(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 109863377 B
(45)授权公告日 2021.09.10

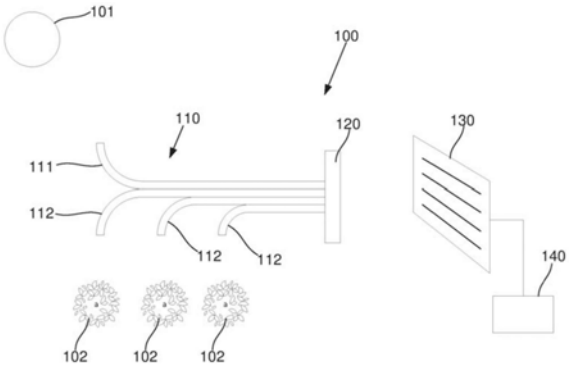
(21)申请号 201780055314.3
(22)申请日 2017.07.11
(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 109863377 A
(43)申请公布日 2019.06.07
(30)优先权数据
2016902770 2016.07.14 AU
(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2019.03.08
(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/AU2017/050711 2017.07.11
(87)PCT国际申请的公布数据
WO2018/009967 EN 2018.01.18
(73)专利权人 联邦科学工业研究组织
地址 澳大利亚,澳大利亚首都特区
(72)发明人 S·根斯默 T·马尔萨斯
(74)专利代理机构 北京戈程知识产权代理有限公司 11314
代理人 程伟 王锦阳
(51)Int.Cl.
G01J 3/18(2006.01)
G01J 3/28(2006.01)
G01J 3/02(2006.01)
G01N 21/25(2006.01)
G01N 21/31(2006.01)
(56)对比文件
WO 2006023712 A2,2006.03.02
WO 2006023712 A2,2006.03.02
US 2009231578 A1,2009.09.17
审查员 武晓卫
权利要求书5页 说明书25页 附图24页

(54)发明名称

用于测量光谱的装置

(57)摘要

用于测量来自一个或多个样本的光谱的装置,该装置包括:参考波导、至少一个样本波导、光学系统以及成像装置,所述参考波导接收用于照射至少一个样本的光照辐射;所述样本波导接收从相应样本反射的样本辐射和透射过相应样本的样本辐射中的至少一个;所述光学系统基于辐射的频率对来自每个波导的辐射进行空间分布,并将来自光纤的辐射聚焦到像平面上;所述成像装置采集来自像平面的聚焦且空间分布的辐射的图像,使得图像包括来自每个波导的相应光谱。



CN 109863377 B

1.一种用于测量来自一个或多个样本的光谱的装置,所述装置包括:

a)参考波导,其接收用于照射至少一个样本的光照辐射,其中所述光照辐射是以下项中的至少一种:

i)自然光;

ii)太阳辐射;以及

iii)非人工光照源;

b)至少一个样本波导,其接收从相应样本反射的样本辐射和透射过相应样本的样本辐射中的至少一个;

c)光学系统,所述光学系统:

i)基于辐射的频率对来自每个波导的辐射进行空间分布;并且

ii)将来自波导的辐射聚焦到像平面上;以及

d)成像装置,其采集来自像平面的聚焦的且空间分布的辐射的图像,使得所述图像包括来自参考波导的参考光谱和来自至少一个样本波导的每个波导的相应的样本光谱;从而相对于参考光谱对样本光谱进行分析。

2.根据权利要求1所述的装置,其中,所述波导是光纤。

3.根据权利要求1或2所述的装置,其中,所述光学系统:

a)基于辐射的频率在第一方向上对来自每个波导的辐射进行空间分布;

b)聚焦来自波导的辐射,使得来自每个波导的辐射在垂直于第一方向的第二方向上间隔开。

4.根据权利要求3所述的装置,其中,所述波导的输出端在第二方向上对齐延伸。

5.根据权利要求1或权利要求2所述的装置,其中,所述光学系统包括准直透镜,并且所述波导的输出端引导辐射通过狭缝和准直透镜。

6.根据权利要求1或权利要求2所述的装置,其中,所述光学系统包括:

a)衍射光栅,其对辐射进行空间分布;以及

b)一个或多个透镜,其对空间分布的辐射进行聚焦。

7.根据权利要求1或权利要求2所述的装置,其中,所述成像装置包括以下装置中的至少一个:

a)CMOS;

b)红外传感器;

c)单像素传感器;以及

d)CCD传感器。

8.根据权利要求1或权利要求2所述的装置,其中,所述装置包括在参考波导的输入处的漫射构件。

9.根据权利要求1或权利要求2所述的装置,其中,所述样本波导的输入端指向样本,并且所述参考波导的输入端指向远离样本的方向。

10.根据权利要求1或权利要求2所述的装置,其中,所述样本波导的输入端包括以下装置中的至少一个:

a)输入透镜,其用于对来自样本的辐射进行聚焦;以及

b)偏振器,其用于选择性地过滤来自样本的辐射。

11.根据权利要求10所述的装置,其中,所述输入透镜具有以下特性中的至少一个:

a)焦距为10cm至30cm;并且

b)视场为2cm^{2}至5cm^2。

12.根据权利要求1或权利要求2所述的装置,其中,所述装置包括第二参考光纤,所述第二参考光纤接收来自以下来源中的至少一个的参考辐射:

a)参考目标;

b)参考样本;以及

c)参考光照源。

13.根据权利要求12所述的装置,其中,所述参考光照源适于产生包括特定辐射频率的光照。

14.根据权利要求1或权利要求2所述的装置,其中,所述装置包括用于支撑至少一些波导的输入端的支撑件。

15.根据权利要求14所述的装置,其中,所述至少一些波导的输入端能够移动地安装至所述支撑件,从而能够调节波导的相对视场。

16.根据权利要求14所述的装置,其中,所述支撑件包括悬臂,并且至少一些样本波导的输入沿着所述悬臂间隔开,从而能够同时从多个空间分布的样本接收反射的辐射。

17.根据权利要求16所述的装置,其中,所述悬臂联接到手柄,使用户能够携带所述悬臂,从而能够相对于一个或多个样本手动定位波导。

18.根据权利要求17所述的装置,其中,所述悬臂从车辆横向延伸。

19.根据权利要求1或权利要求2所述的装置,其中,所述光照辐射和样本辐射能够实现同时地采集和按顺序地采集中的至少一种。

20.根据权利要求1或权利要求2所述的装置,其中,所述装置适于测量来自水体的光谱,并且包括以下装置中的至少一项:

a)一对波导,其包括:

i)参考波导,其设置为通过漫射器采集下行光;

ii)样本波导,其采集从水体反射的光;以及

b)一对波导,其包括:

i)样本波导,其以向下定向的角度设置,以采集从水体反射的光;

ii)参考波导,其以相应的角度向上定向设置,以采集来自天空的一部分的光,该光从水体直接反射到样本波导上。

21.根据权利要求7所述的装置,其中,所述成像装置与像平面对齐。

22.根据权利要求7所述的装置,其中,所述成像装置接收来自与像平面对齐的至少一个反射器的辐射。

23.根据权利要求1或权利要求2所述的装置,其中,所述装置包括调制器,所述调制器用于选择性地将辐射从像平面传输到成像装置。

24.根据权利要求23所述的装置,其中,所述调制器包括线性数字镜装置和硅上液晶装置中的至少一种。

25.根据权利要求1或权利要求2所述的装置,其中,所述装置包括至少一个处理装置,所述处理装置:

a)从成像装置接收图像数据;以及

b)执行以下项中的至少一个:

i)存储基于接收的图像数据的光谱数据;以及

ii)发送基于接收的图像数据的光谱数据。

26.根据权利要求25所述的装置,其中,所述至少一个处理装置将光谱数据与从成像装置收集的参考数据一起存储。

27.根据权利要求25所述的装置,其中,所述至少一个处理装置通过以下方式生成光谱数据:

a)识别图像数据中的一行或多行像素,所述一行或多行像素指示来自波导的辐射;以及

b)选择性地对一行或多行像素进行编码以形成光谱数据。

28.根据权利要求25所述的装置,其中,所述至少一个处理装置通过以下方式生成光谱数据:

a)基于图像内的像素位置识别图像数据内的一个或多个二阶像素;以及

b)选择性地对与一个或多个二阶像素相关联的信道进行编码以形成光谱数据。

29.根据权利要求28所述的装置,其中,所述至少一个处理装置使用以下至少一项来选择性地对二阶像素进行编码:

a)红色信道,其中红色像素至少部分对红外光敏感;

b)红色和绿色信道,其中红色和绿色像素至少部分对红外光敏感;

c)红外信道;以及

d)来自用于650nm至1000nm的辐射波长的红色拜耳滤波器信道的信号。

30.根据权利要求25所述的装置,其中,所述至少一个处理装置:

a)通过对接收的图像数据执行主成分分析来生成光谱数据,以确定主成分系数;以及

b)以主成分系数的形式发送光谱数据。

31.根据权利要求30所述的装置,其中,基于待分析样本的性质,在至少一个处理装置中填充主成分。

32.根据权利要求1或权利要求2所述的装置,其中,所述装置包括至少一个处理装置,所述处理装置通过确定样本辐射与光照辐射的比来确定每个样本的样本光谱。

33.根据权利要求1或权利要求2所述的装置,其中,所述装置包括至少一个处理装置,所述处理装置通过以下至少一项来执行样本光谱的波长校准:

a)识别光照辐射中频率的已知组合;

b)识别从参考样本测量的参考光谱中的已知频率;以及

c)识别来自参考光照源的光照辐射中的已知频率。

34.根据权利要求1或权利要求2所述的装置,其中,所述装置包括至少一个处理装置,所述处理装置:

a)根据光谱数据确定背景光谱;以及

b)使用背景光谱来确定样本光谱。

35.根据权利要求34所述的装置,其中,通过识别图像数据中的背景像素来确定背景光谱。

36.根据权利要求1或权利要求2所述的装置,其中,所述参考波导的输入指向以下方向中的至少一个:

a)向上;

b)向天空;

c)朝向自然光照源;以及

d)朝向非人工光照源。

37.根据权利要求1或权利要求2所述的装置,其中,所述装置包括至少一个处理装置,所述处理装置处理样本辐射以补偿误差源。

38.根据权利要求37所述的装置,其中,所述误差源包括以下项的至少一种:

a)曝光变化;

b)传感器噪声;

c)传感器波长漂移;

d)传感器灵敏度漂移;

e)时间相关漂移;

f)温度相关漂移;以及

g)光照辐射的变化。

39.根据权利要求1或权利要求2所述的装置,其中,所述装置使用成像装置,所述成像装置具有以下特性中的至少一个:

a)温度响应系数大于±1%/℃;

b)在0℃至80℃范围内的背景电流的最大漂移大于500%;

c)在0℃至80℃范围内的测量灵敏度的最大漂移小于10%;

d)在0℃至80℃范围内、在一年时间内的波长漂移高达50nm;

e)在0℃至80℃范围内的线性度大于5%;以及

f)信噪比小于100:1。

40.根据权利要求1或权利要求2所述的装置,其中,所述装置感测的辐射为1400nm-5500nm。

41.根据权利要求1或权利要求2所述的装置,其中,所述装置配置为用于以下应用中的至少一种:

a)水质监测;

b)农业监测;

c)环境监测;

d)食品监测;

e)药品监测;

f)地质监测;以及

g)矿物监测。

42.一种测量来自一个或多个样本的光谱的方法,所述方法包括:

a)使用参考波导来接收用于照射至少一个样本的光照辐射,其中所述光照辐射是以下项中的至少一种:

i)自然光;

ii)太阳辐射;以及

iii)非人工光照源;

b)使用至少一个样本波导来接收从相应样本反射的样本辐射和透射过相应样本的样本辐射中的至少一个;

c)使用光学系统以:

i)基于辐射的频率对来自每个波导的辐射进行空间分布;

ii)将来自波导的辐射聚焦到像平面上;以及

d)用成像装置从像平面采集聚焦且空间分布的辐射的图像,使得所述图像包括来自参考波导的参考光谱和来自至少一个样本波导的每个波导的相应的样本光谱;从而相对于参考光谱对样本光谱进行分析。

43.根据权利要求42所述的方法,其中,所述方法用于以下应用中的至少一种:

a)水质监测;

b)农业监测;

c)环境监测;

d)食品监测;

e)药品监测;

f)地质监测;以及

g)矿物监测。

44.根据权利要求42或43所述的方法,其中,所述方法是使用根据权利要求1至41中任一项所述的装置来执行的。

用于测量光谱的装置

技术领域

[0001] 本发明涉及一种用于测量光谱的装置，并且在一个示例中涉及一种用于从多个样本收集反射或透射光谱的低成本光谱仪。

背景技术

[0002] 本说明书中对任何现有出版物(或从中得出的信息)或任何已知事项的引用不是、也不应被视为认可或承认或任何形式的暗示现有出版物(或从中得出的信息)或已知事项构成本说明书所涉及的探索领域中的公知常识的一部分。

[0003] 已知利用反射或透射光谱来测量诸如物理样本的物体的属性。特别是在环境监测中，通常执行这种测量来检查样本，例如水样或植物，以确定水质、植物健康等。当在可变环境光条件下进行测量时，通常需要收集多个光谱，包括来自所考虑的样本的透射/反射光谱以及环境光照条件的进一步光谱。在检查样本光谱时考虑环境光的变化很重要。

[0004] 通常，当执行这样的测量时，这以两种方式的其中一种完成。在一种情况下，使用单个光谱仪，并在各个样本的测量之前、之后或各个样本的测量之间收集环境光的参考测量值。在另一个示例中，使用两个单独的光谱仪，其中一个收集环境光条件的测量值，另一个收集样本光谱。

[0005] 在前一种情况下，由于参考和样本光谱不是同时收集的，这意味着在参考和样本光谱的收集之间可能存在环境光条件的变化，也就是说不一定能够准确地体现样本光谱。因此，对于操作员来说，监测环境条件是很重要的，通常要求操作员在环境条件改变时终止或重复测量，这是不方便的。

[0006] 另外，例如由于固有的不准确性、时间依赖性漂移以及外部条件(例如温度)的变化，传感器会存在产生漂移的倾向。对于非同时测量，这可能导致测量之间出现固有差异，这意味着无法准确体现样本光谱。

[0007] 当使用多个传感器时，这些传感器需要相对于彼此仔细校准以确保测量值是相似的。这样的校准不一定随时间恒定(例如由于传感器漂移)，并且可能再次导致正在进行的测量的不准确。此外，如果不同传感器之间的波长、背景信号或灵敏度存在任何差异(该差异将再次随时间漂移并且与温度有关)，则会导致计算的反射率值存在较大的系统误差。

[0008] 在试图解决这些问题时，大多数现有解决方案专注于对传感器环境的仔细控制，例如利用温度控制传感器，以及另外制造高精度的传感器，从而最小化传感器漂移和校准问题。这导致设备复杂、昂贵且极其敏感，使其难以使用并且不适用于许多应用。

[0009] 上述设置的进一步变化是提供单点光谱仪，并使用光纤开关在多个光纤输入之间快速切换。然而，这又导致不准确和大量成本。例如，通常无法获得足够快以减小传感器漂移的影响、并且还覆盖许多应用所关注的波长范围的光纤开关。基于机械开关的光纤开关可以在很低的速度下使用，但通常需要花费数千美元，而基于MEMS技术的开关可以达到非常高的速度，但插入损耗规格要差得多，并且波长范围要窄得多。这使得这种解决方案对于大多数应用来说是不实用的。

[0010] CN204214770公开了一种基于CMOS图像传感器的多信道光纤光谱仪。多信道光纤光谱仪的特征在于,其包括:CMOS图像感测模块、棱镜、狭缝模块、聚焦透镜模块、引导光纤和探针,其中,所述探针通过引导光纤与聚焦透镜模块连接;所述狭缝模块位于聚焦透镜模块的焦平面上;所述棱镜位于狭缝模块和CMOS图像感测模块之间;所述CMOS图像感测模块由CMOS阵列光伏转换芯片和数据传输板组成,并且通过外部USB传输线将图像数据输出至计算机;所述图像数据通过计算机软件转换为多信道光谱曲线,并且多信道光谱曲线通过显示数据线显示在显示器上。多信道光纤光谱仪不仅具有多信道、高速等特点,并且通过结合CMOS图像传感器的平面感知和较高的帧传输能力以及光学模块的集成制造技术,尺寸更小、成本更低,适合于规模化生产。

[0011] US-4705396描述了一种图像单色器,其设置为在其输入端同时从待观察的整个物方视场接收光,并且通过其输出端在所选波长带上同时产生和发送整个物方视场的可视图像。单色器具有内部和外部光学系统,内部系统包括输入狭缝(该输入狭缝通过诸如透镜或反射镜的成像装置投射在输出狭缝上)经由诸如衍射光栅或可操作棱镜的色散装置在可调谐的窄波长带上透射光。外部光学系统包括物镜系统,其中物方视场的图像通过诸如透镜或反射镜的成像装置在像平面上成像,其中输入和输出成像装置设置为使得内部光学系统接收并向输出光学组件发送来自每个物点的光线(其在从略微发散到略微会聚的范围内彼此具有角度关系)。

[0012] US-7209230描述了一种用于测量物体表面的光谱特性的装置和方法。该装置包括用于产生输入信号(该输入信号包括能量的多个波长)的光源,以及用于衍射输入信号的衍射光栅,衍射光栅将输入信号衍射为能量的多个衍射波长。与衍射光栅相结合的共振反射镜组件顺序地将选择的衍射波长指向物体表面以产生能量的相应反射波长。该装置还包括传感器和检测器,所述传感器用于确定指向物体表面的能量的每个选择的衍射波长;所述检测器用于检测一个或多个反射波长。检测器与传感器联接,用于将每个选择的衍射波长与每个相应的反射波长相关联。

[0013] US-7817274描述了一种紧凑型光谱仪,其光谱性能特性得到优化,并且其仪器/设备体积显着减小。从光谱仪的小输入孔径/狭缝发射的光束在透明介质或自由空间中的光传输路径为二维或单边的(在薄的空气或介质层内传输),使得之后所需的任何光学元件的物理尺寸能够构建在一个维度上显着减小的光谱仪。因此,实现了仪器/设备体积(在一个维度甚至在两个维度上)的显着减小,这适用于并有益于传统的色散光谱仪或紧凑型色散光谱仪。

[0014] US-3619624描述了一种用于确定水下光学特性的装置。

[0015] US2004/0130713描述了一种光谱分析方法,该方法是光度测量并且是非接触式的,其基于反射率的倒数是吸收率的情况来确定水中所选成分的存在。进行水的反射率的全光谱测量,并计算吸收光谱,然后将吸收光谱拟合到水吸收起主要作用的波长范围内的清晰光谱,以具有缩放和偏移。然后减去清水光谱并对所需成分的光谱重复匹配,从而获得水中成分浓度的测量。

[0016] US-4416542描述了一种用于测量海水的扩散吸收系数的装置和方法,其提供可靠的读数。脉冲光发射器设置在水面下方,辐照度接收器位于脉冲光发射器和水面之间。因为辐照度接收器面向下,与发光器间隔给定距离并且可以设置在水面下合适的距离处,所以

可以获得不受大气或表面条件影响的可靠的日夜读数。

[0017] US-8767205描述了一种用于放置在水体上或水体中对水中的材料进行高光谱成像的装置，该装置包括人造光源和高光谱成像器。这些人造光源和高光谱成像器设置为使得使用中的光在水面下方离开装置并且在重新进入水面下方的装置并进入高光谱成像器之前被所述材料反射。高光谱成像器适于生成具有至少两个空间维度的高光谱图像数据。

[0018] US-5754722描述了一种与傅里叶变换红外(FTIR)光谱仪一起使用的用于通过样本感测红外能量的吸收的光纤光谱探针，该探针具有包含光纤束的轴，该光纤束终止于轴的端部附近用于发送和接收来自样本的红外能量(其通过测量头测量)。轴具有用于可拆卸地附接可互换测量头的装置，用于测量样本的衰减全反射、漫反射或镜面反射，或用于测量透过样本传输的红外能量。可互换的头联接至轴而无需使用额外的光学器件或机械定位装置。轴组件可以包括冷却夹套，用于在升高的温度下测量样本。具有不同的、可互换的光谱采样头可以使用单个装置从处于不同的聚集和均匀状态的广泛的样本获取定量的光谱数据。

[0019] US2004/0195511描述了这样一种装置和方法，其能够在操作期间利用IR吸收现象(而不需要移动部件或傅里叶变换)，同时实时地为多个样本或一个样本的多个空间区域提供空间复用的IR光谱信息，并且对背景光谱和组件性能随时间的下降进行自我补偿。通过使用一个或多个IR源、用于定位样本的采样附件、光学色散元件、设置为检测散射光束的焦平面阵列(FPA)以及控制FPA的处理器和显示IR光谱仪的显示器来确定样本的IR光谱信息和化学分析。光纤耦合可以用于遥感。由于无移动部件结构，便携性、可靠性和耐用性得以提高。应用包括确定时间分辨方向和包括聚合物单层的材料特性。正交偏振器可以用于确定某些材料特性。

[0020] 然而，这种设置依赖于具有特定特性的有源红外源。具体地，该系统要求IR光源是稳定的，并且IR光源的光谱和强度是已知的、不重要的、或者足够稳定，使得光照的连续监测不是数据采集过程的关注部分或重要部分。因此，这种设置不适用于更广泛的应用，例如农业和水监测应用。

[0021] US2007/0127027描述了一种用于分析多个样本的光度计。光度计包括光源和检测器。光学组件限定两个或更多个光路，每个光路设置为通过单独的样本位置将光从光源传输至检测器。然而，该系统仍然依赖于有源光照和光源，并且具有与US2004/0195511相同的缺点。

发明内容

[0022] 概括地说，本发明的一个方面旨在提供一种用于测量来自一个或多个样本的光谱的装置，所述装置包括：参考波导、至少一个样本波导、光学系统、成像装置，所述参考波导接收用于照射至少一个样本的光照辐射；所述至少一个样本波导接收从相应样本反射和透射过相应样本的样本辐射中的至少一个；所述光学系统基于辐射的频率对来自每个波导的辐射进行空间分布；并且将来自光纤的辐射聚焦到像平面上；所述成像装置采集来自像平面的聚焦的且空间分布的辐射的图像，使得所述图像包括来自每个波导的相应光谱。

