
$\phi+\gamma$
ϕ
$\phi = \theta + \alpha$
γ
α
θ
θ
θ
203
准直光束
205
101
102
镜面反射
分量
散射光
300

图6A

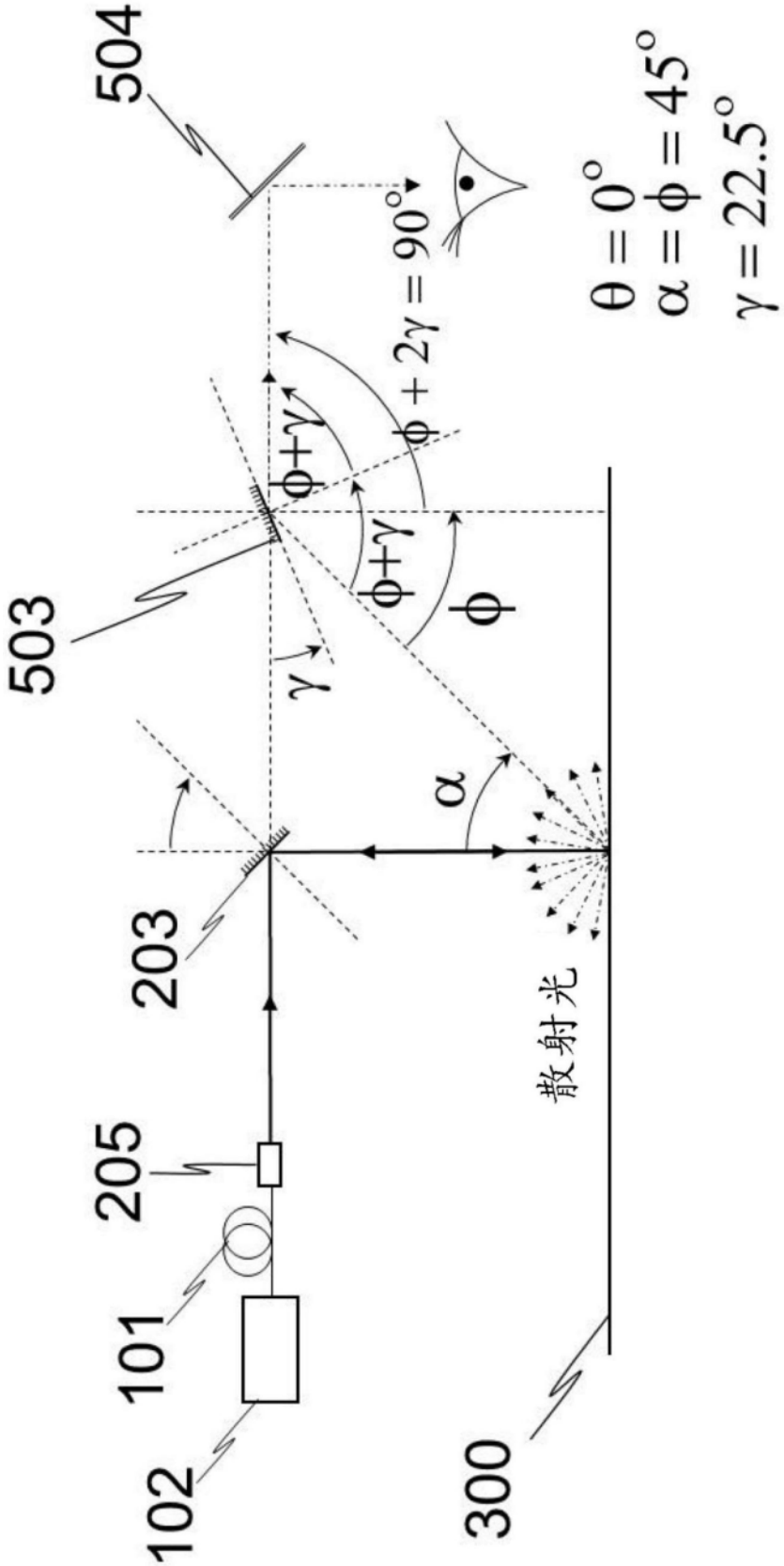

504
503
203
205
101
102
300
散射光
$\theta = 0^\circ$
$\alpha = \phi = 45^\circ$
$\gamma = 22.5^\circ$
$\phi + 2\gamma = 90^\circ$
$\phi+\gamma$
$\phi+\gamma$
ϕ
γ
α