[0023] 在一个实施方案中，波导是光纤。

[0024] 在一个实施方案中，光学系统：基于辐射的频率在第一方向上对来自每个波导的

辐射进行空间分布;聚焦来自波导的辐射,使得来自每根光纤的辐射在垂直于第一方向的第二方向上间隔开。

[0025] 在一个实施方案中,波导的输出端在第二方向上对齐延伸。

[0026] 在一个实施方案中,光学系统包括狭缝和准直透镜,并且波导的输出端引导辐射通过狭缝和准直透镜。

[0027] 在一个实施方案中,光学系统包括:衍射光栅,其对辐射进行空间分布;以及一个或多个透镜,其对空间分布的辐射进行聚焦。

[0028] 在一个实施方案中,成像装置包括以下装置中的至少一个:CMOS;红外传感器;单像素传感器;以及CCD传感器。

[0029] 在一个实施方案中,该装置包括在参考波导的输入处的漫射构件。

[0030] 在一个实施方案中,样本波导的输入端指向样本,并且参考波导的输入端指向远离样本的方向。

[0031] 在一个实施方案中,样本光纤的输入端包括以下装置中的至少一个:输入透镜,其用于聚焦来自样本的辐射;以及偏振器,其用于选择性地过滤来自样本的辐射。

[0032] 在一个实施方案中,输入透镜具有以下特性中的至少一个:焦距为以下焦距中的至少一个:1cm至100cm;5cm至50cm;以及10cm至30cm;视场为1cm^{2}至10cm^{2}和2cm^{2}至5cm^{2}中的至少一个。

[0033] 在一个实施方案中,该装置包括第二参考光纤,其接收来自以下来源中的至少一个的参考辐射:参考目标;参考样本;以及参考光照源。

[0034] 在一个实施方案中,该装置包括参考光照源,其适于产生包括特定辐射频率的光照。

[0035] 在一个实施方案中,该装置包括用于支撑至少一些波导的输入端的支撑件。

[0036] 在一个实施方案中,至少一些波导的输入端可移动地安装到支撑件,从而能够调节波导的相对视场。

[0037] 在一个实施方案中,支撑件包括悬臂,并且至少一些样本波导的输入沿着悬臂间隔开,从而能够同时从多个空间分布的样本接收反射的辐射。

[0038] 在一个实施方案中,悬臂联接到手柄,使用户能够携带悬臂,从而能够相对于一个或多个样本手动定位波导。

[0039] 在一个实施方案中,悬臂从车辆横向延伸。

[0040] 在一个实施方案中,光照辐射光谱和样本辐射光谱能够实现同时地采集和按顺序地采集中的至少一种。

[0041] 在一个实施方案中,该装置适于测量来自水体的光谱,并且包括以下装置中的至少一个:一对波导,其包括:参考波导,其设置为通过漫射器采集下行(downwelling)光;以及样本波导,其采集从水体反射的光;一对波导,其包括:样本波导,其以向下定向的角度设置,以采集从水体反射的光;以及参考波导,其以相应的角度向上定向设置,以采集来自天空的一部分的光,该光从水体直接反射到样本波导上。

[0042] 在一个实施方案中,传感器与像平面对齐。

[0043] 在一个实施方案中,传感器接收来自与像平面对齐的至少一个反射器的辐射。

[0044] 在一个实施方案中,该装置包括调制器,其用于选择性地将辐射从像平面传输到

成像装置。

[0045] 在一个实施方案中，调制器包括线性数字镜装置和硅上液晶装置中的至少一个。

[0046] 在一个实施方案中，该装置包括至少一个处理装置，所述处理装置：从成像装置接收图像数据；以及存储基于接收的图像数据的光谱数据。

[0047] 在一个实施方案中，所述至少一个处理装置将光谱数据与从一个或多个传感器收集的参考数据一起存储。

[0048] 在一个实施方案中，所述至少一个处理装置通过以下方式生成光谱数据：识别图像数据中的一行或多行像素，所述一行或多行像素指示来自波导的辐射；以及选择性地对一行或多行像素进行编码以形成光谱数据。

[0049] 在一个实施方案中，所述至少一个处理装置通过以下方式生成光谱数据：基于图像内的像素位置识别图像数据内的一个或多个二阶像素；以及选择性地对与一个或多个二阶像素相关联的信道进行编码以形成光谱数据。

[0050] 在一个实施方案中，所述至少一个处理装置使用以下至少一项来选择性地对二阶像素进行编码：红色信道，其中红色像素至少部分对红外光敏感；红色和绿色信道，其中红色和绿色像素至少部分对红外光敏感；红外信道；以及来自用于650nm至1000nm的辐射波长的红色拜耳滤波器信道的信号。

[0051] 在一个实施方案中，所述至少一个处理装置：通过对接收的图像数据执行主成分分析来生成光谱数据，以确定主成分系数；并且，以主成分系数的形式发送光谱数据。

[0052] 在一个实施方案中，基于待分析样本的性质，在至少一个处理装置中填充主成分。

[0053] 在一个实施方案中，该装置包括至少一个处理装置，所述处理装置通过确定样本辐射与光照辐射的比来确定每个样本的样本光谱。

[0054] 在一个实施方案中，该装置包括至少一个处理装置，所述处理装置通过以下方式中的至少一种来执行样本光谱的波长校准：识别光照辐射中频率的已知组合；识别从参考样本测量的参考光谱中的已知频率；以及识别来自参考光照源的光照辐射中的已知频率。

[0055] 在一个实施方案中，该装置包括至少一个处理装置：根据光谱数据确定背景光谱；以及使用背景光谱来确定样本光谱。

[0056] 在一个实施方案中，通过识别图像数据中的背景像素来确定背景光谱。

[0057] 在一个实施方案中，光照辐射是以下项的至少一种：自然光；太阳辐射；以及非人工的光照源。

[0058] 在一个实施方案中，参考波导的输入指向以下方向中的至少一个：向上；向天空；朝向自然光源；以及朝向非人工光照源。

[0059] 在一个实施方案中，该装置包括至少一个处理装置，所述处理装置处理样本辐射以补偿误差源。

[0060] 在一个实施方案中，误差源包括以下项的至少一个：曝光可变性；传感器噪声；传感器波长漂移；传感器灵敏度漂移；时间相关漂移；温度相关漂移；以及光照辐射的变化。

[0061] 在一个实施方案中，该装置使用具有以下特性的至少一个的成像装置：温度响应系数，其选自以下范围：大于±0.1%/℃；大于±0.5%/℃；大于±1%/℃；在0℃至80℃范围内的背景电流的最大漂移，其选自以下范围：大于10%；大于50%；大于200%；以及大于500%；在0℃至80℃范围内的测量灵敏度的最大漂移，其选自以下范围：小于20%；以及小

于10％；在0℃至80℃范围内、在1年时间内的波长漂移，其选自以下范围：大于3nm；大于5nm；大于10nm；以及高达50nm；在0℃至80℃范围内的线性度，其选自以下范围：大于1％；大于2％；以及大于5％；以及信噪比，其选自以下范围：小于2000:1；小于1000:1；小于500:1；以及小于100:1。

[0062] 在一个实施方案中，该装置感测的辐射在以下波段中的至少一个：350nm至1000nm；350nm-750nm；350nm-650nm；400nm-700nm；650nm-1000nm；10nm-380nm；750nm-1400nm；以及1400nm-5500nm。

[0063] 在一个实施方案中，该装置配置为用于以下应用中的至少一种：水质监测；农业监测；环境监测；食品监测；药品监测；地质监测；以及矿物监测。

[0064] 概括地说，本发明的一个方面旨在提供一种测量来自一个或多个样本的光谱的方法，所述方法包括：使用参考波导来接收用于照射至少一个样本的光照辐射；使用至少一个样本波导来接收样本辐射，所述样本辐射是从相应样本反射的样本辐射和透射过相应样本的样本辐射中的至少一个；使用光学系统以：基于辐射的频率对来自每个波导的辐射进行空间分布；并且将来自光纤的辐射聚焦到像平面上；以及使用成像装置从像平面采集聚焦且空间分布的辐射的图像，使得所述图像包括来自每个波导的相应光谱。

[0065] 在一个实施方案中，该方法用于以下应用中的至少一种：水质监测；农业监测；环境监测；食品监测；药品监测；地质监测；以及矿物监测。

[0066] 应当理解，本发明的广义形式及其各个特征可以结合、可互换和/或独立地使用，并且对单独的广义形式的引用旨在是非限制性的。

附图说明

[0067] 现在将参考附图描述本发明的各个实施方案的示例，在这些附图中：

[0068] 图1是用于测量来自一个或多个样本的光谱的装置的示例的示意图；

[0069] 图2A是指示采集的样本光谱的图像的示例；

[0070] 图2B是收集的光谱的示例的示意图；

[0071] 图3A是用于测量来自一个或多个样本的光谱的装置的第二示例的示意图；

[0072] 图3B是图3A的装置的光学元件的示意性平面图；

[0073] 图3C是图3B的光学元件的示意性侧视图；

[0074] 图4是分布式计算机结构的示意图；

[0075] 图5是处理系统的示例的示意图；

[0076] 图6是用于图像采集的过程的示例的流程图；

[0077] 图7是示出了采集的图像的不同部分的示意图；

[0078] 图8是处理图像的方法的示例的流程图；

[0079] 图9是处理后的反射率测量的示例的示意图；

[0080] 图10是用于测量来自一个或多个样本的光谱的装置的另一替代性示例的示意图；

[0081] 图11是用于测量来自水体的光谱的装置的另一个替代性示例的示意图；

[0082] 图12是示出了代表性数据集的平均反射率的示例的曲线图；

[0083] 图13是示出了用于减少反射率数据的主要组件的示例的曲线图；

[0084] 图14是示出了原始反射率数据的示例的曲线图；

[0085] 图15是示出了基于图14的原始反射率数据的减小的数据集之间的比较的示例的曲线图；

[0086] 图16是示出了通过后续间隔约半秒的测量采集的太阳光谱的示例的曲线图；

[0087] 图17是示出了低成本CMOS传感器表现出的曝光时间的短期漂移的曲线图；

[0088] 图18是示出了基于固定背景值的假设的具有背景信号的计算的反射信号的示例的曲线图；

[0089] 图19是示出了具有测量的背景信号的计算的反射信号的示例的曲线图；

[0090] 图20是示出了基于具有变化曝光的固定背景值假设的具有背景信号的计算的反射信号的示例的曲线图；

[0091] 图21是示出了具有变化曝光的测量的背景信号的计算的反射信号的示例的曲线图；

[0092] 图22是示出了示例传感器的暗电流随温度的变化的示例的曲线图；

[0093] 图23是示出了许多不同的示例传感器的灵敏度随温度变化而变化的示例的曲线图；

[0094] 图24是示出了在数据集的开始和结束时采集的下行光谱信号的比较的示例的曲线图；

[0095] 图25是示出了图24的信号归一化后的示例的曲线图；

[0096] 图26是示出了使用在数据集的开始或使用期间采集的参考下行光谱信号的计算的反射信号的比较的示例的曲线图；

[0097] 图27是示出了图26的信号在参考信号的归一化之后的示例的曲线图；

[0098] 图28是示出了采集到的下行光与反射光相比的波长差的比较的示例的曲线图；以及

[0099] 图29是示出了波长校准中的漂移效应的示例的曲线图。

具体实施方式

[0100] 现在将参考图1描述用于测量来自一个或多个样本的光谱的装置的示例。

[0101] 出于该示例的目的，假设光谱仪用于从样本收集反射或透射光谱，样本由光照辐射(例如从辐射源等发射的)照射。关于这点，辐射是电磁辐射，并且为了便于描述，通常将其简称为辐射。虽然辐射通常包括可见辐射，但这不是必需的，并且术语辐射可以额外地和/或可替代地包括其它频率(包括紫外、近红外、红外等)。应当理解，因此，术语光照辐射旨在指代样本所暴露的辐射，而不旨在仅限于可见辐射。光照源可以包括太阳或人造光源，例如一个或多个灯，具体示例将在下面更详细地描述。

[0102] 根据优选的实施方案，样本可以是任何适当的形式，并且可以包括植被，例如在监测植物或作物健康时，用于监测水质的水样等。

[0103] 在该示例中，装置100包括参考波导111，其接收用于照射至少一个样本102的光照辐射。参考波导不需要指向光照源，并且更一般地，接收宽视场上的辐射，例如通过使用安装在波导的端部附近的漫射构件或透镜，下面将更详细地描述。这样做的目的是获得照射样本的辐射的整体光谱，而不是从光源发射的辐射，从光源发射的辐射可能不是样本所暴露的辐射的全部特征。

[0104] 装置100还包括至少一个样本波导112，其接收从相应样本102反射或透射通过相应样本102的样本辐射。在该示例中，设置了三个光纤形式的样本波导112，使得能够从三个相应的样本收集光谱，但这不是必需的，并且可以设置任何数量的样本波导或任何适当形式的波导。在这种情况下，样本波导设置为接收来自样本102的反射辐射，但是这也不是必需的，并且从以下描述中可以明显看出，或者可以通过样本波导的端部的适当定位来收集透射辐射。

[0105] 光谱仪包括光学系统120，该光学系统120基于从每个波导接收的辐射的频率将来自波导的辐射进行空间分布，并且进一步将来自波导的辐射聚焦到像平面上。在一个具体示例中，光学系统通常包括色散元件以及一个或多个透镜，所述色散元件例如棱镜或衍射光栅，以在空间上分散辐射；所述一个或多个透镜用于聚焦分散的辐射。这使得分散的辐射能够聚焦到像平面上，从而能够由成像装置130采集，成像装置130例如为CMOS(互补金属氧化物半导体)图像传感器、CCD(电荷耦合器件)传感器等。

[0106] 在一个示例中，该设置允许使用单个传感器采集单个图像，其中，图像包括在图像上间隔开的来自每个光纤的相应光谱，如图2A中的示例所示。一旦收集到图像，可以将图像提供给处理装置140或其它类似的设置，使该图像能够进行处理和/或存储以用于后续分析。或者，这种设置可以用于使用诸如DMD(数字镜器件)等的调制器快速连续地收集多个光谱，并且存储单独的光谱用于后续分析，下面将更详细地描述。

[0107] 上述设置可以提供优于传统设置的许多优点。具体地，上述设置允许使用相同的传感器同时或基本上同时从光照辐射和一个或多个样本收集多个光谱。使用相同的传感器，通过使用复杂的感测装置，避免了需要校准多个传感器，并且避免了相对传感器漂移的问题。另外，由于同时或基本同时收集参考和样本光谱，在收集参考和样本光谱之间不存在传感器漂移，并且在参考和样本的收集之间没有光照辐射的变化。由于确信在收集样本光谱时，参考光谱准确地反映了照射样本的辐射，所以这反过来可以相对于光照辐射的参考光谱分析样本光谱。因此，上述装置不需要复杂或昂贵的传感器校准机构，或高度稳定的传感器以防止传感器漂移。这继而允许利用廉价的硬件设置来实现高精度的光谱仪，而传统上没有这种情况。

[0108] 现在将描述多个其它特征。

[0109] 波导可以是任何适当的形式，只要其能够从光源收集辐射并引导辐射即可。虽然可以使用其它设置，例如薄膜波导，但是波导通常是光纤，并且可以设置为各自独立的光纤或形成光纤束的一部分的光纤。由于普遍存在的性质和灵活性，光纤的使用是特别有益的，灵活性使得光纤的视场可以调节，从而确保了根据需要从光源收集辐射。波导还可以耦合至或结合光学元件，例如漫射构件、输入透镜、偏振器等，以根据需要帮助收集和/或过滤辐射。为了便于描述，以下描述将专注于使用光纤的情况，但是应当理解，这是为了便于描述，并且不一定是限制性的。

[0110] 在一个示例中，光学系统基于辐射的频率在第一方向上将来自每个光纤的辐射进行空间分布，并且聚焦来自光纤的辐射，使得来自每个光纤的辐射在垂直于第一方向的第二方向上间隔开。因此，如图2A的示例的图像所示，来自样本和光照辐射的多个光谱201在竖直方向上间隔开，其中每个光谱在整个图像上水平延伸。从图像中提取的相应光谱的示例在图2B中显示。应当理解，这使得光谱可以直接进行比较，从而使得个人或计算机系统能

够容易地检查光谱的差异。

[0111] 可以利用任何适当的光学系统来实现这种设置。在一个示例中，通过使光纤的输出端在第二方向上对齐来实现光谱的对齐，其中光纤指向在第二方向上延伸的狭缝。穿过狭缝的辐射通过准直透镜聚焦到诸如衍射光栅或棱镜的色散元件上，该色散元件在第一方向上对辐射进行空间分布。然后，一个或多个透镜将空间分布的辐射聚焦到与成像装置对齐的像平面上，成像装置通常是诸如CMOS传感器的二维成像装置，但是也可以包括其它传感器，例如热成像仪、红外传感器、单像素传感器、CCD传感器等。应当理解，该装置可用于根据所采用的传感器感测较宽范围的辐射波长。这可以包括但不限于波长范围为350nm-1000nm、350nm-750nm、350nm-650nm、400nm-700nm、650nm-1000nm、10nm-380nm、750nm-1400nm和1400nm-5500nm中的一个或多个波长范围内的辐射。

[0112] 该装置可以包括设置在参考光纤的输入端的漫射构件(例如漫射器)，从而使得参考光纤能够在较宽范围的入射角中采集光照辐射。这确保了采集的辐射代表用于照射样本的辐射的整体光谱。如前所述，透镜还可以设置在样本光纤的输入端，从而允许从一个或多个目标样本精确地收集辐射。另外，样本波导的输入端通常指向样本，而参考波导的输入端指向远离样本的方向，从而能够采集光照辐射。

[0113] 应当理解，所使用的具体配置将根据优选实施方案而变化。例如，在监测作物时，可能需要从各个植物获取光谱。因此，为每个样本光纤设置透镜系统，该样本光纤限定通常与植物的全部或部分范围相对应的视场(例如几平方厘米的面积)，并且基于光纤端部与植物的距离(通常为几厘米)来限定焦距。或者，可能需要从植被冠层的全部或部分获得光谱，在这种情况下，可以采用几平方米的较大视场和较大的焦距(例如几十米)。类似地，当监测水体时，可能需要更大的间隔，因此需要更大的焦距和更大的视场。

[0114] 还应当理解，可以为不同的样本光纤提供不同的透镜设置，以限定不同的且可能重叠的视场。透镜也可以配备聚焦机构，从而确保使用最佳采集条件。透镜还可以形成成像装置的一部分，例如显微镜、望远镜、摄像机等。由此可以理解，采集距离的范围可以从几毫米到几米，甚至几千米，而视场的范围可以从几平方毫米到几平方米或几平方千米。然而，通常采用与样本分离的系统，因此焦距为1cm至100cm，更典型为5cm至50cm以及10cm至30cm，视场为1cm^2至10cm^2，以及2cm^2至5cm^2。

[0115] 该装置还可以包括第二参考光纤，其接收从参考样本或参考目标反射或由参考样本或参考目标透射的至少一个参考辐射。这可以用于校准采集的辐射的波长，下面将更详细地描述，例如通过采集来自响应于光照辐射具有已知光谱的目标或样本的辐射，例如白色目标或具有特定颜色的目标。可替代地和/或另外地，该装置可以包括适于产生包括一个或多个特定辐射频率的光照的参考光照源(例如灯、LED或激光器)，在这种情况下，第二参考光纤或第三参考光纤可以用于接收来自参考光照的辐射。作为另一替代方案，这种校准可以通过识别光照辐射或样本辐射中的特定已知波峰或波谷来实现，下面将更详细地描述。

[0116] 该装置可以具有任何期望的物理配置，但是在一个示例中，该装置包括用于支撑至少一些光纤的输入端的支撑件。在一个示例中，至少一些光纤的输入端可移动地安装至支撑件，从而可以调节光纤的相对视场。

[0117] 在一个示例中，该装置包括悬臂(boom)，并且至少一些样本光纤的输入端沿着悬

臂间隔开，从而允许同时从多个空间分布的样本接收辐射。悬臂可以接合到手柄，使得用户能够携带悬臂，从而相对于一个或多个样本手动定位波导，或者可替选地，可以将悬臂安装到车辆上，从而允许在车辆经过样本时收集样本光谱。这对于例如在对作物行进行采样时特别有用，但是应当理解，还具有其它应用，例如对来自单个样本的不同位置的辐射进行采样。或者，可以使用光纤支撑件的其它配置，或者光纤可以彼此远距离定位，下面将更详细地描述其它示例设置。

[0118] 例如，当测量来自水体的光谱时，该装置通常包括一对波导，所述一对波导包括设置为通过漫射器采集下行光的参考波导以及采集从水体反射的光的样本波导。可以设置第二对波导，第二对波导包括样本波导和参考波导，所述样本波导以向下定向的角度设置以采集从水体反射的光；所述参考波导以向上定向的相应角度设置以采集来自天空的一部分的光，所述光直接从水体反射到样本波导。这样可以优化来自水体的光谱的收集，从而可以使反射更容易识别，并在分析过程中从光谱中排除。

[0119] 如前所述，光照辐射和样本辐射的光谱可以同时或者按顺序基本上同时采集。关于这点，当使用诸如红外传感器的传感器时，这些传感器往往更昂贵并且可选地需要冷却。因此，在这种情况下，位于像平面中的2-D传感器可以用1-D或单个像素的传感器代替，其中例如使用调制器(例如DMD、LCOS(硅上液晶)装置等)将辐射从像平面选择性地提供给传感器。在这种情况下，调制器通常设置在像平面中并且适于选择性地将辐射指向传感器。因此，来自相应光谱的辐射可以选择性地反射到1-D传感器上，从而能够按顺序地测量每个光谱。另外和/或可替代地，对应于各个辐射波长的每个光谱内的各个像素可以依次反射到单个像素的传感器上，从而能够使用在各个波长上扫描的一系列连续测量来收集每个光谱。应当理解，虽然这不提供使用同时收集多个光谱的一些优点，但这允许系统与更昂贵的红外传感器(其通常需要冷却等)一起使用，而不会过度增加成本。尽管如此，由于可以快速收集测量值，并且由于仍然为每组测量值采集光照辐射，这仍然避免了与现有技术相关的校准和光照辐射变化的问题。

[0120] 该装置通常包括至少一个处理装置，该处理装置从成像装置接收图像数据，并存储或发送基于接收的图像数据的光谱数据。光谱数据可以是由成像装置采集的一个或多个完整图像的形式，但也可以仅包括关于图像的一些像素的信息，下面将更详细地描述。光谱数据可以与例如作为指示附加信息的元数据存储的参考数据相关联，附加信息诸如采集图像数据的时间和日期、采集位置、例如从其它传感器等接收的环境条件。当随后检查或分析光谱数据以帮助数据解释时，可以利用这样的参考数据。

[0121] 在一个示例中，生成光谱数据的过程可以包括压缩图像数据。执行这样的过程以降低存储要求，并且减少存储光谱数据所需的时间，这在一些应用中是重要的，例如以视频数据的形式存储图像序列。在一个示例中，压缩应该是无损的，从而避免从收集的数据中丢失光谱信息。为了实现这一点，至少一个成像处理装置通常通过识别图像数据内的一行或多行像素来生成光谱数据，所述一行或多行像素对应于对来自光纤的辐射进行编码的像素行。然后，处理装置可以选择性地对一行或多行像素进行编码以形成光谱数据，从而有效地丢弃不包含有用信息的图像的其它部分。因此，这可以用于利用对光谱进行编码的像素的无损压缩来存储所采集的图像，同时使大量存储的数据量最小化。这是特别重要的，因为这使得能够执行视频采集，从而可以随时间动态采集光谱，而不需要计算上昂贵的编码方案。

[0122] 如上所述，光谱仪使用色散光学元件，其提供不同波长的光之间的空间分离。最常用于光谱仪的色散元件是衍射光栅，衍射光栅基于波长利用光学衍射来分离光。衍射光栅偏转光的角度是波长和衍射阶次的函数，由下式给出：

[0123] $m\lambda = d\sin(t)$

[0124] 其中：d是衍射光栅上线条之间的间距，

[0125] λ是光的波长，

[0126] t是衍射角，

[0127] m是阶次，阶次可以是任意整数。

[0128] 用于检测波长超过2倍的光的光谱仪必然受到二阶衍射问题的困扰，因为一个波长λ1的光将出现在角度t1，对应于λ1，并且t1'对应于2λ1。

[0129] 对于波长λ2正好是λ1两倍的光，即λ2＝2λ1，此波长的光以角度t2偏转，其中t2＝t1'，这意味着两个不同波长的光将落在光谱仪的同一点上。

[0130] 许多光谱仪使用滤波器或频带敏感探测器来消除对λ变化小于2倍的某个区间外的光的灵敏度，但这对光谱仪带宽有限制。其它范围超过两倍的设计使用阶次滤波器消除传感器区域中可能发生这种混乱的二阶效应。

[0131] 作为替代方法，当前设置使用彩色摄像机的拜耳滤波器作为阶次滤波器，这显着降低了成本并简化了装置的构造。如图2B所示，在400nm到500nm出现的蓝光也在800-1000nm的区间内重新出现。通过使用800-1000nm波长区间内的仅红色或红色和绿色像素，该装置忽略了二阶衍射问题，并提供了一直到1000nm的红外光谱的精确测量，而无需额外的阶次滤波器。在本说明书的其余部分中，位于光谱中发生这种效应的部分的像素我们称为“二阶像素”。

[0132] 因此，在一个示例中，处理装置可以通过基于图像内的像素位置识别一个或多个二阶像素来处理图像。一经识别，处理装置就可以选择性地对与一个或多个二阶像素相关联的不同光学信道进行编码以形成光谱数据。关于这点，当使用诸如衍射光栅的色散元件时，辐射的某些波长可能会导致二阶信号。例如，400纳米的蓝色波长辐射也可以导致信号位于对应于800纳米波长信号的空间位置处。由于成像装置通常在多个颜色信道(例如RGB)上采集信号，因此可以在信号将导致二阶衍射的区域中简单地丢弃蓝色信道，从而提供便宜且容易地从光谱中过滤二阶成分的机制，从而确保得到的光谱更准确，同时避免了对复杂滤波过程的需要。因此，可以仅使用红色和/或红色及绿色信道对二阶像素进行编码，其中红色和绿色像素对红外光或红外信道至少部分敏感。与传统设置相比，这确保了高度的准确性，同时显着地降低了装置的成本和复杂性。

[0133] 还应该理解，可以使用其它形式的分析。例如，处理装置可以适于通过对接收的图像数据进行主成分分析来生成光谱数据，以确定主成分系数。然后可以存储和/或传输这些成分，从而大大降低了数据存储/传输要求。在这种情况下，通常基于待分析样本的性质对处理装置填充主成分，从而对可以实现的精度和数据缩减进行优化。

[0134] 该装置可以包括至少一个处理装置，该处理装置可以通过确定样本辐射与光照辐射的比来确定每个样本的光谱。这使得能够在分析样本光谱时考虑光照辐射的光谱，如本领域技术人员所理解的。

[0135] 处理装置可以通过使用如前所述的参考样本，或者通过识别光照辐射中的已知频

率的特定组合，或者通过使用参考光照辐射源中的已知频率来执行波长校准，并且通过使用如前所述的参考样本，或者通过识别光照辐射中的已知频率的特定组合，或者通过使用参考光照辐射源中的已知频率来校准采集的光谱的波长。例如，已知荧光灯产生在特定波长处具有峰值的限定光谱，同时已知太阳光在特定波长处具有波峰和波谷，这又可用于缩放由装置采集的光谱。这使得能够执行绝对校准而无需昂贵的校准设备。

[0136] 该装置还可以包括至少一个处理装置，该处理装置根据光谱数据确定背景光谱，并使用背景光谱来确定样本光谱。关于这点，成像装置可能受到噪声和/或暴露于环境辐射，例如由于泄漏到壳体中。这又可以导致对所测量光谱的贡献，所测量光谱不是直接由于样本反射或透射的辐射引起的。因此，在一个示例中，从无意暴露于辐射的像素测量光谱，并且所得到的背景光谱用于通过减法或其它合适的处理来分析样本光谱。在一个示例中，这通过识别图像数据中的背景像素来实现，例如，如图2A中的202所示，与所测量光谱中的像素对齐但偏移的行中的像素，或者通过测量来自图像中另一个定义的位置的光谱来实现，例如图2A中的203所示的图像边缘。

[0137] 应当理解，上述设置可以与各种光照源一起使用。具体地，通过允许处理装置从样本辐射中去除背景噪声和/或光照辐射，这允许该装置与包括自然光、太阳辐射或任何其它非人工光照源的光照辐射一起使用，并且允许系统与不需要优化以减少错误的低成本传感器一起使用。具体地，在样本辐射的同时采集光照辐射和/或背景噪声使得能够从样本光谱中去除这些光照辐射和/或背景噪声，从而使样本辐射精确地反映反射和/或透射光谱，而不管光照辐射和噪声程度如何。

[0138] 为了实现这一点，该装置通常包括参考波导，该参考波导具有向上、向天空指向自然光照源或指向非人工光照源的输入。

[0139] 通常，该装置包括至少一个处理装置，该处理装置处理样本辐射以补偿误差源，例如曝光可变性、传感器噪声、传感器波长漂移、传感器灵敏度漂移、时间相关漂移、温度相关漂移、光照辐射的变化等等。这使得装置可以使用质量比传统装置低得多的成像装置，成像装置包括传感器，传感器的温度响应系数例如为大于±0.1%/℃、大于±0.5%/℃或大于±1%/℃，背景电流在0℃至80℃范围内的最大漂移例如为大于10%、大于50%、大于200%或大于500%，测量灵敏度在0℃至80℃的范围内的最大漂移例如为小于20%、或小于10%，在0℃至80℃范围内、在1年的时间内的波长漂移例如为大于3nm、大于5nm、大于10nm或高达50nm，在0℃至80℃范围内的线性度例如为大于1%、大于2%或大于5%，以及信噪比例如为小于2000:1、小于1000:1、小于500:1、或小于100:1。

[0140] 在一个示例中，上述设置提供了一种测量来自一个或多个样本的光谱的方法，该方法包括使用参考波导来接收用于照射至少一个样本的光照辐射，使用至少一个样本波导来接收从各个样本反射或透射各个样本的样本辐射的至少一个，使用光学系统基于辐射的频率对来自每个波导的辐射进行空间分布并将来自光纤的辐射聚焦到像平面上，并且使用成像装置采集来自像平面聚焦的且空间分布的图像，使得所述图像包括来自每个波导的相应光谱。

[0141] 现在将参考图3对另一示例装置进行描述。出于说明的目的，相似的组件由相似的附图标记表示，或者与图1中所示的装置相比，附图标记增大了200。

[0142] 因此，在该示例中，装置300还包括参考光纤311和样本光纤312。在该示例中，设置

额外的第二参考光纤313以用于接收从参考样本313反射的辐射，而第三参考光纤314可用于检测来自参考辐射源361(例如可控灯)的辐射。

[0143] 光纤安装在悬臂352上，悬臂352从主体351向外延伸。样本光纤311的输入端沿着悬臂间隔开，从而能够同时从多个间隔开的样本收集辐射。主体可以是任何适当的形式，并且在一个示例中形成为手柄，从而允许用户携带装置300。然而，这不是必需的，并且可替代地，主体351可以接合到或集成到诸如车辆等的装置中。在任一情况下，在主体351和悬臂352相对于一个或多个样本定位时，该装置可以收集光谱。在一个具体示例中，这可以用于从作物或其它植物行收集光谱，其中光纤端部之间的间隔基于作物行之间的间隔。

[0144] 装置300包括光学系统320，光学系统320将辐射分散并聚焦到检测器330上，检测器330又连接到处理系统340。在图3B和3C中更详细地示出了光学系统。如该示例所示，光学系统包括狭缝321，狭缝321通常与光纤的端部对齐。在被聚焦透镜324聚焦到检测器330上之前，通过狭缝的辐射由准直透镜322准直，然后由衍射光栅324分散。应当理解，在可替代示例中，检测器330可以由DMD或其它相似的调制器代替，然后其将辐射聚焦到诸如单个像素传感器等的感测装置上。

[0145] 装置300还包括光谱仪处理系统340，其用于处理和/或存储光谱数据并可选地控制灯361和/或从一个或多个其它传感器362接收数据。光谱仪处理系统340的性质将根据优选实施方案而变化。虽然光谱仪处理系统340可以是独立的处理系统，但更典型地，光谱仪处理系统340结合其它处理系统操作，例如允许光谱仪处理系统340收集并存储光谱数据，随后由可选地形成分布式架构的一部分的其它处理系统解释，现在将参考图4描述光谱仪处理系统340的示例。

[0146] 在该示例中，光谱仪处理系统340经由一个或多个通信网络420(诸如因特网和/或多个局域网(LAN))联接到一个或多个其它计算机系统430(诸如个人计算机系统、服务器、客户端装置等)。应当理解，光谱仪处理系统340、计算机系统430和网络420的配置仅用于示例的目的，并且在实践中，光谱仪处理系统340和计算机系统430可以通过任何适当的机制进行通信，例如通过有线或无线连接，包括但不限于移动网络、专用网络，例如802.11网络、因特网、LAN、WAN等，以及通过直接或点对点连接，例如蓝牙等。虽然计算机系统430显示为单个实体，但是应当理解，计算机系统430也可以设置为基于云的环境的一部分。因此，上述设置不是必需的，并且可以使用其它合适的配置。

[0147] 光谱仪处理系统340通常包括通过总线406互连的至少一个微处理器401、存储器402、可选的输入/输出装置403(例如输入按钮和指示器、触摸屏等)、外部接口404、内部接口405，如图所示。在该示例中，外部接口404可用于将光谱仪处理系统340连接到通信网络420等，而内部接口405用于将光谱仪处理装置340连接到成像装置330、灯361和/或附加传感器362(包括环境传感器和位置传感器，环境传感器例如温度或湿度传感器，位置传感器例如GPS等)。尽管示出了单个外部接口404，但这仅用于示例的目的，并且实际上可以设置使用各种方法(例如，以太网、串行、USB、无线等)的多个接口。

[0148] 在使用中，微处理器401以存储在存储器402中的应用软件的形式执行指令，从而能够执行所需的处理。应用软件可以包括一个或多个软件模块，并且可以在合适的执行环境(例如操作系统环境等)中执行。

[0149] 因此，应当理解，光谱仪处理系统340可以由任何合适的处理系统形成。在一个具

体示例中，光谱仪处理系统340是标准的处理系统(例如基于英特尔架构的处理系统)，其执行存储在非易失性(例如，硬盘)储存器上的软件应用程序，尽管这不是必需的。然而，还将理解，处理系统可以是任何电子处理装置或任何其它电子装置、系统或设置，电子处理装置例如为微处理器、微芯片处理器、逻辑门配置、可选地与实现逻辑相关联的固件(例如FPGA(现场可编程门阵列))。

[0150] 现在将参考图5来描述一个计算机系统430的示例。

[0151] 在该示例中，计算机系统430包括经由总线504互连的至少一个微处理器500、存储器501、输入/输出装置502(例如键盘和/或显示器)，以及外部接口503，如图所示。在该示例中，外部接口503可用于将计算机系统430连接到外围装置，例如通信网络420、数据库、其它储存装置等。尽管示出了单个外部接口503，但这仅用于示例的目的，并且实际上可以设置使用各种方法(例如，以太网、串行、USB、无线等)的多个接口。

[0152] 在使用中，微处理器500以存储在存储器501中的应用软件的形式执行指令，从而能够执行相关处理(例如分析由光谱仪300存储的图像)。

[0153] 因此，应当理解，计算机系统430可以由任何合适的处理系统形成，例如适当编程的服务器、网络服务器、PC、因特网终端、膝上型电脑、手持式PC、平板电脑或智能电话等等。因此，在一个示例中，计算机系统430是标准的处理系统(例如基于英特尔架构的处理系统)，其执行存储在非易失性(例如，硬盘)储存器上的软件应用程序，尽管这不是必需的。然而，还将理解，计算机系统430可以是任何电子处理装置或任何其它电子装置、系统或设置，电子处理装置例如为微处理器、微芯片处理器、逻辑门配置，可选地与实现逻辑相关联的固件(例如FPGA(现场可编程门阵列))。

[0154] 现在将更详细地描述使用装置300采集并分析图像的过程的示例。出于示例的目的，假设光谱仪处理系统340采集、处理和存储图像，随后使用一个计算机系统430对这些图像进行分析。

[0155] 为了实现这一点，光谱仪处理系统340通常执行用于图像采集和处理的应用软件，其中由光谱仪处理系统340执行的动作由处理器401根据存储在存储器402中的应用软件的指令和/或经由I/O装置403从用户接收的输入命令来执行。还将假设用户经由在计算机系统430上呈现的GUI(图形用户界面)等与计算机系统430交互。由计算机系统430执行的动作由处理器500根据存储在存储器501中的应用软件的指令和/或经由I/O装置502从用户接收的输入命令来执行。

[0156] 然而，应当理解，出于以下示例的目的而假设的上述配置不是必需的，并且可以使用许多其它配置。还应当理解，光谱仪处理系统340和计算机系统430之间的功能划分将根据具体实施方案而变化。

[0157] 现在将参考图6来描述图3的装置的操作的示例。

[0158] 在该示例中，在步骤600，例如使用提供给光谱仪处理装置340的合适的输入命令来激活装置300。光谱仪处理装置340激活成像装置330，从而生成与一个或多个图像相对应的图像数据。在步骤610，光谱仪处理装置340从成像装置330接收图像数据，图像数据包括每个RGB信道的强度值。

[0159] 在步骤620，处理系统340确定是否要压缩图像。关于这点，如果采集单个图像，则可以简单地存储这些图像以用于后续处理而不需要压缩。此外，即使对视频序列中的图像

进行压缩，通常也采集至少一些原始未压缩图像以用于校准和/或验证目的。

[0160] 如果确定不需要压缩，则在图像在步骤670进行存储之前，在步骤660，例如通过记录来自附加传感器362的数据来生成参考数据，参考数据例如为关于时间和日期的信息、图像采集的位置等。

[0161] 否则，在步骤630，处理系统340操作以识别图像中的像素行。图7中示出了像素行的示例，其中像素行在701处示出。

[0162] 可以以多种方式中的任何一种来识别像素行。例如，这可以包括在第二(竖直)方向上扫描图像并识别强度的变化，其对应于一行像素上的点。或者，这可以通过向图像应用掩模来实现，该掩模识别相应行的位置。然后在步骤640选择性地对所识别的行进行编码。

[0163] 作为该过程的一部分，处理装置340可以识别二阶像素，二阶像素是例如线702右侧的像素，其可以受到来自衍射光栅的二阶照射。然后通常通过忽略来自一个传感器信道(通常是较低频率的蓝色信道传感器)的信号来选择性地对二阶像素进行编码以生成光谱数据。在步骤660，将参考数据(例如元数据)添加到稍后在步骤670存储的图像中，如前所述。

[0164] 因此，应当理解，可以使用上述过程来存储由光谱仪生成的光谱数据。

[0165] 现在将参考图8来描述用于处理图像的过程的示例。

[0166] 在该示例中，在步骤800，检索光谱数据，并且在步骤810识别参考和样本光谱。此时，还可以可选地确定背景光谱，如前所述。应当理解，如果图像被压缩，则光谱数据将对应于光谱，而如果光谱数据对应于整个图像，则计算机系统430通常需要使用类似于关于步骤630描述的处理来识别对应于光谱的像素。然后在步骤810，为每个样本光谱生成每个样本光谱与参考光谱的比，所述比可选地考虑到背景光谱进行修改，从而能够考虑光照辐射的影响，如本领域技术人员将理解的。

[0167] 在此之后，在步骤820，计算机系统430确定是否存在反射参考，并且如果存在反射参考，则在步骤825操作以校准所生成的比光谱中的波长。否则，通常通过基于元数据比较参考光谱与定义的模式，在步骤820识别参考光谱中的波峰或波谷模式，并且使用模式匹配将特定波长分配给波峰和波谷，然后在步骤825将特定波长分配给参考图像。

[0168] 图9示出了产生的比光谱的示例。

[0169] 图10示出了替代的装置配置。在该示例中，该装置类似于上述图3描述的装置，尽管附图标记增大了700。

[0170] 在该示例中，样本光纤设置在地面中，并且光纤端部从表面向上延伸，从而收集穿过植被冠层902的光的透射光谱。应当理解，这种设置可以识别植物的光照吸收的变化，但是该装置的功能很大程度上如上面关于前面的示例所述。由此可以理解，根据装置使用的具体应用，装置可以以各种各样的配置使用。

[0171] 因此，上述设置提供了这样一种装置，该装置包括用于聚光的柔性光学系统、成像光谱仪、用于采集数据的摄像机、以及用于计算反射光谱的计算机。

[0172] 柔性光学系统包括多个光纤或光纤束，其中每个光纤的输入端收集来自感兴趣的场景的光。光纤的输入端可以收集来自照射感兴趣的物体的光源的光、从感兴趣的物体反射的光或来自另一方向的光。柔性光纤能够使输入端在测量所需的不同方向和位置上定向。光纤可以直接通过透镜、通过孔径或通过漫射器收集光，从而可以控制由每根光纤收集

的入射光的角度范围。

[0173] 在一个示例中，光纤仅包括两根光纤，其中一根光纤通过漫射器从天空收集光，另一根光纤收集从样本(例如，水下藻类、沉积物和其它悬浮材料)反射的光。可以对样本光纤进行遮蔽以消除来自水面的镜面反射，从而使得这种设置能够用于测量水上方的反射率。

[0174] 在另一个示例中，光纤包括三根光纤：一根光纤通过漫射器从天空收集光，一根光纤在水面处向下观察并收集从水面下方的材料反射的光，以及来自表面本身的镜面反射，第三根光纤直接观察镜面反射的天空部分，从而消除镜面反射的影响。

[0175] 在另一个示例中，光纤可以配置成在农业或生态应用中测量植物的反射率。同样，一根光纤收集来自天空的漫射光，许多其它光纤收集从地面上的植物、土壤或其它物体反射的光。可选地将白色校准反射目标放置在一根光纤下以提供绝对反射参考。

[0176] 光纤通常以直线终止，例如线性光纤束或线性光纤连接器，并且来自光纤的光入射在光学系统上，光学系统操作以在检测器的像平面上产生单独的光谱。光学系统通常包括准直透镜(其位于远离线性光纤输出行的一个焦距处，以准直从光纤出射的光)、衍射光栅、棱镜或将光分离成组成的光谱带的其它色散元件，以及将光聚焦到成像传感器上的物镜。光谱仪上的光纤输出以线性行排列，与衍射光栅上的线成90°角定位，从而确保来自每个波长带的光的衍射角对于从每根光纤出射的光是相同的。从成像光谱仪传输到成像传感器的光由一系列水平光谱带组成。一个频带对应于线性光纤输出行中的每个光纤输出。在任何给定点处照射成像传感器的光强对应于特定波长带的光强。

[0177] 如果使用衍射光栅，则像平面中的一些像素将接收不止一个波长的光。这是因为衍射光栅支持多阶，这是其结构周期性的结果。因此，在成像传感器中900nm光线落入的位置处，也会有来自衍射光栅的二阶的450nm处的一些光强。为了获得正确的反射光谱，系统可以配置为使用两种方法之一。

[0178] 在一个示例中，如果使用的成像传感器是具有拜耳滤波器但没有红外阻挡滤波器的颜色传感器，并且传感器是硅检测器，则来自所有三个色带的信号的总和用于350-650nm范围内的光。然后，只有来自红色拜耳滤波器的信号用于650nm到1000nm的波长。如果颜色传感器的红色拜耳滤波器充分阻断绿色和蓝色光，那么就可以在光学上从光谱仪的近红外波段中消除来自衍射光栅的二阶信号的影响。

[0179] 在另一个示例中，如果成像传感器是单色的，并且是硅基的，使得其灵敏度覆盖大约350-1000nm，则衍射光栅的二阶效应将通过图像分析而消除。具有校准光源的实验室测量可用于确定对于350至500nm之间的所有波长的二阶光与一阶光的比。一旦确定，就可以从信号的红外部分消除衍射中的二阶效应。

[0180] 成像传感器通常是传感器阵列，例如，CCD或CMOS或红外传感器。来自该传感器的数据被发送到处理系统(例如计算机)，以用于分析数据并确定感兴趣的物体的光谱。

[0181] 在最简单的实施方案中，一根光纤瞄准物体，来自物体的反射光通过光纤收集到光谱仪中。第二光纤放置在漫射器后面以采集该区域的光照，即落在感兴趣的物体上的入射光。该光也被送入光谱仪中。通过计算在任何给定波长下的反射光和光照光之间的比来计算反射率。该比给出了物体在每个波长下的相对反射率。

[0182] 通过将该比乘以一个因子来执行绝对波长的计算，以补偿漫射器的损耗和可能影响反射率计算的其它几何因子。反射率的精确定义取决于与光照和观察方向相关的许多几

何因子，并且必须在数据分析的后期考虑。

[0183] 在一个示例中，光谱仪可以包括悬臂，其可以悬浮在水、植物或矿物上，然后移过区域以映射光谱反射率。通过将多根光纤连续放置，可以将间隔数米或数十米的广泛分离点的光路由到光谱仪中，从而能够同时从所有这些点测量反射率。这将取代需要多个单独光谱仪的商用仪器。