图6B

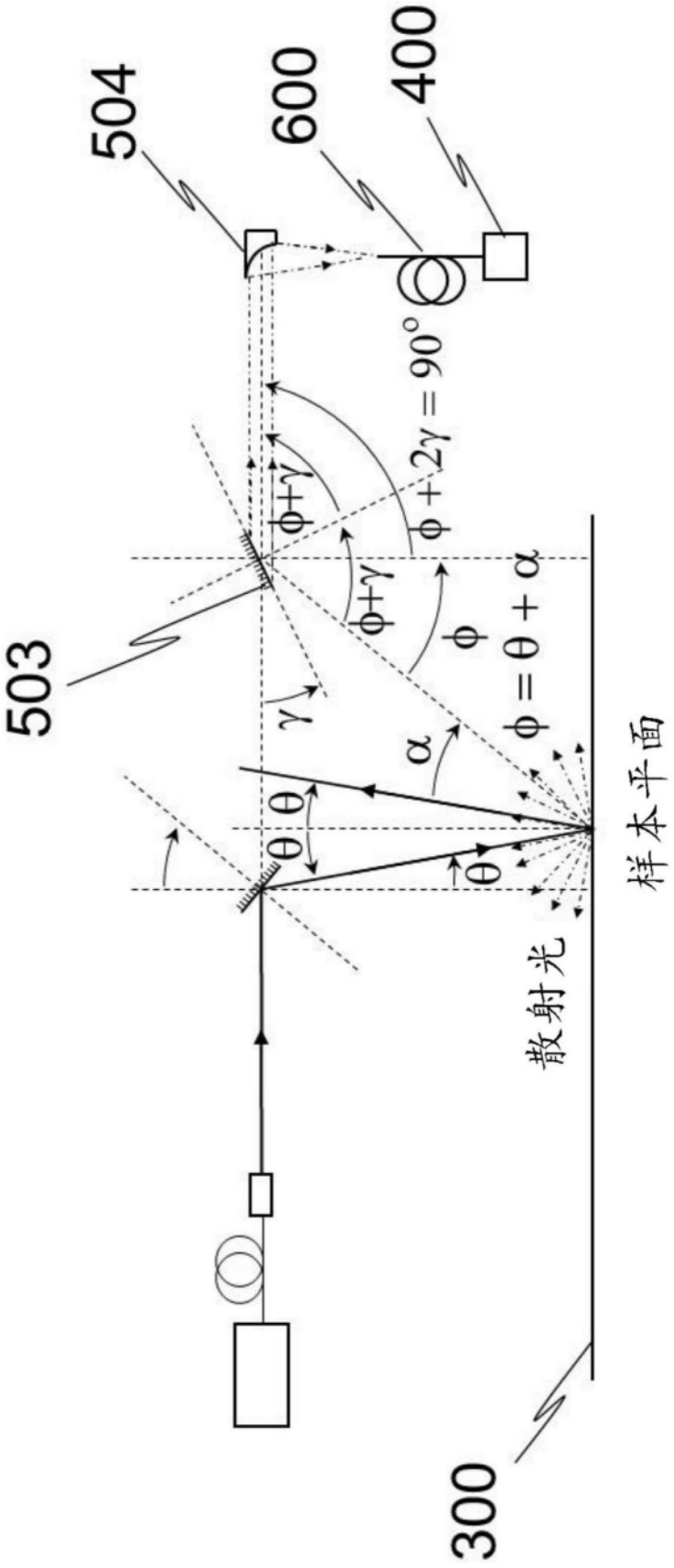

504
600
400
503
300
$\phi+2\gamma=90^\circ$
$\phi+\gamma$
$\phi+\gamma$
ϕ
$\phi=\theta+\alpha$
γ
α
θ
θ
θ
散射光
样本平面