[0184] 可以实现的另一个特征是增加光照，将装置转换为有源反射率测量系统。在一个示例中，诸如灯、LED或激光器的门控光源可以由计算机切换，并且联接到第二束光纤，第二束光纤位于第一束光纤旁边。然后来自灯的光落在感兴趣的物体上，增加人工光照。图像传感器和门控光源均由计算机控制，从而在光源打开和关闭时都可以采集数据。然后计算机计算差值，差值表示来自光照的光的光谱。

[0185] 另外，另一根光纤直接监测光照，还有另一根光纤将监测环境光照。通过分析数据，可以确定物体的反射率。另外，通过用精心选择的波长的光激发物体，来自物体的荧光可以与反射率分开检测。该实施方案提供了一种多个点高光谱测量装置，该装置测量来自物体的反射率和荧光。

[0186] 另外，通过正确地定时图像采集，还可以使用闪光照射来诱导时间延迟的荧光，并且摄像机可以仅采集延时的荧光。该装置可以在夜间或阴影处操作，以减少环境光的影响。使用硅检测器(其检测400-1000nm)的该装置的主要应用是测量温室外或温室中的水以及陆地植物。

[0187] 在另一个农业示例中，光谱仪可以安装在温室中或拖拉机携带的悬臂上，并用于测量位于光纤输入端下方的植物的反射率和/或荧光光谱，如图10所示。

[0188] 对于水体，装置可用于通过同时测量来自天空的光照以及从水下反射的光(通过悬浮沉积物、藻类、蓝绿藻和其它有色材料反射的)来测量水的反射率。

[0189] 用于水质监测的示例配置如图11所示。在该示例中，相似的附图标记增大了800，用于表示与上述图3描述的那些特征类似的特征。

[0190] 因此，在该示例中，装置1100包括第一参考和样本光纤对1111、1112以及第二参考和样本光纤对1113、1114。

[0191] 光纤1111、1112、1113、1114安装在悬臂1152上，悬臂1152从主体1151向外延伸。光纤的端部从悬臂1152延伸，从而能够根据需要收集辐射。主体可以是任何适当的形状，并且在一个示例中形成为手柄，从而允许用户携带装置1100。然而，这不是必需的，并且可替代地，主体1151可以联接到或集成到诸如车辆、码头、监测浮标等的装置中。在任一情况下，在主体1151和悬臂1152相对于一个或多个样本定位时，该装置可以收集光谱。

[0192] 装置1100包括光学系统1120，其将辐射分散并聚焦到检测器1130上，检测器1130又连接到处理系统1140，处理系统1140用于处理和/或存储光谱数据并且可选地从一个或多个其它传感器1162接收数据。

[0193] 在该示例中，布置四根光纤1111、1112、1113、1114以用于两种可能的反射率计算方法。光纤1113通过漫射器1113.1采集下行光，光纤1114采集从水反射的光。可选的阴影(未示出)可以设置在光纤1114周围，以消除天空在水面上的光谱反射。

[0194] 光纤1112以相对于悬臂1152向下定向的角度设置，以采集从水反射的光，而光纤1111以相应的角度向上定向设置，以采集来自天空的一部分的光，该光直接从水面反射并

进入光纤1112。这样可以减去来自水的反射中的天空的光谱影响，从而能够收集水的光谱。另外和/或可替代地，如果光纤1112相对于水面的角度接近布儒斯特角，并且在光纤1112前面以适当的偏振方向设置偏振器1112.1，则当水面平静时，可以基本消除来自天空的这种镜面反射，无需监测光纤1111处的信号。

[0195] 因此，可以理解，这种设置特别适用于水质监测，特别是考虑来自光照辐射的反射，并且可以测量由水或水中的材料发射的光谱。

[0196] 该装置还可以用红外和紫外的成像传感器实现。使用红外传感器的装置的主要应用是矿物鉴定。通过装置扫描陆地区域或岩壁，可以计算岩壁上的许多点的反射光谱，并且可以通过应用分类算法对岩石表面的矿物进行分类和识别。

[0197] 在上述示例中，该装置包括处理系统140，处理系统140从成像装置接收图像数据并存储基于接收的图像数据的光谱数据。除了简单地存储光谱数据之外，处理装置还可以适于执行至少一些数据处理，例如减少用于存储和/或传输的数据量。

[0198] 在一个示例中，如前所述，这可以例如通过仅存储来自每个光谱的单行像素来简单地涉及丢弃冗余数据(例如图像的背景部分，或光谱的重复部分)。在另一个示例中，可以通过处理光谱并从中提取信息来执行进一步的数据缩减。这极大地减少了装置内的实时数据量，这在数据存储受限和/或数据必须通过诸如移动电话或卫星通信链路的高度受限带宽的网络无线传输时提供了显着的益处。

[0199] 这样的设置是可实现的，因为光照光谱通常是信息丰富的，意味着消除光照光谱显着地简化了所得到的透射或反射光谱。例如，在外部环境中，照射的太阳辐射通常是结构紧凑的，而植物和水体的反射光谱倾向于相对平滑并且通常可以通过大大减少的参数数量来表示。图12中示出了消除了光照辐射的示例的平均反射光谱。

[0200] 在一个示例中，可以使用诸如主成分分析(PCA)的处理技术来分析这样的光谱，该处理技术除了返回“主成分”还可以用于从数据集返回每个波长的平均值，主成分和平均值是一组有序的向量，可以在线性组合中使用来表示原始数据以达到很好的近似。这些向量的示例如图13所示。

[0201] 为了最大化该方法的有效性，处理系统可以加载先前确定的一组平均反射率和主成分向量，主成分向量是根据类似环境中的代表性现有数据集计算的。然后，对于每个反射率测量，该装置将减小反射率，反射率由长度等于波长分档(wavelength bin)数的向量表示(通常为图像传感器上的每个像素对应一个向量)。

[0202] 举例来说，图14中所示的反射光谱包括2649个浮点值。然后使用两种可能的方法利用主成分向量来分析光谱。

[0203] 第一种方法涉及从采样的反射率数据中减去平均值，然后用原始反射率数据计算每个结果与图10所示的主成分向量的点积。这导致10个表示反射光谱的系数就达到非常好的近似，但仅占据反射率数据本身所占数据的1/265。

[0204] 第二种方法涉及减去平均值，然后通过一些优化方法来计算系数，优化方法例如广义线性最小二乘法(GLS)，系数表示当乘以主成分时最能精确地重建反射率数据的每个主成分的权重。

[0205] 图15示出了这些方法之间的比较。两者都将2649个数据点减少到仅10个值，因此执行了相同的数据缩减。然而，GLS方法在准确度方面表现略好，尽管在该示例中需要大约4

倍的计算机时间来执行。

[0206] 这10个系数的值可以通过无线装置快速返回到另一个装置，或者用于实时进行快速决策，例如在农业应用的情况下关于施用杀虫剂、肥料或激活杂草控制装置的决定。在水质监测的情况下，这些系数可用于生成警报以通知用户水体的当前状态。

[0207] 因此，上述设置提供了专门设计用于执行样本测量的成像光谱仪。该系统通常包括用于收集光的柔性光学系统，柔性光学系统包括设置为收集从样本反射或透射样本的辐射的多个光纤光缆，以及用于收集光照辐射的光纤。该系统还包括用于采集样本和光照辐射的成像装置，以及可选的用于计算反射率和/或透射光谱的计算机。如果需要，还可以设置可选的光照源。

[0208] 光谱仪通过收集从物体反射的光，收集入射到物体上的光照，并且可选地从其它方向收集光以便适当地考虑和校正镜面反射来确定其视场中的任意物体的反射光谱。

[0209] 该系统使用光学系统将光纤直接连接到图像传感器，从而能够同时采集来自样本和光照辐射的光谱。这确保了使用相同的光学系统和相同的图像传感器对从样本和光照辐射收集的光进行成像，从而减少了与传统系统相关的问题。

[0210] 相反，传统设置通常需要针对每个光照辐射和样本的单独的光谱仪，同时使用所有光谱仪来采集所需的光谱数据。然而，这具有必须实施若干单独的光谱仪和检测器的缺点，并且校准、曝光时间、灵敏度和热漂移的差异都将影响测量的准确性。在进行反射率测量时，这会增加成本并显着增加必须测量和补偿的参数数量，以确保每个光谱仪的光谱灵敏度、损耗和效率在校准中进行匹配或补偿。

[0211] 其它传统设置采用单个光谱仪和光开关机构(以降低成本并减小校准问题)。然而，这些实施方案不允许多个检测器同时瞬时测量，并且难以校准/匹配在稍微不同的时间获取的传感器信息。

[0212] 传统的设置通常也不适用于移动应用。这些多个和单个/门控光谱仪实施方案都具有校准、验证和质量控制的复杂性，远比上述系统复杂。

[0213] 在一些传统设置中，狭缝成像光谱摄像机用于通过在摄像机的视场内部署校准的反射(白色)目标来计算反射率，并且反射率被计算为来自感兴趣的物体的反射光与来自校准目标的反射光之间的比。然而，这需要在视场中安装校准目标，并且需要额外的光学器件利用物镜而不是光纤来实现成像光谱仪。此外，由这种高光谱摄像机收集的所有光必须来自同一方向。本文描述的系统具有以下优点：光纤可以以任意角度定位在任意位置，而不会损害光学系统或使光学系统复杂化。

[0214] 在当前的系统中，来自所有感兴趣的源的光通过单个成像光谱仪馈送到单个成像传感器上。因此，通过计算各种光谱带之间的强度比，可以消除成像传感器效率方面的效率、曝光时间、灵敏度、热漂移的任何变化。另外，从所有光谱带中均匀地移除成像传感器中的任何整体背景信号。因此，无需监测或验证这些影响。此外，这些参数可能在不同装置之间变化，但在测量相同物体的反射光谱时它们仍将全部返回相同的反射率数据。这大大降低了装置的制造成本。装置的容量仅受限于光纤数量和成像传感器的总分辨率，因此，例如，系统可以被缩放以同时采集来自100到200根单独的光纤的全光谱信号。

[0215] 因此，利用光纤收集光、成像光谱仪将光分离成光谱带，以及单个成像传感器采集数据的组合，使系统能够以竞争的商用系统的极少部分成本(可能不到10％)产生高质量的

反射光谱。

[0216] 如前所述，上述设置的一个优点是能够避免与传感器漂移或误差相关的问题。

[0217] 关于这点，传统装置存在一个主要缺点：当通过同时监测来自多个方向的入射光来用于监测物体的反射率时，这些装置必须使用多个点光谱仪并组合来自光谱仪的数据以计算反射率，或使用单个点光谱仪，并利用光纤开关在多个光纤输入之间快速切换。

[0218] 这两种选择都极大地提高了系统的成本，使得这种测量光谱反射率的方法的商业实施对于大多数潜在市场来说过于昂贵。

[0219] 在多个点光谱仪的情况下，成本显着上升，因为如果用于进行测量的多个点光谱仪之间的波长、背景信号或灵敏度存在任何差异，这种差异(其可能会随时间漂移，并且肯定会随温度漂移)将导致计算的反射率值出现大的系统误差。

[0220] 在快速切换的情况下，需要可以覆盖感兴趣的波长范围的光纤开关足够快以与上述技术竞争，因此能够每秒切换超过50次，而这样的光纤开关是不可获得的。可获得基于相当低速的机械开关的光纤开关，例如Ocean Optics销售的MPM-2000开关，其价格超过10000美元，基于MEMS技术的开关可以达到很高的速度，但插入损耗规格要差得多且波长范围窄得多(Thorlabs OSW8108仅在1240至1610nm工作，插入损耗为2.6dB)，并且价格超过8000美元。因此，即使以更低的切换速度获得系统，也会大大提高成本。

[0221] 此外，入射光照中的任何时间漂移(例如来自室内光照、云或阴影的闪烁)将导致反射率计算的误差，因为来自每根光纤的光是由单个光谱仪在不同时间测量的。

[0222] 因此，市场提供了本说明书中描述的系统的几种替代方案，其旨在用于通过同时对样本和光照辐射成像来收集来自多个样本的反射/透射光谱。

[0223] 虽然高光谱摄像机可以用于采集光纤束的光谱，但是对于各种应用有严格的规定，使得高光谱摄像机作为低成本商用传感器系统的基础是不切实际的。

[0224] 低成本点光谱仪可用于农业研究，点光谱仪的组合(即上下组合光谱仪)可以采集与本说明书中的系统用于反射率计算的相同的数据。然而，这些光谱仪通常花费数倍于本文所述系统的成本，并且由于先前讨论的问题(例如，传感器漂移、误差差异和传感器的响应性等)，这些光谱仪的性能明显更差。

[0225] 例如，Apogee的FieldSpec光谱辐射计形式的商用系统的规格如下表1中所列。

[0226] 表1

[0227]

波长范围	340 至 820 nm
波长分辨率	3.0 nm（半高全宽）
模数分辨率	14 位
信噪比	1500：1（最大信号处）
暗噪声	≤3 次（counts）
线性度	小于 1%或 0.5%
测量灵敏度	波长大于 380 nm 时，最大灵敏度大于 10%
测量重复性	小于 1.0%（波长大于 400 nm）
工作环境	-20 至 70℃，0 至 100%相对湿度
温度响应	-0.1±0.1 %/℃
辐照度校准不确定度	±5%

[0228] 在这些规格的基础上，商用装置不可能提供满足本发明的成像光谱仪(下文中通常称为“成像光谱仪”)的性能的仪器，如现在将描述的。

[0229] 在灵敏度方面，成像光谱仪可以使用低成本传感器来采集入射的太阳辐射的多个测量值。举例来说，以约2Hz的频率采集10个连续的太阳光谱测量值，结果显示在图16中。即使传感器的曝光时间被编程为保持固定的曝光时间，传感器的曝光时间也会由于数据缓冲和可能的其它影响而受到小的波动。在该示例中，实际传感器曝光的这种变化使整体光照水平产生明显变化，高达总水平的21%。在图17中更容易看到这种变化，图17示出了根据采集时间依次绘制的图16中每个光谱的总和信号。

[0230] 如果使用单个参考信号来计算这10次测量中的每一次的反射率，则曝光水平的变化为21%将导致计算的总反射率的误差为21%。然而，通过使用成像光谱仪采集所有入射光，我们消除了这种差异；CMOS阵列上的灵敏度的线性度通常远小于像素噪声，因此在实际测量中没有任何影响。

[0231] 如果使用Apogee仪器采集该信号，说明书显示单个光谱仪的辐照度校准可能会有5%的变化。因此，即使对于单次测量，由于每个反射信号由2次光谱测量组成，所以可以预期这种光谱仪的设置测量的反射率值的变化可以高达～10%。

[0232] 使用成像光谱仪监测多个信号的另一个优点是可以连续监测背景噪声水平。

[0233] 关于这点，低成本传感器的背景信号水平随时间总是存在一些漂移和变化，这影响了反射测量的精度。为了利用光谱仪采集信号强度与背景信号(以CMOS传感器中的暗电流为主)强度相似的可靠的反射率测量，正确估算背景对原始信号数据的贡献尤为关键。

[0234] 当使用多个点光谱仪时，背景水平必须保持足够稳定，以使其不会在测量之间漂移。这在已知背景信号水平随传感器温度而显著变化时尤其成问题。为了控制这种效应，多个点光谱仪必须是主动热稳定的，或者必须足够频繁地监测背景水平以补偿它们的变化。

测量该背景信号水平需要一些机械快门，以便在测量背景水平时阻挡入射光，从而增加了仪器的复杂性。通常简单地认为这样的背景水平不会漂移并被忽略，而导致了系统误差。

[0235] 在成像光谱仪中使用区域CMOS传感器的优点在于，可以通过监测未曝光的像素的背景信号，在光谱采集的同时来实时监测传感器的背景信号。在图18和图19中示出了基于相同的原始数据在两个计算的反射信号之间的比较。在图18中，在一段时间内收集来自目标的多个反射光谱，其中光谱基于传感器中的背景噪声信号不随时间变化的假设来计算，而在图19中，从相同图像采集的作为信号的背景像素值用于校正噪声。在这种情况下，使用与从采集信号的区域移动的尺寸和形状完全相同的CMOS阵列区域来计算背景值。从图19清楚可见，在这种情况下，对每个单独图像执行背景减除基本上减小了计算的反射率之间的变化。由于这些数据是使用固定的传感器和样本采集的，因此如果背景减除正确完成，这就是我们所期望的。

[0236] 在图20和图21中更加显着地证明了这一优点，其中在观察同一目标时将不同的曝光值编程到CMOS传感器中。在图20的示例中，应用恒定校正，而在图21中，使用根据每个图像中的背景像素确定的基于实际曝光的校正。关于这点，传感器曝光时间的变化导致图像的背景变化。用点光谱仪正确地补偿这一点需要在每次曝光变化时重新测量背景信号，这又需要机械快门和额外的测量。通过使用成像光谱仪的图像帧中的暗像素，即使曝光时间变化，也可以监测这种变化的背景并提供更可靠的反射率测量。

[0237] 因此，如果使用单个背景水平，则所得到的反射率计算变得几乎无用，因为背景水平随着曝光时间而大幅变化，而基于数据集中的每个采集的帧计算的反射光谱导致更可靠的结果。

[0238] 对测量可靠性的进一步影响是由温度变化引起的。关于这点，在许多现场测量的情况下，传感器的温度可以容易地在0℃和50℃之间变化(例如由于封闭的传感器外壳上的直射阳光，其可以导致快速的温度升高)。温度主要影响CMOS传感器的暗电流和灵敏度。当使用多个点光谱仪时，多个点光谱仪之间的任何温度差异都会导致计算的反射率的系统误差。对该影响进行测量并显示在图22中。如图所示，在室外传感器一定可靠的范围内，即至少在0℃和50℃之间，传感器的暗电流可以增加超过5倍。作为比较，引起图22和图23中所示的反射率的系统误差的背景变化小于50％。

[0239] 图23示出了温度也会影响CMOS传感器的灵敏度。这将妨碍在温度显著不同的现场同时采集来自两个单独安装的光谱仪的光谱信号的任何方法。即使在光谱仪针对相对灵敏度进行校准之后，两个装置之间的任何温度差分漂移都会导致计算的反射光谱的系统误差。

[0240] 反射率测量的系统误差的另一个潜在来源是光照的变化。当使用多个点光谱仪采集数据时，必须及时同步数据采集，以确保入射和反射光信号的光照相同。这增加了硬件触发或采集的光谱数据的非常精确的时间标记方面的挑战。在高光谱摄像机的情况下，情况要糟糕得多，因为通常仅通过将参考目标放置在摄像机的视场中来偶尔地测量入射的光照。在人工光照的情况下，可以以100Hz或以上的频率闪烁，这需要光谱仪器非常长的积分时间或非常精确的硬件触发。

[0241] 然而，成像光谱仪无需采用这种精确定时，并且即使在快速变化的光照下也能够采集可靠的反射率数据，因为从入射和反射光采集的光谱总是由相同的成像传感器同时采

集。

[0242] 图24至图27示出了改变数据集中的光照的影响的示例。如图24所示，由于空中条件(云层的存在)改变，因此光照不仅在强度方面而且在光谱分布方面显著变化。即使使用整体“容差系数”来补偿光照强度的变化，如图25所示，但是自然光照的光谱可以在几分钟内变化多达10％，这意味着无法实现对强度变化的完全补偿。

[0243] 光照的水平和光谱分布的影响如图26和图27所示。图26使用在数据集2601的开始处采集的参考下行曲线或者与上行数据2602同时采集的下行曲线来示出计算的反射率的比较。光照的绝对变化导致表观光照的急剧变化。

[0244] 类似地，在图27中进行如图26中的反射率计算的比较，但是参考下行数据2701通过归一化重新缩放，如图25所示，并且与下行曲线2602进行比较。这里看到的计算的反射率的剩余差异是光照变化的结果，如果仅在数据采集期间偶尔地使用校准目标来采集数据，则该差异将表现为系统误差。

[0245] 因此，在数据集的开始或结束时使用参考目标校准高光谱数据的常见做法显然是不可靠的，除非太阳光照绝对恒定，因此许多研究人员坚持仅在完全无云的日子里采集高光谱数据。成像光谱仪克服了这个问题，从而能够在更广泛的条件下采集数据。

[0246] 非常低成本的光谱仪还遭受装置之间的波长范围的一些漂移和变化，这在使用多个光谱仪的解决方案的方法时是有问题的。成像光谱仪提供了一种策略来避免要求装置的波长校准保持长时间稳定，并且每个输入信号的波长范围是共享的。

[0247] 如果使用具有不同波长校准的单独的光谱仪，并且光谱仪的输出用于计算反射率，则由于这些波长范围的差异，波长范围的误差可能导致计算的反射光谱中出现非常大的波峰。图28示出了该问题的一个示例，突显出如果波长校准相差10nm，则采集下行光而不是采集反射光时，如2802所示，与2801相比，这将导致采集光谱的系统偏移。在图29中示出了波长校准的这种漂移的结果(在时间上，如果使用相同的光谱仪采集下行参考和反射光，或者由于用于同时采集两个信号的两个独立的光谱仪之间没有共享的一些漂移)，2901示出了正确的校准，2902示出了错误的校准。这表明反射信号将如图所示出现严重的错误。因此，在所有测量之间保持严格的波长校准对于进行可靠的反射率测量至关重要。

[0248] 成像光谱仪通过保证所有输入信号之间共享波长范围来管理该问题。

[0249] 在使用低成本材料和光学器件进行实际测量时，已观察到大至50nm的波长范围的漂移或差异。使用现有的在售光谱仪，多个光谱仪或者开关装置，波长校准漂移或差异必须保持在光谱分辨率以下。对于上述示例的商用光谱仪，该漂移必须保持远低于3nm(仪器的分辨率)，以避免图29中所见的伪影。相反，本文所述的成像光谱仪产生正确计算的反射信号，但具有整体未知的波长偏移。

[0250] 通过对结构紧凑的光源(例如太阳光(我们发现许多尖锐的吸收线)，或室内人工光照(大部分光发出尖锐的发射线))的参考光谱进行后处理，可以很容易地消除这种剩余的整体波长偏移。

[0251] 因此，上述成像光谱仪提供了一种可以使用廉价的感测和光学装置，同时调节(accommodating)重要的误差源的设置，误差源包括曝光可变性、噪声、波长或灵敏度漂移、时间或温度相关漂移、光照变化等的一个或多个。通过使用多个波导收集来自多个源(包括光照辐射和暴露于光照辐射的一个或多个样本)的辐射，同时使用单个2D图像传感器来实

现该解决方案。

[0252] 该方法允许将补偿机制应用于采集的反射/透射光谱，包括减去背景噪声和光照辐射，从而消除上述误差的影响，可以使用廉价设备测量精确的光谱。

[0253] 因此，即使当波长范围和校准不能可靠地设置或保持为优于50nm时，该方法也可以收集可靠的光谱。与在售装置相比，该方法大大降低了装置在波长校准方面所要求的规格。

[0254] 上述设置在多个研究和生产领域中具有广泛的应用，包括但不限于环境监测，农业生产和农业、食品和药品的价值链监测。该装置还可以与有源人造光源结合使用以确定特定波长的反射率，即用于特定化合物和特征的检测以及用于监测光合生物中潜在的光合速率。

[0255] 该系统可以应用于多种尺度，并集成到其它光学装置(显微镜、摄像机、望远镜)中，使用不同的光纤和透镜以收集不同距离的光(近到地面车辆(如拖拉机)，远到飞行器到卫星)。

[0256] 示例的应用包括：

[0257] • 水质监测：

[0258] • 水体的反射光谱

[0259] • 检测水的颜色

[0260] • 检测悬浮固体

[0261] • 检测藻类

[0262] • 检测细菌

[0263] • 检测蓝绿藻

[0264] • 检测水生大型植被

[0265] • 检测底部沉积物

[0266] • 农业：

[0267] • 土壤质量监测，包括水分监测

[0268] • 森林监测

[0269] • 水产养殖监测

[0270] • 杂草检测和植物鉴定

[0271] • 作物的反射光谱的测量

[0272] • 估算作物的吸收光谱和透光率

[0273] • 植物健康(干旱、高温、霜冻胁迫和营养物质的毒性/缺乏)

[0274] • 植物病害测量

[0275] • 在田间和后处理条件下监测植物和植物产品(蔬菜、水果、坚果、纤维等)

[0276] • 地面覆盖度的测量;植物冠层结构的推断

[0277] • 估算立叶面积和生物量的数量和质量

[0278] • 在商业化生产中，该装置可以集成到喷洒和施肥机械中，以改善杂草、疾病、营养物质和水的状态

[0279] • 在使用光来估算植物特征的植物研究(例如植物光合能力的估算)中，通过结合探测器与可控光源波长来进行估算。

[0280] • 环境监测：

[0281] • 鉴定植物物种

[0282] • 鉴定入侵植物物种

[0283] • 土壤测量-化学和物理组成

[0284] • 矿物/岩石分析

[0285] • 食品和药品价值链监测：

[0286] • 食品和药品中食品化学成分的测定

[0287] • 监测整个价值链(从原材料到生产线到市场)的质量和化学成分

[0288] • 矿业/地质：

[0289] • 矿物鉴定

[0290] 在整个本说明书和所附的权利要求书中，除非上下文另外要求，词语“包括”及变体例如，“包含”，“包含有”应理解为暗示包括所述整数或整数组或步骤，但不排除任何其它整数或整数组。

[0291] 本领域技术人员将理解，许多变化和修改将变得显而易见。对于本领域技术人员来说显而易见的所有这些变化和修改应当被认为落入本发明之前广泛出现的精神和范围内。