图7A

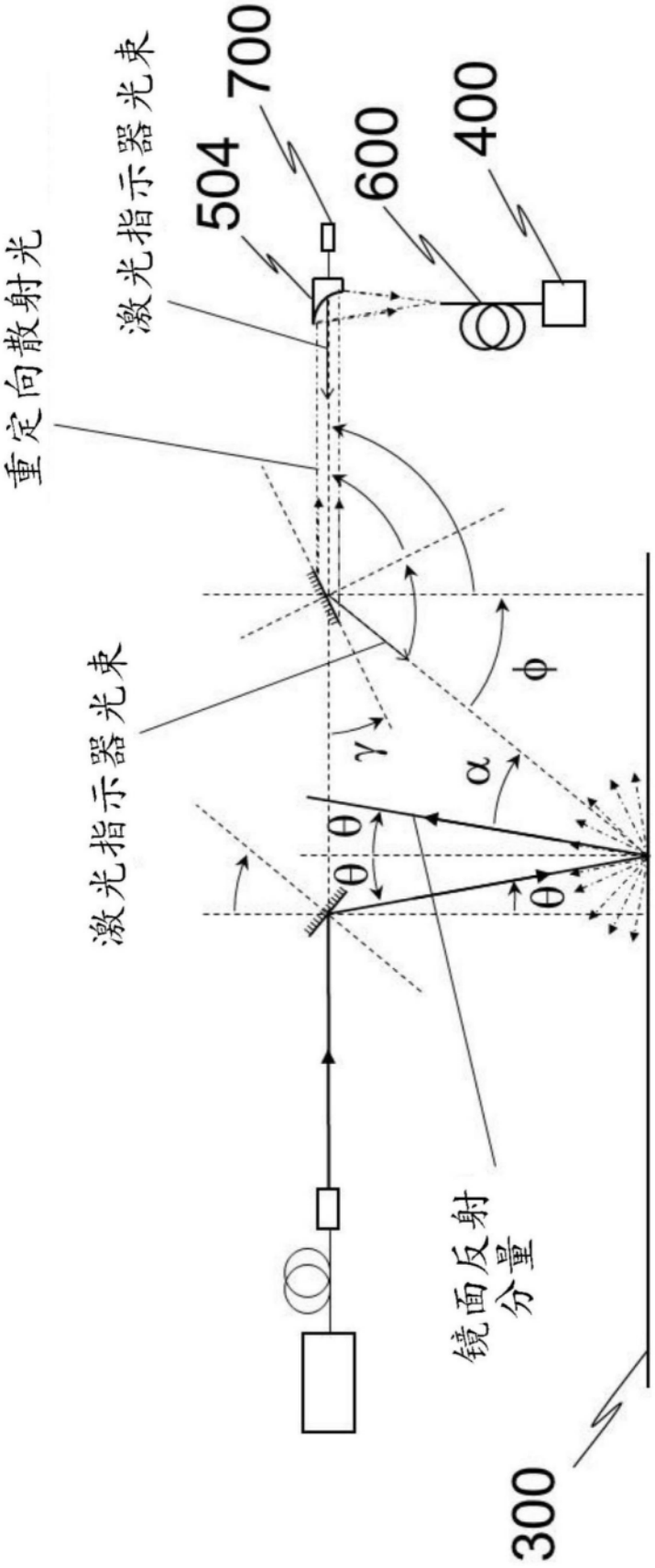


图7B

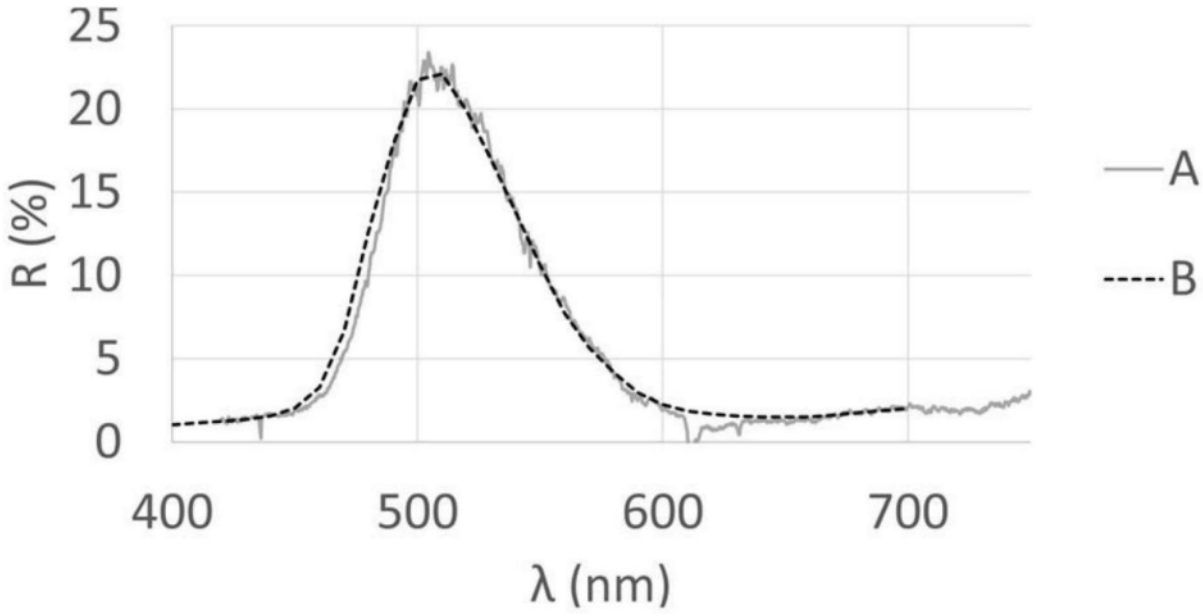


图8