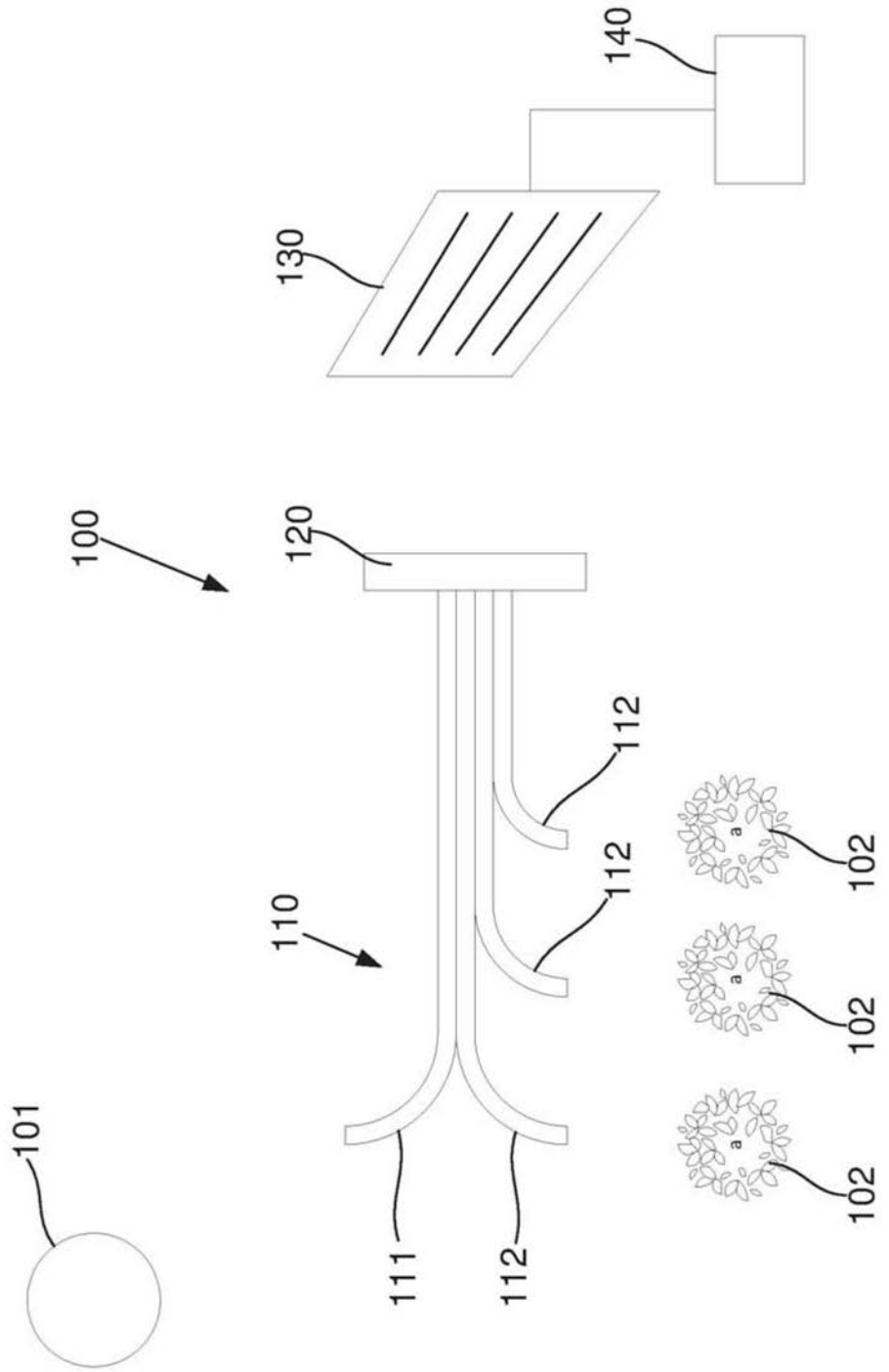


图1

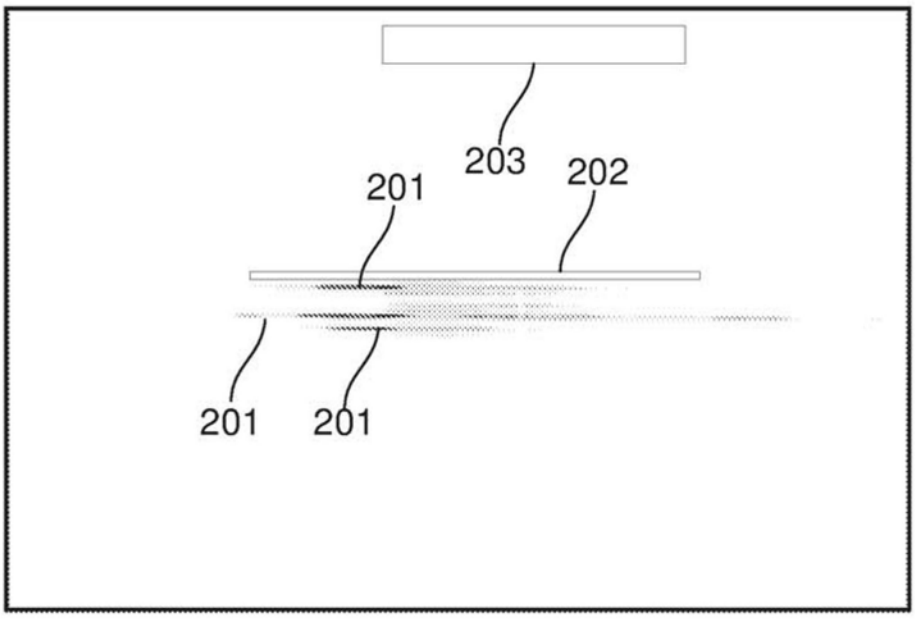


图2A

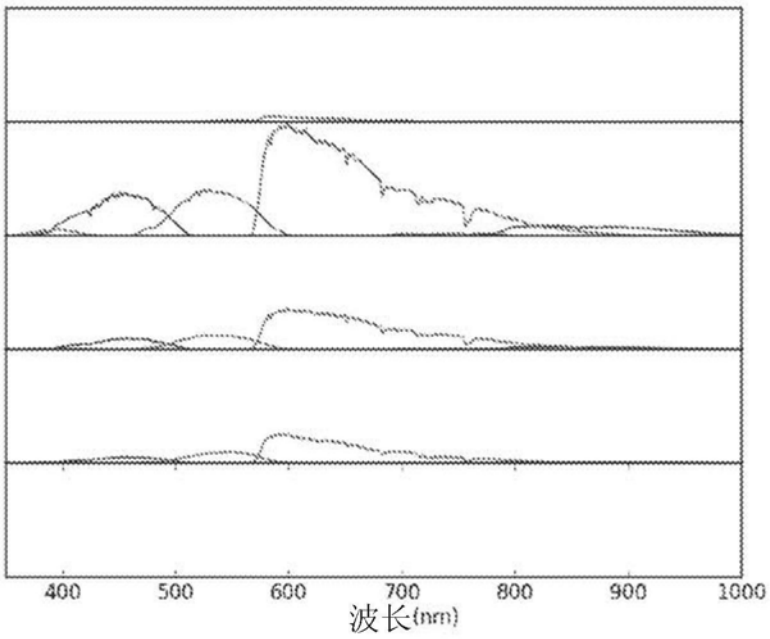


图2B

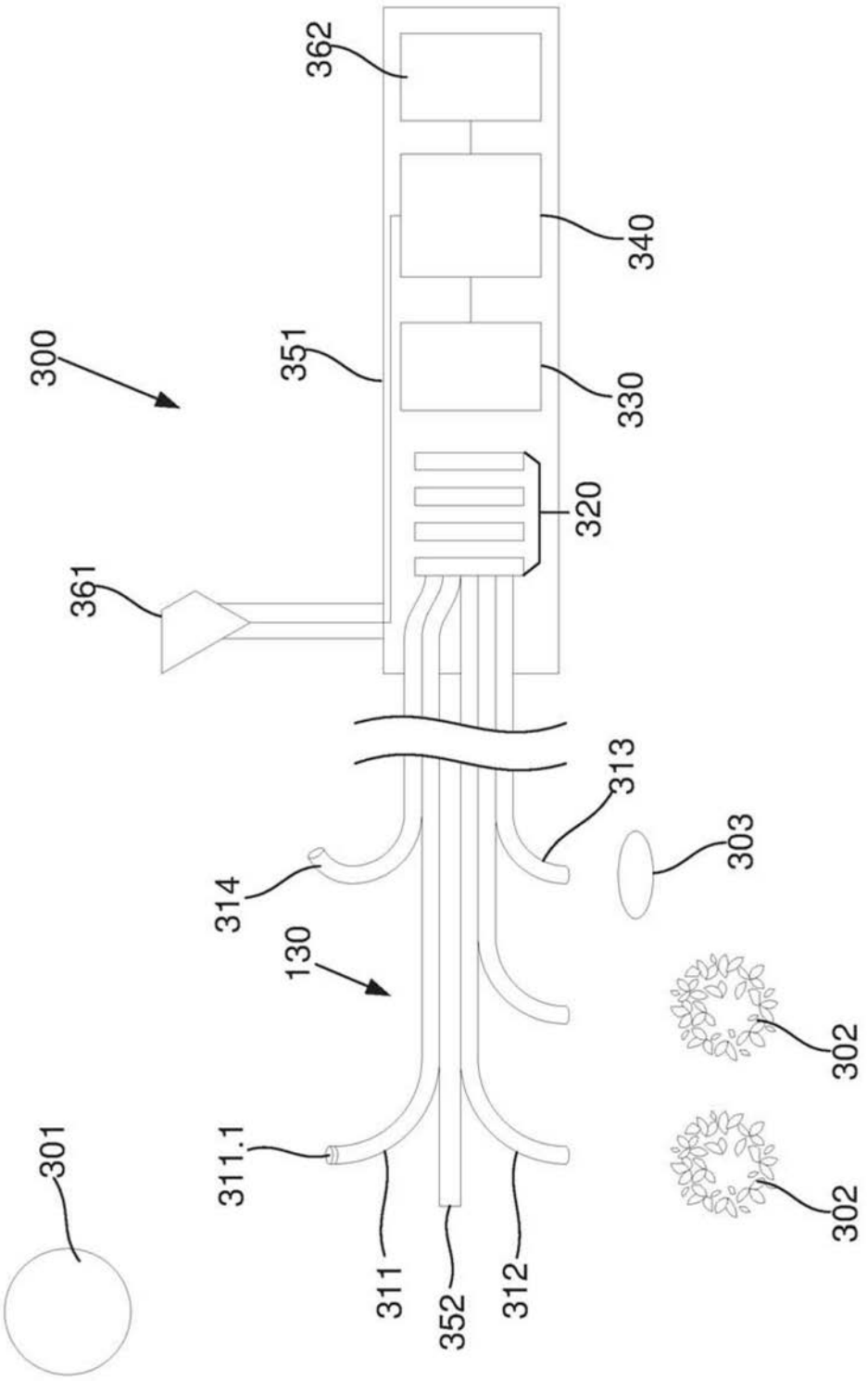

362
340
300
351
330
320
361
313
303
314
130
302
302
301
311.1
311
352
312

图3A

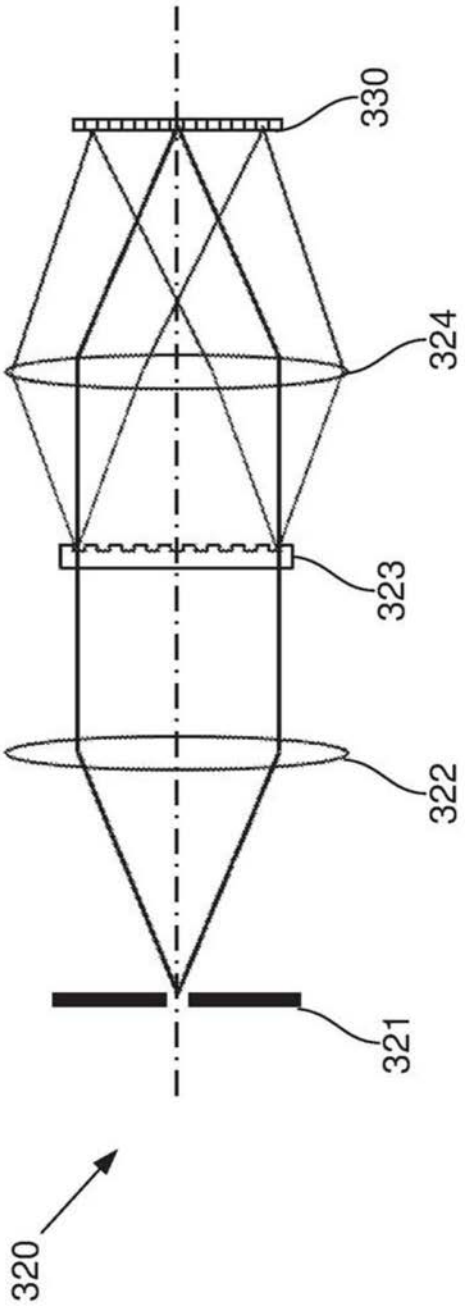


图3B

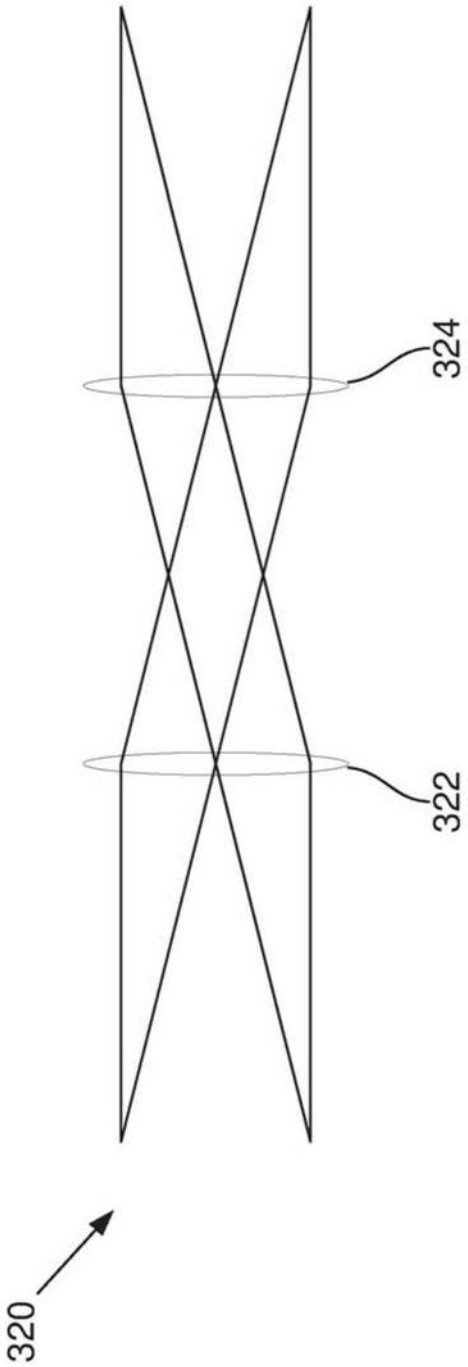


图3C

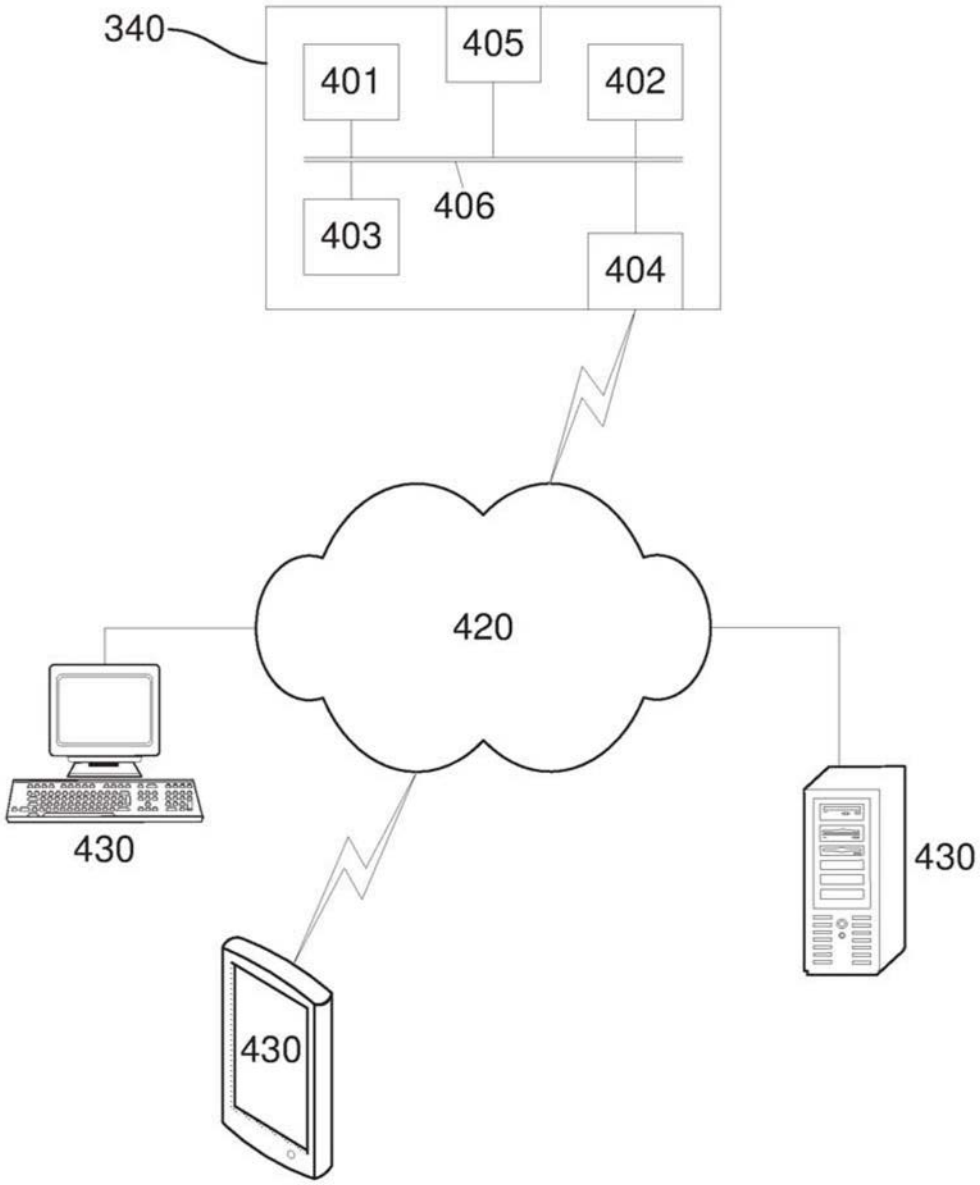


图4

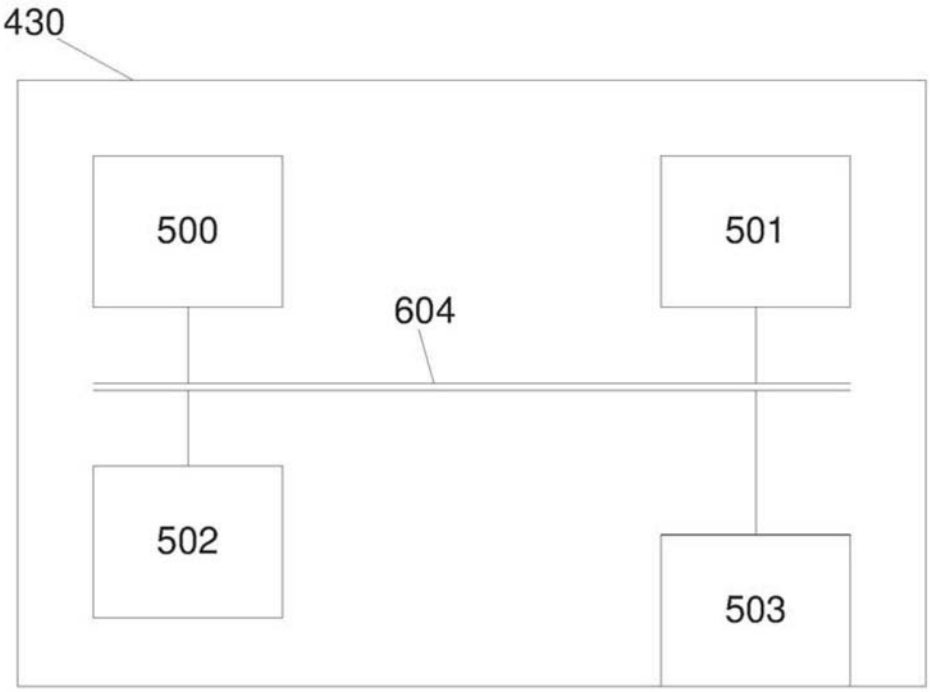


图5

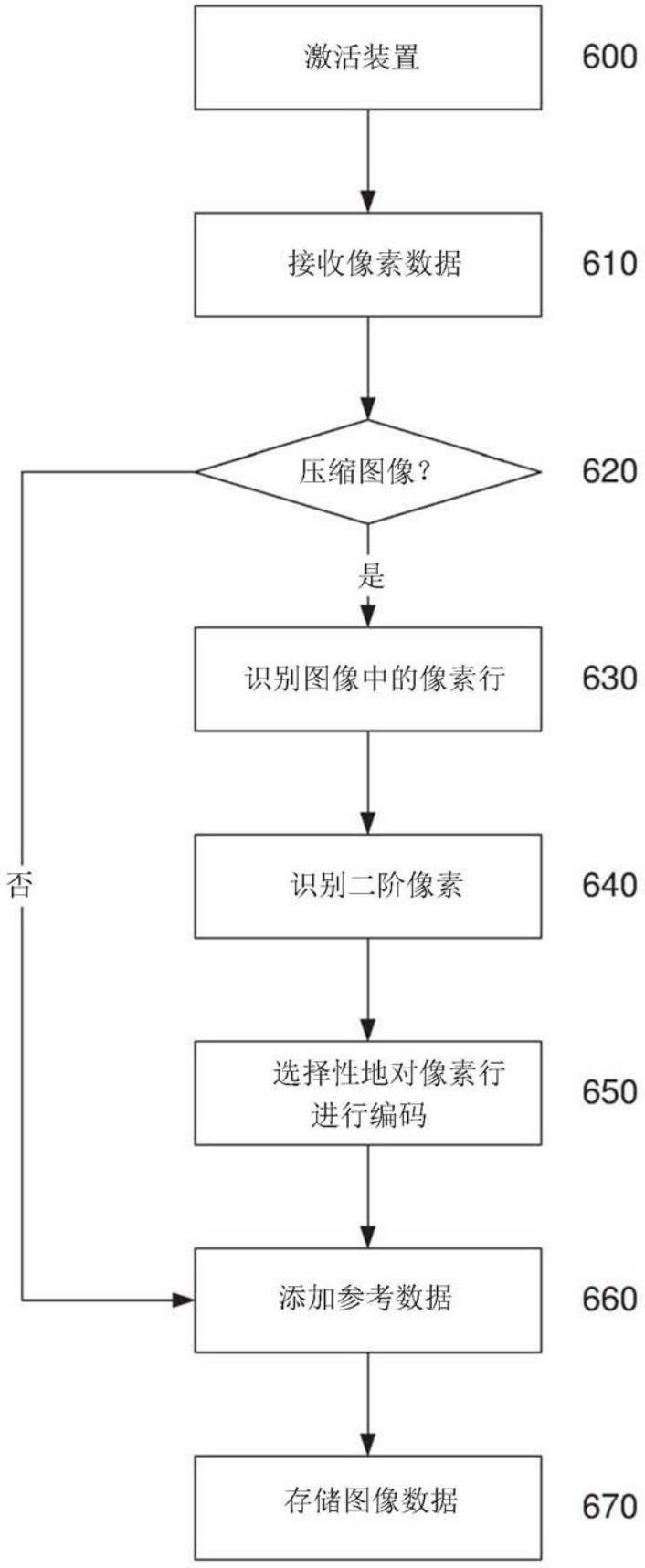

激活装置
600
接收像素数据
610
压缩图像？
620
是
否
识别图像中的像素行
630
识别二阶像素
640
选择性地对像素行进行编码
650
添加参考数据
660
存储图像数据
670

图6

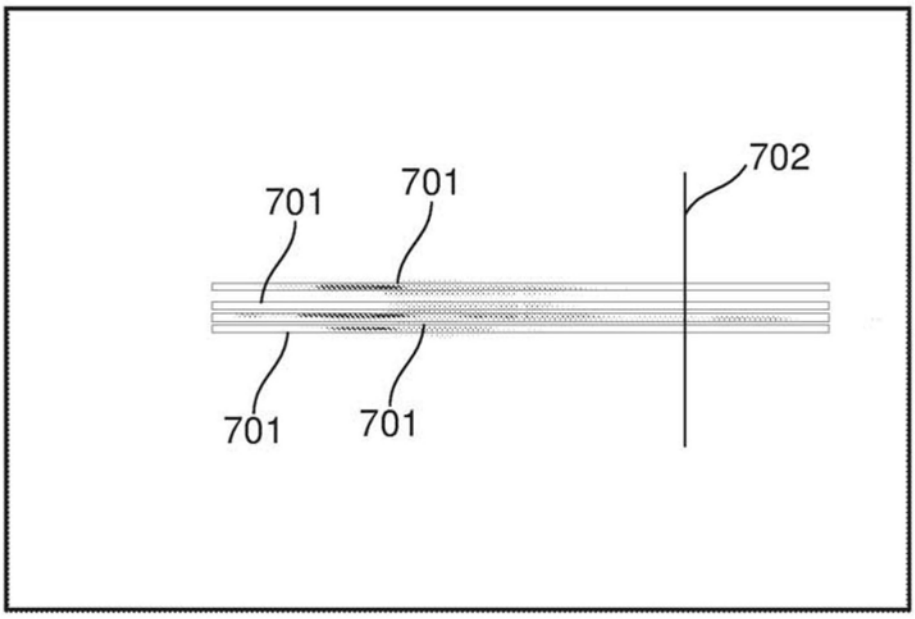


图7

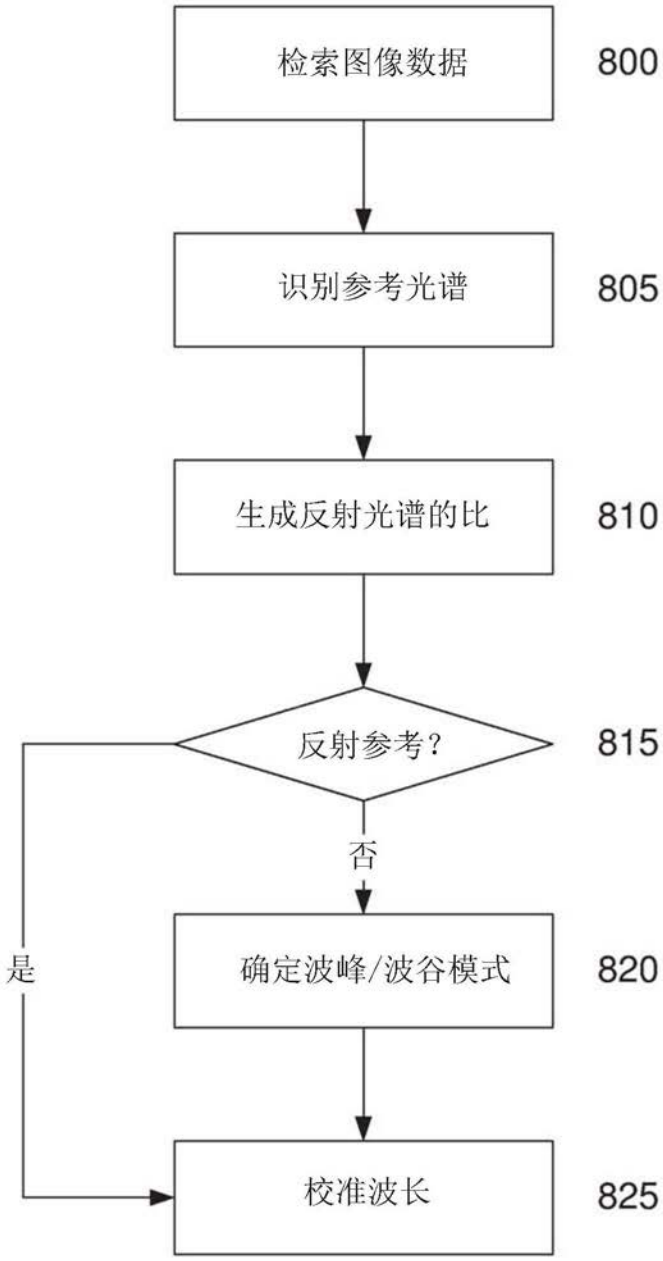

检索图像数据
800
识别参考光谱
805
生成反射光谱的比
810
反射参考?
815
否
是
确定波峰/波谷模式
820
校准波长
825

图8

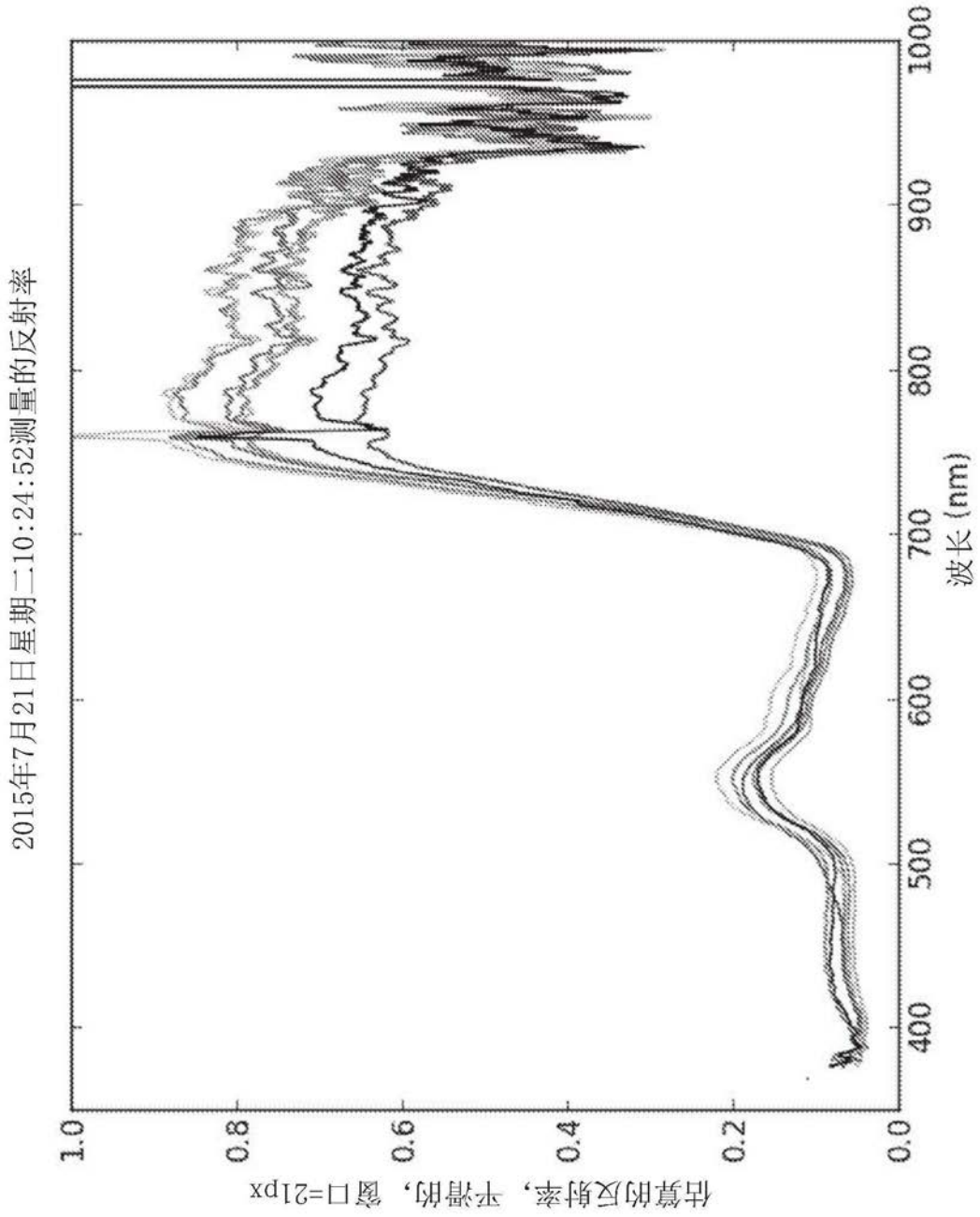

2015年7月21日星期二10:24:52测量的反射率
估算的反射率，平滑的，窗口=21px
波长(nm)
1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0.0
400
500
600
700
800
900
1000

图9

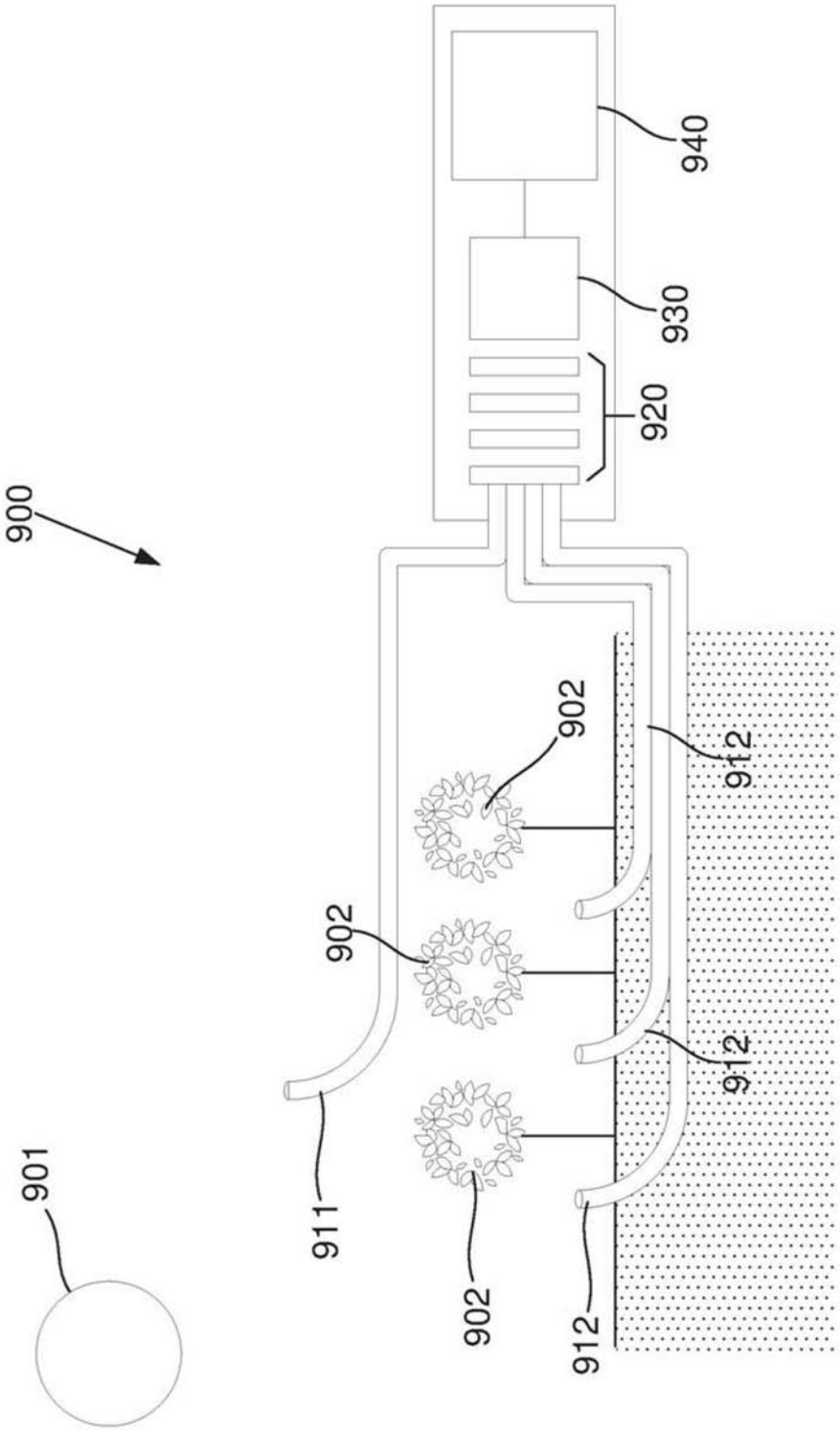


图10

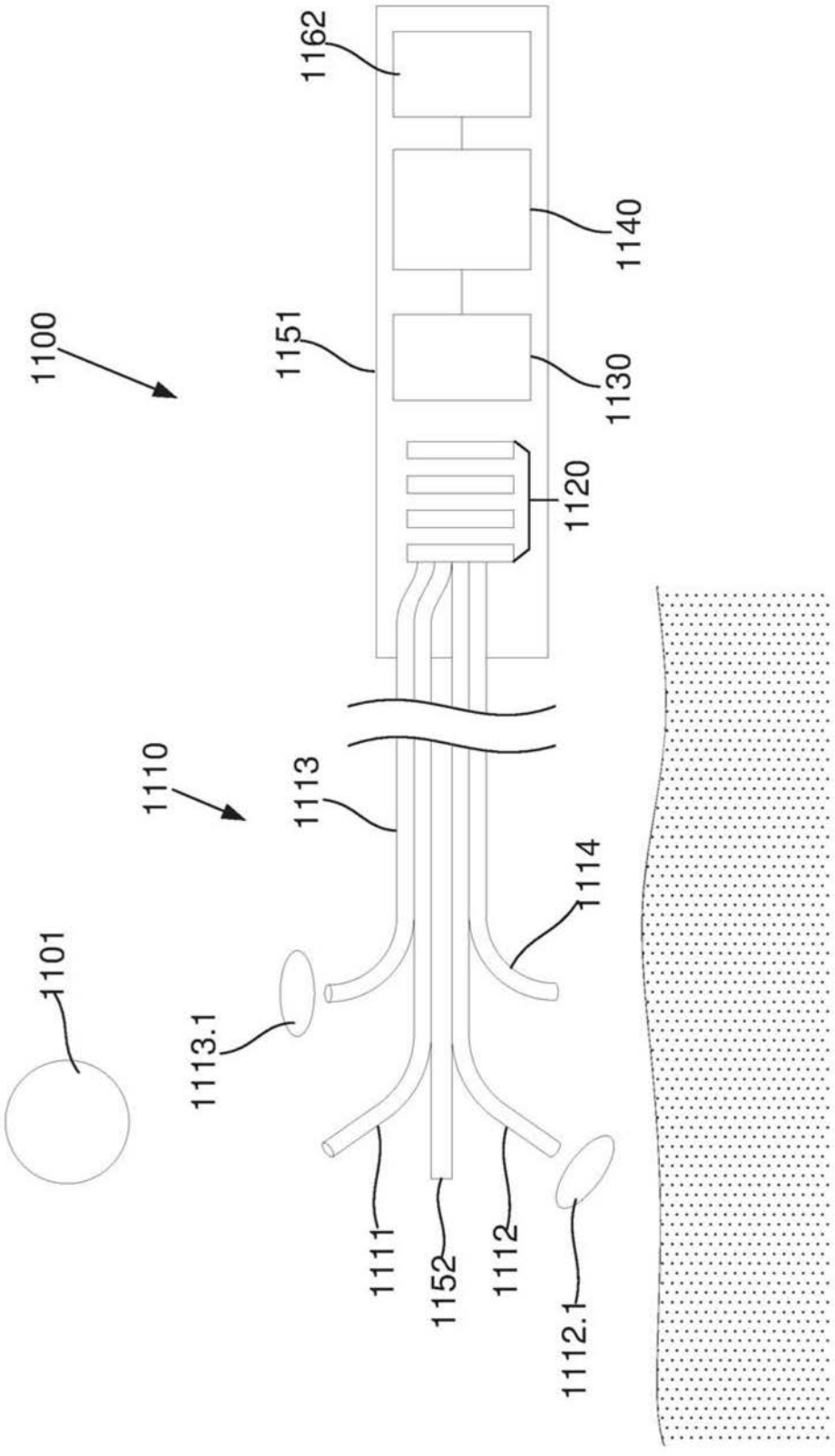

1162
1140
1100
1151
1130
1120
1110
1113
1114
1101
1113.1
1111
1152
1112
1112.1

图11

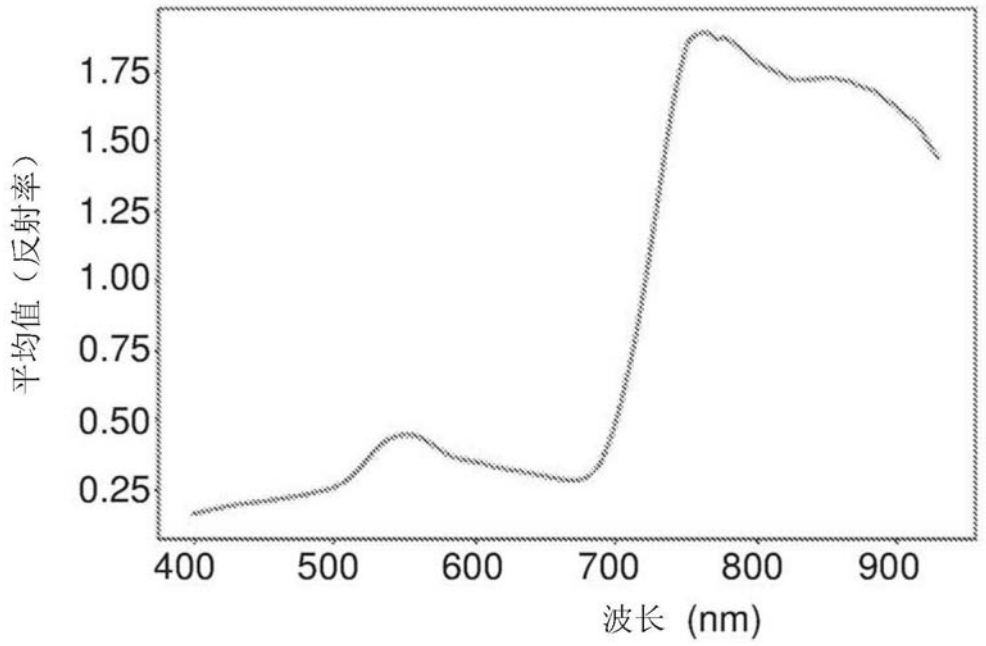

1.75
1.50
1.25
1.00
0.75
0.50
0.25
平均值（反射率）
400
500
600
700
800
900
波长 (nm)

图12

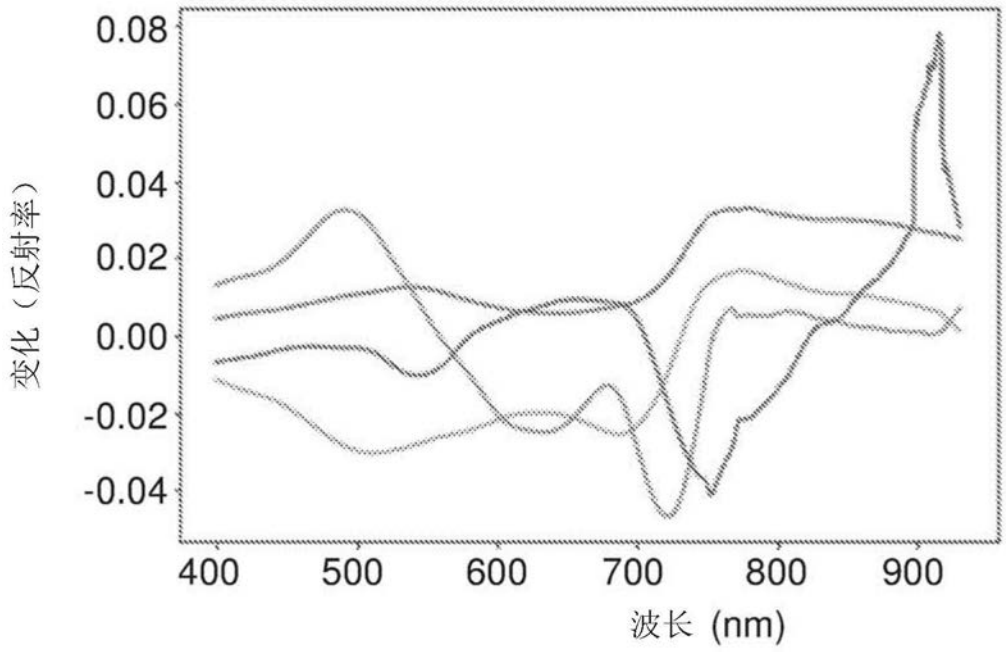

0.08
0.06
0.04
0.02
0.00
-0.02
-0.04
变化（反射率）
400
500
600
700
800
900
波长 (nm)

图13

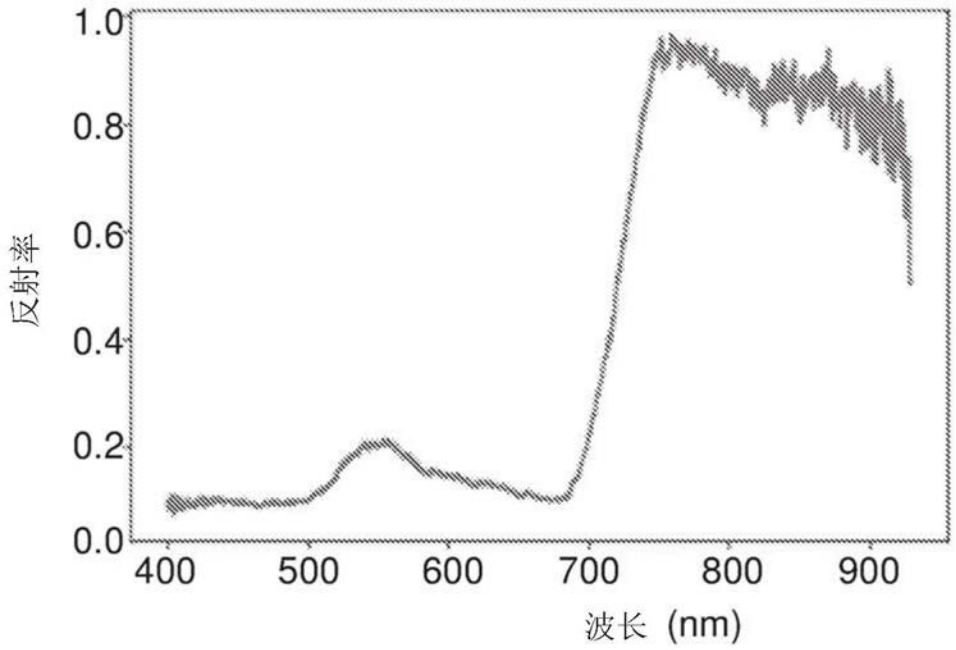

1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0.0
反射率
400
500
600
700
800
900
波长 (nm)

图14

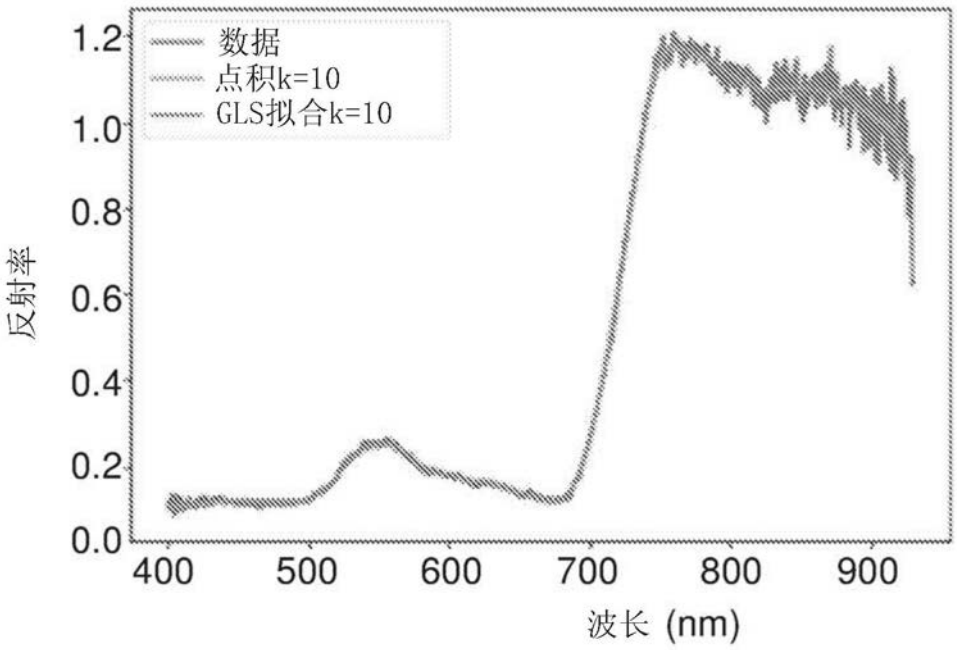

数据
点积k=10
GLS拟合k=10
1.2
1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0.0
反射率
400
500
600
700
800
900
波长 (nm)

图15

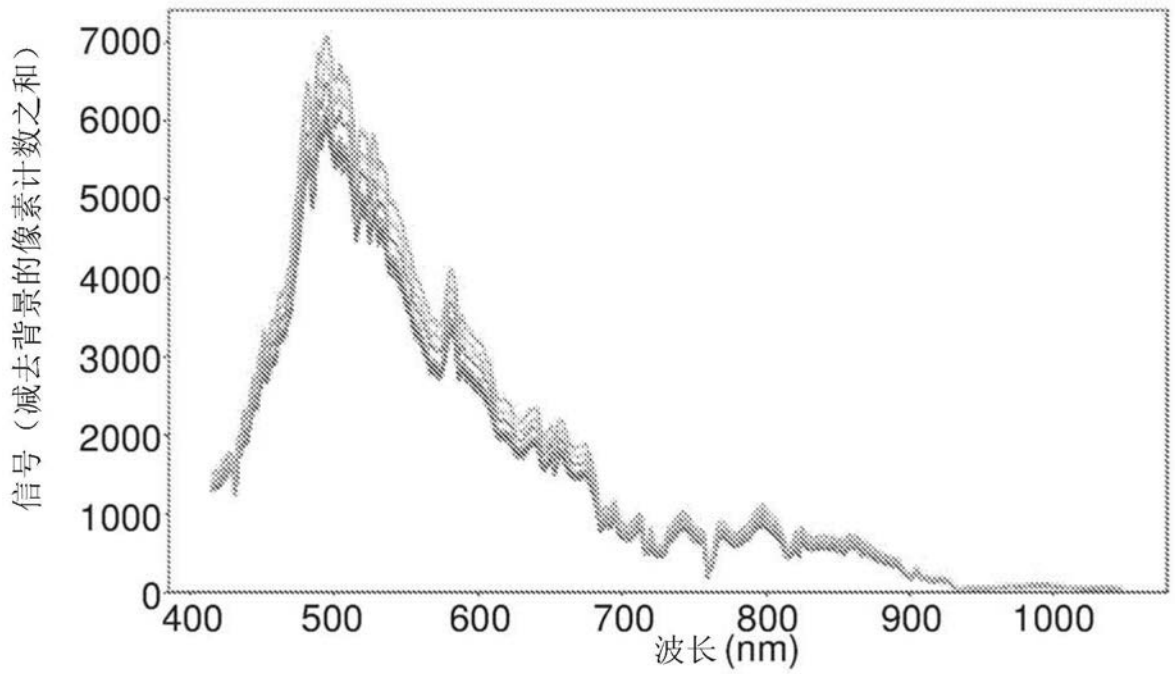

信号（减去背景的像素计数之和）
7000
6000
5000
4000
3000
2000
1000
0
400
500
600
700
800
900
1000
波长 (nm)

图16

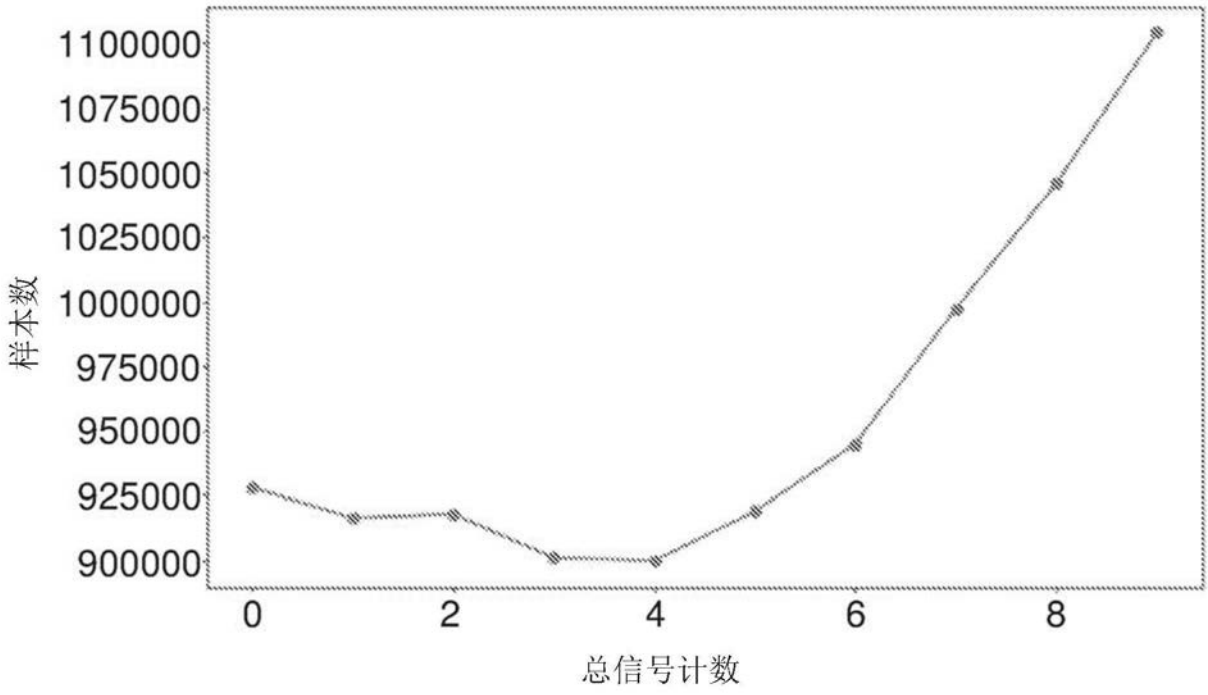

样本数
1100000
1075000
1050000
1025000
1000000
975000
950000
925000
900000
0
2
4
6
8
总信号计数

图17

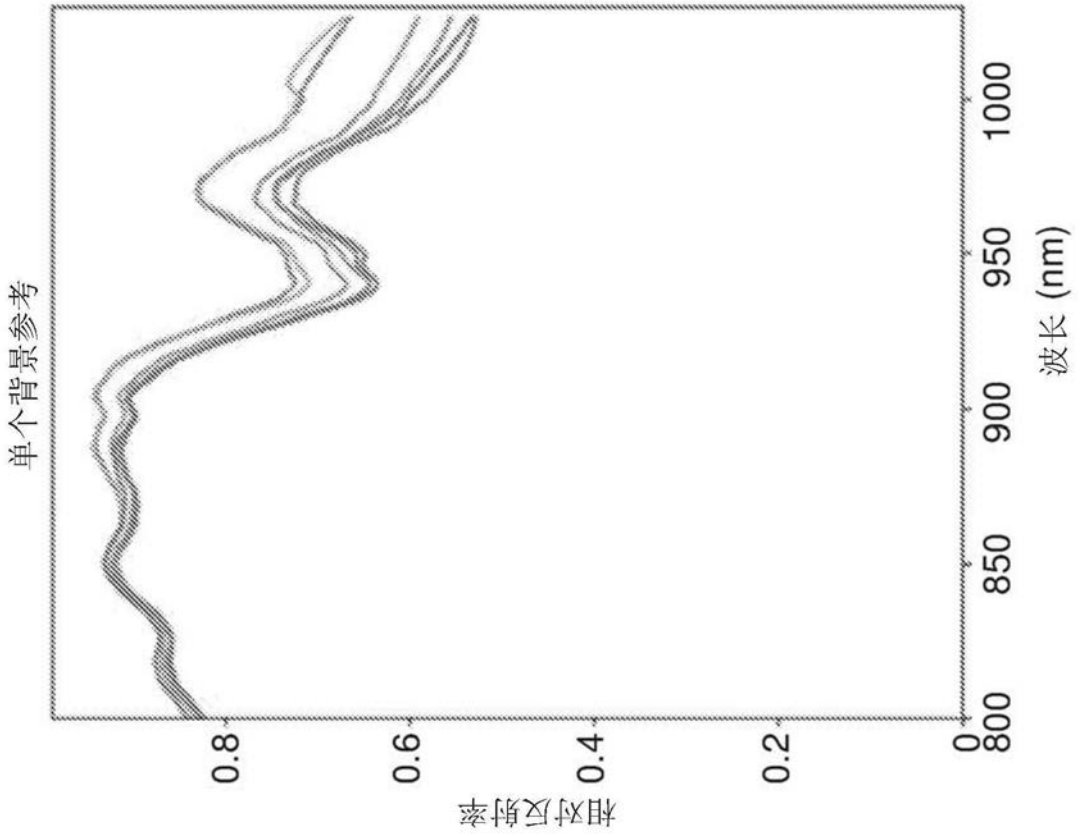


图18

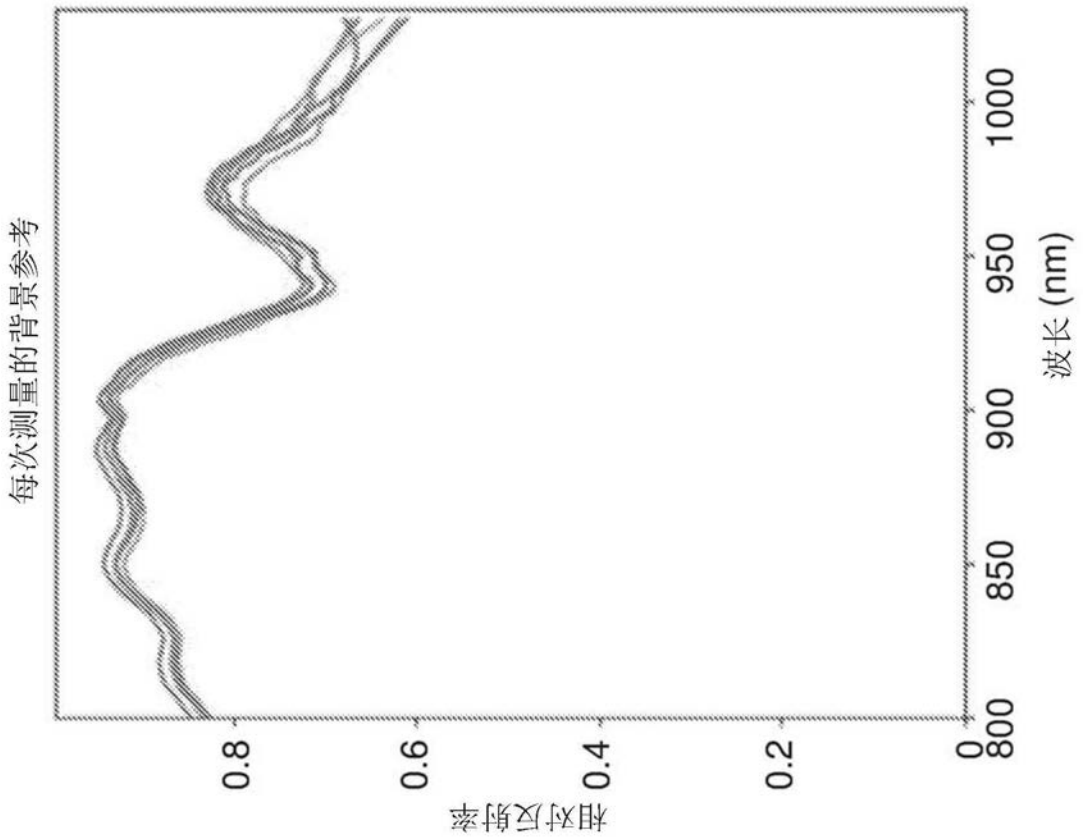


图19

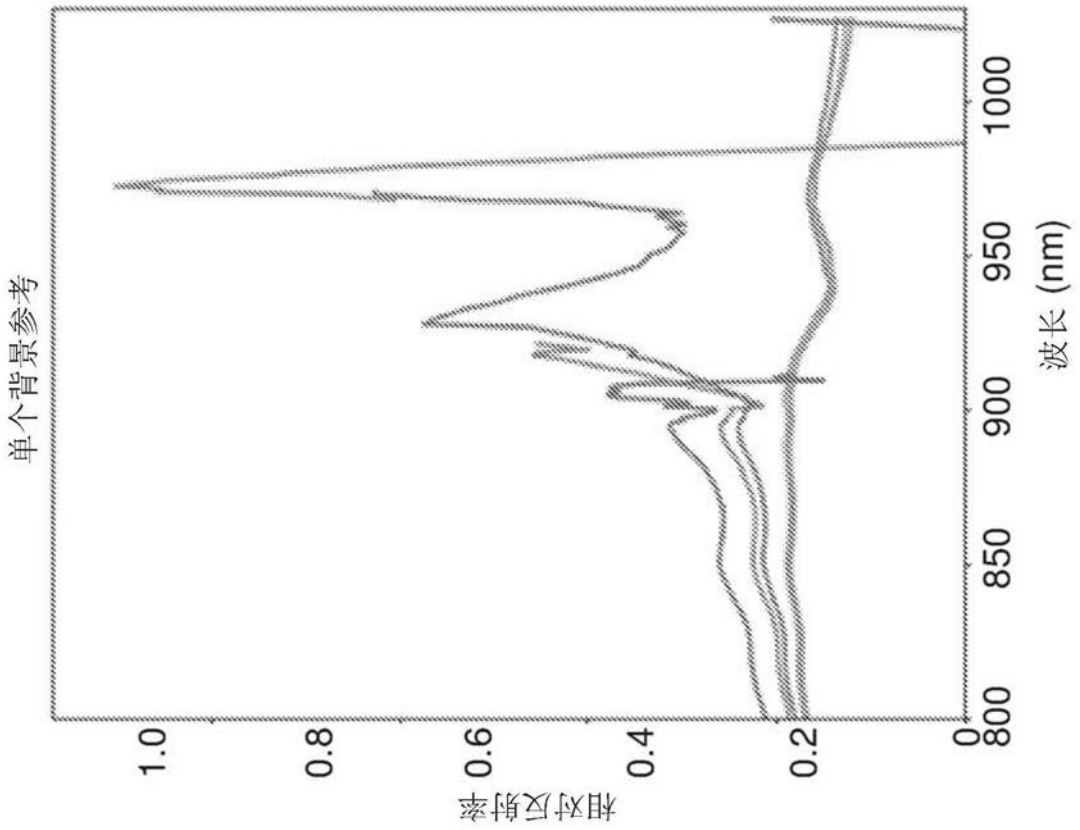


图20

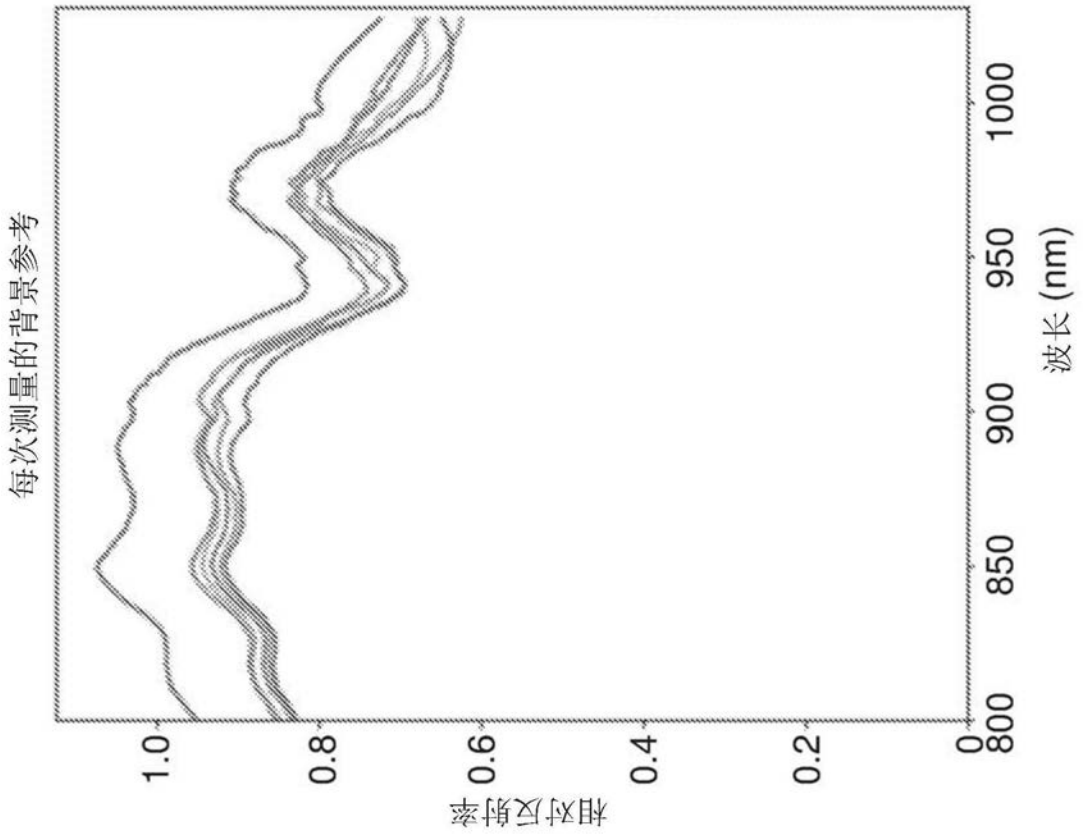


图21

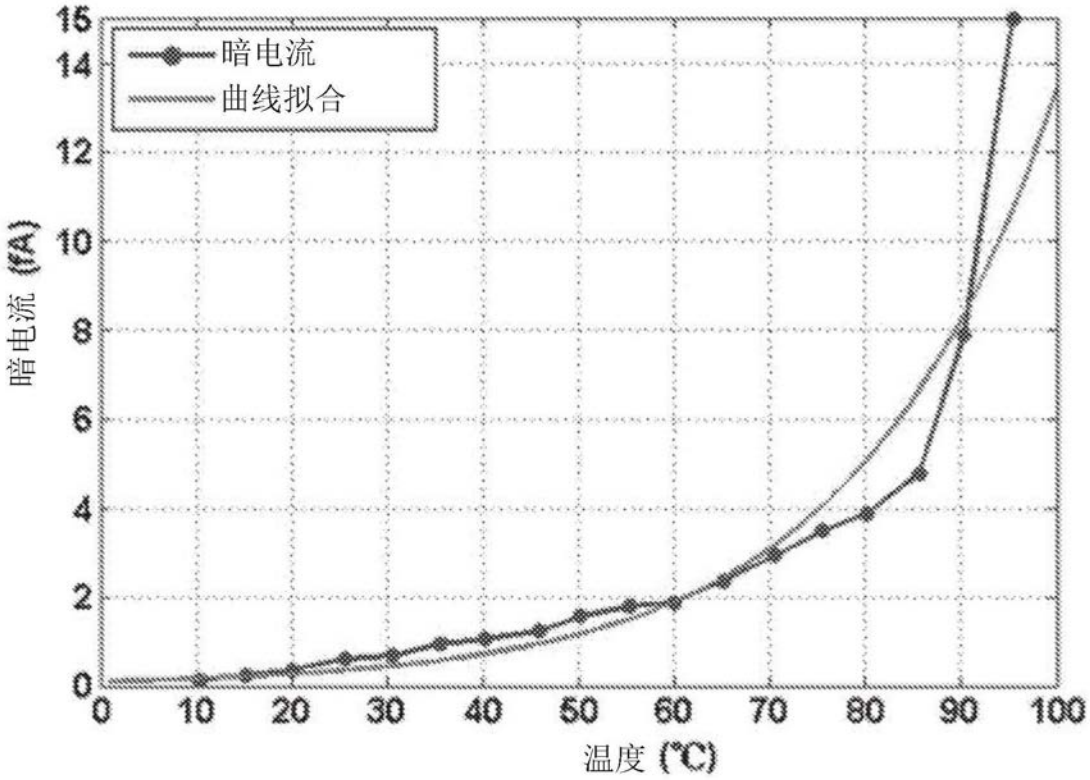

暗电流
曲线拟合
暗电流 (fA)
温度 (℃)
0
2
4
6
8
10
12
14
15
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100

图22

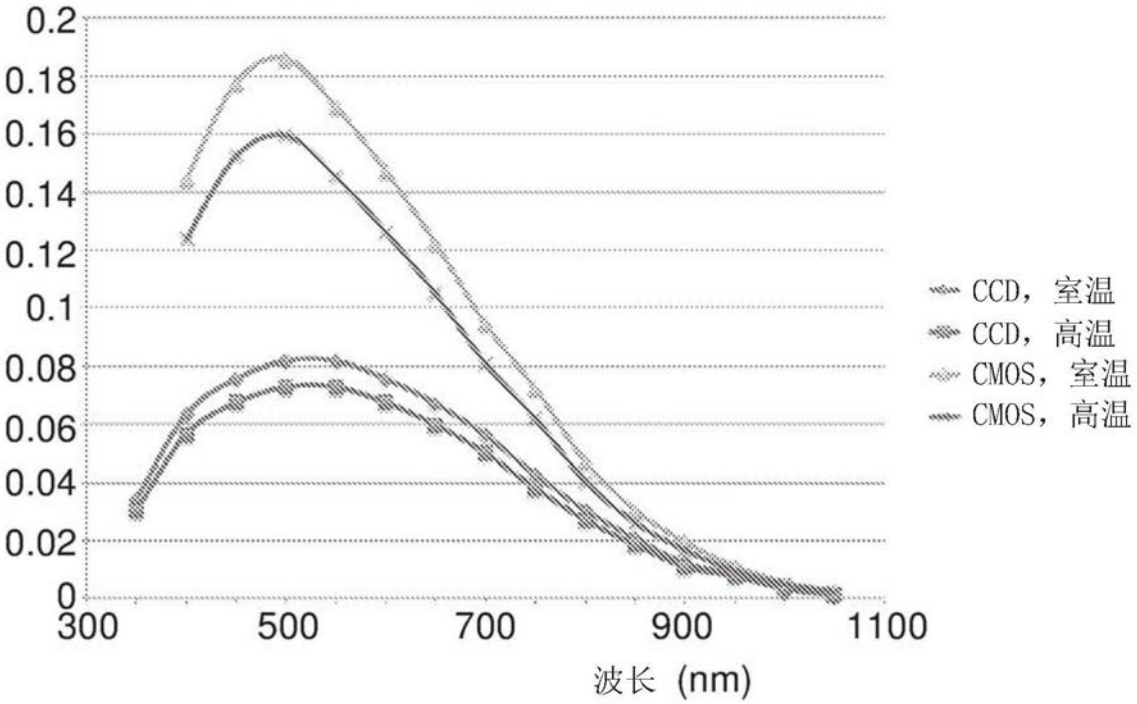

CCD，室温
CCD，高温
CMOS，室温
CMOS，高温
波长 (nm)
0
0.02
0.04
0.06
0.08
0.1
0.12
0.14
0.16
0.18
0.2
300
500
700
900
1100

图23

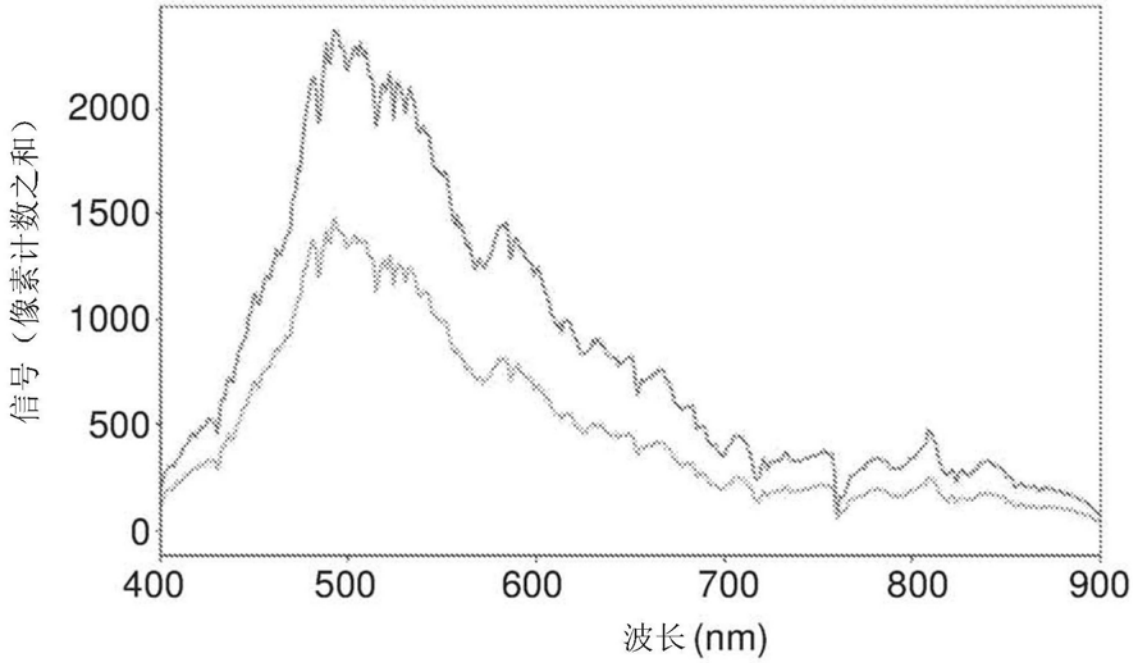

信号（像素计数之和）
2000
1500
1000
500
0
400
500
600
700
800
900
波长 (nm)

图24

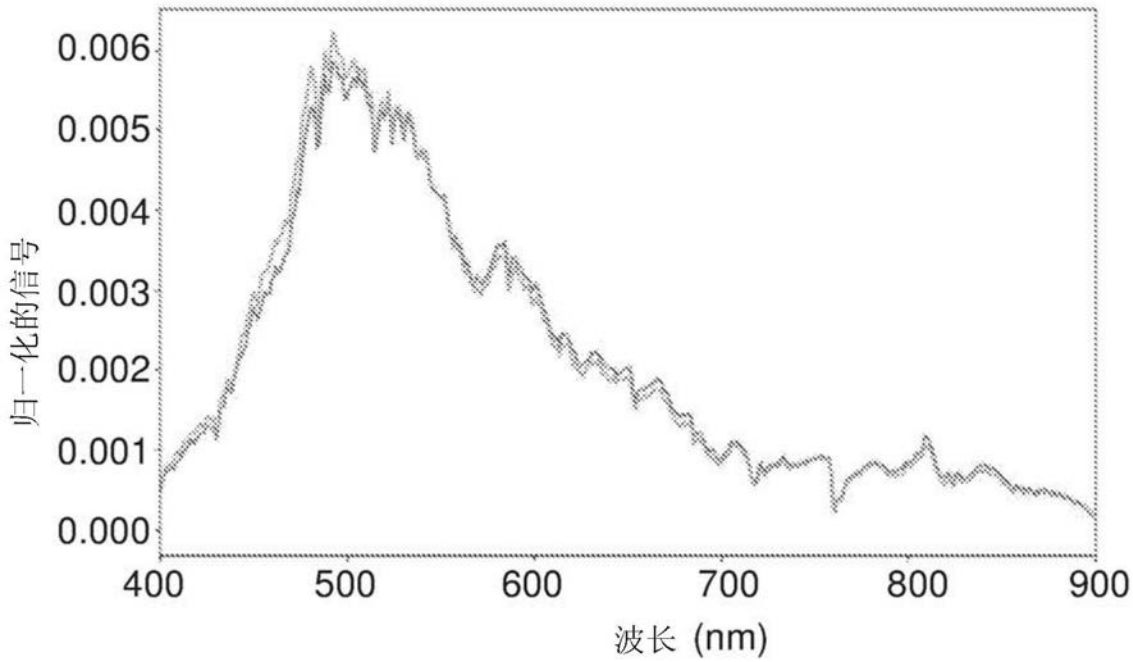

归一化的信号
0.006
0.005
0.004
0.003
0.002
0.001
0.000
400
500
600
700
800
900
波长 (nm)

图25

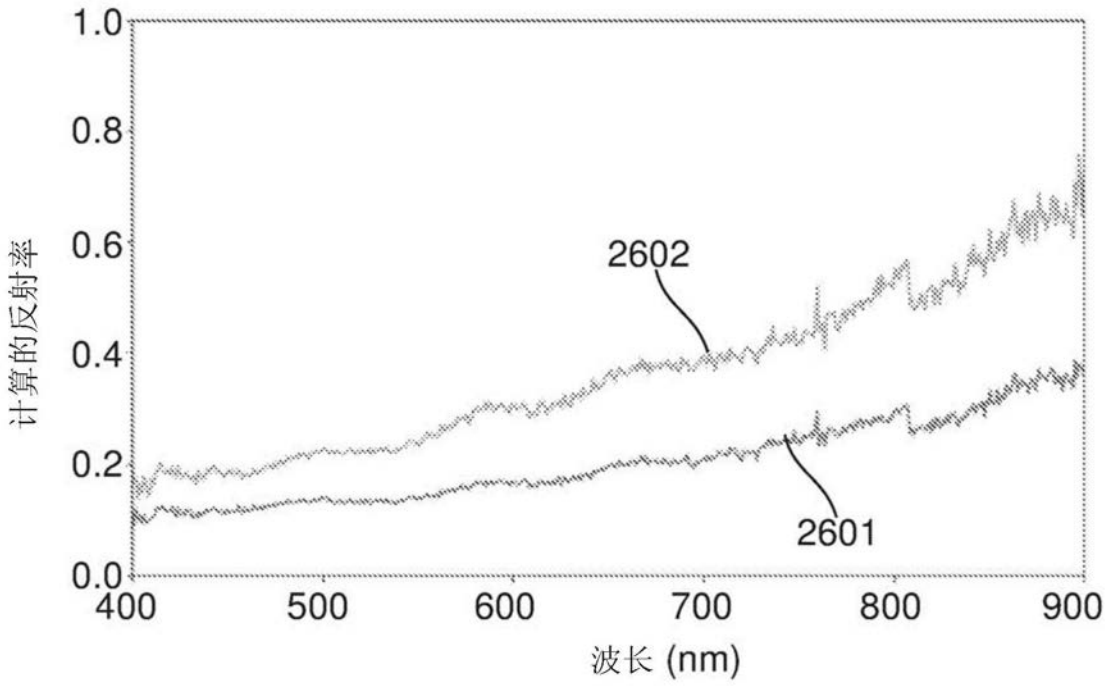

1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0.0
计算的反射率
2602
2601
400
500
600
700
800
900
波长 (nm)

图26

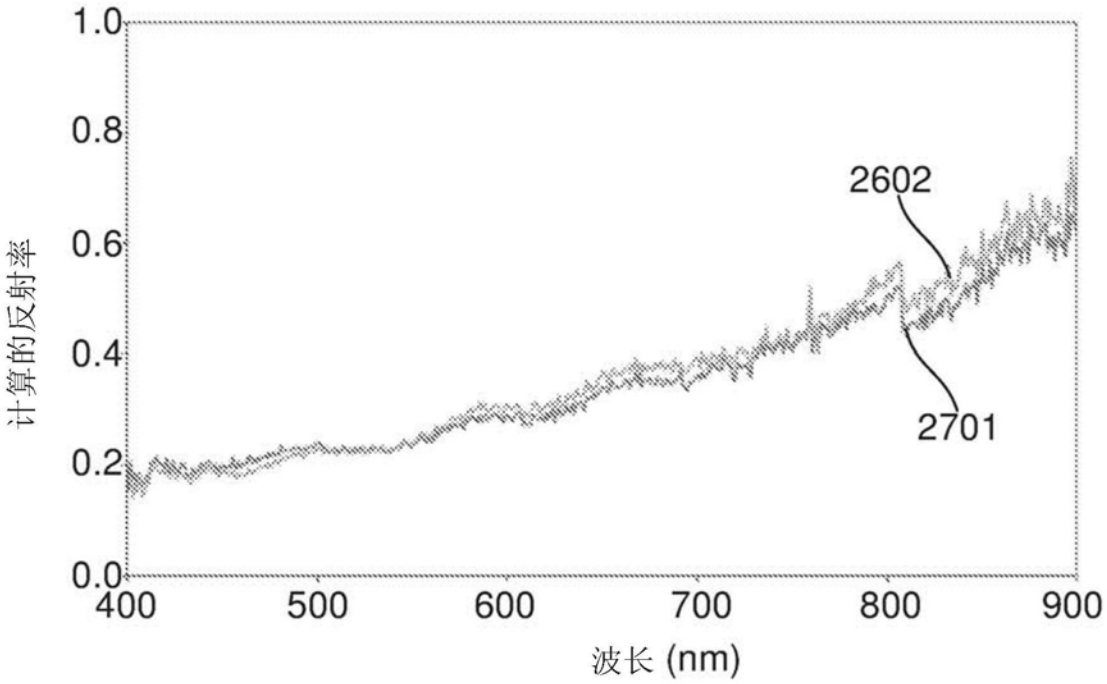

1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0.0
计算的反射率
2602
2701
400
500
600
700
800
900
波长 (nm)

图27

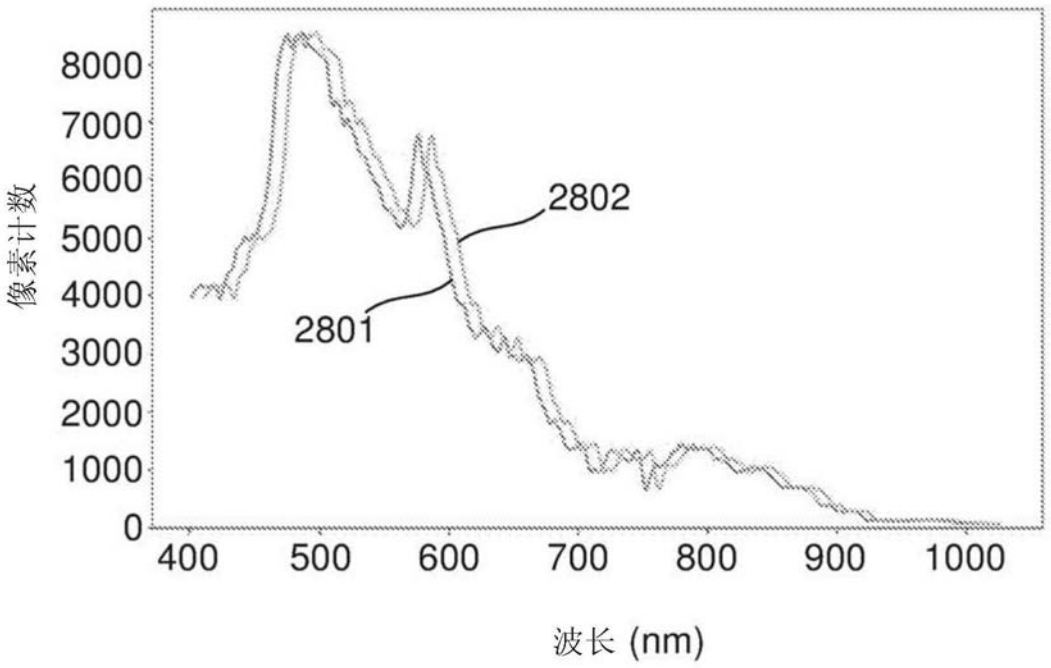

像素计数
8000
7000
6000
5000
4000
3000
2000
1000
0
400
500
600
700
800
900
1000
波长 (nm)
2802
2801

图28

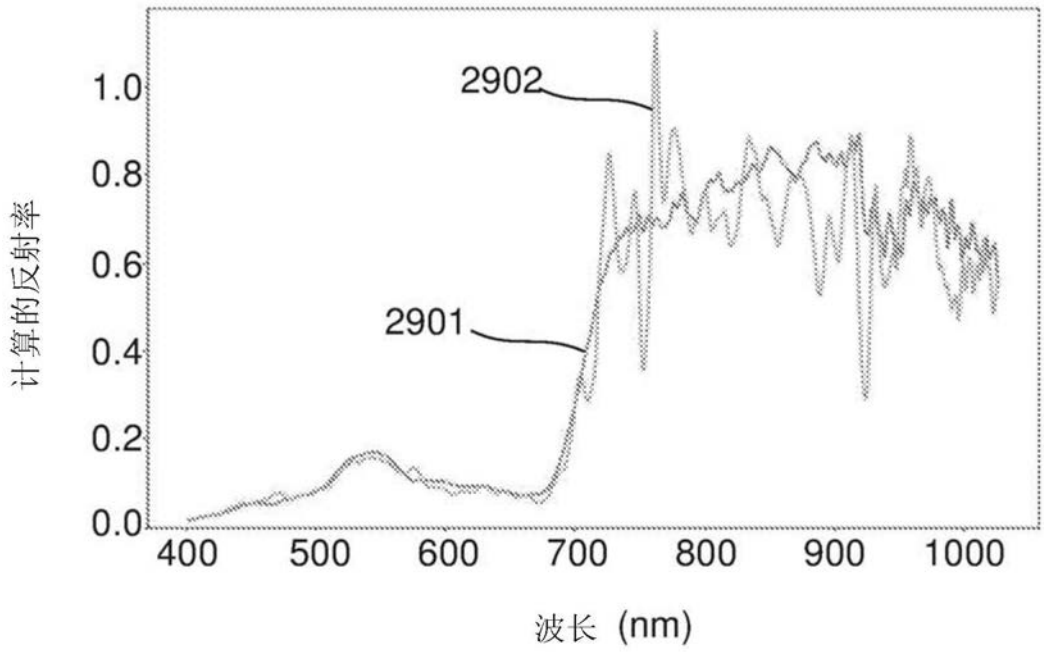

计算的反射率
1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0.0
400
500
600
700
800
900
1000
波长 (nm)
2902
2901

图29